

Comentários Práticos sobre Desmonte de Rochas com Explosivos



**VOLUME 1: EXPLORANDO O UNIVERSO
DOS EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS**



Bruno Pimentel



COMENTÁRIOS PRÁTICOS SOBRE DESMONTE DE ROCHAS COM EXPLOSIVOS

VOLUME 1: EXPLORANDO O UNIVERSO DOS
EXPLOSIVOS E ACESSÓRIOS

Bruno Pimentel

Copyright © 2023 Bruno José Oliveira Pimentel
Todos os direitos reservados.

www.blastingtreinamentos.com



Agradecimentos

Ao meu tio Paulo por toda inspiração ao longo dessa jornada.

A minha esposa Naiane pelos incentivos e toda ajuda na revisão deste livro.

A todos os amigos que encontrei nesse caminho.

A todas as empresas que trabalhei, aos chefes que tive e as equipes que me aturaram durante tanto tempo.

A toda fonte de informação disponível nos livros, treinamentos e internet, que se fosse referenciar dariam o dobro de páginas desse livro.

A todos os comentários futuros que servirão de base para revisão desse material e para a elaboração dos próximos volumes.

Obrigado a todos!!!

Provérbios 4:18-19 Porque a vereda dos justos é como a luz da aurora, que vai brilhando mais e mais até ser dia perfeito. Já o caminho dos tolos é como a escuridão; nem sabem em que tropeçam.

Autor

Engenheiro de minas e membro da ISEE (International Society of Explosive Engineers) o autor vem desenvolvendo atividades em projetos técnicos e operacionais na área de desmonte de rochas com explosivos há mais de 15 anos, tanto em operações a céu aberto, quanto em minas subterrâneas.

Durante esse período teve a oportunidade de desempenhar diversos papéis, desde assistente técnico à gestor de operações, o que lhe proporcionou uma visão abrangente e aprofundada desse universo especializado e permitiu-lhe acumular conhecimento prático e teórico ao lidar com processos de fabricação e utilização de uma variedade de produtos, equipamentos, softwares e tecnologias relacionadas ao desmonte de rochas. As experiências internacionais do autor também o expuseram a diferentes culturas e padrões, enriquecendo ainda mais sua visão e abordagem na área.

O autor é também fundador da Blasting Treinamentos, uma empresa que oferece suporte na área de desmonte de rochas com explosivos tanto a nível nacional quanto internacional, com um firme compromisso com a segurança e a excelência operacional. A empresa se destaca na condução de cursos, treinamentos e capacitações, além de fornecer serviços de mentoria. Também desempenha um papel crucial na elaboração e revisão de procedimentos, realização de auditorias e consultorias técnicas e operacionais, consolidando-se como um apoio fundamental na área.

Seu perfil dinâmico e acessível destaca-se por sua paixão em compartilhar conhecimento e promover a troca de experiências. Além deste livro, o autor tem contribuído para a formação de novos profissionais por meio de diversos artigos e cursos de capacitação disponibilizados ao longo de sua carreira. Sua dedicação em disseminar conhecimento torna esta obra mais uma valiosa contribuição para a indústria do desmonte de rochas com explosivos."

Sumário

Capítulo 1: Introdução, História e Generalidades dos Explosivos Cíveis.....	16
Introdução	16
1.1 Objetivos do Livro	17
1.1.1 Visão geral dos tópicos abordados	18
1.1.2 Importância dos explosivos no desmonte de rochas	19
1.2 História e Evolução dos Explosivos Cíveis	20
1.2.1 Desmonte de Rochas: A Evolução da "Arte de Quebrar Pedras"	21
1.2.2 Pólvora Negra: O Início da Era dos Explosivos.....	22
1.2.3 Nitroglicerina: O Surgimento dos Explosivos Modernos	24
1.2.4 Dinamite: O Avanço Seguro dos Explosivos	25
1.2.5 Nitrato de Amônio: A Descoberta Explosiva	27
1.2.6 Explosivos Modernos: Focados na Eficiência e Segurança	28
1.2.7 Acessórios de Iniciação: "Trilhando o Caminho da Detonação"	29
1.3 Generalidades da Aplicação dos Explosivos Cíveis: "A Força que Molda o Mundo"	31
1.3.1 Explosivos Cíveis em Diferentes Aplicações	32
1.3.2 Explosivos na Indústria Mineradora	37
1.3.3 Explosivos no Desmonte de Rochas: A Chave para Eficiência e Produtividade.....	39
Conclusão	40
Capítulo 2 Conceitos fundamentais dos Explosivos Cíveis.....	42
Introdução	42
2.1 Definição	42
2.2 Triângulo do fogo e tetraedro explosivo	44
2.3 Incêndios explosivos	47
2.4 Produtos químicos da reação	48

2.5 Expansão gasosa.....	50
2.6 Calor da explosão	51
2.7 Pressão	52
2.8 Energia de ativação.....	53
2.9 Estimulo de iniciação	55
2.10 FISH.....	56
2.10.1 Atrito	57
2.10.2 Impacto	58
2.10.3 Energia Estática	59
2.10.4 Calor	60
2.11 Velocidade de reação.....	61
2.11.1 Combustão.....	63
2.11.2 Deflagração.....	63
2.11.3 Detonação	65
2.12 Dinâmica da continuidade da detonação de um explosivo	66
2.13 Confinamento.....	67
Conclusão	69
Capítulo 3: Classificação dos Explosivos Industriais	71
Introdução	71
3.1 Classificação geral dos explosivos.....	72
3.2 Classificação química dos explosivos	72
3.2.1 Baixos explosivos	73
3.2.2 Altos explosivos	74
3.3 Classificação comercial dos explosivos.....	77
3.4 Classificação de produtos perigosos	79
3.5 Outras classificações dos explosivos	80

Conclusão	81
Capítulo 4: Propriedades Fundamentais dos Explosivos.....	83
Introdução	83
4.1 Características físicas	84
4.2 Sensibilidade	86
4.2.1 Sensibilidade a iniciação.....	87
4.2.2 Sensibilidade a propagação	89
4.2.3 Sensibilidade ao impacto e atrito.....	91
4.2.4 Sensibilidade a temperatura.....	92
4.3 Dessensibilização.....	94
4.4 Densidade	95
4.4.1 Efeito da pressão de coluna sobre a densidade	97
4.4.2 Tipos de densidade	99
4.4.3 Controle de densidade	101
4.4.4 Exemplos de medidas de densidade.....	103
4.5 Velocidade de detonação.....	104
4.5.1 Medição de VOD	106
4.5.2 Analisando resultados	107
4.6 Pressão de detonação.....	108
4.6.1 Pressão de explosão	109
4.7 Energia	110
4.7.1 Método de Traulz.....	111
4.7.2 Método da Placa	112
4.7.3 Energia útil.....	113
4.7.4 Energia absoluta	116
4.7.5 Energia relativa	117

4.7.6 Distribuição do potencial de energia	119
4.8 Gases	121
4.8.1 Classificação de toxicidade dos gases	123
4.8.2 Balanço de Oxigênio.....	124
4.8.3 Causas de gases tóxicos	126
4.9 Diâmetro critico.....	127
4.10 Resistencia a água.....	130
4.11 Vida útil.....	131
4.11.1 Tempo de latência (Sleep time).....	133
Conclusão	135
Capítulo 5: Componentes de um Desmonte de Rochas.....	137
Introdução	137
5.1 Principais componentes	138
5.2 Iniciador	141
5.3 Conector de superfície	142
5.4 Unidade de coluna.....	143
5.5 Reforçador	144
5.6 Explosivo	145
5.7 Localização dos componentes	146
Conclusão	151
Capítulo 6: Explosivos Utilizados no Desmonte de Rochas	154
Introdução	154
6.1 Principais tipos de Explosivos	155
6.2 Pólvora.....	156
6.3 Dinamite	159
6.4 Hidrogéis	162

6.4.1 Hidrogéis x Lamas explosivas	164
6.5 ANFO (Nitrato de Amônio e Fuel Oil)	165
6.5.1 Nitrato de amônio.....	166
6.5.2 Características do ANFO	171
6.5.3 Fabricação do ANFO	174
6.5.4 Aplicação do ANFO.....	176
6.5.5 ANFO Aluminizado	179
6.5.6 ANFO Leve	180
6.5.7 ANFO Pesado (HEAVY ANFO)	182
6.6 Emulsões	184
6.6.1 Emulsões Explosivas	186
6.6.2 Sensibilização das Emulsões	194
6.6.3 Densidade.....	197
6.6.4 Consistência.....	198
6.6.5 Emulsão Encartuchada	199
6.6.6 Emulsão Bombeada.....	203
6.6.7 Emulsão Blendada.....	209
6.6.8 Emulsões Energéticas	212
6.6.9 Emulsões Aluminizadas	213
6.6.10 Emulsões Leves	214
6.7 Outros Explosivos	215
Conclusão	218
Capítulo 7: Acessórios Utilizados no Desmonte de Rochas.....	220
Introdução	220
7.1 Sistemas de iniciação	221
7.1.1 Classificação dos sistemas de iniciação.....	225

7.2 Tipos de Acessórios.....	227
7.3 Seleção dos sistemas de iniciação.....	229
7.4 Mantopin	231
7.4.1 Estopim	231
7.4.2 Espoleta simples	233
7.4.3 Acoplamento/Amolgamento	234
7.4.4 Cordão ignitor	235
7.4.5 Características do Mantopim	236
7.4.6 Aplicação do Mantopim	237
7.4.7 Segurança	238
7.4.8 Testes de qualidade com mantopim	241
7.5 Detonadores Elétricos.....	244
7.5.1 Componentes.....	245
7.5.2 Equipamentos de detonação	245
7.5.3 Teste de circuito.....	246
7.5.4 Segurança	247
7.5.5 Detonação	249
7.6 Cordel Detonante	249
7.6.1 Características do cordel.....	250
7.6.2 Uso do cordel como Iniciador	255
7.6.3 Escorva com encartuchado	261
7.6.4 Uso do cordel como conector de superfície	262
7.6.5 Conexão com detonadores	265
7.6.6 Circuito fechado	266
7.6.7 Cuidados nas Conexões	267
7.6.8 Segurança	271

7.7 Retardos de Superfície	272
7.7.1 Tipos de retardo.....	276
7.7.2 Retardo para cordel	279
7.7.3 Retardo para tubo de choque	284
7.8 Detonador Não-Elétrico	293
7.8.1 Derivados do detonador não elétrico	304
7.8.2 Detonador não elétrico de ligação	305
7.8.3 Linha silenciosa de inicialização	309
7.8.4 Sistema remoto de iniciação.....	310
7.9 Detonador Eletrônico.....	311
7.9.1 Conjunto de equipamentos	315
7.9.2 Segurança do sistema eletrônico	326
7.9.3 Comparativo	328
7.9.4 Dispersão x Precisão.....	330
7.9.5 Melhorias propostas	332
7.9.6 Operacional	340
7.9.7 Novas tecnologias	351
7.10 Reforçadores	359
7.10.1 Booster	361
7.10.2 Escorva	364
7.11 Acessórios especiais.....	368
Conclusão	369
Capítulo 8: Seleção dos explosivos e acessórios	372
Introdução	372
8.1 Princípios gerais da seleção de explosivos e acessórios	374
8.2 Seleção dos explosivos.....	377

8.2.1 Condições Especiais.....	381
8.2.2 Disponibilidade e Flexibilidade	382
8.2.3 Resultados	383
8.2.4 Custos.....	384
8.2.5 Tipo de desmonte	386
8.2.6 Tamanho da detonação	387
8.2.7 Tempo de permanência.....	387
8.2.8 Propriedades da rocha	388
8.2.9 Energia	390
8.2.10 Presença de água	392
8.2.11 Características do furo.....	393
8.2.12 Questões operacionais	394
8.2.13 Mão de obra disponível	395
8.2.14 Compatibilidade de produto	396
8.2.15 Condições ambientais.....	397
8.2.16 Desempenho em condições semelhantes	398
8.3 Seleção da Escorva.....	399
8.4 Seleção do sistema de iniciação	405
8.5 Novas Tecnologias e Pesquisas em Explosivos	408
8.5.1 Inovações em Explosivos Energéticos.....	409
8.5.2 Redefinindo Matérias-Primas	410
8.5.3 Sustentabilidade em Explosivos	411
8.6 Novas Tecnologias e Pesquisas em Acessórios	413
Conclusão	415
Referências Bibliográficas	418

Capítulo 1: Introdução, História e Generalidades dos Explosivos Civis

Introdução

O desmonte de rochas é uma atividade essencial na indústria de mineração, construção civil e obras públicas, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento e progresso da sociedade moderna. Essa prática consiste na fragmentação controlada de rochas para permitir a extração de minerais e realização de diversas obras de engenharia civil, como estradas e túneis.

Uma das principais ferramentas utilizadas no desmonte de rochas são os explosivos civis, substâncias químicas projetadas para liberar uma grande quantidade de energia em um curto espaço de tempo, criando uma onda de choque e liberando uma grande quantidade de gases que fragmentam as rochas. O uso de explosivos evoluiu ao longo do tempo e tornou-se uma técnica indispensável para otimizar a produtividade, a segurança e a eficiência do desmonte de rochas.

Além de acompanhar todo desenvolvimento tecnológico, é fundamental que profissionais envolvidos no desmonte de rochas compreendam a importância de conhecer em detalhes os explosivos civis e acessórios disponíveis no mercado. A seleção adequada desses materiais é essencial para o correto dimensionamento do plano de fogo, o qual determina a quantidade, o tipo e a distribuição dos explosivos utilizados em cada detonação. Um planejamento adequado do desmonte é crucial para garantir a eficácia na fragmentação das rochas, evitando desperdícios e otimizando os resultados.

Ademais, o conhecimento aprofundado dos explosivos e acessórios contribui significativamente para a segurança de todo o processo de detonação. Uma seleção inadequada ou o uso incorreto desses materiais pode resultar em acidentes graves, danos ambientais e riscos à vida dos trabalhadores envolvidos e todos aqueles que estão nas proximidades. A correta manipulação e iniciação dos explosivos são essenciais para evitar desvios indesejados, garantindo a precisão e o controle das detonações.

Portanto, este livro busca fornecer informações detalhadas sobre as propriedades e características dos explosivos civis, bem como dos acessórios

www.blastingtreinamentos.com

utilizados em conjunto com eles, isso fundamentalmente para garantir aplicações controladas e eficientes. Através do conhecimento adquirido neste livro, os leitores estarão capacitados a tomar decisões fundamentadas na escolha dos explosivos e acessórios mais adequados para diversos cenários, assegurando um desmonte de rochas eficiente, seguro e ambientalmente responsável. Ao compreender a importância de conhecer bem esses materiais, os profissionais envolvidos poderão aprimorar suas práticas, contribuindo para o sucesso e o avanço da indústria em que atuam.

1.1 Objetivos do Livro

O principal objetivo deste livro é fornecer um valioso recurso para profissionais e estudantes das áreas de engenharia, geologia e mineração, bem como para qualquer pessoa interessada no tema dos explosivos civis e seu uso no desmonte de rochas. Nossa proposta é oferecer um material abrangente e de alta qualidade, que aborde tanto os conceitos fundamentais quanto as aplicações práticas mais relevantes.

Ao longo deste livro, buscamos apresentar de forma clara e objetiva os principais tipos de explosivos civis disponíveis no mercado, suas características distintas e suas aplicações específicas no desmonte de rochas. Além disso, destacamos a importância de compreender as propriedades fundamentais desses explosivos, como velocidade de detonação, energia liberada e densidade, para que os profissionais possam realizar escolhas adequadas para cada contexto de desmonte.

Nosso enfoque vai além da teoria, pois valorizamos a experiência prática no manuseio e utilização segura dos explosivos, sendo o objetivo principal trazer diversos comentários práticos que possam ser facilmente conectados com diversos cenários operacionais e assim facilitar a aplicação dos conceitos aqui abordados. Ao longo do livro, incluímos exemplos reais e comentários práticos para garantir a segurança das detonações, bem como a eficiência na fragmentação das rochas. Acreditamos que um conhecimento sólido dos procedimentos corretos é essencial para maximizar os resultados do desmonte, evitando desperdícios de recursos e minimizando os impactos ambientais negativos.

www.blastingtreinamentos.com

Além disso, outro objetivo crucial deste livro é abordar a importância da seleção adequada dos explosivos e acessórios para o correto dimensionamento do plano de fogo, isso baseado nas diversas limitações e necessidades operacionais que podem estar presentes em cada cenário. O plano de fogo, desde o seu desenho até a garantia da sua correta aplicação, é a base para o sucesso de qualquer detonação, e compreender como escolher os explosivos mais adequados para cada situação é fundamental para garantir a eficácia da detonação e alcançar os objetivos pretendidos.

Por fim, esperamos que este livro seja uma fonte confiável de conhecimento e orientação para os profissionais que atuam nesse setor dinâmico e desafiador. Ao proporcionar uma visão prática e abrangente sobre os explosivos, aspiramos contribuir com a capacitação dos leitores para tomarem decisões informadas e conscientes, impulsionando a excelência na indústria e contribuindo para um futuro sustentável.

1.1.1 Visão geral dos tópicos abordados

Neste livro, embarcaremos em uma abrangente exploração dos principais aspectos relacionados aos explosivos civis aplicados ao desmonte de rochas. Iniciaremos essa jornada percorrendo a fascinante história e evolução dessas substâncias ao longo do tempo, enfatizando os marcos históricos, os avanços tecnológicos que desempenharam um papel fundamental em sua utilização, assim como as principais lições aprendidas, que são fontes indispensáveis para o desenho das melhores práticas atuais. À medida que compreendemos a trajetória dos explosivos, também abordaremos de forma concisa a generalidade de sua aplicação na indústria, destacando sua imprescindível participação nas atividades de mineração, construção civil e infraestrutura.

Nos capítulos iniciais, mergulharemos nos conceitos fundamentais dos explosivos civis, aprofundando nosso entendimento sobre como essas características influenciam o desempenho durante a detonação. Compreenderemos a importância de tais conhecimentos na seleção criteriosa dos explosivos, tanto para assegurar um desempenho eficaz quanto para garantir a segurança de todo o processo de desmonte de rochas.

Em seguida, dedicaremos nossa atenção aos tipos específicos de explosivos empregados no desmonte de rochas. Detalharemos suas particularidades,

www.blastingtreinamentos.com

aplicações, vantagens e desvantagens, fornecendo aos leitores uma visão abrangente das opções disponíveis e incentivando a busca pela otimização da interação entre esses materiais conforme o contexto de cada detonação.

Além disso, abordaremos os acessórios utilizados em conjunto com os explosivos, desempenhando um papel crucial na garantia da segurança e eficácia das detonações. Apresentaremos diferentes tipos de acessórios, como o mantopim, detonadores elétricos, cordel detonante e retardos de superfície, entre outros, buscando maximizar as propriedades dos explosivos e assegurar a segurança de sua aplicação.

Por fim, no capítulo final, realizaremos diversos comentários sobre os principais fatores que devemos levar em consideração na seleção dos explosivos e acessórios, assim como alguns rápidos comentários sobre os contantes avanços tecnológicos e inovações em explosivos. Ademais, apresentaremos nossas conclusões sobre a importância dos explosivos no desmonte de rochas, ressaltando o impacto dessas substâncias na eficiência e segurança das operações. Nesse último capítulo, também estimularemos a busca contínua por práticas seguras e eficientes no uso de explosivos, fomentando a constante melhoria das operações de desmonte de rochas.

1.1.2 Importância dos explosivos no desmonte de rochas

O desmonte de rochas é uma atividade de extrema relevância para as indústrias de mineração, construção civil e infraestrutura, sendo essencial para a extração de minerais e a realização de obras de engenharia. Nesse contexto, os explosivos civis se destacam como ferramentas indispensáveis, fornecendo a energia necessária para fragmentar rochas sólidas de forma controlada e precisa.

A história dos explosivos é repleta de descobertas acidentais, avanços científicos e inovações tecnológicas que impulsionaram o desenvolvimento dessas substâncias ao longo do tempo. Desde sua origem, os explosivos têm sido fundamentais para impulsionar o progresso da sociedade moderna, viabilizando projetos ambiciosos e impactantes.

No setor de mineração, em conjuntos com os grandes avanços tecnológicos e máquinas que parecem verdadeiros colossos, a aplicação dos explosivos permitiu uma revolução, tornando possível a exploração de recursos minerais

www.blastingtreinamentos.com

em larga escala e a otimização dos processos de extração. A energia liberada pelos explosivos torna viável o desmonte de grandes volumes de rochas, acelerando os processos de produção e reduzindo os custos operacionais. Além disso, a fragmentação controlada das rochas facilita o manuseio e transporte dos materiais extraídos, aumentando a eficiência logística de toda cadeia produtiva.

Na construção civil e infraestrutura, os explosivos desempenham um papel fundamental na abertura de túneis, na construção de estradas e em outras obras de engenharia. A precisão do desmonte proporcionada pelas diversas técnicas e o uso de explosivos permite a criação de espaços subterrâneos com dimensões específicas ou cortes de rochas precisos, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de transporte e infraestruturas complexas.

No entanto, é importante ressaltar que o uso dos explosivos deve ser realizado de forma responsável e segura. A segurança das pessoas envolvidas nas operações de desmonte de rochas é uma prioridade absoluta, e a conscientização sobre as boas práticas é fundamental para prevenir acidentes e garantir a integridade de todos os envolvidos, assim como de toda circunvizinhança.

Além disso, a indústria também deve estar atenta ao impacto ambiental das atividades de desmonte de rochas. A escolha adequada dos explosivos e a adoção de técnicas de detonação precisas podem minimizar os danos ambientais, reduzindo a dispersão de poeira, vibrações e ruídos que podem afetar ecossistemas sensíveis.

1.2 História e Evolução dos Explosivos Civis

A história dos explosivos é repleta de ensinamentos e conceitos fundamentais que nos permitem compreender a evolução e as práticas atuais nessa área tão essencial para a indústria. Ao olharmos para o passado, podemos identificar as características-chave que se mantiveram ao longo do tempo e aquelas que precisaram ser modificadas para trazer mais eficiência e, principalmente, segurança na manipulação dos explosivos.

Nesta jornada histórica, perceberemos o que mudou e por que foi necessário mudar, reconhecendo a importância de aspectos fundamentais em um explosivo e garantindo a sua performance durante a utilização. A busca

www.blastingtreinamentos.com

constante por melhorias tanto na aplicação quanto no aperfeiçoamento dos produtos e práticas utilizadas é um elemento essencial para o sucesso e a evolução contínua desse campo crucial para a mineração e construção civil.

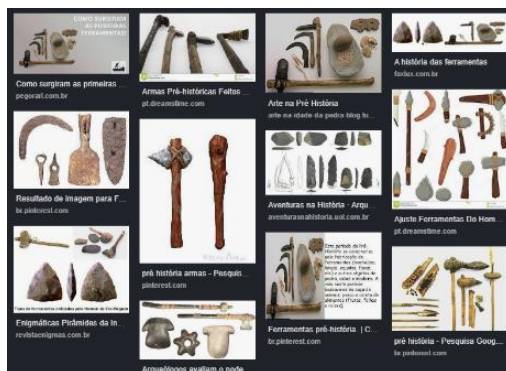
Ao explorarmos a história e evolução dos explosivos civis, estaremos preparados para compreender o impacto desses avanços na eficiência, na segurança e na sustentabilidade das operações de desmonte de rochas. O conhecimento adquirido ao longo desta trajetória histórica nos capacitará a tomar decisões informadas e conscientes, visando aprimorar constantemente nossas práticas e garantir um futuro promissor para a evolução das técnicas de desmonte de rochas.

1.2.1 Desmonte de Rochas: A Evolução da "Arte de Quebrar Pedras"

O desmonte de rochas é uma prática ancestral que se entrelaça com a história da humanidade. Desde os primórdios, o homem utilizava as rochas para produzir ferramentas, armas, abrigos e atender diversas necessidades. A história do desmonte de rochas está, portanto, intrinsecamente conectada com a evolução da sociedade e das práticas humanas.

Conforme o homem progrediu, suas necessidades de construção e suprimento de minerais foram aumentando, impulsionando o desenvolvimento das civilizações. A evolução das construções, das ferramentas e das técnicas de desmonte refletiu diretamente no avanço das sociedades ao longo do tempo.

Técnicas manuais antigas, como o corte manual da rocha, continuaram a ser aplicadas mesmo com o passar dos séculos, mostrando a persistência de princípios históricos no desmonte de rochas. Hoje, podemos encontrar exemplos na internet de pessoas que ainda utilizam essas técnicas para quebrar e moldar a rocha para sobreviver. Embora aprimoradas com melhores



www.blastingtreinamentos.com

ferramentas, essas práticas seguem os mesmos princípios que nossos antepassados utilizavam.

Outro exemplo histórico é o uso do fogo no desmonte de rochas, onde o calor é utilizado para dilatar a rocha e quebrá-la aos poucos. Apesar de pouco eficiente e demorado, esse método era uma alternativa barata e também faz parte da história do desmonte de rochas.

Conforme a evolução das sociedades avançava, o conhecimento sobre as rochas e seus minerais aumentava. Descobriu-se que algumas rochas eram mais duras do que outras e podiam ser usadas como ferramentas para quebrar rochas mais frágeis. Essas descobertas deram origem a métodos mais eficientes de desmonte de rochas.

A busca por minerais valiosos levou à necessidade de formas de fragmentação mais eficientes, o que culminou no desenvolvimento de diversas técnicas e por fim na descoberta dos explosivos e da possibilidade dele realizar o trabalho pesado. A partir desse momento, a energia dos explosivos passou a ser aplicada no desmonte de rochas, representando uma revolução nessa "arte de quebrar pedras".

A história do desmonte de rochas nos ensina a valorizar a busca contínua por melhorias, tanto na aplicação dos explosivos quanto no desenvolvimento de novos produtos e técnicas. Através dessa trajetória histórica, compreendemos como o desmonte de rochas se tornou um dos principais meios para disponibilizar recursos que impulsionaram o progresso da sociedade e moldaram o mundo em que vivemos hoje.

1.2.2 Pólvora Negra: O Início da Era dos Explosivos

A pólvora negra, sem dúvida, marcou o início do desenvolvimento dos produtos que conhecemos hoje como explosivos. Sua história remonta a tempos antigos e está associada a diversas culturas, como os gregos, chineses e árabes, embora haja algumas divergências nas versões históricas. Inicialmente, a pólvora negra era utilizada principalmente para a produção de fogos de artifício, um espetáculo que encantava multidões.



www.blastingtreinamentos.com

A fórmula básica da pólvora negra era composta por 75% de nitrato de potássio, 15% de carvão e 10% de enxofre, proporcionando uma mistura explosiva capaz de produzir calor e gás rapidamente quando queimada. Por volta de 1354 D.C., no final da Idade Média, o monge Shwartz na Europa conseguiu desenvolver uma mistura explosiva semelhante à dos chineses, e esse feito marcou a disseminação do uso da pólvora negra.

Com o passar do tempo, a pólvora negra começou a ser aplicada também em outras atividades, incluindo o desmonte de rochas. No século XVII, foram registrados os primeiros usos da pólvora negra para esse fim. Em 1627, na Hungria, ocorreu o primeiro registro conhecido de seu uso no desmonte de rochas. Posteriormente, em 1670, os mineiros alemães levaram o uso da pólvora negra para as minas de estanho da Cornualha, na Inglaterra. Em 1675, nos Estados Unidos, foi construída a primeira fábrica oficial de pólvora negra, dando início à sua disseminação na América do Norte para o desmonte de rochas.

Durante o século XVII, à medida que a demanda pelo uso da pólvora negra aumentava, também crescia o número de acidentes relacionados à sua manipulação, principalmente durante a sua iniciação. Tornou-se evidente a necessidade de novos métodos de iniciação para tornar o uso dos explosivos mais seguro e eficiente. Diferentes tentativas foram feitas utilizando materiais como penas de ganço, canudos de papel, palha e tubos de madeira preenchidos com pólvora. Entretanto, o primeiro método seguro de iniciação surgiu somente em 1831, quando William Bickford, em Cornwall, Inglaterra, desenvolveu o Estopim, que consistia em um cabo de juta com um núcleo contínuo de pólvora.

Desde a sua descoberta a pólvora negra foi utilizada por vários séculos como o único explosivo conhecido e disponível. Apesar de sua eficácia nas atividades da época, a iniciação da pólvora apresentava grande perigo, resultando em inúmeros acidentes. O desenvolvimento do Estopim, um método de iniciação mais seguro, mostrou-se um marco importante na história dos explosivos, pois não apenas evidenciou a necessidade de aprimoramentos nos próprios explosivos, mas também destacou a importância dos acessórios na eficiência e segurança das detonações.

A pólvora negra, além de marcar o início da era dos explosivos, deixou uma valiosa lição para a história: a busca por um método de iniciação seguro é tão

www.blastingtreinamentos.com

crucial quanto a eficácia do próprio explosivo. Essa lição continuou a nortear o desenvolvimento dos explosivos e acessórios ao longo dos tempos, buscando sempre aprimorar a segurança e a eficiência nas atividades de desmonte de rochas e outras aplicações industriais.

1.2.3 Nitroglicerina: O Surgimento dos Explosivos Modernos

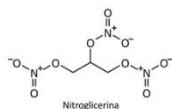
A história dos explosivos deu um passo significativo com a descoberta da nitrocelulose e, posteriormente, da nitroglicerina, ambos compostos com um potencial explosivo muito superior ao da pólvora. Esse marco na história dos explosivos ocorreu durante o século XIX, abrindo caminho para a era moderna desses materiais.

Em 1838, o químico francês Théophile Jules Pelouse conseguiu preparar a nitrocelulose, inaugurando a era moderna dos explosivos. Essa substância, também conhecida como algodão-pólvora, mostrou-se altamente explosiva e se tornou um importante precursor para a pesquisa e desenvolvimento de explosivos mais potentes.

Em 1846, o químico alemão Christian Schönbein fez uma importante descoberta ao verificar que a celulose nitrada (nitrocelulose) apresentava alta explosividade. Essa constatação abriu novas possibilidades no campo dos explosivos e impulsionou a busca por compostos ainda mais poderosos.



Ascanio Sobrero



Nitroglicerina

No ano de 1847, o químico italiano Ascanio Sobrero realizou uma descoberta revolucionária ao preparar a nitroglicerina a partir da glicerina, um subproduto abundante da fabricação de sabão. Ele notou que a nitroglicerina era um líquido altamente explosivo, capaz de explodir com extrema facilidade através de aquecimento ou até mesmo por um simples choque mecânico. Esse novo composto representou uma verdadeira revolução, pois oferecia um poder de

explosão muitas vezes maior do que o da pólvora.

No entanto, a nitroglicerina também apresentava uma grande desvantagem: sua alta sensibilidade ao movimento brusco ou ao atrito, o que a tornava extremamente perigosa em termos de manuseio e armazenamento. Essa característica limitava suas condições de segurança e representava um desafio para sua aplicação em escala industrial.

www.blastingtreinamentos.com

A descoberta da nitroglicerina marcou um ponto crucial na história dos explosivos, impulsionando pesquisas e estudos para desenvolver métodos mais seguros de manuseio e iniciação. Esse período de experimentação e aprimoramento foi fundamental para o surgimento de uma nova geração de explosivos mais potentes e seguros, que desempenhariam um papel essencial no desmonte de rochas, na mineração e diversas outras aplicações industriais. A nitroglicerina foi o ponto de partida para a evolução dos explosivos modernos, que trariam avanços e conceitos significativos que perduram até o dia de hoje.

1.2.4 Dinamite: O Avanço Seguro dos Explosivos

Com a descoberta da nitroglicerina, um explosivo poderoso, mas perigoso de manusear, muitos acidentes ocorreram durante sua fabricação, estocagem e utilização. A nitroglicerina apresentava alta sensibilidade ao movimento brusco, choque ou atrito, o que desencorajou muitos de seu uso e atrasou sua aplicação por vários anos.

Entretanto, em 1863, o químico sueco Alfred Bernhard Nobel conseguiu encontrar uma solução segura para a utilização da nitroglicerina.

Ele desenvolveu uma mistura que consistia em 75% de nitroglicerina e 25% de terra diatomácea, um pó proveniente de algas unicelulares de paredes silicosas. Essa combinação tornou a nitroglicerina menos sensível, resultando em um

produto denominado dinamite. Com essa mistura, a nitroglicerina era absorvida pela diatomácea, o que tornava possível o manuseio mais seguro, desde que obedecidas certas condições.



Alfred Nobel



Dinamite



Diatomito



Diatomáceas

www.blastingtreinamentos.com

A descoberta da dinamite foi um marco na história dos explosivos, pois trouxe uma forma mais estável e segura de utilizar a nitroglicerina, mantendo sua potência explosiva. Alfred Nobel, além de ser o inventor da dinamite, também criou a espoleta de fulminato de mercúrio ($\text{Hg}(\text{ONC})_2$) em 1867, que permitia a iniciação controlada e precisa da dinamite.

Com essas inovações, a produção de nitroglicerina aumentou significativamente, passando de 11 toneladas em 1867 para 1350 toneladas em 1872. A dinamite se tornou um explosivo amplamente utilizado em diversos setores, incluindo na mineração e na engenharia civil.

Alfred Nobel não parou por aí e, em 1875, desenvolveu a dinamite gelatinosa, também conhecida como "blasting gelatine" ou gelatina explosiva. Essa nova formulação, que consistia em uma mistura de nitroglicerina, nitrocelulose, solventes e geleia de petróleo, proporcionou uma maior segurança e um aumento na potência explosiva.

A criação da dinamite e de outros explosivos mais seguros impulsionou a indústria de explosivos, levando Alfred Nobel a acumular uma enorme fortuna. Ele fundou várias fábricas de explosivos em 26 países diferentes, e sua contribuição para o desenvolvimento dos explosivos modernos foi inegável.

Além de suas conquistas na área dos explosivos, Alfred Nobel também ficou conhecido por sua filantropia e humanitarismo. Em seu testamento, deixou toda sua fortuna para a Fundação Nobel, estabelecendo o famoso Prêmio Nobel, que reconhece as contribuições excepcionais nas áreas da Física, Química, Medicina, Literatura e Paz.

A dinamite e as inovações de Alfred Nobel na iniciação dos explosivos deixaram um legado marcante na história da sociedade moderna. Seu trabalho impulsionou a evolução dos explosivos, tornando-os mais eficientes, seguros e contribuindo para o avanço de diversas indústrias. A lição extraída dessa história é clara: a busca por explosivos potentes deve sempre ser acompanhada por um foco inabalável na segurança de sua utilização.

1.2.5 Nitrato de Amônio: A Descoberta Explosiva

O nitrato de amônio é um composto conhecido desde o século XIX e era utilizado principalmente como fertilizante e para outros fins não explosivos. No entanto, no início do século XX, a atenção do mundo se voltou para o nitrato de amônio como um possível componente de explosivos, após a ocorrência de dois acidentes que revelaram seu potencial explosivo.



O primeiro acidente ocorreu em 1923, na cidade de Oppau, Alemanha. Um navio carregado com nitrato de amônio explodiu, causando uma destruição na cidade. O acidente aconteceu durante uma tentativa de fragmentar aproximadamente 4,5 toneladas de nitrato de amônio que haviam empelotado no porão do navio, para o que se utilizou dinamite. No entanto, a combinação do nitrato de amônio com a dinamite resultou em uma explosão catastrófica.

O segundo acidente ocorreu em 1947, no Porto do Texas, EUA. Dois navios colidiram, um transportando óleo diesel e o outro nitrato de amônio. O impacto resultou em um incêndio seguido de uma violenta explosão que arrasou o porto. A colisão levou à mistura do óleo diesel com o nitrato de amônio, e foi descoberto que essa combinação era ainda mais explosiva do que o nitrato de amônio puro.

Esses dois acidentes chamaram a atenção dos pesquisadores para as propriedades explosivas do nitrato de amônio, e nos anos seguintes foram realizadas investigações científicas para entender seu potencial como componente de explosivos. Por volta de 1950, avanços tecnológicos na obtenção de nitrato de amônio foram desenvolvidos, proporcionando melhores condições estruturais, o que possibilitou sua aplicação como matéria-prima na fabricação de explosivos.

Essa descoberta do nitrato de amônio como uma opção viável para a produção de explosivos representou um grande avanço na história desses materiais. Atualmente, o nitrato de amônio é amplamente utilizado na indústria de explosivos, sendo um componente fundamental da formulação do ANFO (mistura de Nitrato de Amônio e Óleo Diesel), um dos explosivos mais empregados no desmonte de rochas, assim como das emulsões explosivas.

1.2.6 Explosivos Modernos: Focados na Eficiência e Segurança

Os explosivos modernos representam o quarto passo marcante na evolução dessa tecnologia. Em torno de 1958, foram desenvolvidas as primeiras lamas explosivas, que consistiam em misturas de nitrato de amônio, óleo diesel, água e outros componentes como alumínio, goma e bórax. Essas lamas apresentavam uma enorme quantidade de energia útil e uma grande capacidade de trabalho na ruptura de rochas e materiais duros.

A partir das lamas explosivas, surgiram os hidrogéis e, posteriormente, em 1962, no Canadá, foram patenteadas as primeiras emulsões explosivas à base de nitrato de amônio. Essas emulsões trouxeram avanços significativos em termos de segurança, resistência (inclusive à água) e melhor combinação química, tornando-se explosivos altamente eficientes.

Com a massificação da utilização do nitrato de amônio, esses novos explosivos foram desenvolvidos exclusivamente para o desmonte de rochas, gradualmente substituindo as dinamites e a pólvora negra. Diversas formulações foram aperfeiçoadas, proporcionando mais segurança, eficiência e estabilidade aos explosivos modernos.

Comparados aos explosivos antigos, como a dinamite e a pólvora negra, os explosivos modernos possuem características fundamentais, como maior segurança, resistência à água, melhor capacidade de armazenamento e período de latência no furo. Essas características resultaram de um desenvolvimento contínuo, tornando-os essenciais para a indústria atual.

É importante ressaltar que a história dos explosivos ensina lições valiosas. A descoberta do nitrato de amônio como base para os explosivos modernos foi resultado de dois acidentes, demonstrando que nem todas as inovações vêm apenas de estudos científicos, mas também da experiência prática. O conhecimento prático no desmonte de rochas é inestimável, pois não é possível reproduzir em laboratório as complexas condições e os riscos envolvidos na utilização massiva dos explosivos.

Essa reflexão ressalta a importância de buscar um equilíbrio entre teoria e prática no desenvolvimento e utilização de explosivos. Afinal, a segurança é uma preocupação fundamental, e não adianta ter explosivos potentes se não forem manuseados, armazenados e utilizados de forma segura. A história dos

www.blastingtreinamentos.com

explosivos nos lembra que cada avanço é resultado de um processo contínuo e que a busca pela eficiência e segurança deve estar sempre presente nas atividades que envolvem o uso de explosivos.

1.2.7 Acessórios de Iniciação: "Trilhando o Caminho da Detonação"

A evolução dos explosivos não estaria completa sem considerarmos a história dos iniciadores ou acessórios de detonação. Onde temos que, até o século 18, diversos métodos de iniciação foram utilizados, desde penas de ganso e canudos de papel até tubos de madeira preenchidos com pólvora. No entanto, somente após inúmeros acidentes e o uso massivo da Pólvora Negra, no século 19, é que se começou a pesquisar e buscar alternativas mais seguras para sua iniciação.



Assim, em 1830, Moses Shaw patenteou a iniciação elétrica da pólvora negra através do fulminato de prata, permitindo sua iniciação à distância por meio de uma corrente elétrica aplicada. Em seguida, em 1831, William Bickford inventou o estopim de segurança, um tubo flexível plástico com núcleo de pólvora negra, revestido com filmes plásticos, que proporcionava uma queima mais lenta e controlada, permitindo um maior tempo para que se pudesse sair com mais segurança da área antes que ocorresse a detonação.

Outro marco importante foi alcançado em 1867, quando Alfred Nobel inventou a espoleta simples, consistindo em um pequeno tubo de vidro preenchido com pólvora negra e fulminato de mercúrio, que, no século 20, foi substituído pela azida de chumbo.

No início do século 20, em 1913, Cordeau introduziu o cordel detonante com núcleo de TNT, e em 1937, desenvolveu-se o PETN como substituto do TNT no cordel detonante.

Ao longo do tempo, novas tecnologias surgiram, incluindo as primeiras cápsulas de retardo em 1946, com tempos curtos em milissegundos. Em 1973, foi criado o sistema não-elétrico de iniciação pela Nitro Nobel, conhecido como tubo de choque, substituindo as espoletas elétricas e os estopins.

www.blastingtreinamentos.com

A década de 1980 marcou o início dos testes com os detonadores eletrônicos, uma das mais importantes evoluções dos acessórios de iniciação.

Resumidamente, a evolução dos acessórios de iniciação compreendeu o desenvolvimento do estopim, da espoleta, da espoleta elétrica, dos retardos para espoletas, do cordel detonante e do sistema não elétrico. Atualmente, os detonadores eletrônicos são amplamente utilizados e estão em constante aperfeiçoamento, embora os sistemas mais antigos ainda tenham importância histórica e sejam empregados em várias operações.

Essas evoluções dos acessórios de iniciação são prova do contínuo progresso tecnológico na indústria de explosivos. Mesmo com o surgimento de sistemas mais modernos, como os detonadores eletrônicos, é notável que os acessórios mais antigos ainda possuem seu espaço e relevância no cenário atual. O estopim, por exemplo, mesmo sendo um dos primeiros sistemas desenvolvidos, continua sendo utilizado devido à sua simplicidade e confiabilidade em determinadas aplicações. A espoleta elétrica, apesar de menos utilizada por questões de segurança, ainda é encontrada em algumas operações específicas que requerem seu uso. O cordel detonante, por sua vez, desempenha um papel fundamental nos procedimentos de desmonte de rochas, sendo uma das opções mais empregadas para a detonação, e assim, juntamente com o sistema não elétrico, conhecido como tubo de choque, esses acessórios têm sido amplamente utilizados pela eficiência e segurança que proporcionam. O sistema eletrônico, embora seja a vanguarda tecnológica, busca diariamente seu aprimoramento para se tornar uma alternativa mais abrangente e acessível.

Enquanto os acessórios mais antigos como os estopins tendem a ser gradualmente substituídos, é inegável que seu legado histórico e importância no desenvolvimento dos explosivos e acessórios de iniciação devem ser sempre reconhecidos e valorizados. A evolução desses acessórios reflete não apenas o avanço científico, mas também a busca constante pela segurança e eficácia no desmonte de rochas, proporcionando uma compreensão mais completa do trilhar do caminho da detonação ao longo da história.

A compreensão dessa evolução nos permite entender a importância dos acessórios adequados para uma detonação segura e eficiente dos explosivos. Em todo momento, é importante relembrar da história dos explosivos e de seus acessórios, compreendendo suas características práticas e as razões que

www.blastingtreinamentos.com

levaram à sua substituição ou aprimoramento. A segurança e a eficiência no desmonte de rochas são resultado desse constante trilhar do caminho da detonação. A história dos acessórios de iniciação é o testemunho do engenho e perseverança do homem em aprimorar suas técnicas ao longo dos séculos, elevando a eficácia e segurança nas operações de detonação, garantindo um futuro promissor para a indústria de explosivos e sua contínua evolução.

1.3 Generalidades da Aplicação dos Explosivos Cíveis: "A Força que Molda o Mundo"

Poucas vezes paramos para refletir sobre o papel vital que os explosivos desempenham em nossas vidas. A maioria das pessoas desconhece a imensa importância desses compostos no padrão de vida e na tecnologia que desfrutamos. De forma essencial, os explosivos cíveis são fundamentais para liberar os vastos recursos minerais da Terra, que são essenciais para atender às necessidades da sociedade e impulsionar o avanço da civilização.

Nossa vida cotidiana, repleta de bens, tecnologias e facilidades, está diretamente conectada ao uso de explosivos cíveis na extração dos recursos minerais necessários para produzi-los. Desde um simples telefone até uma sofisticada televisão, a produção de nossas casas, carros e roupas, tudo depende desses explosivos para a extração dos minerais que compõem esses objetos.

Caminhando pelas ruas, encontramos obras que utilizaram o desmonte de rochas com explosivos para sua construção, seja em estradas, túneis ou outras edificações. Os utensílios e eletrodomésticos presentes em nossas casas também requerem minerais extraídos por meio do desmonte de rochas com explosivos.

Essa dependência é tão abrangente que, por um momento, podemos imaginar uma coisa que não contenha minerais, como uma fruta. No entanto, rapidamente percebemos que a produção, transporte e até mesmo o consumo dessa fruta envolvem utensílios, ferramentas e equipamentos fabricados a partir da extração de minerais com a utilização de explosivos. Dessa forma, tudo ao nosso redor, direta ou indiretamente, é impactado pela energia liberada por um explosivo.

Antes de explorarmos as aplicações técnicas dos explosivos, é essencial reconhecer a relevância deles para a sociedade. O desmonte de rochas com

www.blastingtreinamentos.com

explosivos é verdadeiramente uma arte que molda o mundo em que vivemos. Suas capacidades permitem a extração de minerais que impulsionam a indústria, possibilitando a fabricação de bens indispensáveis para a nossa rotina. A infraestrutura que sustenta o funcionamento da sociedade moderna ganhou uma nova proporção que só foi possível graças aos avanços proporcionados pela utilização de explosivos.

Esses compostos revolucionaram a indústria e abriram portas para a exploração de minas mais profundas e produtivas, que antes eram inacessíveis. Minerais que outrora não podiam ser extraídos devido à falta de equipamentos adequados encontraram solução no desmonte de rochas com explosivos. Assim, permitiu-se a disponibilidade abundante de produtos da construção civil, possibilitando substituir métodos arcaicos por formas mais eficientes de confecção de materiais.

Desde os primórdios, a indústria dos explosivos cíveis se desenvolveu a partir da descoberta do uso da pólvora para desmonte de rochas. A evolução, especialmente após a invenção da dinamite por Alfred Nobel, proporcionou meios mais potentes e eficientes de extração de recursos, impulsionando a revolução industrial. Os explosivos possibilitaram a construção de grandes obras, como ferrovias, portos, túneis e edificações, abrindo caminho para o progresso e o desenvolvimento de toda a sociedade.

1.3.1 Explosivos Cíveis em Diferentes Aplicações

Ao mencionarmos explosivos, é comum que a primeira associação que venha à mente seja com usos militares. No entanto, no contexto da indústria civil, os explosivos têm uma gama de aplicações muito mais abrangente do que a maioria das pessoas imagina. Embora amplamente utilizados na mineração e demolição de prédios, seu uso vai além dessas aplicações comuns e se estende para diversas outras áreas, algumas das quais surpreendentes até mesmo para aqueles que trabalham com explosivos.

Aplicações diversas dos Explosivos Cíveis:

- **Aeroespacial:** Além dos assentos ejetores e dispositivos de separação para foguetes, os explosivos são usados na liberação controlada de paraquedas e airbags em sistemas de exploração espacial e em lançamentos de espaçonaves.

www.blastingtreinamentos.com

- Agricultura: explosivos são aplicados para a construção de canais de irrigação, drenagem de áreas alagadas e nivelamento de terrenos agrícolas.
- Arte: Grandes eventos artísticos, como shows de fogos de artifício e espetáculos pirotécnicos, contam com explosivos para criar desenhos, formas e cores impressionantes no céu.
- Sistemas de Retenção Automotivos: Além dos airbags, os explosivos são utilizados nos sistemas de retenção veicular para tensionar cintos de segurança em caso de colisão.
- Controle de Avalanche: Explosivos são utilizados para liberar avalanches controladas e garantir a segurança de áreas propensas a deslizamentos.
- Produtos Comerciais e Industriais: Explosivos são usados na produção de produtos comerciais como cartuchos de tinta para impressoras, extintores de incêndio e até mesmo dispositivos de segurança antirroubo.
- Desmilitarização: Além das munições e explosivos antigos, a desmilitarização também envolve a destruição controlada de armamentos e artefatos bélicos em desuso.
- Emergências no Mar: Explosivos são utilizados para criar rotas de escape em navios em perigo ou para desviar o curso de icebergs em áreas de navegação intensa.
- Escavação: Explosivos são aplicados em projetos de escavação de túneis subterrâneos para metrô, sistemas de saneamento e outros projetos de infraestrutura.
- Combate a Incêndio: Além dos métodos já mencionados, os explosivos são usados em dispositivos chamados "bomba de sucção", que são empregados em incêndios de grandes proporções para remover o oxigênio do ambiente e extinguir o fogo.
- Resíduos Perigosos: Explosivos são empregados para neutralizar e destruir certos resíduos tóxicos de forma segura.
- Usos Médicos: os explosivos são aplicados em técnicas médicas para ablação de tumores e em terapias para tratamento de certas condições médicas.
- Trabalhos em Metal: A indústria metalúrgica utiliza explosivos para cortar e conformar peças de metal em operações de corte e soldagem especiais.

- **Revestimento de Metal:** A metalurgia e a indústria aeronáutica usam explosivos para unir camadas de metais em processos de revestimento de superfícies.
- **Perfuração de Poços de Petróleo:** explosivos são usados na perfuração direcional, que permite alcançar reservatórios de petróleo em locais específicos.
- **Efeitos Especiais Teatrais:** Além dos espetáculos pirotécnicos, explosivos são empregados na indústria cinematográfica para criar cenas de ação, colisões controladas e efeitos especiais impactantes.
- **Foguetes:** Os explosivos são a força propulsora fundamental em foguetes espaciais e mísseis.
- **Exploração Sísmica:** Além da prospecção de petróleo, a exploração sísmica é usada para estudar a estrutura geológica do subsolo em projetos de engenharia civil, como a construção de barragens.
- **Luzes de Sinalização:** Explosivos são empregados em dispositivos pirotécnicos utilizados para sinalização em emergências, como faróis e sinais de socorro.
- **Ferrovias:** explosivos são usados na construção e manutenção de ferrovias, como na fixação de trilhos e na remoção de rochas em locais de construção de vias férreas.
- **Rebitagem:** Além das aplicações anteriores, a rebitagem explosiva é utilizada em construções navais e aeronáuticas para união de chapas metálicas de forma eficiente.
- **Compactação do Solo:** Além da construção em larga escala, explosivos são usados na compactação do solo para melhorar sua densidade e resistência em projetos de engenharia geotécnica.
- **Tiro Esportivo:** Além do tiro recreativo, explosivos são utilizados em eventos de recriação histórica, como batalhas encenadas com mosquetes e canhões carregados com pólvora.
- **Soldagem:** Além da aplicação em tubulações, explosivos são usados para soldar componentes de metal de grande espessura em construções navais e industriais.
- **Arqueologia:** Em escavações arqueológicas, os explosivos são utilizados com precisão para remover camadas de solo e revelar sítios históricos de forma cuidadosa.
- **Pesquisa Geofísica:** Na exploração de recursos naturais, como petróleo e minerais, os explosivos são usados para gerar ondas

www.blastingtreinamentos.com

sísmicas que são registradas e analisadas para obter informações sobre a subsuperfície.

- **Demolição Controlada:** Em projetos de demolição de edifícios, pontes e outras estruturas, os explosivos são utilizados para garantir a segurança e o controle do colapso.
- **Energia:** Explosivos são usados em projetos de geração de energia hidroelétrica para escavar túneis e desviar cursos de rios.
- **Reciclagem de Metal:** Em indústrias de reciclagem, explosivos são aplicados para fragmentar peças metálicas grandes e facilitar o processo de reciclagem.
- **Construção de Poços de Água:** Explosivos são utilizados para perfurar poços de água e facilitar a captação de recursos hídricos subterrâneos.
- **Geração de Energia Geotérmica:** Em projetos de energia geotérmica, os explosivos são usados para criar fraturas controladas nas rochas para aumentar a produção de vapor.
- **Testes de Materiais e Componentes:** Explosivos são aplicados em testes de materiais, como componentes automotivos, para avaliar a resistência e o comportamento em situações extremas.
- **Indústria Naval:** Explosivos são utilizados para remover incrustações e limpar cascos de navios, melhorando a eficiência e a economia de combustível.
- **Efeitos Cinematográficos:** Além dos efeitos especiais teatrais, explosivos são empregados em cenas de ação e aventura em filmes e produções cinematográficas.
- **Estudos de Impacto Ambiental:** Em projetos de engenharia ambiental, os explosivos são usados para criar poços de sondagem e coletar amostras de solo e rocha para avaliar o impacto ambiental.
- **Pesquisa Científica:** Em áreas como geologia, geofísica e engenharia, explosivos são utilizados em pesquisas e estudos científicos para obter informações valiosas sobre a Terra e suas características.
- **Renovação Urbana:** Em projetos de renovação urbana, explosivos são aplicados para demolir estruturas antigas e criar espaço para novos empreendimentos.
- **Operações de Resgate:** Em casos de resgate e salvamento, explosivos são usados para abrir passagens em escombros e acessar áreas de difícil alcance.

www.blastingtreinamentos.com

Os exemplos citados anteriormente demonstram a surpreendente amplitude e diversidade do papel dos explosivos civis em nossa sociedade. Desde aplicações tecnológicas avançadas, como exploração espacial, até procedimentos médicos e criação de obras de arte, os explosivos desempenham um papel vital em diversas indústrias e atividades do dia a dia, moldando o mundo em que vivemos e impulsionando o progresso tecnológico e econômico. Sua versatilidade e alcance são destacados ainda mais, abrangendo desde questões práticas e industriais até entretenimento e pesquisa científica, tornando-os fundamentais em muitos aspectos da sociedade moderna.

Uma aplicação digna de destaque é a realização de grandes esculturas, onde explosivos são utilizados de maneira controlada para moldar rostos e formas em monumentos notáveis, como o Monte Rushmore e Crazy Horse, na América do Norte.



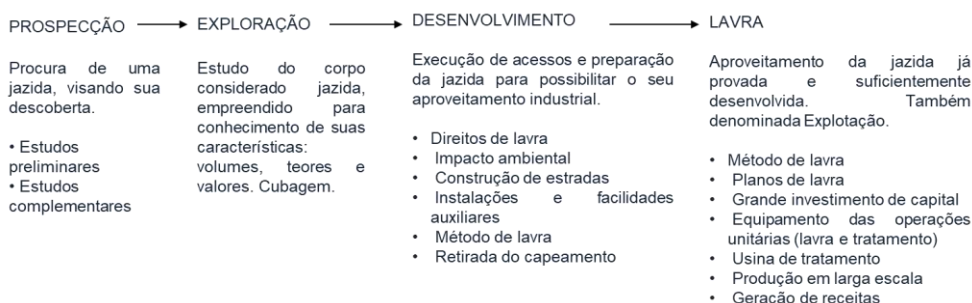
Embora haja uma ampla gama de aplicações dos explosivos civis, duas áreas se destacam pela importância e pelo consumo significativo desses compostos. A primeira é a indústria de infraestruturas ou obras civis, onde os explosivos são empregados para viabilizar e agilizar diversas atividades, desde a construção de estradas e infraestruturas até a abertura de túneis e fundações profundas em rochas. A segunda área é o setor de recursos, especialmente a indústria de mineração, onde em muitas operações, principalmente de rochas duras, o desmonte de rochas com explosivos é a operação unitária básica mais importante, otimizando muitas etapas subsequentes e afetando diretamente a eficiência e os custos de todo o processo. A aplicação dos explosivos nessas duas áreas é semelhante em muitos aspectos, diferenciando-se pela escala e controle das detonações.

Portanto, a versatilidade e a amplitude das aplicações dos explosivos civis são verdadeiramente impressionantes e desempenham um papel vital na moldagem do mundo em que vivemos, dando forma a muita coisa que vemos e detalhes com sua energia muitas vezes imperceptível.

1.3.2 Explosivos na Indústria Mineradora

A mineração é uma das indústrias mais fundamentais e estratégicas para o desenvolvimento econômico e social de uma nação. É por meio da mineração que se obtém os recursos minerais essenciais para a produção de uma ampla variedade de bens e produtos, desde os elementos utilizados na construção civil até os minerais que compõem a tecnologia de ponta.

O processo de mineração começa com a prospecção, uma etapa crucial em que geólogos e engenheiros buscam localizar depósitos minerais promissores. Em seguida, a exploração é realizada para avaliar e mensurar a viabilidade econômica da reserva. Depois, ocorre o desenvolvimento da mina, preparando-a para a extração. Por fim, a lavra é a etapa em que ocorre a extração do minério e sua destinação ao beneficiamento para torná-lo comercializável.



Na mineração, encontramos três classes principais de minerais que podem ser extraídos. Os minerais metálicos, tais como ferro, nióbio, cromo, cobre e chumbo, são amplamente conhecidos e essenciais para as indústrias metalúrgicas e siderúrgicas. Os minerais industriais, como água mineral, calcário, rochas ornamentais, fluorita e feldspato, atendem às diversas demandas da construção civil, agricultura, química e outros setores. Por fim, os minerais combustíveis e/ou energéticos, como carvão mineral, petróleo, gás natural e urânio, são fontes primárias de energia que movem a economia global.

Os métodos de mineração podem ser resumidos em duas categorias principais: a mineração a céu aberto e a mineração subterrânea. A



www.blastingtreinamentos.com

mineração a céu aberto consiste na escavação na superfície, normalmente em encostas ou por meio de cavas. Já a mineração subterrânea é realizada por meio de túneis para acessar o mineral de interesse, utilizando-se uma série de técnicas de escavação para extrair o minério até a superfície.

A escolha do método de mineração depende do tipo de depósito mineral, das características das rochas envolvidas e de fatores econômicos e técnicos. Além disso, é essencial levar em consideração as questões de sustentabilidade e impacto ambiental, garantindo a preservação do meio ambiente e o respeito às comunidades locais.

A lavra, etapa de extração do minério, inclui diversas operações unitárias e auxiliares. Nesse contexto, o desmonte de rochas com o uso de explosivos é de extrema importância e é a principal área de aplicação dos explosivos civis nesse setor. Essa atividade tem como objetivo fragmentar a rocha de forma controlada, permitindo a sua escavação e, assim, viabilizando a extração dos minerais de interesse. Os explosivos desempenham um papel crucial na otimização do processo de desmonte, garantindo maior eficiência, segurança e produtividade, por isso a expertise e o conhecimento técnico dos profissionais envolvidos na manipulação dos explosivos são essenciais para garantir esses resultados.

A indústria mineradora é o principal consumidor de explosivos civis, uma vez que o desmonte de rochas é uma atividade indispensável para a extração dos minerais. Esses recursos minerais são fundamentais para a produção de inúmeros produtos e materiais essenciais para a sociedade moderna. Desde a construção de infraestruturas até a fabricação de equipamentos tecnológicos, a mineração fornece os insumos básicos para diversos setores econômicos. Com avanços tecnológicos e práticas responsáveis, a indústria mineradora continua a desempenhar um papel vital no desenvolvimento sustentável, fornecendo os recursos minerais necessários para o crescimento e prosperidade das sociedades.

1.3.3 Explosivos no Desmonte de Rochas: A Chave para Eficiência e Produtividade

O desmonte de rochas é uma atividade essencial na indústria mineradora e na construção civil, responsável por transformar corpos de rochas em fragmentos para viabilizar a extração e utilização desses materiais. Essa técnica é fundamental para atender a demanda da sociedade por minerais, que são utilizados em diversas indústrias, como metalurgia, construção, energia e muitas outras. Entre as diversas técnicas de desmonte de rochas, os explosivos surgem como uma das principais ferramentas, tornando-se uma verdadeira chave para a eficiência e produtividade desse processo.



Embora existam outras alternativas para o desmonte de rochas, como o desmonte mecânico, hidráulico e a frio, é inegável que os explosivos se destacam como a opção mais versátil e eficiente em diversas situações. Essa eficiência está intrinsecamente relacionada às propriedades dos explosivos e à capacidade que têm de fragmentar grandes volumes de rocha em um curto período de tempo.

Uma das principais razões para a utilização de explosivos no desmonte de rochas é a possibilidade de fragmentar rochas que não sairiam facilmente com a escavação mecânica direta. Em rochas duras e competentes, outras técnicas podem se mostrar limitadas, demandando um esforço considerável para a remoção do material. Nesses cenários, os explosivos são insubstituíveis, pois conseguem quebrar a rocha de forma rápida e econômica, permitindo que o material seja removido de maneira mais viável.

Além disso, o desmonte de rochas com explosivos oferece uma série de vantagens significativas. A rápida fragmentação e distribuição granulométrica adequada facilitam a escavação, manuseio e beneficiamento do material. Essa fragmentação controlada é crucial para otimizar os processos subsequentes, como o transporte e o processamento das rochas extraídas, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

A capacidade dos explosivos de afrouxar e dispor adequadamente o material fragmentado também é um benefício importante. Isso permite que o material seja removido de forma mais eficiente, sem causar danos significativos ao maciço remanescente ou a estruturas próximas ao local de desmonte.

www.blastingtreinamentos.com

Outra vantagem dos explosivos é a sua capacidade de tornar ágil uma série de obras e demolições. Em comparação com outros métodos, como a demolição mecânica, o uso de explosivos pode reduzir significativamente o tempo necessário para a realização dessas atividades. Por exemplo, a demolição de um prédio pode levar dias ou meses com o desmonte mecânico, mas com a utilização de explosivos, a operação pode ser concluída em questão de segundos.

A economia também é um ponto chave a favor do desmonte de rochas com explosivos. A energia liberada pelos explosivos é a forma mais barata e eficaz de fragmentar a rocha, o que torna essa técnica a mais viável para atender às demandas de produção em larga escala. A otimização dos custos é alcançada pela alta produtividade proporcionada pelos explosivos, o que beneficia tanto a indústria mineradora quanto a construção civil.

Apesar das vantagens inegáveis dos explosivos no desmonte de rochas, é importante ressaltar que a sua utilização requer um planejamento cuidadoso, cumprimento de normas e regulamentações de segurança, bem como a adoção de práticas responsáveis para minimizar os impactos ambientais. O emprego responsável dos explosivos é fundamental para garantir a segurança dos profissionais envolvidos e a preservação do meio ambiente.

Conclusão

Ao longo deste capítulo, exploramos os fundamentos dos explosivos civis, mergulhando em sua história fascinante e compreendendo a importância desses materiais para a sociedade moderna. Os explosivos desempenham um papel crucial em uma infinidade de aplicações, desde atividades industriais e construção civil até mineração e demolição.

Desde tempos ancestrais, o ser humano demonstrou sua curiosidade e necessidade de criar artefatos que pudessem liberar energia de maneira controlada e útil. Esse anseio por dominar a natureza levou à invenção dos primeiros explosivos, como a pólvora, que apesar de ter revolucionado a guerra, também abriram caminhos para o desenvolvimento de novas tecnologias ao longo dos séculos.

Com o avanço da ciência e da engenharia, os explosivos foram refinados e amplamente aplicados em diversos setores da sociedade. Na construção civil,

www.blastingtreinamentos.com

esses materiais permitem a criação de estruturas impressionantes, como túneis, pontes e arranha-céus. Nas atividades industriais, são utilizados para fabricar produtos, como fertilizantes e plásticos, que são essenciais para a nossa vida cotidiana. Na mineração, os explosivos são fundamentais, permitindo a extração eficiente de minerais valiosos que impulsionam a economia global. Além disso, possibilitam a criação de poços, túneis e galerias subterrâneas, abrindo caminho para o acesso a recursos naturais antes inatingíveis.

Contudo, essa poderosa ferramenta não vem sem responsabilidade. A manipulação e utilização de explosivos requerem rigorosas medidas de segurança e controle, visando garantir a proteção dos trabalhadores, do meio ambiente e da comunidade em geral. As normas e regulamentos rígidos são essenciais para evitar acidentes e prejuízos.

Os explosivos modernos são resultado de décadas de pesquisa e desenvolvimento, combinando avançadas técnicas de formulação com um profundo entendimento da física dos materiais. A busca contínua por explosivos mais seguros, eficientes e sustentáveis é um desafio para a indústria, que busca conciliar progresso com responsabilidade ambiental. Por isso é fundamental que o leitor tenha em mente a importância de utilizar esses materiais com cautela e conhecimento, buscando sempre o equilíbrio entre o avanço tecnológico e a preservação do meio ambiente.

À medida que nos aprofundamos nos próximos capítulos, exploraremos a diversidade de explosivos existentes, suas propriedades específicas, formas de aplicações, e as melhores práticas de segurança. Com este conhecimento, esperamos que o leitor possa apreciar a magnitude do impacto dos explosivos civis em nossa sociedade e o cuidado necessário para aproveitar plenamente seus benefícios.

Capítulo 2 Conceitos fundamentais dos Explosivos Civis

Introdução

Neste capítulo, adentraremos ao fascinante mundo dos explosivos civis, mergulhando em seus conceitos fundamentais e explorando suas características básicas e essenciais. Nosso objetivo é desvendar os conceitos teóricos dos explosivos e compreender os princípios fundamentais por trás de suas reações durante a detonação. Ao compreender essas bases teóricas, estaremos preparados para explorar as suas propriedades e como elas influenciam no desmonte de rochas, uma atividade vital para a indústria mineral e construção civil.

A jornada de exploração que iniciamos no Capítulo 1 nos conduziu por uma rica história e mostrou-nos o impacto dos explosivos na moldagem do mundo moderno. Agora, aprofundaremos nosso conhecimento nos conceitos iniciais para que possamos entender melhor esses compostos energéticos e suas aplicações em diferentes campos. Os conceitos fundamentais aqui apresentados podem ser, por vezes, negligenciados, mas são essenciais para a compreensão plena das diversas aplicações dos explosivos. Além disso, a correta caracterização dos explosivos nos permitirá selecionar aqueles mais adequados para cada plano de desmonte, garantindo segurança, eficiência e sucesso nas operações.

2.1 Definição

Para iniciar, precisamos entender que os explosivos são substâncias ou misturas de substâncias químicas que possuem a notável capacidade de reagir rapidamente quando iniciados por um agente externo suficientemente energético. Essa reação química leva a uma decomposição acelerada dos explosivos, resultando na geração de uma considerável quantidade de gases, altas temperaturas e na liberação de energia em um curtíssimo espaço de tempo, ocorrendo em uma velocidade extremamente alta.



www.blastingtreinamentos.com

Dentro dessa definição, existem alguns pontos chave que merecem destaque, pois são fundamentais para entendermos o processo de detonação. O primeiro deles é a necessidade de serem iniciados por um agente externo que possua "energia suficiente", e isso é um dos pontos importantes que discutiremos mais detalhadamente mais tarde, quando abordarmos a energia de ativação necessária para iniciar um explosivo.

Seguindo a definição de explosivos, temos que "eles se decompõem quimicamente, gerando uma quantidade considerável de gases". Essa quantidade de gases liberada pelos explosivos é outro ponto chave para o desempenho da detonação. Além disso, esses gases são liberados em alta temperatura, o que é outro ponto importante, pois indica o calor gerado pela detonação. O calor de explosão é uma característica determinante para o desempenho e eficácia dos explosivos, influenciando o comportamento das rochas durante o desmonte.

Outro aspecto relevante é a alta pressão gerada durante a liberação rápida de gases e calor nos arredores do explosivo. Essa pressão é uma das responsáveis por fragmentar as rochas e criar o efeito desejado durante o desmonte, e ela é diretamente influenciada pela velocidade da reação, que também é um fator crítico para definir o que constitui um verdadeiro explosivo, pois a rápida liberação de energia é o que distingue esses materiais de outros combustíveis ou reações químicas.

Essa definição fundamental engloba diversos aspectos essenciais que caracterizam os explosivos e sua aplicação prática. Por isso é importante destacarmos as características chaves dessa reação:

- **Decomposição Rápida:** A característica-chave dos explosivos é a sua decomposição química extremamente rápida. Quando estimulados adequadamente, os explosivos iniciam uma reação em cadeia que se propaga de forma exponencial, liberando uma quantidade extraordinária de energia em um intervalo de tempo quase instantâneo.
- **Produtos Gasosos:** A decomposição dos explosivos gera uma quantidade significativa de gases em relação à massa inicial do explosivo. Esses gases são liberados em alta pressão, contribuindo para o poder destrutivo dos explosivos e sua capacidade de realizar trabalhos como o desmonte de rochas.

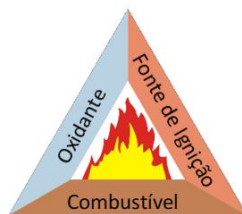
- **Calor de Explosão:** A reação explosiva também produz uma intensa liberação de calor. Esse calor gerado é uma das características determinantes para o desempenho e eficácia dos explosivos, além de influenciar o comportamento das rochas durante o desmonte.
- **Alta Pressão:** A liberação rápida de gases e calor resulta em uma elevada pressão nos arredores do explosivo. Essa pressão, é uma das responsáveis por iniciar o processo de fragmentação da rocha e tem um efeito imperativo principalmente em rochas duras.

Esses pontos chaves são cruciais para entendermos o comportamento do explosivo na detonação e sua influencia no processo de fragmentação da rocha, pois a intensidade de cada um desses pontos vai ditar a forma como o explosivo vai se comportar durante a detonação e ainda mais como ele vai atuar e interagir com a rocha durante esse processo.

2.2 Triângulo do fogo e tetraedro explosivo

Para compreendermos os elementos e suas reações durante a detonação de um explosivo, podemos traçar um paralelo com o processo do fogo, que precisa de três elementos básicos para que sua relação ocorra, que é mais conhecido como o "Triângulo do Fogo". Esse triângulo é composto por três elementos essenciais para a ocorrência da queima: combustível, oxidante e fonte de ignição:

- **Combustível:** Representa a substância química que alimenta a reação, como o diesel, madeira, papel, entre outros.
- **Oxidante:** normalmente para o fogo, o principal oxidante é o oxigênio do ar, mas em alguns casos também podemos ter oxigênio presente em alguma substância química presente no material que está queimando.
- **Fonte de Ignição:** Estímulo capaz de iniciar a reação, como o calor gerado por uma faísca ou chama.



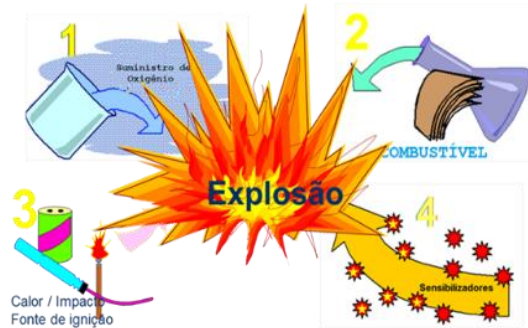
Assim que para que ocorra qualquer processo de queima, é necessário que esses três elementos interagem e se sustentem ao longo da reação. Quando qualquer um desses elementos não está presente ou são retirados do conjunto imediatamente eliminamos a reação, como é o caso de quando

www.blastingtreinamentos.com

abafamos o fogo eliminando o oxigênio ou jogamos água fazendo com que o calor, que a fonte de ignição, seja extinto da reação.

No entanto, quando tratamos das detonações dos explosivos civis que utilizamos no desmonte de rochas, além dos elementos presentes no "Triângulo do Fogo", é essencial considerar a presença de um quarto elemento e por isso normalmente denominamos de "Tetraedro Explosivo", devido a inclusão desse quarto componente:

- **Oxidante:** Os oxidantes são compostos inorgânicos que fornecem o oxigênio necessário para a combustão. O nitrato de amônio (NA) é um exemplo comum de oxidante usado em muitos explosivos industriais. O oxigênio presente no próprio oxidante, juntamente com o oxigênio do ar, reage com o combustível durante a detonação.
- **Combustível:** Em explosivos, o combustível é frequentemente constituído por óleos, como óleo diesel. Essa substância é essencial para a reação, pois fornece a fonte de carbono necessária para a formação dos gases e produtos da explosão.
- **Fonte de Ignição:** É o estímulo externo suficientemente energético que inicia a reação. A fonte de ignição pode ser um detonador, por exemplo, que é capaz de fornecer energia na forma de calor ou onda de choque para iniciar a reação em cadeia dos explosivos.
- **Sensibilizante:** O sensibilizante é o elemento chave que torna o explosivo mais sensível ao início da reação, permitindo que ele seja iniciado de forma controlada. Em explosivos comerciais, é comum usar compostos químicos que geram microbolhas de ar ou gás, ou até mesmo utilizar a porosidade do próprio oxidante, como no caso do nitrato de amônio. Durante a detonação, essas microbolhas ou porosidades são comprimidas, liberando calor e pressão, o que intensifica a reação em cadeia dos explosivos.



www.blastingtreinamentos.com

Um detalhe importante de compreendermos antes de continuar, é que o sensibilizante é um dos principais fatores relacionados à segurança no uso dos explosivos, pois determina a facilidade com que o explosivo pode ser iniciado. É fundamental compreender e controlar essa característica para garantir a eficiência e segurança no desmonte de rochas e outras aplicações industriais. Diferentes tipos de explosivos podem requerer diferentes sensibilizantes, e sua presença e proporção na composição podem ser ajustadas de acordo com a aplicação específica, e vão ser o principal determinante da fonte de ignição necessária para poder iniciar a reação.

Pensando nisso, é importante entender os principais pontos presentes durante a detonação:

- **Iniciação:** A detonação é iniciada por uma fonte de ignição, como um detonador, que fornece energia suficiente para criar uma zona reativa pontual.
- **Reação em Cadeia:** quando a energia liberada na zona reativa pontual é suficiente para ultrapassar o limite de sensibilidade do explosivo, ela inicia uma reação em cadeia que é propagada com a ajuda do sensibilizante presente no explosivo. Essa reação provoca a rápida decomposição do combustível e do oxidante, liberando gases e calor.
- **Onda de Detonação:** A intensidade dessa reação em cadeia cria uma onda de choque que se propaga a uma velocidade supersônica pelo explosivo, comprimindo as microbolhas ou porosidades do sensibilizante, propagando a reação por toda a carga explosiva.
- **Liberação de Energia:** À medida que a onda de detonação se propaga, ocorre a liberação intensa de energia, resultando em altas temperaturas e pressões. Essa liberação rápida de energia é o que torna os explosivos tão poderosos.
- **Fragmentação e Efeito Destrutivo:** A pressão e o calor gerados durante a detonação, assim como os gases em rápida expansão, causam a fragmentação das rochas ou outros materiais ao redor do explosivo, resultando no efeito destrutivo necessário para aplicações como o desmonte de rochas.

É fundamental compreender a complexidade dessa reação para garantir a eficiência e segurança no uso de explosivos. O conhecimento das propriedades dos explosivos, suas características e comportamentos é essencial para planejar e realizar detonações controladas e seguras em

www.blastingtreinamentos.com

diversas aplicações industriais. A correta manipulação dos explosivos e o respeito aos procedimentos de segurança são aspectos críticos para evitar acidentes e maximizar a eficácia das detonações.

Entender os componentes do "Tetraedro Explosivo" e a relação entre eles é crucial para dominar o uso seguro e eficaz dos explosivos no desmonte de rochas e em diversas outras aplicações industriais. É importante sabermos que cada um desses elementos tem um papel na reação e que o balanço correto de cada um deles é o que vai determinar a efetividade da detonação.

2.3 Incêndios explosivos

Antes de seguirmos com os conceitos básicos que envolvem os explosivos e suas aplicações, precisamos aproveitar a relação entre o "triângulo do fogo" e o "tetraedro explosivo" para entender a diferença entre um incêndio convencional, que provoca a queima ou fogo, de um incêndio explosivo, pois essa diferença envolve conceitos de segurança que são fundamentais para a implantação de procedimentos corretos em caso de incidentes desse tipo.

Para isso é importante entendermos que os incêndios explosivos apresentam um comportamento distintivo em relação aos incêndios combustíveis normais, em virtude da química específica dos explosivos envolvidos. Enquanto nos incêndios convencionais é possível prevenir ou extinguir o fogo mediante a eliminação de qualquer um dos elementos do "Triângulo do Fogo", tal abordagem não se mostra eficaz para os incêndios explosivos, pois estes se propagam de forma automática. Por exemplo, ao cobrir um incêndio com uma manta e remover o oxigênio, é possível apagar o fogo, porém, em um incêndio explosivo, eliminar o oxigênio não interrompe a reação, uma vez que os explosivos produzem seu próprio oxigênio como parte da reação química.

É de suma importância destacar os perigos específicos associados aos incêndios explosivos. Ao contrário dos incêndios comuns, nos quais é possível combater o fogo mediante a remoção de um dos elementos do Triângulo do Fogo, os explosivos já contêm todos os componentes necessários para a reação, tornando impraticável separá-los. Portanto, uma vez que a reação de um explosivo é iniciada, ela não cessa até que o material seja completamente consumido.

www.blastingtreinamentos.com

Por esta razão, é crucial compreender que não se deve tentar extinguir o fogo em explosivos. Quando ocorre um incêndio em materiais, estruturas ou depósitos que contenham explosivos, a ordem primordial é a evacuação imediata. Bombeiros ou qualquer equipe de brigada não devem tentar combater o fogo em explosivos. A orientação primordial de evacuação é imperativa.

Em muitos casos, as equipes que lidam com explosivos recebem treinamento de brigada para atuar em situações próximas a explosivos ou em outros locais onde seja possível combater incêndios por meio de princípios distintos, mas deve-se destacar que isso deve ser feito apenas antes do incêndio atingir os explosivos ou o ambiente em que ele se encontra. Por exemplo, quando um material ou instalação próxima a um depósito de explosivos pega fogo, pode ser necessário combater esse fogo a fim de evitar que se alastre para o depósito. No entanto, uma vez que o fogo adentre o depósito ou se aproxime do material explosivo, a evacuação imediata é a medida prioritária.



É imprescindível estar vigilante e evitar qualquer fonte de calor ou estímulo que possa servir como iniciador para os explosivos, além de afastar qualquer fonte de fogo que possa surgir nas proximidades dos explosivos. A prevenção é fundamental para evitar acidentes graves e garantir a segurança no manuseio de explosivos.

A compreensão da distinção entre o fogo e os explosivos, onde o fogo utiliza oxigênio do ar enquanto os explosivos já contêm o oxidante necessário para sua reação, é essencial para compreender os princípios de segurança na detonação de explosivos e os pontos críticos que envolvem a reação de detonação.

2.4 Produtos químicos da reação

Ao considerarmos a natureza química dos explosivos, torna-se fundamental abordar os produtos gerados como resultado de suas detonações. É notório que os explosivos comerciais, em sua maioria, são compostos por elementos químicos como carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Vale ressaltar que

www.blastingtreinamentos.com

esses elementos são amplamente encontrados em nossa atmosfera terrestre, o que confere um caráter peculiar às reações explosivas.

Durante uma detonação controlada, a reação química que ocorre dentro do explosivo resulta na liberação de gases. É notável, no entanto, que, quando a reação transcorre de maneira adequada e eficiente, os produtos gerados são predominantemente compostos por gases inócuos e comuns, os quais não apresentam ameaças à integridade do meio ambiente ou à saúde humana.

Os produtos gasosos resultantes de uma detonação corretamente conduzida incluem, entre outros, vapor d'água, dióxido de carbono, nitrogênio, amônia e metano. Tais gases são componentes naturais da atmosfera terrestre e não apresentam características prejudiciais.

No entanto, é crucial reconhecer que, quando a detonação não se processa de forma ideal, ou seja, quando ocorre um desequilíbrio químico, a geração de gases tóxicos pode se manifestar. Os dois principais exemplos de gases tóxicos que podem surgir a partir de detonações mal sucedidas são o monóxido de carbono e os gases nítricos.

O monóxido de carbono (CO), em especial, é um gás inodoro e insípido que pode representar uma ameaça significativa à saúde humana, pois sua inalação interfere na capacidade do sangue de transportar oxigênio, levando a sintomas como tontura, náusea, confusão mental e, em casos graves, pode ser fatal.

Os gases nítricos (NOx), por sua vez, são compostos químicos resultantes da combinação de nitrogênio e oxigênio. Esses gases também podem ser tóxicos e representam um risco para a saúde. Sua exposição pode causar irritação nas vias respiratórias, olhos e pele, além de possíveis impactos na saúde a longo prazo.



Portanto, a análise dos produtos químicos gerados pelas detonações é uma preocupação central na utilização de explosivos. A busca pela geração controlada de gases inofensivos é um objetivo intrínseco à prática segura de detonações. Evitar a formação de gases tóxicos não apenas resguarda a saúde dos profissionais envolvidos, mas também indica a eficácia e o equilíbrio da

www.blastingtreinamentos.com

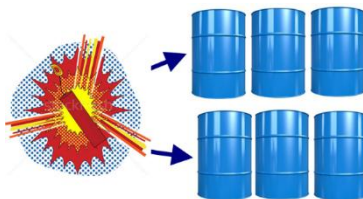
reação explosiva, ou seja, se considerarmos que um explosivo tem sua composição química corretamente balanceada, qualquer emissão de gases tóxicos como CO ou NOx indica que tivemos uma reação ineficiente afetando o desempenho do explosivo durante a detonação.

O estudo detalhado dos gases gerados por explosivos e a compreensão das implicações dos produtos químicos resultantes são aspectos essenciais para garantir a segurança e a eficiência das detonações. O entendimento das reações químicas subjacentes permite o planejamento e a execução de operações de detonação que minimizam impactos ambientais, protegem a saúde humana e otimizam a performance nos mais variados cenários industriais.

2.5 Expansão gasosa

Uma das características intrínsecas dos explosivos reside na sua capacidade de liberar quantidades substanciais de gases durante a reação de detonação.

A fim de compreender o efeito comparativo da quantidade de gás gerada por um explosivo, é essencial examinar o caso da detonação de 1 kg de explosivo, considerando os principais tipos industriais. Tal detonação resulta na produção de uma quantidade que varia



entre 800 a 1200 litros de gases, em temperaturas que excedem os 3000 graus Celsius. Esta proporção equipara-se aproximadamente a 4 a 6 barris de 200 litros cada, gerados durante a detonação de 1 kg de explosivo.

Sob esta perspectiva, mesmo a detonação de uma quantidade aparentemente modesta, tal como 1 kg, dentro do contexto do desmonte de rochas, conduz à liberação de um volume de até 1200 litros de gases. Caso consideremos a possibilidade de detonar quantidades como 10 kg, 100 kg ou mesmo mais de 1000 kg, torna-se notório o imenso volume de gases gerados durante a detonação, que podem contribuir para o trabalho de fragmentação de rochas ou também podem representar um alto potencial de risco e impactos ambientais.

www.blastingtreinamentos.com

Este processo de liberação de uma alta quantidade de gases induz uma força que se projeta em todas as direções, compelindo as rochas a se adaptarem. Que por sua vez podem causar a ruptura da rocha ao seu redor ou encontrar um caminho de escape sendo expelidos por ele com grande pressão, desperdiçando sua energia ou elevando o potencial de risco. Este fenômeno constitui o elemento primordial desempenhado pelos gases no processo de desmonte de rochas e a sua relação ao conceito de confinamento, que veremos mais a frente, é fundamental para maximizar o aproveitamento durante esse processo.



O entendimento pleno da expansão gasosa é imprescindível para uma compreensão abrangente da dinâmica da fragmentação de rochas. Os gases liberados durante a detonação exercem uma influência decisiva na quebra e deslocamento das rochas, definindo a geometria final dos fragmentos produzidos. Essa característica não apenas molda a eficácia das operações de desmonte, mas também impacta diretamente aspectos práticos, incluindo a otimização da produção, o controle das vibrações, a mitigação dos impactos ambientais e a garantia da segurança operacional.

Em síntese, a expansão gasosa emerge como uma força central na mecânica subjacente ao desmonte de rochas, constituindo a transformação do potencial energético dos explosivos em movimento, pressão e fragmentação. Aprofundar o entendimento deste fenômeno possibilita a concepção de projetos mais eficazes e detonações mais precisas, minimizando efeitos indesejados e otimizando a eficácia da fragmentação.

2.6 Calor da explosão

Uma característica que merece nosso enfoque é o calor liberado durante a explosão, ou seja, a energia térmica gerada por meio da reação química que ocorre na detonação do explosivo. Essa energia térmica, em geral, varia entre 400.000 e 1,6 milhão de calorias durante a detonação.

A detonação de explosivos produz uma quantia substancial de energia térmica, desempenhando um papel vital no processo de fragmentação de rochas. Normalmente, o calor gerado pela reação química contribui para o

www.blastingtreinamentos.com

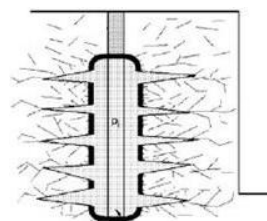
início do processo de trituração das rochas que estão em contato direto com o explosivo, especialmente na região onde a geração de partículas finas é mais intensa no processo de desmonte. Essa característica se mostra particularmente relevante em operações que demandam uma produção maior de partículas finas, especialmente em rochas de alta dureza.

Embora a maior parte da energia gerada durante a detonação seja convertida em gases, choques mecânicos e movimento, parte dela se manifesta como calor. Esse calor contribui para elevar a temperatura das rochas circundantes, resultando em dilatação térmica e acúmulo de tensões internas, além desse calor contribuir diretamente com a expansão gasosa. No momento em que essas tensões são liberadas, fragmentos de rocha podem se deslocar, permitindo ademais a penetração dos gases e contribuindo para a fragmentação adicional das rochas.

Assim, o calor gerado durante a detonação de explosivos acrescenta um componente térmico fundamental ao processo complexo de fragmentação. Compreender como essa energia térmica interage com outros fatores, como a expansão gasosa e a propagação de ondas de choque, é essencial para uma análise abrangente das dinâmicas envolvidas na detonação controlada de rochas. A harmonização desses elementos contribui para a elaboração de projetos de desmonte mais eficientes, resultando em fragmentação controlada e otimizada para uma variedade de aplicações.

2.7 Pressão

A pressão é um dos aspectos fundamentais no contexto da detonação de explosivos e desempenha um papel crucial na fragmentação de rochas. Trata-se da força exercida por uma área específica, representando a intensidade da distribuição de força sobre uma superfície determinada. Essa compreensão é essencial para avaliarmos o impacto que os explosivos têm nas formações rochosas e como eles são efetivamente utilizados em aplicações de engenharia.



No cenário da detonação, a pressão é gerada devido a diversos fatores, incluindo a velocidade da reação química e a rápida liberação de gases. Ao

www.blastingtreinamentos.com

analisarmos os principais explosivos industriais, identificamos pressões que podem chegar a valores impressionantes, da ordem de 200.000 kg por centímetro quadrado.

Como mencionado em tópicos anteriores, a detonação de uma quantidade relativamente pequena de explosivo, por exemplo, 1 kg, pode resultar na transformação quase instantânea em cerca de 1200 litros de gases. A rápida velocidade de reação dos explosivos, que os transforma em gases a altas temperaturas, induz um pico inicial de pressão na rocha, que exerce forças significativas no material circundante. Além disso, durante as expansões dos gases, eles continuam a exercer pressão no espaço interno do furo, representando duas das principais forças de pressão que atuam na detonação.

A pressão resultante tem um papel determinante na fragmentação das rochas. A onda de choque gerada pela detonação propaga-se pela rocha, criando forças intensas que levam à quebra e fragmentação do material. Além disso, a pressão contribui para a liberação de fragmentos, o deslocamento do material e a criação de fraturas, processos essenciais para um desmonte controlado e eficaz.

A pressão influencia diretamente a eficácia da fragmentação, a distribuição dos fragmentos resultantes, o controle de vibrações, a segurança nas operações e os possíveis impactos ambientais. A compreensão detalhada da pressão como uma força determinante na detonação é essencial para a realização de desmontes eficazes e seguros em aplicações de engenharia civil e de mineração.

2.8 Energia de ativação

Um dos aspectos fundamentais na compreensão dos explosivos é a necessidade de uma fonte externa de ativação e que essa precisa ser suficientemente energética para desencadear a reação de detonação explosiva. Esse conceito é conhecido como energia de ativação, que representa a quantidade mínima de energia necessária para iniciar a reação, ou seja, dar início ao processo de decomposição química e, consequentemente, provocar a detonação.

A compreensão profunda desse conceito de energia de ativação desempenha um papel central, pois é essencial para determinar a energia mínima

www.blastingtreinamentos.com

necessária para iniciar nossos explosivos. Esse conceito vai estar diretamente relacionado a sensibilidade do explosivo, assim como ao acessório recomendado para sua iniciação.

Como mencionamos anteriormente, a sensibilidade do explosivo é quem vai determinar o nível de energia de ativação necessária para sua iniciação, mas ao mesmo tempo quando olhamos de forma inversa para esse conceito, temos o que chamamos de estabilidade do explosivo, que é o nível de segurança que um explosivo tem contra o risco de uma detonação acidental.

Esse conceito de estabilidade também é diretamente proporcional ao nível de energia de ativação necessário para iniciar o explosivo. Quanto maior a estabilidade do explosivo, menor sua sensibilidade, e, consequentemente, maior a quantidade de energia de ativação requerida. Por outro lado, quanto menor a estabilidade, maior a sensibilidade do explosivo, diminuindo a energia de ativação necessária para iniciar a reação.

É fundamental compreender que esses conceitos estão intrinsecamente conectados: sensibilidade, estabilidade e energia de ativação do explosivo. Assim podemos afirmar que a sensibilidade é inversamente proporcional à estabilidade. Quanto maior a sensibilidade, menor a estabilidade, e vice-versa. Essa relação inversa é essencial para o entendimento do comportamento dos explosivos.

Os explosivos são, essencialmente, produtos químicos de baixa estabilidade, o que muitas vezes os torna suscetíveis a iniciar de forma rápida, como vimos no capítulo passado um exemplo típico é a nitroglicerina, que é um explosivo extremamente potente, mas que é muito instável e facilmente pode ser acionado, o que a torna perigosa desde a fabricação até o manuseio, sendo, portanto, descontinuada e substituída pela dinamite, que por ser mais estável apresenta maior segurança, mas também necessita de uma energia maior de ativação para ser iniciada, como um detonador.

Quando observamos os explosivos modernos utilizados atualmente, notamos que, durante o desenvolvimento desses materiais, uma das principais características evoluídas foi a estabilidade, proporcionando maior segurança em termos de fabricação, armazenamento e manuseio.

Assim é imperativo termos em mente, que apesar dos explosivos serem naturalmente compostos químicos com baixa estabilidade, possuem um nível

www.blastingtreinamentos.com

mínimo de energia de ativação que precisa ser ultrapassado para que ocorra a detonação, e que esse nível vem aumentando nos explosivos mais modernos para garantir a sua segurança, assim como os dispositivos iniciadores vem sendo aperfeiçoados para poderem fornecer essa maior energia de ativação de uma forma mais segura e controlada.

Portanto, quanto maior a estabilidade do explosivo, ou seja, menor sua sensibilidade, maior a resistência à iniciação, tornando-o mais seguro contra possíveis detonações acidentais. Um ponto importante é que o objetivo não é que o explosivo detone por acidente, mas sim que ele detone no momento adequado, ou sendo mais direto, que ele acione no momento em que se deseja realizar a detonação.

Saber a forma correta de iniciar um explosivo não só garante a sua segurança, mas também o melhor aproveitamento da energia liberada na sua detonação, garantido que ela será utilizada de forma mais eficiente no processo de desmonte de rochas.

2.9 Estimulo de iniciação

Pensando na energia de ativação, ou seja, no estímulo de iniciação necessário para detonação de um explosivo podemos considerar que ele pode ocorrer de forma acidental ou intencional, mas independentemente da natureza acidental ou proposital, podemos categorizar esses possíveis estímulos em cinco tipos principais:

- O primeiro deles é o **estímulo mecânico**, exemplificado por impactos. Se esse estímulo exceder a energia mínima de ativação do explosivo, pode desencadear o processo de detonação.
- Em seguida, temos a **energia elétrica**, que, por meio de descargas elétricas ou resistências aquecedoras, pode provocar a detonação de um explosivo.
- Temos também o **estímulo térmico**, cujos principais exemplos incluem faíscas ou chamas. Quando em contato com o explosivo, esses estímulos podem iniciar a detonação, caso ultrapassem a estabilidade do explosivo.
- O quarto tipo de estímulo é a **energia de choque**, que pode ser gerada por um detonador ou mesmo por um projétil de alta velocidade. De

forma similar aos estímulos anteriores, se a energia de ativação for excedida, ocorrerá a detonação do explosivo.

- Por fim, temos o último tipo de estímulo, mais raro, representado pela **energia radioativa**. Exemplos incluem energia eletromagnética ou nuclear, embora não seja utilizada intencionalmente, podendo ocorrer acidentalmente.

Independentemente do tipo de estímulo utilizado para iniciar o explosivo, o que mudará é a forma e intensidade do estímulo, impactando a reação de detonação do explosivo. Além disso, o ambiente no qual o explosivo se encontra também pode afetar a sua sensibilidade e os níveis de cada um desses efeitos gerados pela detonação.

Conhecer os possíveis estímulos e os níveis necessários para iniciar os explosivos são fundamentais na determinação dos procedimentos de fabricação, armazenagem e manuseio de cada tipo, assim como para determinar qual a melhor e mais segura forma de inicia-los.

2.10 FISH

Quando se discute os estímulos capazes de desencadear reações explosivas, aborda-se o conceito de FISH, sigla que representa os nomes em inglês dos quatro principais estímulos que devem ser evitados ao manipular explosivos. Onde o "F" refere-se a FRICTION (Atrito), o "I" a IMPACT (impacto), o "S" a STATIC (energia estática) e o "H" a HEAT (calor). Esses quatro estímulos constituem as principais ameaças que não devem ser negligenciadas ao manusear explosivos, uma vez que podem levar a uma iniciação não intencional.



• Friction = Atrito



• Impact = Impacto



• Static = Energia Estática



• Heat = Calor

É imprescindível assegurar que os explosivos não sejam submetidos a FRICTION (fricção), IMPACT (impacto), STATIC (estática) ou HEAT (calor); ou seja, nenhum "FISH" deve ser permitido em relação aos explosivos, uma vez que qualquer exposição inadequada pode resultar em sérias consequências. É importante salientar que o explosivo pode ter níveis de sensibilidade distintos a cada um desses possíveis estímulos, assim que conhecer bem as propriedades de cada explosivo é fundamental para saber qual os principais

www.blastingtreinamentos.com

mecanismos de segurança que devem ser implementados durante a sua manipulação.

Os princípios fundamentais de todos os procedimentos de segurança no manuseio de explosivos estão relacionados à garantia de que os explosivos não sejam expostos a eventos que possam desencadear qualquer um dos estímulos FISH. Isso ocorre porque, caso um desses estímulos ultrapasse o limite de estabilidade dos explosivos e gere a energia mínima de ativação necessária, poderá ocorrer a iniciação acidental de um explosivo.

Dessa forma, destacam-se dois pontos essenciais no contexto da segurança no manuseio de explosivos. Em primeiro lugar, a utilização de explosivos cada vez mais estáveis, que exijam altas energias de ativação. Em segundo lugar, é necessário manter atenção redobrada para que, durante o manuseio, os explosivos não sejam expostos a nenhum dos estímulos FISH. Deve-se manter extrema cautela durante o manuseio, uma vez que, embora se conte com explosivos muito estáveis nos dias atuais, e isso continue a evoluir constantemente, os principais acidentes ocorridos foram resultado de práticas que expuseram os explosivos a estímulos FISH durante o manuseio, como por exemplo passar com o veículo encima de uma carga explosivo ou queimar o explosivo para destruir as sobras que não foram utilizadas.

2.10.1 Atrito

O primeiro estímulo que merece atenção é o atrito, uma força que se manifesta quando duas superfícies entram em contato. Por exemplo, ao esfregar as mãos, ocorre um aumento de temperatura decorrente do atrito entre as superfícies. Outros exemplos incluem a caminhada, na qual a força de atrito entre o pé e a superfície impulsiona o movimento, e ao acender um fósforo, onde o calor gerado pelo atrito provoca a ignição.



Quando observado em escala microscópica, podemos identificar pontos quentes gerados quando as superfícies interagem. Assim, sentimos o aumento de temperatura nas mãos durante o atrito, sendo que a intensidade do calor é proporcional à força e velocidade aplicadas.

Quando um explosivo entra em contato com energia proveniente do atrito, seja devido a quedas e arraste no solo ou inserção em um motor, há um risco

www.blastingtreinamentos.com

potencial de detonação acidental. É essencial evitar situações que exponham explosivos a essa energia, pois, se a energia de atrito exceder a energia de ativação mínima, a detonação pode ocorrer.

Torna-se crucial compreender as características dos explosivos, uma vez que cada um pode apresentar limites específicos de sensibilidade ao atrito. Um exemplo é quando explosivos bombeáveis são submetidos ao processo de bombeamento, normalmente projetado para esse fim. No entanto, é fundamental manter a vigilância, pois situações como a presença de corpos estranhos na bomba podem gerar atrito suficiente para ultrapassar a sensibilidade ao atrito do explosivo, levando à detonação. Nesse contexto, a manutenção adequada das bombas, bem como a eliminação de peças soltas, é essencial para evitar que os explosivos sejam expostos a esse tipo de estímulo.

Existem diversas outras situações que podem gerar atrito, como a roda de um veículo passando por cima de um explosivo, e assim devido as diversas possibilidades que estão sujeitos a manusear os explosivos é que gera à necessidade de analisar cuidadosamente o ambiente de trabalho e a abordagem na manipulação dos explosivos, a fim de garantir que eles não sejam submetidos a tensões indevidas, elevando o risco e a possibilidade de detonações acidentais.

2.10.2 Impacto

O segundo estímulo relevante é o impacto, que denota a força resultante do encontro de dois objetos. Esse evento pode ser ocasionado pela ação de um objeto colidindo com outro ou pela colisão entre dois objetos. No nível microscópico, é importante notar que um impacto também gera calor entre os objetos envolvidos. No contexto de explosivos, se esse calor exceder a energia de ativação do explosivo, a detonação será desencadeada.



Um exemplo clássico de impacto ocorre quando se utiliza um martelo para fixar um prego ou para golpear um objeto. Se o impacto for repetido, pode-se observar o objeto aquecendo. Ao tocar um prego após golpeá-lo várias vezes, é perceptível que ele estará aquecido devido aos impactos sofridos.

www.blastingtreinamentos.com

Em superfícies macias, parte da energia de impacto é absorvida pelo objeto, enquanto em superfícies duras, a geração de energia é mais intensa. O mesmo princípio se aplica quando se solta um objeto. Se o objeto ou a superfície forem macios, por exemplo, ao deixar algo cair sobre uma cama, a parte macia absorverá parte da energia, resultando em menor geração de calor, ruído e energia. Portanto, superfícies macias tendem a absorver impactos.

É crucial tomar medidas para evitar que os explosivos sofram impactos, quedas ou colisões com outros objetos, a fim de garantir que não ultrapassem sua sensibilidade ao impacto, prevenindo detonações indesejadas. Assim como no caso da fricção, diferentes explosivos terão diferentes resistências ao impacto, e deve-se manuseá-los com precaução, conhecendo seus limites para evitar esforços inadequados que poderiam resultar em detonação prematura.

Para tal, é necessário estar constantemente atento aos materiais e ferramentas que utilizamos, bem como controlar velocidades, alturas e equipamentos móveis que possam se aproximar dos explosivos. Onde o objetivo primordial deve ser minimizar qualquer evento que possa gerar energia de impacto ou fricção contra nossos explosivos.

2.10.3 Energia Estática

O terceiro fator a ser considerado é a energia estática, que se refere ao excesso de carga em repouso. Esse fenômeno é mais evidente em condições de baixas temperaturas, onde pequenas descargas podem ser sentidas ao entrar em contato com superfícies, como cobertores, por exemplo. Além disso, um experimento comum envolve cortar pedaços de papel e, em seguida, passar um pente pelo cabelo para fazer com que os pedaços de papel se prendam ao pente. Isso ocorre devido à transferência de energia estática do corpo humano para o pente, por meio do atrito, permitindo que o papel seja atraído.



Portanto, a energia estática representa um excesso de carga em repouso presente em objetos, incluindo o corpo humano. Explosivos podem ser iniciados por essa energia, sendo necessário evitar exposições a contatos que possam gerar energia estática suficiente para ultrapassar a energia de ativação e desencadeá-los.

www.blastingtreinamentos.com

Um exemplo comum de controle de energia estática é a utilização de dispositivos de descarga eletrostática nas entradas de depósitos de explosivos, que devem ser usados antes de acessar essas áreas. Além disso, equipamentos utilizados para transporte ou aplicação de explosivos devem ser devidamente aterrados, a fim de evitar o acúmulo de energia estática.

De maneira geral, acessórios e, especialmente, detonadores são mais sensíveis à energia estática, sendo fundamental tomar precauções para evitar situações de risco. Essa preocupação foi um dos motivos para a redução do uso de detonadores elétricos, levando ao desenvolvimento de diferentes tipos de detonadores, como os insensíveis e altamente insensíveis, que apresentam maior resistência a esse tipo de estímulo.

Uma das práticas recomendadas para o manuseio de explosivos é o uso de calçados antiestáticos, a fim de evitar o acúmulo de energia no corpo e sua transferência para os explosivos. Há relatos de diversos acidentes envolvendo detonadores elétricos, indicando que eles podem detonar nas mãos dos trabalhadores durante o manuseio.

Vale destacar que a energia estática também pode causar danos a componentes eletrônicos. Portanto, mesmo que os detonadores eletrônicos sejam mais seguros para iniciar explosivos em relação à energia estática, ainda há o risco de danificá-los, comprometendo a detonação. A rigorosa implementação de procedimentos de controle minimiza a probabilidade de exposição a esses tipos de estímulos.

2.10.4 Calor

O quarto estímulo relevante é o calor. Calor é o termo utilizado para descrever a transferência de energia térmica de um sistema para outro, ou entre partes do mesmo sistema, principalmente por meio da transferência de temperatura, onde o sistema com maior calor transfere parte dessa energia para o sistema com menor temperatura. Em uma escala microscópica, como mencionado anteriormente, todos os eventos FISH são, na verdade, causados pelo calor, uma vez que o atrito, o impacto e a energia estática geram calor à medida que estimulam objetos durante suas ocorrências.



www.blastingtreinamentos.com

No entanto, o calor direto também representa uma fonte de estímulo que deve ser controlada, principalmente devido à natureza instável dos explosivos. Eles podem sofrer decomposição química iniciada por eventos físicos, como é o caso do calor.

Quando os explosivos sofrem decomposição devido ao calor, a própria reação de decomposição química dos explosivos libera mais calor, acelerando ainda mais a reação até que o explosivo detone completamente. É por isso que, quando os explosivos entram em ignição, tendem a aumentar sua temperatura até a detonação, poder isso a regra padrão é não combater incêndios em materiais explosivos.

Outro aspecto a ser considerado é que os explosivos não requerem uma chama para se decompor; o simples contato com superfícies quentes pode desencadear a reação de um explosivo. Como exemplo, temos o ensaio de teste de temperatura com a nitropenta, em que uma pequena amostra de PENT é colocada em uma superfície metálica e aquecida até determinar a temperatura de início da reação (Pile Test), onde a referência padrão é que essa inicia em poucos segundos quando submetido a temperaturas acima de 202 graus Celsius. Alguns explosivos podem até iniciar sua reação de decomposição em temperaturas mais baixas quando submetidos a períodos mais longos, evidenciando a liberação de gases e o início da reação.

Além disso, o confinamento é outro fator a ser considerado. Quando os explosivos estão confinados e sob pressão, sua sensibilidade aumenta, tornando-os mais suscetíveis e facilitando a ação desses estímulos.

É crucial mencionar que diferentes explosivos apresentam resistências diversas em relação ao aquecimento e ao contato com a chama. Um exemplo típico é a pólvora, que inflama com o contato direto com a chama, mas necessita de altas temperaturas para ser ativada quando em contato apenas com um objeto quente.

2.11 Velocidade de reação

A velocidade de reação é um fator de extrema relevância quando tratamos de explosivos, sendo uma característica essencial que influencia diretamente a forma como esses materiais se comportam em diferentes contextos. Essa compreensão aprofundada da velocidade de reação é fundamental para

www.blastingtreinamentos.com

garantir a segurança e a eficácia das detonações, bem como para otimizar os resultados em aplicações de desmonte de rochas e em outras atividades que envolvam explosivos.

Quando analisamos a velocidade de reação dos explosivos, observamos que ela está diretamente ligada às suas propriedades intrínsecas e às condições ambientais em que são empregados. Essa característica é especialmente evidente ao considerarmos os três estágios de velocidade que um explosivo pode apresentar: combustão, deflagração e detonação.

- A **combustão**, por exemplo, ocorre em uma velocidade mais lenta, caracterizando-se por uma reação contínua e gradual. Essa é a forma mais branda de reação dos explosivos, comparada aos outros estágios. Ela é observada em situações como incêndios, onde o material explosivo libera energia térmica de maneira mais controlada.
- A **deflagração**, por sua vez, apresenta uma velocidade intermediária, sendo uma forma mais rápida de reação do que a combustão, mas ainda não atingindo a extrema velocidade da detonação. Esse estágio é comumente observado em explosões menos intensas, como em fogos de artifício, onde há uma rápida liberação de energia luminosa e sonora.
- A **detonação**, por sua vez, representa o estágio de maior velocidade e intensidade de reação. Nesse caso, a reação ocorre a uma velocidade extremamente alta, liberando uma quantidade significativa de energia em um intervalo de tempo muito curto. Essa é a forma mais poderosa de reação dos explosivos, sendo utilizada em aplicações onde é necessário um efeito explosivo intenso, como em demolições controladas ou detonações em minerações.

É crucial entender que a velocidade de reação pode variar de acordo com as características específicas de cada explosivo, bem como em função das condições do ambiente em que são utilizados. Essa variação é um dos motivos pelos quais é fundamental conhecer as propriedades dos explosivos que estamos utilizando, a fim de garantir que estejam adequados para a aplicação desejada.

Também é importante considerar que fatores como iniciação, confinamento e contaminação podem influenciar a velocidade de reação dos explosivos. O

www.blastingtreinamentos.com

controle desses elementos é fundamental para evitar resultados indesejados, como detonações prematuras ou ineficazes.

2.11.1 Combustão

O primeiro estágio que consideramos, no contexto da velocidade de reação, é o da combustão, que é um processo de decomposição que se propaga por condutividade térmica e apresenta uma velocidade relativamente baixa, variando de poucos centímetros por segundo a um máximo de 300 metros por segundo. A velocidade dessa reação depende tanto do tipo de combustível quanto da quantidade de oxigênio disponível.



Exemplos clássicos de combustão incluem a queima de materiais como madeira, papel e até mesmo gasolina. É importante ressaltar que para que a combustão ocorra, são necessários três componentes essenciais: oxigênio, combustível e uma fonte de calor. A remoção de qualquer um desses elementos resultará na extinção da reação. O oxigênio está normalmente presente na atmosfera, e a maioria das reações de combustão se propaga por meio do contato com a chama.

Portanto, podemos afirmar que a combustão constitui o primeiro estágio em relação à velocidade de reação, sendo a queima de materiais combustíveis o exemplo mais comum, e essa etapa está intrinsecamente ligada à disponibilidade de oxigênio presente no ar.

Embora não seja uma velocidade de reação típica dos explosivos, temos, por exemplo, alguns explosivos, que quando possuem baixo desempenho, podem apresentar velocidades mais lentas e, por vezes, quando necessário realizar a destruição de certos tipos de explosivos é comum utilizar técnicas que envolvam a combustão para isso.



2.11.2 Deflagração

O segundo estágio a ser considerado em relação à velocidade de reação é a deflagração, que é caracterizada por ocorrer a uma velocidade variando de

www.blastingtreinamentos.com

300 metros por segundo a 1000 metros por segundo, sendo classificada como uma velocidade de reação mais rápida.

No processo de deflagração, tipicamente observamos um aumento na temperatura devido à própria reação, bem como um aumento na pressão associado ao incremento na velocidade da reação. Portanto, as características distintivas deste processo em relação à combustão incluem uma velocidade superior, assim como o acréscimo de temperatura e pressão durante a reação.

Um exemplo clássico de deflagração é a pólvora, que, em condições ambientais, geralmente mantém uma velocidade de reação inferior a 1000 metros por segundo. Nesse processo, a propagação ocorre por condução térmica, onde cada partícula que reage transmite calor para a partícula adjacente, permitindo que a reação prossiga.

As substâncias que deflagram em sua composição possuem elementos combustíveis e oxidantes, não necessitando do oxigênio do ar, o que é uma das razões pelas quais a deflagração atinge uma velocidade superior à da combustão. Outra característica relevante é a produção de uma onda de choque insignificante, que, ao contrário do processo de detonação, não interfere de forma significativa na reação. Portanto, durante a combustão, não há ocorrência de ondas de choque, enquanto na deflagração, essa onda possui baixa relevância, não causando impactos acentuados no processo.



Deflagrações geralmente são acompanhadas por chamas, faíscas e partículas quentes, sendo que esses elementos são responsáveis pela transmissão da temperatura gerada durante a reação.

Um ponto curioso a se observar sobre a deflagração é que a maioria dos "incêndios" que iniciam com uma chama e culminam em uma explosão constitui, na verdade, uma deflagração. Isso ocorre porque o calor gerado provoca o início da reação de decomposição, elevando a temperatura e pressão interna até o ponto de ocorrência da explosão. Portanto, mesmo em situações em que explosivos estão presentes em um incêndio, é mais provável que ocorra uma deflagração do que uma detonação, principalmente devido ao processo de iniciação lenta e de baixa energia, no qual a detonação costuma ocorrer apenas quando se dispõe de quantidades consideráveis de

www.blastingtreinamentos.com

explosivos que, ao serem acionados, conseguem iniciar o restante do explosivo presente no local.

2.11.3 Detonação

Por fim, chegamos à última etapa: a detonação. A detonação é uma reação de decomposição altamente violenta que resulta na produção de uma onda de choque em uma velocidade supersônica. Para se qualificar como uma detonação, a velocidade da reação deve ocorrer na faixa de 1.000 a 8.000 metros por segundo.

No caso da detonação, a propagação da reação é impulsionada por ondas de choque. Cada partícula, ao detonar, gera uma onda de choque de alta pressão, comprimindo adiabaticamente as partículas adjacentes, fazendo-as aquecer e reagir. Esse mecanismo assegura a continuidade do processo de detonação. As ondas de choque em uma detonação desempenham um papel crucial no processo de reação e são particularmente significativas no contexto da fragmentação de rochas, contribuindo para a ruptura do material.

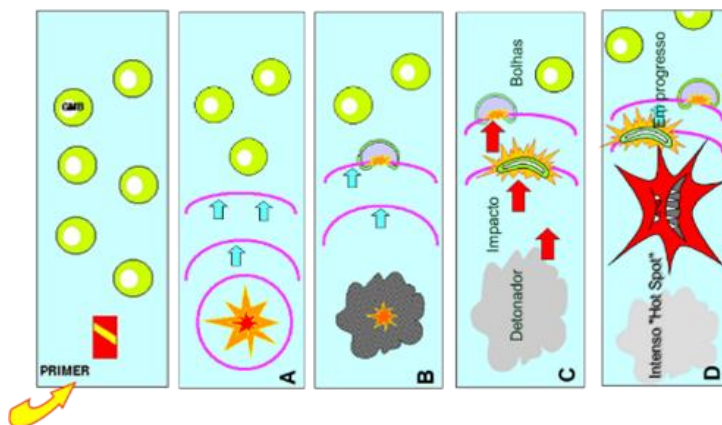


Para que uma substância seja considerada explosiva, a velocidade com que ela libera energia é de suma importância, em vez da quantidade total de energia liberada. Esse princípio é ilustrado ao comparar a nitroglicerina com a gasolina. Apesar de ter apenas um oitavo do conteúdo de energia da gasolina, a reação de decomposição da nitroglicerina ocorre muito mais rapidamente, distinguindo-a como um explosivo, enquanto a reação na gasolina é significativamente mais lenta, categorizando-a como um combustível.

Em resumo, podemos afirmar que o gatilho primário para iniciar uma reação explosiva é a temperatura. Independentemente do estímulo que um explosivo recebe, geralmente envolve gerar um aumento localizado de temperatura, seja por impacto, energia elétrica ou mesmo uma onda de choque. Uma vez que a detonação do explosivo começa, seus componentes reagem liberando energia suficiente para sustentar o processo. As ondas de choque produzidas pela detonação de cada partícula contribuem para a elevação da pressão e temperatura nas partículas vizinhas ao longo de todo o processo.

2.12 Dinâmica da continuidade da detonação de um explosivo

Para compreender a dinâmica da detonação, especialmente no que se aplica aos explosivos e ao processo de desmonte de rochas, apresentamos a seguir uma representação do processo que denominamos de "transmissão da detonação".



A ilustração retrata um furo que contém explosivos e um iniciador, cuja função é dar início à detonação dos explosivos. Ao detonar, o iniciador gera ondas de choque (A) que comprimem as partículas explosivas (B), que representam os elementos sensibilizantes. Essas bolhas são comprimidas pela pressão resultante das ondas de choque (C), o que eleva suas temperaturas ao ponto de elas estourarem (D), gerando novas ondas de choque e intensificando as já existentes. Esse processo se estende ao longo da detonação dos explosivos, onde cada bolha de ar é comprimida e aquecida até detonar, contribuindo para a continuidade do processo.

Esse mesmo processo pode exemplificar o processo de detonação de um encartuchado ou dinamite, assim como um furo carregado com emulsão ou mesmo ANFO. As bolhas ou pontos de sensibilidade podem ser as diversas formas de sensibilizar os explosivos, como a porosidade do ANFO, micro esferas de vidro ou plástico também aplicadas em encartuchados ou bolhas de ar geradas na sensibilização das emulsões bombeadas.

Esses pontos de sensibilização dos explosivos, são normalmente denominados de "Pontos Quentes" ou em inglês "Hot Spots", e funcionam como pontos de

www.blastingtreinamentos.com

transferência de reação para as partículas vizinhas. Portanto, o processo de detonação de um explosivo é um contínuo interdependente, onde seus próprios componentes asseguram a continuidade da reação. Esse conceito possui múltiplas aplicações práticas, sendo a principal delas garantir a integridade do explosivo, uma vez que uma separação das cargas ou mesmo a contaminação, que impeça as partículas de prosseguirem com a reação, pode interrompê-la e resultar em falhas na detonação.

Nesse sentido, a analogia da "transmissão da detonação" ilustra que cada partícula, ao detonar, deve transferir a detonação para a partícula vizinha. Isso é feito através da propagação do calor e geração de novas ondas de choque durante todo o processo, assegurando a continuidade e desempenho da detonação.

Em resumo, a detonação é um processo contínuo e interligado, onde cada componente desempenha um papel crucial na manutenção da reação. A compreensão desse processo é essencial para garantir o êxito de detonações no desmonte de rochas, além de ressaltar a importância de conceitos fundamentais como confinamento, que contribui para uma detonação mais eficiente, continua e controlada.

2.13 Confinamento

O confinamento é um elemento que contribui para a reação de detonação do explosivo, aumentando a pressão da detonação de forma significativa. Sendo assim, o processo de confinamento é crucial, e sua aplicação prática está relacionada ao carregamento dos furos, bem como ao tamponamento desses furos, que é responsável por garantir o confinamento dos explosivos durante as detonações. A quantidade ideal de confinamento aumenta a pressão, o calor e a velocidade gerados pelo explosivo em sua reação, aumentando a potência e eficiência da detonação como um todo.

O confinamento do explosivo durante o processo de detonação evita que os gases e o calor se dissipem, concentrando-os na própria carga explosivo, aumentando assim a velocidade e a intensidade da reação, o que aumenta a pressão gerada e a energia total liberada na reação, maximizando o aproveitamento dessa energia no processo de fragmentação da rocha.

Um exemplo representativo de confinamento é o regime de detonação de um balão. O balão apresenta dois regimes de detonação: o regime pontual, que ocorre quando o balão possui um ponto fraco ou quando é perfurado com algo afiado, como uma agulha. Isso causa a saída de todo o ar por apenas um orifício. E temos o segundo regime, que é a detonação por confinamento, onde inflamamos o balão até o ponto onde sua estrutura não suporta mais, e o balão detona de maneira uniforme, causando sua ruptura e fragmentação em várias peças.



No primeiro regime o balão explode a partir de um ponto, o que provoca apenas o rompimento do balão, então temos um grande fragmento de plástico. Isso ocorreu porque toda a energia do balão saiu pelo ponto de escape, e os gases e a pressão que costumavam atuar dentro do balão saíram por esse ponto, não agindo em sua fragmentação.

No segundo regime, que é o regime de detonação por confinamento, onde inflamamos o balão até que ele não suporte a pressão interna gerada pelos gases, o balão estoura completamente. Observa-se que, quando o balão explode dessa forma, como ele não resistiu à pressão dos gases confinados, ele se fragmenta em várias partes. Portanto, agora não temos um grande pedaço de plástico, mas várias pequenas peças de balão, o que na prática ocorre em nossas detonações em rochas.

Quando o explosivo que irá detonar encontra um ponto fraco, seja por qualquer motivo, como fraturas na rocha, tamponamento ineficiente ou qualquer outro motivo, teremos uma grande saída de gases, e, portanto, tendemos a ter fragmentos maiores devido à ineficiência da detonação, que nada mais é do que a falta de confinamento. Entretanto, quando temos uma detonação, onde os gases não escapam, e eles estão confinados dentro da rocha, forçando as paredes da rocha, quebrando-a em fragmentos muito menores, assim como aconteceu com o exemplo do balão.

Portanto, o confinamento, juntamente com velocidade, gases e temperatura, que fazem parte da definição do que é um explosivo e do processo de detonação, têm aplicabilidade prática inquestionável.

Por isso busca-se sempre aproveitar todos os pontos e características do explosivo, para que ele fragmente a rocha em várias partes. Isso ocorre

www.blastingtreinamentos.com

quando se utiliza velocidade, gases, temperatura e todos os elementos que podem contribuir para o processo de detonação, garantindo que toda a energia do explosivo seja direcionada para a fragmentação da rocha, e que não ocorram perdas de energia, que é a principal razão da ineficiência e da geração de impactos negativos a partir das detonações.

Conclusão

Este capítulo nos levou por uma jornada através de uma variedade de conceitos fundamentais relacionados aos explosivos, estabelecendo uma base sólida para compreender sua natureza e características. Assim que é importante não esquecermos da definição dos explosivos como substâncias capazes de liberar grandes quantidades de energia em um curto período de tempo, pois os detalhes de conceitos nos recordam das necessidades para uma detonação segura e eficaz.

Os elementos presentes no explosivo e a relação entre eles é fundamental para considerarmos as características da reação de decomposição, assim como para entendermos fenômenos práticos como os incêndios com material explosivos, onde a recomendação imperativa é a evacuação da área e restrição do acesso, isso devido a própria autoalimentação da reação pelos componentes presentes no explosivo.

A geração de gases da detonação é um fator fundamental para entendermos a eficiência do processo de detonação, o balanço da reação, e assim como avaliar possíveis riscos e impactos ambientais que podem ser gerados no processo. Além que não podemos esquecer da importância do calor e das pressões geradas, que são fundamentais nesse processo, mas também estão intrinsicamente ligados a geração dos gases e a sua atuação na detonação.

Um dos principais conceitos que temos que guardar desse capítulo é o da energia de ativação, que determina o limiar necessário para iniciar uma reação, bem como os vários estímulos de iniciação, como FISH, atrito, impacto e energia estática. Apesar de suas diferenças, esses estímulos compartilham a responsabilidade de iniciar explosões, o que é essencial para compreender a natureza reativa dos explosivos.

A velocidade de reação foi um tópico abordado, com foco em diferentes estágios, incluindo combustão, deflagração e detonação. Cada um desses

www.blastingtreinamentos.com

estágios possui características únicas, sendo a detonação especialmente intensa, envolvendo a propagação de ondas de choque a velocidades supersônicas.

Por fim, é importante entendermos o papel dos elementos sensibilizantes do explosivo, assim como a importância do confinamento na detonação. O confinamento adequado amplifica a pressão e a eficácia da detonação, enquanto a falta de confinamento pode resultar em fragmentação ineficiente.

A compreensão desses conceitos é essencial para garantir a segurança e a eficácia das atividades envolvendo explosivos. A aplicação apropriada desse conhecimento permite maximizar os resultados desejados, minimizando impactos indesejados e garantindo conformidade com práticas seguras e ambientalmente responsáveis. Este capítulo estabelece uma base sólida para os tópicos subsequentes, preparando-nos para abordar características mais específicas dos explosivos e suas aplicações práticas.

Capítulo 3: Classificação dos Explosivos Industriais

Introdução

Compreender as características, aplicações e classificações dos explosivos utilizados na indústria é de suma importância. As classificações dos explosivos industriais desempenham um papel vital nesse contexto, permitindo agrupá-los com base em propriedades químicas, comportamento de detonação e riscos associados. Neste capítulo, exploraremos as principais classificações dos explosivos industriais, abrangendo desde as divisões químicas até as categorias comerciais e considerações de segurança. Nosso objetivo é proporcionar uma visão completa das diferentes maneiras de categorizar os explosivos e entender como essas classificações impactam diretamente os conceitos e práticas relacionados ao desmonte de rochas.

Começaremos com a classificação geral dos explosivos, que nos oferece uma visão ampla das categorias às quais eles pertencem. Em seguida, aprofundaremos na classificação química, onde encontramos os principais tipos de explosivos utilizados atualmente no desmonte de rochas, diferenciando entre baixos e altos explosivos. Essa distinção é de extrema relevância, pois esses dois grupos possuem propriedades e aplicações distintas. No âmbito dos altos explosivos, exploraremos a subdivisão entre explosivos primários e secundários, compreendendo como essas categorias desempenham papéis específicos em diversas situações.

A classificação comercial dos explosivos também será examinada, pois é relevante para venda e uso na indústria. Além disso, discutiremos a importância da classificação de produtos perigosos, fundamental para garantir a segurança no manuseio, transporte e armazenamento de explosivos, além de servir como referência principal para regulamentações.

Por fim, abordaremos outras classificações que podem ser pertinentes em contextos específicos. Compreender essas categorizações não apenas aprofundará o conhecimento sobre explosivos, mas também capacitará a tomada de decisões informadas quanto ao uso apropriado desses materiais.

3.1 Classificação geral dos explosivos

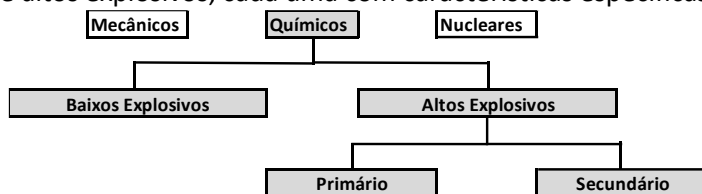
Antes de adentrarmos à classificação dos explosivos industriais, é necessário compreender onde esses explosivos se situam na classificação geral. De forma ampla, os explosivos são categorizados em três grupos distintos:

- O primeiro grupo é composto pelos **explosivos mecânicos**, consistindo em materiais inicialmente inertes, que, quando ativados, provocam uma expansão vigorosa, gerando o efeito similar ao de uma detonação.
- O segundo grupo abrange os **explosivos nucleares**, uma categoria especializada que se caracteriza pela desintegração rápida de elementos radioativos ou nucleares, operando por meio de processos nucleares altamente energéticos.
- No entanto, é nos **explosivos químicos** que recai o principal enfoque neste contexto. Tais explosivos passam por uma decomposição rápida, liberando quantidades substanciais de energia, gases, pressão e, frequentemente, altas temperaturas.

Dentro dessa classificação tripartida, encontramos os explosivos industriais utilizados no desmonte de rochas, e é aqui que o grupo dos explosivos químicos desempenha um papel de destaque. Esses explosivos reagem de forma química, liberando energia e criando as condições necessárias para um desmonte eficaz das formações rochosas.

3.2 Classificação química dos explosivos

Os explosivos químicos podem ser classificados em duas categorias distintas: baixos explosivos e altos explosivos, cada uma com características específicas que determinam seu comportamento e aplicabilidade.



Os baixos explosivos se distinguem por sua propensão à deflagração, ou seja, sua tendência a queimar e propagar uma reação mais facilmente do que a detonação abrupta característica dos altos explosivos. Esses baixos explosivos

www.blastingtreinamentos.com

exibem uma velocidade de detonação que geralmente se aproxima do limite inferior do espectro explosivo.

Por outro lado, os altos explosivos apresentam uma velocidade de detonação consideravelmente mais elevada, o que resulta em uma liberação significativamente maior de pressão durante a detonação. Eles estão posicionados nos extremos superiores da escala de velocidade explosiva.

Em termos de aplicações, os baixos explosivos têm um uso predominante como propulsores em diversas áreas. Um exemplo notório são aqueles empregados para impulsionar projéteis, como balas, bem como os utilizados nos sistemas de propulsão de foguetes espaciais. Enquanto que os altos explosivos são tipicamente utilizados no desmonte de rochas, desde os acessórios até os explosivos principais.

Essa distinção entre baixos e altos explosivos é crucial para entender as diversas funções e cenários em que cada categoria é empregada, bem como para assegurar um uso seguro e eficiente desses materiais em suas respectivas aplicações.

3.2.1 Baixos explosivos

Os baixos explosivos constituem uma categoria de explosivos caracterizada por uma reação de decomposição que se assemelha a uma queima extremamente rápida, resultando em uma onda de choque de potência reduzida, proporcional à sua velocidade de reação. Durante um longo período, a pólvora foi a mais proeminente representante dos baixos explosivos, uma vez que sua tendência natural é à deflagração em condições normais. Para atingir um estado de detonação, a pólvora requer condições específicas, frequentemente associadas ao confinamento, permitindo que ela alcance velocidades superiores a 1000 metros por segundo.



Até os dias atuais, a pólvora continua sendo amplamente empregada como deflagrante, especialmente na indústria de fogos de artifício, onde atua como agente pirotécnico, na indústria bélica para munições, bem como na indústria espacial para a produção de foguetes, mas também encontramos o seu emprego em minerações de rochas ornamentais ou garimpos para extração de diversos minerais, devido à sua facilidade de uso e maior acessibilidade.

www.blastingtreinamentos.com

A pólvora permanece, portanto, como o principal e representativo membro da categoria dos baixos explosivos, desempenhando papéis cruciais em diversas áreas, mesmo diante dos avanços tecnológicos em explosivos de alta potência. Seu papel nas aplicações mencionadas realça a importância dos baixos explosivos em cenários específicos onde sua propriedade de deflagração é vantajosa.

3.2.2 Altos explosivos

Os altos explosivos, diferentemente dos baixos explosivos, caracterizam-se por suas velocidades de detonação extremamente elevadas e pela geração de intensas pressões durante o processo de detonação. Este grupo é subdividido em dois tipos principais: os explosivos primários e os secundários.

Os explosivos primários se destacam pela rapidez com que ocorre a detonação, resultando em altas velocidades de detonação e criação de pressões extremamente elevadas. A nitroglicerina foi pioneira entre os explosivos primários, desempenhando um papel fundamental na fabricação das primeiras dinamites. A nitroglicerina é um exemplo proeminente de alto explosivo, e as dinamites que a contêm marcaram um marco histórico no desenvolvimento de explosivos seguros para o desmonte de rochas.



Além dessa distinção entre primários e secundários, havia uma classificação anterior que dividia os explosivos secundários em duas categorias: aquelas sensíveis ao detonador número 8 e aqueles que não eram sensíveis a esse detonador. Essa diferenciação era crucial para determinar se o explosivo poderia ser iniciado diretamente por um detonador ou se exigiria um reforçador para sua iniciação, mas essa já não é uma classificação muito utilizada, tendo em vista que muitos dos explosivos podem ser aplicados das duas formas, dependendo basicamente do cenário e sensibilização utilizada. Mesmo assim, a compreensão dessas categorias é relevante para a manipulação segura desses materiais em diversas aplicações industriais e tecnológicas, incluindo o desmonte de rochas, sendo essa informação normalmente fornecida pelos fabricantes dos explosivos, os quais recomendam a melhor forma de iniciação para cada explosivo de acordo com o cenário de aplicação.

3.2.2.1 Explosivos Primários

Os explosivos primários representam uma categoria de explosivos que se destacam por sua alta sensibilidade à decomposição e iniciação por agentes externos, tais como impacto, atrito, calor e energia estática. Devido a essa notável sensibilidade, esses explosivos são empregados em pequenas quantidades, sendo sua principal aplicação na fabricação de acessórios explosivos.

A **Azida de Chumbo** é um exemplo amplamente utilizado de explosivo primário, desempenhando um papel crucial na iniciação de detonadores elétricos, eletrônicos e não elétricos. É comumente empregada como a carga iniciadora, responsável por iniciar a carga base de pentrita nos detonadores. Deve-se ter precaução quando se utiliza cápsulas de cobre, pois a Azida de Chumbo reage com o cobre, e medidas de proteção, como revestimentos internos, são necessárias para evitar o contato.



Outro exemplo de explosivo primário é o **Ácido Pícrico**, frequentemente usado nas cabeças de iniciação dos detonadores elétricos e eletrônicos. Esta cabeça, ao receber energia, inicia a carga de Azida de Chumbo, que, por sua vez, dá início à carga base de pentrita, possibilitando a iniciação dos detonadores. O Ácido Pícrico é solúvel em água e tem coloração amarela, possuindo efeitos tóxicos e requerendo cuidado durante a manipulação.



O **TNT (Trinitrotolueno)** é outro exemplo de explosivo primário, utilizado na fabricação de boosters, que são acessórios reforçadores. Embora menos sensível do que outros explosivos primários, o TNT ainda é mais sensível que os explosivos secundários. Suas características incluem a geração de uma onda de choque intensa, tornando-o excelente para uso como reforçador na iniciação dos explosivos secundários.



A **pentrita ou nitropenta**, um pó branco amplamente utilizado, desempenha um papel essencial como carga principal dos detonadores. Sua baixa estabilidade térmica, com iniciação da decomposição a aproximadamente 120



www.blastingtreinamentos.com

graus Celsius e possível detonação em temperaturas superiores a 200 graus Celsius, a torna ideal para acessórios como detonadores, cordéis detonantes e alguns boosters.

O **HMX** é um importante explosivo primário, encontrado no interior do tubo de choque, um componente crucial nos detonadores não elétricos conhecidos como "NONEL", bem como nos retardos de ligação e nas linhas silenciosas de iniciação. O HMX é altamente sensível ao choque, calor, descargas elétricas, impacto e atrito, requerendo manuseio cuidadoso e quantidades mínimas para garantir a segurança. Sua presença nos tubos de choque é quase imperceptível devido à quantidade extremamente pequena utilizada, e medidas rigorosas são necessárias para protegê-lo de estímulos iniciais indesejados.



3.2.2.2 Explosivos secundários

Os explosivos secundários desempenham um papel crucial nas operações de desmonte de rochas, complementando os explosivos primários que são componentes fundamentais na fabricação de acessórios. Enquanto ambos os tipos de explosivos compartilham eficácia em termos de potência, os secundários exibem uma notável vantagem em termos de estabilidade, permitindo uma utilização em maior escala e de forma mais segura, por isso normalmente são aplicados como explosivos principais no desmonte de rochas.

O **ANFO** (Ammonium Nitrate Fuel Oil) representa de forma proeminente os explosivos secundários, constituindo-se a partir da mistura de óleo diesel e nitrato de amônio. Apesar de sua simplicidade, o ANFO tem limitações notáveis, incluindo uma vulnerabilidade à água e sensibilidade às variações de temperatura.

Contudo, sua alta estabilidade, segurança dentro de parâmetros específicos e uma relação de custo-benefício favorável em termos de energia o tornam amplamente utilizado. A facilidade tanto de fabricação quanto de aplicação contribui para sua preeminência em âmbito global.



www.blastingtreinamentos.com

Os **hidrogéis** são outra categoria de explosivos secundários, caracterizados por sua composição de solução aquosa contendo nitrato de amônio, nitrato de sódio ou cálcio, frequentemente aprimorados com aditivos como alumínio e ureia, dependendo da fórmula. Notadamente, os hidrogéis apresentam consistência gelatinosa, conferindo-lhes resistência à água e evitando migrações através de fraturas. Além disso, os hidrogéis ostentam altas velocidades de detonação e densidade energética, sendo empregados em cenários específicos onde essas propriedades são vantajosas.

As **emulsões** também desempenham um papel de destaque entre os explosivos secundários, com o nitrato de amônio frequentemente figurando como componente central, combinado ocasionalmente com nitrato de sódio, óleos, emulsificantes e água para conferir fluidez. Após o ANFO, as emulsões ganham destaque global, especialmente quando em conjunto com o próprio ANFO. A energia superior e a relação custo-benefício mais favorável das emulsões em comparação ao ANFO as posicionam como substitutos naturais em situações onde a presença de água ou rochas mais duras demanda uma maior energia de detonação.



Tanto as emulsões quanto o ANFO, juntamente com suas várias combinações, constituem mais da metade de toda a massa explosiva utilizada nas indústrias de mineração e obras civis. A aplicação desses explosivos pode seguir uma abordagem mecanizada ou encartuchada, adaptando-se às necessidades e às condições do local, uma lógica de aplicação que também se estende aos hidrogéis.

3.3 Classificação comercial dos explosivos

A classificação dos explosivos assume um papel fundamental na estruturação de suas aplicações, especialmente no contexto do desmonte de rochas. Conforme discutido previamente, os explosivos empregados para essa finalidade pertencem à categoria de explosivos químicos, situando-se especificamente entre os altos explosivos. Esses altos explosivos são subdivididos em explosivos primários e explosivos secundários, sendo os primeiros essenciais na fabricação dos acessórios utilizados no processo,

www.blastingtreinamentos.com

enquanto os segundos constituem os explosivos propriamente ditos, empregados em maior quantidade para a fragmentação da rocha.

Para além dessa classificação intrínseca aos explosivos, existe também a classificação comercial que divide os explosivos em duas categorias distintas: os acessórios de iniciação e os explosivos em si. Os acessórios de iniciação são confeccionados com base em explosivos primários, desempenhando um papel crucial na detonação controlada das cargas explosivas. Já os explosivos propriamente ditos são os explosivos secundários, mencionados anteriormente, utilizados em maior volume para executar o trabalho de ruptura da rocha.

Um projeto de desmorte de rocha compreende diversos elementos que podem ser considerados acessórios, como os detonadores, retardos, boosters e outros dispositivos, que desempenham um papel crucial nas conexões e na iniciação das cargas explosivas. Além desses componentes de iniciação, existe a carga principal de explosivo, na qual encontramos exemplos como o ANFO, as emulsões e os hidrogéis. Essa divisão comercial dos explosivos, em acessórios e explosivos, estabelece a base para uma abordagem estruturada e eficaz no desenho e planejamento das operações de desmorte de rochas, onde cada elemento desempenha um papel determinante na consecução dos objetivos de cada projeto.



www.blastingtreinamentos.com

3.4 Classificação de produtos perigosos

A classificação de produtos perigosos desempenha um papel crucial na garantia da segurança durante o transporte e o armazenamento dessas substâncias. Este sistema de classificação, abrangendo diversas classes e subclasses, segue critérios rigorosos estabelecidos por regulamentações.

Dentro desse contexto, a Classe 1 é de particular relevância, envolvendo a categoria dos explosivos. Essa classe se desdobra em seis subclasses, que especificam diferentes tipos de explosivos. A maioria dos materiais utilizados para o desmonte de rochas se enquadra na Classe 1, mais especificamente na subclasse 1. Dois grupos notáveis dentro dessa subclasse são os detonadores (grupo B) e os explosivos (grupo D). O nitrato de amônio, componente-chave de muitos explosivos, é classificado na Classe 5, que compreende materiais oxidantes, com uma classificação mais específica, 5.1.



As emulsões não sensibilizadas, também conhecidas como emulsão matriz, recebem a classificação de oxidantes 5.1. Isso tem implicações legais benéficas no Brasil e em vários outros países, reduzindo as restrições relacionadas à venda, transporte e armazenamento desses materiais. Frequentemente, a sensibilização das emulsões é realizada apenas no momento da aplicação, proporcionando flexibilidade regulatória.

A identificação de produtos perigosos é realizada por meio de painéis de segurança, que apresentam o número de risco e o número de código ONU específicos para cada produto. Além disso, um rótulo de segurança deve indicar o símbolo da classe e o número da classe de risco do material. Essa classificação é fundamental para o transporte e armazenamento seguro dos produtos, e cada material é manuseado conforme sua classe. Materiais da mesma classe, subclasse e grupo podem ser armazenados conjuntamente, em conformidade com regulamentações específicas.



É essencial destacar que a classificação dos explosivos dentro deste sistema é estabelecida pelos fabricantes de explosivos, que seguem os procedimentos necessários para aprovação junto aos órgãos fiscalizadores. A responsabilidade de quem utiliza consiste em aderir à classificação definida por esses fabricantes, assegurando uma abordagem segura e o cumprimento das regulamentações aplicáveis para cada categoria utilizada.

3.5 Outras classificações dos explosivos

Por último, é relevante mencionar que existem uma série de outras classificações que proporcionam uma compreensão mais aprofundada das distintas características dos explosivos. Inicialmente, destaca-se a classificação quanto à **composição dos explosivos**, onde podem ser identificadas três categorias fundamentais: os explosivos simples, que já intrinsecamente possuem propriedades explosivas, como o exemplo notável da nitroglicerina; os explosivos mistos, resultantes da combinação de duas ou mais substâncias, como o caso do ANFO, uma mistura de nitrato de amônio e óleo diesel; e, por fim, os explosivos compostos, que resultam da combinação de explosivos simples e mistos, como ilustrado pela dinamite, que incorpora a nitroglicerina juntamente com outros componentes para maior segurança e potência.

Outra classificação relevante é aquela relacionada à **consistência dos explosivos**, categorizando-os em explosivos plásticos, semiplásticos ou gelatinosos (notavelmente exemplificados pelo hidrogel), explosivos sólidos (representados pelo booster, por exemplo), e explosivos líquidos ou fluidos (como ilustrados pelas emulsões).

No tocante à **velocidade de detonação dos explosivos**, identifica-se a distinção entre explosivos de baixa velocidade (com valores situados entre 1000 e 3000 metros por segundo) e explosivos de alta velocidade (com

www.blastingtreinamentos.com

velocidades superiores a 3000 metros por segundo). Adicionalmente, a classificação abrange a **expansão gasosa dos explosivos**, sendo dividida em explosivos de baixa expansão gasosa, gerando menos de 800 litros de gás por quilo de explosivo, e explosivos de alta expansão gasosa, gerando volumes acima deste limiar.

Existem diversas outras classificações de acordo com as características dos explosivos, por isso é importante destacar que essas classificações adicionais enriquecem a compreensão das propriedades e aplicações dos materiais explosivos, contribuindo para a escolha e a formulação mais eficiente de planos de utilização.

Conclusão

Este capítulo proporcionou um entendimento fundamental das diferentes categorias e classificações que regem os explosivos. Onde a análise começou com a classificação geral, que diferencia os principais tipos de explosivos, que para as aplicações de desmonte de rochas se destacam os explosivos químicos, que por sua vez se dividem entre baixos e altos explosivos, compreendendo suas velocidades de detonação e usos predominantes.

Com relação aos baixos explosivos, reconhecemos a relevância histórica da pólvora e suas aplicações na indústria bélica, de fogos de artifício e espacial. Por outro lado, em relação aos altos explosivos, enfatizou-se sua capacidade de criação de pressão e velocidade de detonação, além da divisão em explosivos primários e secundários.

Não se pode deixar de ressaltar a importância crucial da classificação de produtos perigosos, orientada pelos parâmetros da ONU, que são a base para toda a regulamentação dos processos de fabricação, armazenamento e manuseio desses produtos. Além disso, as classificações comerciais desempenham um papel vital em todo o processo de aquisição de explosivos, conferindo uma base sólida para a seleção e utilização desses materiais em atividades diversas.

Por fim, foram mencionadas uma série de classificações adicionais que proporcionam uma compreensão profunda e abrangente das características intrínsecas dos explosivos. Desde a classificação baseada na composição, delineando os explosivos simples, mistos e compostos, até a análise da consistência, categorizando-os em plásticos, semiplásticos ou gelatinosos,

www.blastingtreinamentos.com

sólidos e líquidos, cada uma dessas categorias visa dar uma visão mais ampla das diversas propriedades desses materiais, trazendo a relevância suas características chaves que os distinguem entre os diversos tipos disponível.

O conhecimento aprofundado destas classificações é imperativo para garantir a segurança em todas as etapas relacionadas aos explosivos, desde sua aquisição até sua utilização em operações específicas. Cada classificação desempenha uma função chave, sendo um alicerce sólido para o planejamento cuidadoso e a execução bem-sucedida de planos envolvendo explosivos. Sendo o objetivo principal guiar o leitor a buscar as informações dos produtos que utiliza, assim como das devidas regulamentações aplicadas a cada localidade.

Capítulo 4: Propriedades Fundamentais dos Explosivos

Introdução

Assim como as características físicas que tornam cada pessoa única, os explosivos possuem características intrínsecas, sejam elas físicas ou químicas, que os distinguem uns dos outros, são essas características que chamamos de propriedades fundamentais dos explosivos e que vamos explorar nesse capítulo, assim como as repercussões de sua aplicação na prática do desmonte de rochas.

O conhecimento dessas propriedades é crucial, pois orienta a seleção adequada dos explosivos e influencia as práticas operacionais utilizadas em sua aplicação. Estas propriedades são o alicerce que nos permite compreender as nuances dos explosivos, identificando onde eles se encaixam melhor e quais são suas limitações.

Compreender as propriedades gerais dos explosivos que empregamos é de extrema importância, permitindo-nos fazer escolhas criteriosas dos produtos mais adequados para diferentes tipos de rochas e diversas situações encontradas em trabalhos de engenharia. Além disso, esse conhecimento capacita-nos a otimizar o desempenho dos explosivos durante o processo de desmonte de rochas.

Nesta seção, concentraremos nossa atenção nas principais propriedades dos explosivos que têm um impacto significativo em sua aplicação prática:

- **Características Físicas:** A primeira impressão visual dos explosivos.
- **Sensibilidade:** Quão suscetíveis são aos estímulos físicos.
- **Dessensibilização:** O risco de tornar os explosivos menos sensíveis.
- **Densidade:** A quantidade de massa contida em um volume dado.
- **Velocidade de Detonação:** A rapidez com que a onda de choque se propaga.
- **Pressão de Detonação:** A força exercida pela explosão.
- **Energia:** A quantidade de energia liberada durante a detonação.
- **Gases:** Os produtos gasosos resultantes da explosão.

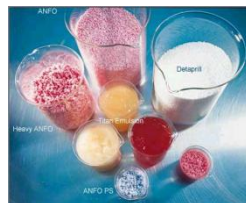
- **Diâmetro Crítico:** O tamanho mínimo do explosivo para que ocorra uma detonação completa.
- **Resistência à Água:** A capacidade de manter suas propriedades sob exposição à água.
- **Vida Útil:** O período durante o qual o explosivo mantém suas características.

Este capítulo oferece a oportunidade de aprofundar nosso conhecimento sobre as propriedades dos explosivos, capacitando-nos a aplicá-los de maneira precisa e segura. Uma compreensão sólida dessas propriedades maximiza o desempenho e a eficácia de nossas operações, enquanto minimiza riscos e impactos indesejados. O domínio dessas propriedades é uma ferramenta essencial para todos que lidam com explosivos, contribuindo para o sucesso das operações e a preservação da integridade de todos os envolvidos.

4.1 Características físicas

A primeira propriedade a ser abordada refere-se às características físicas distintas entre os variados tipos de explosivos. Cada explosivo possui uma personalidade única, expressa através de suas características físicas, que não apenas o identificam, mas também desempenham um papel considerável em seu desempenho em diferentes contextos.

Características como coloração, viscosidade, textura, dureza e plasticidade servem como marcas de identidade dos explosivos. Esses traços são fundamentais para reconhecê-los e, o que é mais importante, compreender como manipulá-los de maneira eficaz e segura.



Considere, por exemplo, o ANFO, conhecido por sua composição granular solta e fluxo livre. Em contrapartida, os hidrogéis adotam uma consistência emborrachada após a "gelificação". As emulsões podem variar de líquidas a pastosas, apresentando uma aparência semelhante à de uma gordura leve, enquanto as emulsões encartuchadas frequentemente têm uma textura que lembra a de uma massa de vidraceiro firme.

www.blastingtreinamentos.com

No entanto, é importante notar que as características físicas dos explosivos podem se alterar ao longo do tempo, muitas vezes devido a processos de deterioração. Mudanças na textura ou dureza podem sinalizar esse processo, como a observada "cristalização" de emulsões.

Além disso, algumas características físicas podem ser sensíveis às variações de temperatura. Explosivos como o ANFO, por exemplo, podem sofrer ruptura dos grãos e perda de porosidade com mudanças significativas ou constantes de temperatura, afetando, consequentemente, o desempenho da detonação.

A formulação dos produtos explosivos pode ser ajustada para modificar suas características físicas, sem comprometer outras propriedades essenciais. Por exemplo, uma emulsão pode ser produzida com uma consistência mais rígida ou mais "mole" por meio da inclusão de ceras ou óleos como fase de combustível. Isso pode ter implicações práticas em aplicações mecanizadas, como a elevação da pressão de bombeamento.

Portanto, o conhecimento das características físicas dos explosivos é essencial para identificar alterações que possam afetar nossas práticas operacionais e resultados. Enquanto exploramos cada explosivo em detalhes, destacaremos suas principais características físicas. No entanto, é crucial lembrar que essas características podem variar de acordo com o fabricante e a formulação. Manter um diálogo constante com os fabricantes e consultar os catálogos dos produtos são fontes valiosas de informações oficiais. No entanto, a observação prática no dia a dia fornece dados mais realistas, considerando que pequenas variações nas informações do catálogo são comuns.

A dinâmica da indústria pode levar a mudanças frequentes na formulação dos produtos, muitas vezes sem notificação explícita. Portanto, é essencial manter vigilância constante sobre o explosivo que utilizamos, especialmente em operações com necessidades específicas que podem ser sensíveis a pequenas mudanças.

Destaca-se a necessidade de monitorar o explosivo, seja por meio de inspeção visual, medidas simples de densidade e temperatura ou outros métodos. Essas práticas não apenas auxiliam na identificação precoce de alterações, mas também podem responder a perguntas sobre o desempenho dos explosivos e influenciar positivamente nossas práticas operacionais. O conhecimento profundo das características físicas dos explosivos é um alicerce essencial para

www.blastingtreinamentos.com

a operação segura e eficiente, maximizando resultados e reduzindo riscos indesejados.

4.2 Sensibilidade

A sensibilidade é uma propriedade dos explosivos que ocupa um lugar central em nossa análise. Trata-se de um parâmetro de extrema relevância, pois está diretamente relacionado ao nível de segurança associado ao manuseio desses materiais altamente reativos.

A sensibilidade de um explosivo é definida como a medida da facilidade com que ele pode ser iniciado. Essa característica pode variar consideravelmente e é influenciada por diversos fatores, incluindo a composição química do explosivo, seu diâmetro, temperatura, grau de confinamento e as condições específicas de aplicação. Todos esses elementos interagem para determinar a forma e o grau de sensibilidade manifestado pelo explosivo.

No contexto das operações de desmonte de rochas, os explosivos são divididos em duas categorias práticas: sensíveis ao detonador ou não sensíveis ao detonador. Os que se enquadram na primeira categoria podem ser iniciados com um detonador, enquanto os da segunda categoria requerem o uso de um reforçador para a iniciação apropriada. À medida que examinamos cada tipo de explosivo, discutiremos aqueles que demonstram sensibilidade ao detonador, abordando as condições em que essa sensibilidade se manifesta, bem como aqueles que não a manifestam, e, nesse caso, as condições necessárias para sua iniciação adequada.

O conhecimento da sensibilidade à iniciação dos explosivos desempenha um papel crucial na escolha dos acessórios apropriados para o desmonte de rochas. Além disso, é fundamental para a definição dos procedimentos de segurança na manipulação desses explosivos, uma vez que quanto maior a sensibilidade de um explosivo, maior é o risco de iniciação acidental.

É importante conhecer o grau de sensibilidade de diferentes explosivos, onde o detonador aberto é o mais sensível, seguido do detonador fechado, do cordel detonante, do booster e, por fim, dos explosivos secundários, como o ANFO e a Emulsão. Isso realça a necessidade de precauções rigorosas durante a manipulação, evitando impactos, calor, atrito ou acumulação de energia



www.blastingtreinamentos.com

estática que poderiam acidentalmente iniciar a detonação, conhecidos como "FISH", conforme discutido anteriormente.

Manipular explosivos é uma tarefa que exige extrema atenção, sem espaço para improvisações ou testes em ambientes não controlados. Mesmo ações aparentemente simples, como evitar quedas dos explosivos ou lançá-los dentro dos furos, devem ser estritamente seguidas, pois situações corriqueiras podem representar riscos significativos ao lidar com esses materiais altamente sensíveis.

É crucial reconhecer que a sensibilidade dos explosivos pode variar consideravelmente, dependendo de suas características específicas e das condições de uso. Portanto, uma análise cuidadosa das condições é essencial, pois pode influenciar diretamente a sensibilidade, afetando o potencial de risco associado a esses materiais. A sensibilidade é uma propriedade que deve ser plenamente compreendida e considerada em todas as etapas do manuseio e seleção adequada dos explosivos, garantindo operações seguras e eficientes.

4.2.1 Sensibilidade a iniciação

A sensibilidade à iniciação é uma propriedade dos explosivos que merece nossa atenção minuciosa. Ela se refere à capacidade de um explosivo ser iniciado por meio de um detonador ou outro iniciador explosivo. Essa característica desempenha um papel essencial na determinação do nível de segurança associado à manipulação desses materiais altamente reativos.

A classificação comum dos explosivos envolve duas categorias distintas: aqueles sensíveis ao detonador e aqueles que demandam um reforçador para uma iniciação adequada. Explosivos sensíveis ao detonador podem, em muitos casos, ser iniciados com o uso de cordel detonante NP-10, especialmente quando se trata de explosivos encartuchados. Por outro lado, os explosivos não sensíveis ao detonador, que requerem um reforçador, são conhecidos como agentes explosivos. Exemplos dessa categoria incluem certas emulsões que necessitam de um reforçador, cujas dimensões e potenciais estão associados a variáveis como diâmetro, grau de confinamento e comprimento da carga, que influenciam tanto a sensibilidade quanto o desempenho do explosivo.

www.blastingtreinamentos.com

A avaliação da sensibilidade à iniciação é de importância prática, uma vez que orienta a escolha adequada do iniciador para cada explosivo, garantindo a propagação da detonação no nível mais eficaz possível. Essa consideração é fundamental para otimizar o aproveitamento da energia disponível e alcançar resultados precisos nas operações de desmonte de rochas.

É crucial ressaltar que a sensibilidade à iniciação desempenha um papel decisivo na segurança das operações que envolvem explosivos. Ela indica a facilidade com que um explosivo pode ser iniciado acidentalmente por estímulos de "FISH" (impacto, calor, atrito ou energia estática). Portanto, ao lidar com explosivos sensíveis à iniciação, é imperativo seguir rigorosamente os procedimentos de manipulação segura e utilizar o iniciador correto no momento planejado.

É notável que os acessórios empregados para a iniciação dos explosivos, em geral, são mais sensíveis do que os próprios explosivos. Essa diferença de sensibilidade reforça a necessidade de extrema cautela na manipulação dos acessórios, visando prevenir eventos indesejados de iniciação.

É importante enfatizar que a sensibilidade à iniciação pode variar conforme as condições de aplicação do explosivo. Portanto, a atenção a essas condições é crucial, visto que influenciam diretamente a sensibilidade e, consequentemente, o desempenho dos explosivos. A análise detalhada das condições de aplicação desempenha um papel de alto impacto no sucesso das operações de desmonte de rochas.

O conhecimento profundo da sensibilidade à iniciação dos explosivos é um elemento crucial para determinar a forma apropriada de iniciá-los, ou seja, a energia de ativação necessária. Iniciar um explosivo de maneira inadequada pode resultar em falhas na detonação, deflagração com baixa velocidade e liberação insuficiente de energia, ou atrasos na transição para o regime ideal, o que reduz substancialmente o desempenho do explosivo na zona de iniciação.

É essencial compreender que esses cenários representam uma má iniciação dos explosivos. No primeiro caso, em que o explosivo não detona devido a uma energia de ativação insuficiente, ocorrem furos falhados, uma questão que demanda atenção especial e é uma das maiores preocupações durante a realização de qualquer detonação. No segundo cenário, o explosivo deflagra ou detona com velocidade inferior ao padrão, liberando menos energia e

www.blastingtreinamentos.com

impactando o resultado geral da detonação. Também é possível a geração excessiva de gases tóxicos devido à iniciação ineficiente do explosivo. Por último, no terceiro cenário, o explosivo inicia de maneira inadequada, demandando tempo para atingir o regime de detonação adequado, o que afeta a zona de iniciação, prejudicando a fragmentação e o lançamento do material.

Portanto, a sensibilidade à iniciação dos explosivos está intrinsecamente relacionada tanto com a segurança na manipulação desses materiais quanto com o desempenho das detonações. A aplicação prática desse conhecimento enfatiza a importância de uma iniciação correta dos explosivos, garantindo um desempenho máximo, com liberação máxima de energia e gases na maior velocidade que o explosivo pode alcançar.

4.2.2 Sensibilidade a propagação

A sensibilidade à propagação avalia a capacidade de um explosivo provocar a detonação ou ser iniciado por outro explosivo com características semelhantes, mesmo quando separados por uma distância específica, um fenômeno conhecido como "detonação por simpatia".

É de suma importância que os explosivos possuam uma sensibilidade adequada para assegurar que a detonação ocorra ao longo de toda a extensão da carga. Considera-se que a sensibilidade à propagação é satisfatória quando a detonação se propaga a uma distância de, pelo menos, uma vez o diâmetro da carga explosiva.

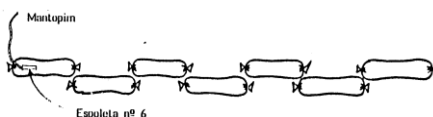
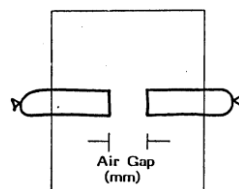
Um termo que representa bem essa sensibilidade é conhecido como "espaço livre" (ou air-gap em inglês) que se refere ao máximo vão de separação ou à distância entre as massas explosivas, dispostas de maneira que suas extremidades estejam voltadas uma para a outra. Ao detonar um dos cartuchos, avalia-se se a detonação é transmitida para o outro, indicando uma propagação eficaz da detonação.

Os testes de detonação por simpatia, em geral, são conduzidos com explosivos encartuchados, uma vez que, naturalmente, eles vêm separados e podem não estar em contato direto dentro do furo. Nesses ensaios, posicionam-se dois encartuchados lado a lado ou divide-se um encartuchado, colocando-o separado a uma distância equivalente a uma vez o seu diâmetro. A partir desse

ponto, inicia-se a detonação em uma das extremidades e avalia-se se a outra extremidade foi iniciada corretamente. Essa avaliação é conduzida tanto com os encartuchados posicionados frente a frente quanto lateralmente, mantendo a distância de uma vez o diâmetro. O teste ocorre em ambiente não confinado, evitando qualquer tipo de restrição que possa aumentar a sensibilidade do explosivo ou facilitar a direção da energia.

No contexto prático da aplicação dos explosivos em furos, podem surgir irregularidades nas paredes do furo, presença de água ou detritos que podem cair dentro do furo, resultando em possíveis separações entre as cargas explosivas.

A expectativa é de que, em distâncias mínimas, as detonações ocorram sem incidentes, proporcionando um nível adicional de segurança e garantia para as operações. Isso evita a formação de resíduos explosivos e assegura um desempenho adequado na detonação.



Importa observar que a distância de uma vez o diâmetro é considerado sob a premissa de que não há obstáculos entre as cargas explosivas. Quando existem barreiras, como água, detritos ou qualquer material que possa diminuir o contato na detonação, essa distância eficaz pode ser reduzida. Assim, é fundamental manter a atenção durante o carregamento para evitar que detritos caiam dentro do furo ou que qualquer material possa separar as cargas, representando um risco de falha na detonação.

O conhecimento das características dos explosivos e das diversas possibilidades de risco de separação de cargas é essencial para tomar medidas adequadas e mitigar eventos indesejados. A sensibilidade à propagação dos explosivos é uma ferramenta valiosa em cenários onde pequenas separações de carga podem ocorrer, e é um aspecto de grande relevância quando há o risco de separação das cargas, exigindo controle rigoroso para garantir que as detonações sejam bem-sucedidas e seguras. Essa compreensão detalhada é de extrema importância para otimizar a eficácia das operações de detonação.

4.2.3 Sensibilidade ao impacto e atrito

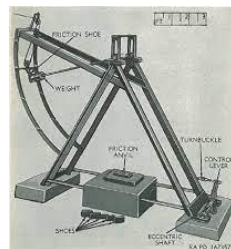
Cada explosivo possui limites distintos de sensibilidade a estímulos de impacto e atrito, razão pela qual é crucial que se mantenha uma vigilância constante sobre essa característica. Diversos testes são conduzidos para avaliar esses cenários específicos de sensibilidade, frequentemente referidos como "ensaios de resistência" para cada tipo de estímulo.

Um dos testes comumente empregados é o de resistência ao impacto, utilizando um dispositivo conhecido como "carneiro mecânico". Nesse teste, um peso de 2 kg é solto sobre uma quantidade aproximada de 0,1 grama de explosivo, e avalia-se a altura a partir da qual, soltando o peso, o explosivo é iniciado pelo impacto. A título de exemplo, o fulminato de mercúrio inicia com uma queda de 1 a 2 centímetros, enquanto a nitroglicerina inicia com 4 a 5 centímetros, as dinamites requerem quedas de 15 a 30 centímetros, e a maioria dos explosivos à base de nitrato de amônia inicia com distâncias de 40 a 50 centímetros.



Isso ilustra que os limites para iniciação dos explosivos mediante impacto não são consideráveis. Deve-se focar especialmente nos explosivos primários presentes nos acessórios, pois esses são os mais sensíveis e representam um risco notável durante a manipulação.

No que tange ao atrito, o teste conhecido como "Julius Peter" é empregado, envolvendo a passagem de uma pequena quantidade de explosivo sobre uma placa de porcelana em um movimento similar ao de um pêndulo, resultando em atrito a cada passagem. Esse teste permite a avaliação de diferentes alturas e pressões exercidas sobre o explosivo, com o objetivo de observar se ocorre carbonização (combustão), deflagração ou detonação.



Outros testes são conduzidos em laboratórios pelos fabricantes de explosivos, visando avaliar os diversos efeitos provocados nos explosivos quando submetidos a estímulos externos. Esses testes servem como base para determinar os limites de segurança de cada explosivo, originando recomendações e procedimentos para a manipulação apropriada desses materiais.

www.blastingtreinamentos.com

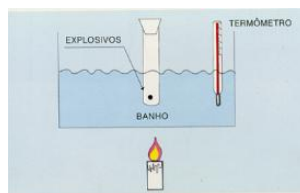
É fundamental considerar que os acessórios frequentemente revestem seus explosivos com algum tipo de material, como a pentrita recoberta no cordel detonante ou a azida de chumbo nas cápsulas dos detonadores. Isso proporciona uma margem de segurança um pouco maior. No entanto, quando, por algum motivo, expomos esses explosivos, como no corte de um cordel detonante ou de um tubo de choque, é absolutamente essencial ter cautela, uma vez que a exposição aumenta os riscos associados à manipulação.

Algumas práticas comuns, porém, equivocadas, como cortar cordéis detonantes com uma pedra ou cortar tubos de choque, aumentam substancialmente o potencial de risco. Essa situação deveria elevar a preocupação e motivar a adoção de medidas para evitar tais circunstâncias.

É imperativo que se avaliem as operações, identificando práticas que aumentem o potencial de risco. Tudo isso começa com o conhecimento das características e propriedades dos explosivos que estão sendo manuseados. Esse entendimento é essencial para otimizar a segurança e eficácia das operações relacionadas aos explosivos.

4.2.4 Sensibilidade a temperatura

A sensibilidade dos explosivos ao calor é um fator relevante a ser considerado, visto que, à medida que esses materiais são gradualmente aquecidos, atingem uma temperatura crítica em que ocorre decomposição súbita, com a liberação de gases. Esse ponto específico é identificado como "ponto de ignição". Por exemplo, a pólvora possui uma variação de temperatura entre 300 e 350°C, enquanto os explosivos industriais apresentam uma faixa de temperatura que geralmente varia entre 180 e 230°C.



Importa destacar que tal temperatura de ignição difere da sensibilidade à chama ou ao fogo, que indica a capacidade do explosivo de inflamar-se facilmente. No caso da pólvora, apesar de demonstrar uma notável sensibilidade ao calor, sua inflamabilidade é alta, bastando uma pequena centelha para desencadear uma reação, situação semelhante a nitrocelulose.

www.blastingtreinamentos.com

Outros dois aspectos cruciais que merecem atenção especial são o fenômeno da "elevação de temperatura em terrenos reativos" e os denominados "terrenos quentes". A expressão "terrenos quentes" diz respeito a rochas que mantêm naturalmente temperaturas elevadas, geralmente superiores a 50°C. Já o conceito de "solo reativo" se refere a uma rocha que reage e gera calor quando entra em contato com nitratos. Comumente, rochas contendo sulfetos podem desencadear uma reação auto catalítica de início abrupto, sem necessidade de altas temperaturas, resultando em velocidade de reação imprevisível.

Há riscos associados a altas temperaturas ou a terrenos reativos, tais como a decomposição repentina e violenta de nitrato de amônio, a potencial geração de fumaça tóxica, a iniciação prematura de detonadores e até mesmo a possibilidade de ocorrência de explosões durante a detonação.

Para gerenciar esses riscos, recorre-se ao uso de produtos especialmente desenvolvidos e à rigorosa implementação de procedimentos de carregamento. Caso se detecte a presença de fumaça ou indícios de reações não usuais do produto em um furo de detonação, é imperativo notificar imediatamente o responsável pela operação e realizar a evacuação imediata da área.

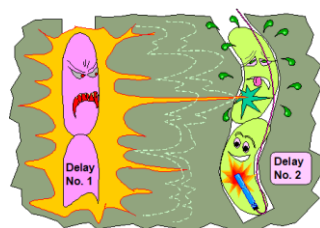
É essencial observar que a sensibilidade ao calor e à chama dos explosivos pode variar substancialmente, e é necessário ter pleno conhecimento dos diferentes limites de sensibilidade. A presença de outros componentes químicos na área de detonação ou nos locais de armazenamento e transporte dos explosivos também pode levar a reações inesperadas, o que ressalta a importância de manter os explosivos completamente separados de quaisquer outros materiais químicos.

É vital evitar práticas inadequadas que possam aumentar o potencial de risco, como, por exemplo, o despejo de substâncias químicas dentro dos furos de detonação ou em áreas destinadas à detonação. Tais situações podem representar riscos significativos à segurança e ao desempenho da detonação, enfatizando a necessidade de vigilância contínua e profundo entendimento das características dos explosivos manuseados.

4.3 Dessensibilização

A dessensibilização dos explosivos é um aspecto crítico a ser considerado, pois pode levar a danos e falhas durante a detonação, seja no momento do carregamento ou após esse procedimento. A dessensibilização física dos explosivos ocorre principalmente devido à destruição dos pequenos vazios internos, ou seja, dos pontos de sensibilização que são responsáveis por iniciar e propagar a frente de detonação, mas também pode estar associada a separação de componentes ou fases dos explosivos, afetando suas características.

A principal causa de dessensibilização durante a detonação é a intensa pressão gerada pelas cargas detonadas sobre as que ainda não detonaram. Quando os furos estão próximos e são iniciados com retardos diferentes, a pressão gerada pela detonação do primeiro furo pode, em circunstâncias desfavoráveis, dessensibilizar



outras cargas, especialmente quando há elevada carga, distância reduzida entre os furos e maior intervalo de tempo entre as detonações. Esse fenômeno é conhecido como "dessensibilização dinâmica à pressão" (DPD).

Para gerenciar os riscos de dessensibilização, é essencial adotar produtos e procedimentos específicos durante o carregamento. É crucial compreender que a sensibilidade dos explosivos pode ser impactada por diversos fatores, como eventos de pressão dinâmica ou forças excessivas que comprometam a porosidade dos explosivos. Esse efeito de dessensibilização dinâmica pode afetar tanto os explosivos quanto os acessórios. Nos explosivos, o resultado mais comum é o aumento da densidade, levando à perda dos elementos sensibilizantes. Nos acessórios, pode ocorrer esmagamento ou destruição, impedindo sua correta iniciação.

A presença de rochas porosas e a existência de água podem intensificar os eventos de pressão dinâmica, especialmente nos detonadores, que são mais suscetíveis a esse tipo de ocorrência, particularmente os detonadores eletrônicos devido ao espaço vazio dentro de suas cápsulas, assim como podem contribuir para uma degradação dos explosivos ou separação dos seus componentes.

www.blastingtreinamentos.com

É prática comum realizar testes para determinar as relações entre distâncias e cargas explosivas entre dois furos que podem resultar em pressão dinâmica. Essas medidas de segurança geralmente estão relacionadas à temporização dos furos, assegurando que furos com cargas superiores ao limite ou com distâncias menores do que o mínimo aceitável sejam detonados simultaneamente para evitar danos mútuos.

As principais causas de DPD incluem:

- A onda de choque de um furo passando por outra carga durante a detonação;
- Deformação dos furos ou movimentação do solo;
- Fluxo de gases de alta pressão através de fraturas na rocha;
- Más práticas de armazenamento e aplicação dos explosivos podem afetar a sua sensibilidade e intensificar eventos de dessensibilização.

É relevante destacar que os eventos de dessensibilização durante a detonação são intensificados em casos de rochas fracas, porosas e/ou saturadas de água, assim como por explosivos em péssimas condições. Um outro exemplo é quando utilizamos um conjunto de explosivos e acessórios inadequado, onde um pode danificar o outro, como o caso de uma linha de cordel detonante dentro do furo que pode danificar o explosivo principal antes mesmo de iniciar o reforçador.

Apesar de não ser um dos maiores problemas na aplicação dos explosivos no desmonte de rochas, mas é uma causa de falha que muitas vezes é desconhecida e pode afetar vários cenários se não tivermos o conhecimento adequado dos produtos e práticas para sua utilização. Por isso a gestão adequada da dessensibilização é fundamental para garantir a eficácia e a segurança das detonações.

4.4 Densidade

A densidade, uma propriedade intrínseca dos explosivos, exerce influência determinante na qualidade e eficácia do desmonte de rochas. Essa grandeza revela a relação entre a massa e o volume de um corpo, sendo frequentemente expressa em unidades como g/cm^3 ou kg/m^3 . No contexto dos explosivos, é



www.blastingtreinamentos.com

comum encontrar variações de densidade numa faixa que se estende geralmente de 0,8 a 1,7 g/cm³.

A densidade desempenha um papel crucial na velocidade de detonação dos explosivos, bem como na sua sensibilidade e na quantidade de explosivos que conseguimos pôr em um furo. A energia inerente ao explosivo tende a aumentar à medida que a densidade de carregamento é incrementada, contudo, esta relação não é diretamente proporcional no caso dos explosivos à base d'água, tais como as emulsões. É possível, por exemplo, encontrar duas emulsões com idêntica densidade, mas com níveis energéticos consideravelmente divergentes.

A utilização de explosivos de alta densidade possibilita maior concentração de carga, permitindo a introdução de maior quantidade de quilos por metro de perfuração. A densidade de um explosivo é crucial para o cálculo da quantidade de carga requerida para uma detonação adequada. As variações de densidade dos explosivos têm o propósito de permitir ao usuário concentrar ou distribuir de forma apropriada as cargas nos furos, otimizando sua aplicação de acordo com as necessidades específicas.

A densidade também desempenha um papel vital na determinação da quantidade de carga explosiva para uma detonação controlada. A razão de carga, que representa a quantidade de explosivo na detonação, é diretamente afetada pelas variações de densidade do explosivo.

A densidade assume um papel crítico em relação aos agentes explosivos, uma vez que baixos valores podem tornar esses explosivos mais sensíveis, como por exemplo ao cordão detonante, levando à iniciação prematura e ineficiente, antes mesmo da detonação do reforçador. Por outro lado, altos valores de densidade podem tornar os explosivos insensíveis, resultando em falha na detonação. Essa densidade limite é denominada Densidade Crítica ou de Morte, aspecto a ser abordado posteriormente.

A densidade desempenha um papel crucial na sensibilidade à iniciação da maioria dos explosivos. Mudanças na densidade podem levar a situações em que explosivos que normalmente necessitam de um reforçador para iniciação são acionados por detonadores ou cordéis detonantes devido a baixas densidades. O oposto também é verdadeiro, onde um aumento excessivo na densidade pode requerer a adição de um reforçador para que o explosivo sensível ao detonador seja iniciado adequadamente.

www.blastingtreinamentos.com

Além disso, é essencial considerar a presença de água durante o carregamento dos furos, especialmente em relação à densidade dos explosivos. A água apresenta densidade em torno de 1 g/cm^3 , no entanto, a água suja ou salgada pode exibir densidades superiores, alcançando até $1,15 \text{ g/cm}^3$. Isso implica que qualquer explosivo com densidade inferior a este valor tenderá a flutuar na presença desses tipos de água, tornando-se um fator determinante na escolha da densidade dos explosivos e na aplicação de técnicas adequadas de carregamento, por isso os explosivos a prova d'água tendem a serem aplicados com densidades iguais ou superiores a esse valor.

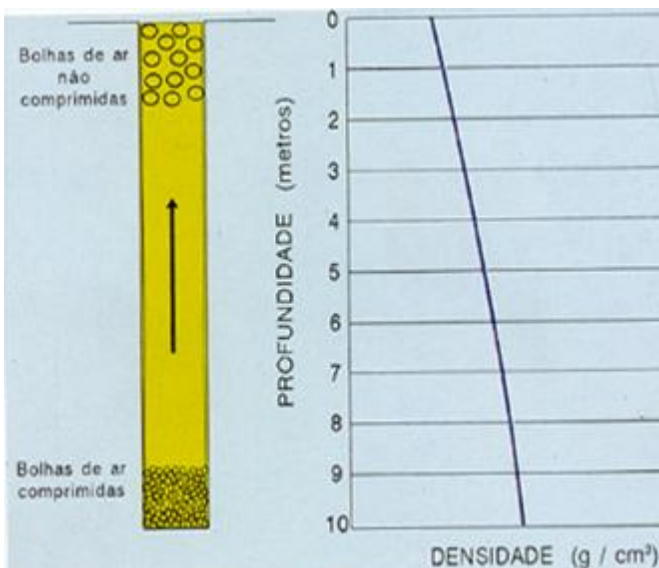
Dessa forma, percebe-se que a densidade possui diversas aplicações práticas na atividade diária do desmonte de rochas, sendo uma das propriedades essenciais que requerem controle rigoroso, principalmente quando lidamos com explosivos aplicados mecanicamente, onde a densidade é determinada durante a aplicação e representa um dos principais, senão o principal, controle de qualidade.

Em resumo, a densidade dos explosivos é uma propriedade crucial, com implicações diretas na velocidade de detonação, sensibilidade, concentração de carga, escolha de densidade em presença de água, controle de qualidade e outros aspectos essenciais para o desmonte de rochas, por isso precisamos conhecer como essa propriedade afeta os explosivos que utilizamos e quais são os limites, mínimos e máximos, que precisamos ter como pontos de atenção.

4.4.1 Efeito da pressão de coluna sobre a densidade

Um tema de considerável importância é o efeito da pressão exercida pela coluna de explosivo sobre a densidade, sobretudo quando se trata de furos de grande profundidade, com diâmetros alargados ou com substancial peso no tampão. Este fenômeno está presente na distribuição do explosivo ao longo do furo e resulta diretamente da pressão hidrostática. Esse aspecto deve ser observado com cautela, uma vez que pode impactar a sensibilidade e a eficácia da detonação, especialmente quando a densidade ultrapassa o limite crítico. Em cenários de furos profundos, maiores a 20 metros é possível observar variações de densidade superiores a 10%, o que já é considerado um percentual elevado e pode já afetar alguns explosivos.

O processo opera da seguinte forma: à medida que nos aproximamos do fundo do furo, o explosivo é submetido a força de uma pressão crescente originada pela parte superior da coluna de explosivo, o que ocasiona uma redução do volume de ar no explosivo, provocando assim um aumento gradual da densidade. Este incremento de densidade é mais



notável na região inferior, onde o explosivo suporta a compressão do peso de todo o material acima, ou seja, o peso do material do tampão e mais o peso do próprio explosivo, em que a parte de cima exerce sobre a parte de baixo.

Este fenômeno assume relevância significativa à medida que os furos alcançam maiores profundidades, apresentam diâmetros mais amplos ou quando o material do tampão possui peso considerável. Além disso, explosivos gaseificados tendem a ser mais suscetíveis a este efeito, devido à maior facilidade de escape das bolhas de ar quando comprimidas pelo peso.

Em algumas circunstâncias, como no caso de detonações a céu aberto em condições normais, este efeito pode ser benéfico, promovendo uma maior concentração de carga no fundo do furo, onde a fragmentação e a remoção da rocha são mais desafiadoras. No entanto, quando esta variação de densidade afeta a sensibilidade do explosivo, torna-se um fator crítico que pode resultar em falhas na detonação. Isso ocorre, principalmente, porque a detonação é geralmente iniciada pelo fundo do furo, e um explosivo com densidade acima da densidade crítica não será detonado.

Outro ponto de considerável atenção é a prática comum de controlar a quantidade de explosivos que é inserida nos furos, especialmente quando se

www.blastingtreinamentos.com

utiliza explosivos de aplicação mecânica. Esta medida frequentemente baseia-se na densidade medida no copo de amostra, que representa apenas a densidade na parte superior do furo antes de ser tampado. Dessa forma, essa densidade tende a ser significativamente menor do que a densidade no interior do furo, resultando em diferenças na quantidade de carga ou no tamanho do tampão, por isso é importante avaliar cada cenário e estimar a carga média do explosivo no furo, para usar ela como referência no cálculo da quantidade de carga. Normalmente alguns fabricantes indicam essa variação de carga em forma de tabela ou gráfico em seus catálogos ou alguns programas podem ser utilizados para determinar a densidade média do explosivo em cada condição, considerando normalmente o diâmetro, profundidade do furo, comprimento da carga, tampão, tipo de explosivo e presença de água.

É de extrema importância compreender a influência da pressão da coluna de explosivo sobre a densidade, a fim de garantir uma detonação eficaz e controlada. O conhecimento das variações de densidade ao longo do furo, juntamente com a compreensão da sensibilidade do explosivo, possibilita um planejamento mais preciso e a mitigação dos riscos associados a esta propriedade.

4.4.2 Tipos de densidade

Para um monitoramento eficiente da qualidade, densidades e quantidade de explosivo consumido, é imperativo avaliar três medidas distintas de densidade no contexto dos explosivos industriais:

- **Densidade do Produto:** Essa medida representa a densidade-padrão do explosivo em condições normais e é fundamental para o controle de qualidade, permitindo a avaliação se o explosivo está em conformidade com os padrões estabelecidos. É a densidade divulgada nos catálogos de produtos. No caso dos explosivos aplicados mecanicamente, finalizados durante a aplicação, essa medida é denominada densidade de copo, e sua aferição é essencial para garantir a qualidade do explosivo aplicado. É crucial que essa medição ocorra a temperatura ambiente, sem qualquer forma de confinamento que possa influenciar a pressão e afetar os valores.

- **Densidade de Carregamento ou Efetiva:** Esta é a densidade real do explosivo no interior do furo, determinada pela relação entre a massa do explosivo aplicada e o volume do furo ocupado por essa massa. É essa densidade que deve ser empregada nos cálculos de consumo de explosivo e na razão de carga para o desmonte de rochas. Ela representa a densidade média no furo, reconhecendo que o explosivo não terá exatamente essa densidade ao longo de todo o furo, devido ao efeito da pressão de coluna sobre a densidade, onde na porção superior, a densidade será menor, enquanto na porção inferior, será maior. No entanto, a densidade de carregamento reflete a média das variações de densidade dentro do furo, sendo a densidade média de aplicação.
- **Densidade Crítica ou de Morte:** Esta é uma faixa limitada de densidade que um explosivo pode apresentar, além da qual suas características de iniciação e detonação são comprometidas. Um explosivo com densidade fora dessa faixa pode não detonar ou perder sua sensibilidade. Esta medida é crítica para assegurar o sucesso da detonação e evitar problemas de iniciação inadequada ou falha na detonação.

Quando consideramos a densidade crítica ou de morte, é importante reconhecer que quando a densidade do explosivo ultrapassa o limite superior dessa faixa crítica, o explosivo se torna insensível à iniciação, resultando em falha no processo de detonação. Esse cenário pode acarretar consequências indesejadas, especialmente em aplicações onde a confiabilidade da detonação é essencial, como operações de desmonte de rochas. Por outro lado, quando a densidade se aproxima do limite inferior, o explosivo também pode apresentar problemas de detonação, uma vez que a baixa densidade reduz a eficácia da propagação da onda de choque, levando a um desempenho insatisfatório, o que muitas vezes pode causar a deflagração em vez da detonação, ou mesmo fazer com que a reação seja interrompida e parte do explosivo não venha a detonar.

É fundamental conhecer a faixa de densidade crítica específica para cada tipo de explosivo, uma vez que diferentes formulações de explosivos possuem características únicas em relação à sua sensibilidade, composição e propriedades físicas. Conhecer a densidade crítica é essencial para assegurar

www.blastingtreinamentos.com

o sucesso das operações de detonação, garantindo que a densidade do explosivo seja mantida dentro de uma faixa segura e eficaz.

É crucial compreender que a densidade do produto é utilizada para fins de controle de qualidade, a densidade de carregamento é empregada para o controle da carga e do consumo de explosivos, e por fim, a densidade crítica ou de morte define a faixa de variação aceitável da densidade.

4.4.3 Controle de densidade

Nos explosivos industriais, o controle da densidade é frequentemente realizado por meio do processo de sensibilização, que envolve a adição de microesferas (microesferas de vidro ou plástico) ou gaseificação química. A aplicação dessas microesferas ou bolhas desempenha um papel crucial na sensibilização dos explosivos e a determinação da densidade do explosivo é baseada na sua quantidade final.

A utilização de **microesferas de vidro ou plástico** no processo de sensibilização física é uma prática comum. Essas microesferas atuam como



pontos de sensibilidade, conhecidos como "Hot Spots", conferindo uma maior resistência à pressão hidrostática. Portanto, são mais indicadas para aplicações em furos profundos, bem como para suportar as pressões às quais a carga explosiva pode ser submetida durante o processo de manipulação e detonação. Geralmente, esse processo requer um ambiente controlado devido à dificuldade de manipulação das microesferas, resultando em um produto de maior qualidade, que já vem pré-sensibilizado, apresentando maior resistência à manipulação, transporte e armazenamento. Essa abordagem é mais comum em explosivos encartuchados, embora seja mais cara devido à complexidade do processo.

Por outro lado, a **sensibilização química** envolve o uso de componentes químicos que reagem com os constituintes do explosivo, gerando bolhas de ar ou gás, que também atuam como pontos de sensibilidade, os "Hot Spots". Esse método é mais econômico do que a sensibilização física e pode ser realizado tanto na fábrica quanto no momento da aplicação dos explosivos. A

www.blastingtreinamentos.com

reação química gera uma quantidade significativamente maior de bolhas, distribuindo-as de forma mais homogênea ao longo da massa do explosivo, o que permite densidades mais baixas e uma sensibilização mais eficaz. No entanto, as bolhas de ar são menos resistentes do que as microesferas, tornando a sensibilização química menos estável e mais suscetível a pressões externas.

Microesfera

- Melhor resistência à pressão hidrostática em aplicações de furos profundos
- Facilidade de uso
- Melhor resistência à pré-compressão (pressão morta) com parede de maior espessura
- Não há migração de bolhas em emulsões de baixa viscosidade
- Produto pré-sensibilizado resiste melhor ao transporte

Gasificação química

- Menor custo
- Mínima densidade
- Grande número de bolhas por volume de unidade
- Permite sensibilização de produtos bombeados na bancada
- Permite armazenamento e transporte de produto matriz como oxidante

Uma das grandes vantagens da sensibilização química, nos explosivos bombeados, é a possibilidade de realizar a sensibilização apenas no momento da aplicação, permitindo que todas as etapas de manipulação sejam realizadas antes de o explosivo ser sensibilizado. Isso traz diversos benefícios em termos de segurança, bem como em relação a questões legais e de controle de produto.

A quantidade de microesferas ou bolhas adicionadas determina tanto a sensibilidade quanto a densidade final do explosivo, pois essas adições representam os espaços vazios na massa do explosivo. Quanto mais espaços vazios forem introduzidos, maior será a sensibilidade, porém menor será a densidade, e vice-versa. Também é importante destacar que a sensibilidade

www.blastingtreinamentos.com

aumenta com o diâmetro da bolha e diminui à medida que aumenta a espessura da parede (a resistência de pré-compressão aumenta). Esse controle cuidadoso permite ajustar tanto a sensibilidade quanto a densidade dos explosivos, de acordo com as necessidades específicas de cada aplicação.

Dessa forma, o processo de sensibilização desempenha um papel crucial na definição das propriedades dos explosivos industriais, permitindo otimizar a sua performance em diferentes cenários operacionais. A escolha entre sensibilização física ou química depende de diversos fatores, incluindo as características do explosivo, o ambiente de aplicação e os requisitos de segurança e qualidade.

4.4.4 Exemplos de medidas de densidade

É notável que a densidade é uma característica fundamental nos explosivos utilizados no desmonte de rochas. A faixa de densidades, geralmente variando de 0,8 a 1,7 gramas por centímetro cúbico, engloba uma diversidade de explosivos com diferentes aplicações e propriedades.

Densidades de alguns explosivos em g/cm³:

- ANFO vertido solto = 0,80
- ANFO carregado por sopro = 0,95
- Misturas ANFO/Emulsão = 1,05 a 1,25
- Emulsões resistentes à água = 1,05 a 1,30
- Encartuchados = 1,15 a 1,60
- Booster = 1,70

Um exemplo é o ANFO, cuja densidade varia de 0,80 quando aplicado solto a 0,95 quando aplicado de forma pneumática, devido à maior pressão de aplicação. As misturas de ANFO e Emulsão exibem densidades que podem oscilar de 1,05 até 1,25 gramas por centímetro cúbico, dependendo das proporções e da densidade da emulsão utilizada. As emulsões aplicadas mecanicamente possuem uma faixa de variação ligeiramente mais ampla, de 1,05 até 1,30, demonstrando flexibilidade para ajustes durante a aplicação.

Os boosters, produzidos em fábricas, possuem densidades mais elevadas, aproximando-se de 1,70 gramas por centímetro cúbico, enquanto os explosivos encartuchados podem exibir densidades variáveis, dependendo da

www.blastingtreinamentos.com

formulação e do processo de sensibilização. Estas podem variar de 1,15 até 1,60.

Embora o controle da densidade de encartuchados não seja rotineiramente realizado no campo, é uma prática recomendável para garantir a qualidade e a operacionalidade do desmonte de rochas. Um exemplo simples de medição de densidade envolve a pesagem do encartuchado, determinação do volume através de deslocamento de água e, por fim, a divisão do peso pelo volume para obter a densidade. Esta abordagem, realizada com poucos recursos, proporciona uma avaliação do controle de qualidade e das informações fornecidas pelos fabricantes.

É importante mencionar a densidade da água suja ou salgada, que pode alcançar até 1,15 gramas por centímetro cúbico. Isso significa que um encartuchado, principalmente por estar contido em uma embalagem plástica, poderia flutuar nessa água, enquanto uma emulsão bombeada poderia ser aplicada desde o fundo do furo, expulsando água, devido às suas densidades iniciais mais altas, que atingem a densidade final após um período padrão de gaseificação, normalmente 20 a 30 minutos.

Isso evidencia como produtos com densidades aparentemente similares podem ser aplicados de formas distintas e produzir resultados diferentes, levando-nos a refletir sobre as nuances da densidade na prática.

4.5 Velocidade de detonação

A velocidade de detonação (VOD) representa uma propriedade fundamental dos explosivos, desempenhando um papel crucial em suas características e desempenho. A VOD é a velocidade com que um explosivo detona, refletindo a taxa na qual a onda de choque se propaga ou a reação química de decomposição ocorre. O termo VOD, abreviação de "Velocity Of Detonation" em inglês, é frequentemente empregado para se referir à velocidade de detonação dos explosivos, inclusive na nomenclatura dos dispositivos usados para tais medições, denominados "equipamentos de VOD".

A variação da VOD pode ocorrer ao longo do furo devido a uma gama de fatores, desde o processo de iniciação até as condições de aplicação do explosivo. Dessa forma, quando se realiza a medição da VOD, é relevante

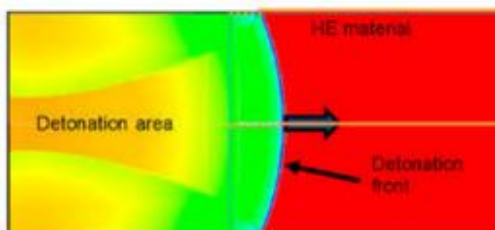


www.blastingtreinamentos.com

selecionar um ponto da coluna onde a velocidade tenha se estabilizado, representando efetivamente a reação autossustentada pelo próprio explosivo.

O objetivo primordial no que tange à velocidade do explosivo é que ele alcance sua VOD máxima o mais rapidamente possível, assegurando, assim, uma detonação eficiente. Para atingir esse objetivo, é essencial uma iniciação precisa e condições ideais que mantenham a VOD até a completa detonação do explosivo. Desta forma, obtém-se a máxima liberação de energia, a qual desempenha um papel crucial na fragmentação das rochas.

A VOD constitui um parâmetro de destaque na determinação do desempenho do explosivo, uma vez que, embora não influencie diretamente a energia do explosivo, ela determina a velocidade de liberação desta energia, impactando diretamente na pressão gerada durante a detonação. A convicção comum de que explosivos com VOD mais alta são apropriados para rochas duras, enquanto explosivos com VOD mais baixa são mais indicados para rochas mais brandas, merece questionamento. A seleção do explosivo, incluindo a VOD, deve ser pautada nos objetivos finais do desmonte, tais como o nível de fragmentação desejado, a distribuição adequada dos fragmentos e os impactos específicos para cada cenário de detonação.



É importante compreender que uma VOD mais alta não necessariamente implica que o explosivo é mais energético. Na realidade, indica que a energia é liberada mais rapidamente aumentando assim a pressão gerada, o que interfere na energia de impacto. A energia gasosa, por outro lado, pode ser menor, resultando em uma energia total do explosivo potencialmente menor. Portanto, ao comparar explosivos, é fundamental basear a comparação na energia total ou, conforme as necessidades específicas, na energia de impacto ou energia gasosa.

A faixa típica de VOD para explosivos industriais varia de 2000 a 8000 metros por segundo. A pólvora representa o extremo inferior, com VOD de cerca de 2000 metros por segundo quando confinada, podendo ser ainda menor em condições ambientais. No extremo oposto, temos o cordel detonante e os

www.blastingtreinamentos.com

boosters, que podem alcançar velocidades superiores a 7000 metros por segundo.

A VOD do explosivo é influenciada por uma série de fatores, incluindo o diâmetro, o grau de confinamento durante a detonação, as condições de carregamento, bem como suas características físico-químicas, como densidade, temperatura, composição química e o tipo de iniciação empregado. Para comparar a VOD de dois explosivos, é essencial que as medições ocorram dentro do mesmo contexto, incluindo a mesma rocha, diâmetro, temperatura e condições de aplicação.

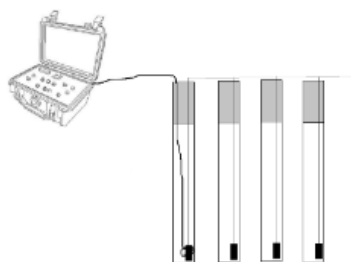
É comum conduzir testes de VOD ao considerar a troca de fornecedores. No entanto, é crucial realizar esses testes nas mesmas condições, preferencialmente no mesmo momento e local. Alterações significativas nas condições podem impactar os resultados, e quaisquer variações fora da faixa normal devem ser investigadas para determinar suas causas.

Devido a essa complexidade e à influência das condições de aplicação, os fabricantes geralmente indicam faixas de VOD para seus explosivos, em vez de valores exatos. As condições específicas de aplicação podem afetar os resultados reais da VOD. Portanto, é essencial estar atento às condições de aplicação para garantir que o explosivo não apenas forneça resultados representativos nas medições, mas também apresente o melhor desempenho possível ao longo dos desmontes de rocha.

4.5.1 Medição de VOD

A medição da VOD é realizada por meio de equipamentos específicos. Estes dispositivos são projetados para medir a velocidade de detonação dos explosivos, mas também podem ser mais abrangentes, realizando outras medições, como por exemplo, a medição de vibrações durante a detonação ou utilizados em testes de pressão dinâmica, isso dependendo do modelo e fabricante do equipamento.

O teste de VOD é conduzido em campo, no momento da detonação dos furos. Para realizar essa medição, é necessário um cabo especial com características e resistência



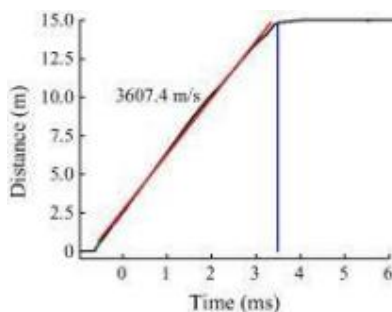
www.blastingtreinamentos.com

bem definidas. Esse cabo é inserido ao longo da coluna de explosivo, onde a extremidade que entra no furo está conectada em um curto-circuito, enquanto a outra extremidade é ligada ao equipamento de medição. Durante a detonação, o cabo é destruído pelo explosivo, e o equipamento mede a velocidade dessa destruição, que é igual à velocidade de detonação do explosivo.

O teste de VOD pode ser executado em um único furo ou em vários furos em série. Além disso, pode ser conduzido ao ar livre, utilizando encartuchados ou cordel detonante. É importante ressaltar que diferentes condições de aplicação podem resultar em diferentes resultados nos testes de VOD. Portanto, a interpretação dos resultados deve considerar essas variações, uma vez que as condições específicas influenciam diretamente nos valores obtidos.

4.5.2 Analisando resultados

Os resultados das medições de VOD são apresentados em gráficos pelo software dedicado de cada equipamento, onde podemos ajustar os pontos de medida e avaliar o resultado mais coerente de acordo com as condições do explosivo. É possível encontrar os resultados de múltiplos furos em um mesmo gráfico, dependendo do teste realizado, permitindo a observação das variações da velocidade do explosivo ao longo dos furos. Essas variações oferecem indicativos das condições durante a aplicação.



A leitura correta desses resultados demanda conhecimento e experiência, dado que diferentes interpretações podem surgir devido às variações nas leituras. É essencial compreender as características reais de aplicação do explosivo para a interpretação apropriada dos resultados, pois um mesmo explosivo pode apresentar variações de velocidade ao longo do furo, influenciado por características de iniciação e outros fatores como água, contaminação e separação de cargas.

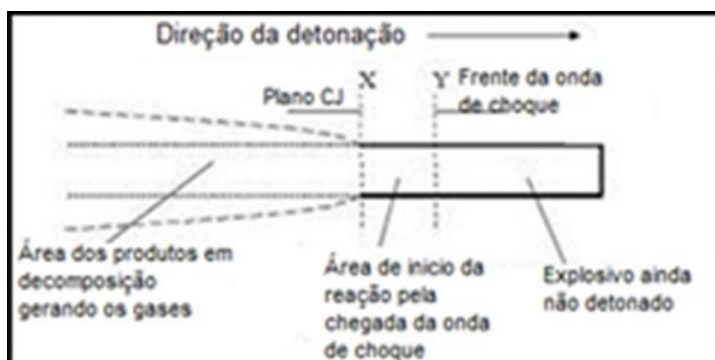
De maneira geral, considera-se uma variação aceitável nas medições de VOD de até 10% para mais ou para menos. Variações acima desse limite podem indicar alterações no explosivo ou nas condições de aplicação. É de extrema

www.blastingtreinamentos.com

importância realizar testes de VOD periodicamente, pois ele é o único parâmetro direto do explosivo que podemos medir durante a detonação, assegurando a qualidade e avaliando as condições de aplicação. A análise das VODs dos explosivos possibilita a avaliação de várias características da aplicação, servindo para monitorar e aprimorar as práticas operacionais.

4.6 Pressão de detonação

A pressão de detonação é um fenômeno crucial que ocorre no momento da detonação de explosivos, sendo o primeiro impacto que esses materiais exercem sobre a rocha que circunda o explosivo. Essa pressão é gerada em uma superfície denominada "Chapman Jouguet", também conhecida como plano CJ, que representa a região onde a frente de detonação se desenvolve, abrangendo a zona de reação primária do explosivo. Em outras palavras, a pressão de detonação é a raiz geradora da onda de choque que se propaga na rocha.



A pressão de detonação é intrinsecamente afetada pela densidade e pela velocidade dos explosivos. O diâmetro dos materiais explosivos também exerce um impacto direto sobre essa pressão, visto que a velocidade de detonação mantém uma relação proporcional com o diâmetro, assim como com quaisquer outros parâmetros que tenham influência na velocidade ou densidade do explosivo.

É plausível considerar que a pressão de detonação representa a energia inicial de choque ou impacto dos explosivos sobre a rocha. No entanto, seu efeito não reside na movimentação da rocha, mas sim na trituração da camada

www.blastingtreinamentos.com

próxima ao explosivo, criando fraturas que se estendem ao longo dela. Essa capacidade de fraturar a rocha é frequentemente denominada como "Brisance".

Diversos estudos oferecem métodos para estimar a pressão de detonação, e uma das equações mais aceitas envolve a multiplicação de uma constante K (geralmente com o valor de 0,25) pela velocidade de detonação (VOD) ao quadrado e pela densidade ($P = K \times V^2 \times D$). Essa fórmula teórica básica é facilmente calculável e serve para realizar comparações quanto à energia de choque entre diferentes explosivos. Contudo, é crucial que tais medições sejam conduzidas sob as mesmas condições, a fim de evitar consideráveis discrepâncias nos resultados. Recomenda-se a utilização de valores reais de densidade e VOD para fins de comparação.

A pressão de detonação, além de representar a energia de impacto dos explosivos, é gerada na frente de detonação, desencadeando a formação da onda de choque que repercute na rocha. Essa pressão é quem afeta a área que chamamos de "zona de trituração", que é responsável por gerar partículas finas durante a detonação. Essa zona é adjacente ao explosivo, circundando a parede interna do furo em contato com o explosivo. Quanto maior a pressão de detonação, mais ampla será a zona de trituração, culminando em uma maior quantidade de partículas finas geradas pela detonação. Portanto, ao buscarmos a produção substancial de finos no desmonte de rochas, é imperativo selecionar um explosivo com uma elevada pressão de detonação.

4.6.1 Pressão de explosão

A distinção entre a pressão de detonação e a pressão de explosão é de suma importância, uma vez que a pressão de explosão, também reconhecida como "pressão de detonação no furo", representa a pressão resultante da expansão dos gases na rocha após o evento de detonação.

Conforme discutido previamente, a pressão de detonação compreende o impacto inicial da onda de choque sobre a rocha, a qual tritura a parede do furo e dá origem a fraturas no material. Posteriormente, os gases, originados da decomposição dos explosivos, adentram essas fraturas, exercendo pressão, expandindo-as e, em muitos casos, criando novas fraturas, o que culmina no deslocamento da rocha, e essa ação dos gases sobre a rocha é a pressão de explosão.

www.blastingtreinamentos.com

É imprescindível elucidar essa distinção, dado que ambas as pressões desempenham papéis fundamentais e têm um impacto direto na fragmentação durante o processo de desmonte de rochas. A pressão de detonação constitui a energia inicial de impacto, enquanto a pressão de explosão representa a energia exercida pelos gases gerados como resultado da detonação. Esses conceitos teóricos são utilizados para tentar compreender os mecanismos subjacentes à detonação e à subsequente fragmentação.

Uma abordagem comum pressupõe que a pressão de explosão corresponde aproximadamente à metade (50%) do valor calculado para a pressão de detonação. Tal perspectiva nos permite perceber que as variações na velocidade e densidade do explosivo exercem influência considerável sobre a pressão de detonação, enquanto a pressão de explosão demonstra ser mais sensível à quantidade de gases gerados durante a decomposição dos explosivos.

4.7 Energia

A energia é outra característica dos explosivos que demanda nossa compreensão, representando, do ponto de vista industrial, uma das propriedades de maior relevância. Essa propriedade é a que define a força ou potência que um explosivo possui para gerar efeitos mecânicos, notadamente os efeitos de fragmentação nas rochas.

Há várias abordagens para expressar e calcular a energia de um explosivo. No passado, quando a nitroglicerina era o principal componente das dinamites, esse parâmetro era fundamental, sendo a porcentagem de nitroglicerina presente um indicador direto da energia do explosivo. Entretanto, nos tempos atuais, o método amplamente aceito para comparar dois explosivos ou calcular a energia relativa é o cálculo da energia em relação ao peso ou volume. Nesse contexto, o ANFO, devido à sua constância e ampla familiaridade, tornou-se a referência padrão para comparação.

Portanto, considera-se que o ANFO possui uma energia de referência de 100, e a energia de outros explosivos é comparada com essa referência. Se um explosivo for mais energético que o ANFO, sua energia será superior a 100; caso contrário, será inferior a esse valor.

www.blastingtreinamentos.com

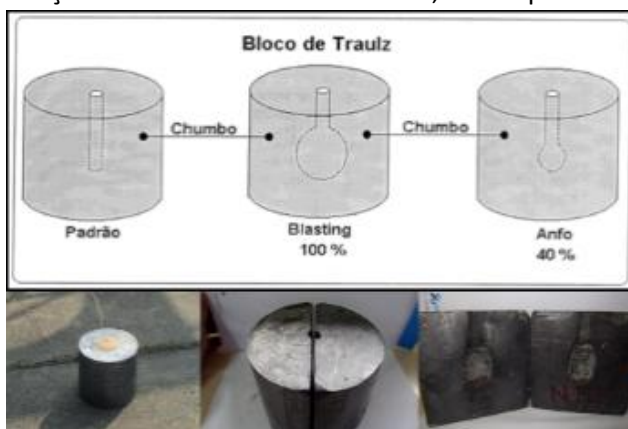
Essa padronização é essencial porque cada fabricante pode calcular a energia de seu explosivo de maneira distinta. Alguns podem basear seus cálculos em elementos químicos, enquanto outros recorrem a testes e ensaios de laboratório. Ao fazer referência ao ANFO, cria-se uma medida uniforme para permitir comparações mais adequadas.

Há vários métodos práticos para medir a energia ou potência de um explosivo, porém todos eles suscitam questionamentos, visto que suas metodologias são altamente debatíveis em razão de suas particularidades e aplicabilidade prática no desmonte de rochas. Alguns explosivos podem exibir resultados excelentes em um método, mas não performar tão bem em outro, o que sublinha que nenhum desses métodos serve como parâmetro universal e muito menos reflete a realidade das inúmeras possibilidades que temos em uma detonação.

4.7.1 Método de Trawlz

Um método comumente utilizado para medir a força ou energia dos explosivos é o método de Trawlz, originalmente desenvolvido para avaliar a resistência de determinados materiais à detonação de explosivos, mas que atualmente é empregado como um dos ensaios práticos para medir a potência desses materiais explosivos.

O teste se baseia na utilização de um cilindro de chumbo, como pode ser observado na figura ilustrativa. Um furo central é perfurado no cilindro, no qual é inserida uma carga inicial de 10 gramas do explosivo que se deseja testar. Após a detonação do explosivo, mensura-se a expansão resultante dentro do cilindro, permitindo assim a comparação entre diferentes explosivos.



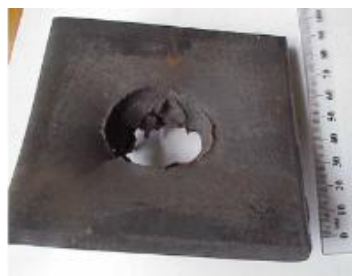
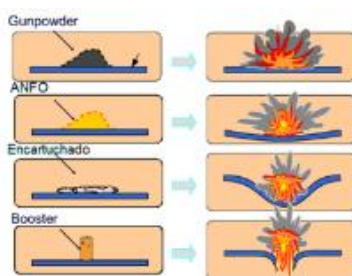
www.blastingtreinamentos.com

Normalmente, os fabricantes realizam esses testes como forma de estabelecer uma comparação inicial entre diferentes formulações que estão sendo desenvolvidas. Isso se deve à maior complexidade em conduzir testes de campo no contexto de desmonte de rochas, o que torna esses ensaios de laboratório uma alternativa para avaliar a eficácia relativa de diferentes composições explosivas.

4.7.2 Método da Placa

Outro método amplamente reconhecido é o método da placa, no qual uma placa de aço é utilizada e uma carga explosiva é posicionada sobre ela, sendo posteriormente detonada para avaliar o dano causado à placa de aço.

Na figura apresentada, pode-se observar um exemplo comparativo dos resultados obtidos. A



detonação de uma carga de pólvora deixa apenas marcas de queima na superfície da placa. Ao detonar uma carga de ANFO, ocorrem apenas pequenas deformações na placa. Em contraste, um encartuchado gera danos mais significativos, enquanto um booster, por fim, consegue perfurar a placa.

Esse método é frequentemente utilizado pelos fabricantes para testar boosters e diferentes formulações, uma vez que o consenso predominante é que um booster de boa qualidade e potência deveria ser capaz de criar um furo na placa de aço. Entretanto, assim como os outros métodos e ensaios, este também é sujeito a questionamentos, principalmente devido às variações na geometria da carga e no sistema de iniciação. Além disso, ele tende a expressar resultados que refletem mais a energia de choque do que a energia total dos explosivos.

Além dos já mencionados métodos de Traulz e da placa, existem diversos outros ensaios desenvolvidos pelos fabricantes para testar seus explosivos. No

www.blastingtreinamentos.com

entanto, esses ensaios fornecem resultados específicos e não representam de maneira precisa a energia ou o desempenho dos explosivos no contexto de desmonte de rochas. Por esse motivo, é sempre necessário realizar testes de campo e comparações no local de aplicação para obter resultados mais pertinentes à realidade de cada situação, principalmente quando estamos avaliando explosivos de fabricantes diferentes.

4.7.3 Energia útil

Na prática, o foco essencial reside não tanto na compreensão dos mecanismos de determinação da energia de um explosivo, mas sim na compreensão da maneira pela qual essa energia é dissipada durante o processo de desmonte de rochas. Nosso objetivo é otimizar o aproveitamento eficiente da energia liberada pelo explosivo durante a detonação, direcionando-a de forma a cumprir com nossos objetivos específicos, ao mesmo tempo em que minimizamos as perdas de energia durante esse processo.

De forma geral, considera-se que a energia de um explosivo é destinada à fragmentação da rocha, à geração de fissuras no maciço e microfissuras nos fragmentos resultantes, ao lançamento do material fragmentado, à produção de luz e calor durante a detonação, à indução de vibrações, ondas aéreas e ruído, entre outros fatores que, apesar de menos expressivos, são levados em conta.



Dentro dessa abordagem, é essencial direcionar nossos esforços e considerar cuidadosamente as circunstâncias presentes. Durante a detonação, é crucial assegurar que a energia do explosivo seja aplicada de maneira altamente eficiente, especialmente no que se refere à fragmentação e ao lançamento do material. Ao mesmo tempo, devemos minimizar as perdas de energia, como aquelas associadas à geração de vibrações. Essas vibrações não apenas representam uma ineficiência energética, mas também têm o potencial de causar impactos ambientais significativos, afetando a segurança e a integridade do maciço rochoso remanescente, que deve ser cuidadosamente preservado.

Este representa um dos pontos cruciais em que devemos concentrar nossa atenção: a ineficiência na detonação não somente implica em perda de energia e impactos negativos nos resultados do desmonte de rochas, mas também significa o potencial de riscos substanciais em relação à geração de impactos ambientais adversos, à segurança e à preservação do maciço rochoso.

Assim, podemos afirmar que a otimização do aproveitamento da energia do explosivo não apenas implica em um melhor desempenho, mas também é essencial para o controle adequado da segurança e dos impactos derivados das detonações.

www.blastingtreinamentos.com

A compreensão da energia de um explosivo pode ser simplificada pela sua divisão em duas partes, as quais representam o seu papel no processo de desmonte de rochas:

- A primeira parte é a **energia de impacto ou energia de choque**, derivada do trabalho exercido pela pressão de detonação previamente mencionada. Em termos simples, essa parcela diz respeito ao impacto da onda de choque durante a detonação do explosivo. O trabalho útil resultante dessa parcela de energia é empregado na trituração da rocha circundante ao explosivo, bem como na continuação da fragmentação provocada pela onda de choque liberada no impacto.
- A segunda parte da energia é a **energia gasosa**, representada pela considerável geração de gases a altas temperaturas, resultantes do processo de decomposição do explosivo. Esses gases em expansão geram a pressão de explosão, discutida anteriormente, sendo responsáveis por pressionar a rocha, abrir as fraturas originadas pela onda de choque, criar novas fraturas e lançar o material fragmentado em direção à face livre.

Portanto, podemos considerar que a energia total liberada por um explosivo é a soma dessas duas energias, as quais se complementam para realizar o processo de fragmentação. Essa energia total deve ser utilizada para avaliar a potência de um explosivo.

Não há um consenso teórico sobre como separar essas duas energias ou calcular essas energias de maneira isolada. Na prática, frequentemente recorre-se às pressões de detonação e de explosão para realizar comparações, ou, alternativamente, utiliza-se a velocidade de detonação (que reflete a pressão de detonação) e a quantidade de gases gerados (refletindo a pressão de explosão).

Portanto, apesar de a energia do explosivo ser uma das propriedades fundamentais, a comparação teórica e prática não é tão simples de executar. Na seleção de um explosivo, é necessário avaliar todas as outras propriedades, bem como os impactos operacionais de cada opção.

Um ponto relevante a ser enfatizado é que a atuação da energia de choque é significativamente mais rápida, ocorrendo durante a detonação efetiva do explosivo e a propagação da onda de choque. Por outro lado, a energia gasosa

www.blastingtreinamentos.com

se manifesta como resultado da detonação do explosivo, agindo de forma mais lenta e sendo responsável pela etapa final da fragmentação, seguida pelo movimento dos fragmentos.

Isso é crucial para entender como diferentes tipos de explosivos atuam no desmonte de rochas. Geralmente, em rochas duras, a energia de impacto é responsável pela maior parte da fragmentação, enquanto em rochas mais brandas, a desagregação do material depende mais da energia gasosa. Entre esses dois extremos, existe um amplo espectro de possibilidades que dependem de diversas variáveis que podem influenciar o comportamento do explosivo.

4.7.4 Energia absoluta

A energia absoluta, é a energia teórica de um explosivo, representando sua energia total. Esse valor é obtido através de cálculos baseados nos constituintes químicos do explosivo, fazendo uso de técnicas termodinâmicas e seguindo princípios de química e matemática. Nesse processo, são calculadas as interações entre as moléculas presentes nos componentes dos explosivos, determinando assim a energia teórica gerada por essa interação durante a detonação ou decomposição dos explosivos. É importante notar que esse cálculo teórico considera uma reação química com 100% de eficiência, representando a capacidade máxima de trabalho disponível.

Na prática, é sabido que inúmeros parâmetros afetam o desempenho da reação química de detonação, o que torna a energia absoluta uma abstração conceitual. Ela é expressa em relação ao peso ou volume, e é medida em quilocalorias de energia disponível. Importante destacar que existem diferentes métodos para calcular essa energia absoluta, tornando inviável a comparação direta entre valores apresentados por diferentes fabricantes. No entanto, esse parâmetro é válido para comparar diferentes explosivos de um mesmo fabricante, assumindo que o mesmo método foi aplicado em todos os seus produtos. Para a comparação entre fabricantes distintos, a energia relativa ao ANFO é mais apropriada.

A energia absoluta pode ser expressa em relação ao peso (AWS - Absolute Weight Strength) ou ao volume (ABS - Absolute Bulk Strength). A representação AWS indica a energia absoluta por unidade de massa, em

www.blastingtreinamentos.com

quilocalorias por quilo de explosivo. Enquanto isso, a representação ABS reflete a energia absoluta por unidade de volume, em quilocalorias por certo volume de explosivo. Estas duas formas de expressar a energia estão relacionadas pela densidade do explosivo. A energia por massa de um explosivo é igual à energia volumétrica desse explosivo multiplicada pela sua densidade ($AWS = d \times ABS$), e para obter a energia mássica a partir da volumétrica, basta dividir a energia mássica pela densidade do explosivo ($ABS = AWS / d$).

4.7.5 Energia relativa

A energia relativa é frequentemente empregada como um parâmetro de comparação entre diferentes explosivos, tendo o ANFO como referência padrão. Essa abordagem decorre das variações nos métodos de cálculo utilizados para determinar a energia absoluta ou teórica de tais explosivos. A referência ao ANFO padrão, constituído por 94% de nitrato de amônio e 6% de óleo diesel, com uma densidade de 0,8 gramas por centímetro cúbico, visa proporcionar uma base consistente para avaliação.

Ao utilizar o ANFO como ponto de partida, é esperado que todos os fabricantes calculem a energia de seus explosivos, tanto em termos de massa (AWS) quanto de volume (ABS), empregando suas próprias metodologias. Entretanto, a energia relativa pode ser comparada sem levar em consideração as distintas abordagens metodológicas empregadas.

Exemplo: um fabricante determinou a AWS de seu explosivo como sendo de 912 quilo calorias por quilo de explosivo, a ABS sendo 739 quilos calorias por litro de explosivo, e o ANFO como sendo de 902 quilos calorias por quilo, com uma densidade de 0,8 gramas por centímetro cúbico.

Anfo: 902 cal/gr densidade= 0,8 gr/cc

Explosivo X : 980 cal/gr densidade= 1,15 gr/cc

$$\text{RWS} = (980/902) * 100 = 108 \%$$

8% más de potencia

$$\text{RBS} = \text{RWS} * (\text{Dexp} / \text{Danfo}) \%$$

$$\text{RBS} = 108 * (1.15/0.80) = 156\%$$

56% más de potencia

Assim como a energia absoluta, a energia relativa pode ser expressa em relação à massa (RWS - Relative Weight Strength) ou ao volume (RBS - Relative Bulk Strength). Como visto no exemplo acima, para calcular a RWS, divide-se a AWS do explosivo pela AWS do ANFO e multiplica-se por 100, resultando em uma RWS de 108%, indicando que esse explosivo possui 8% a mais de energia mássica que o ANFO. Ao calcular a RBS, verifica-se que esse explosivo é 56% mais energético em volume que o ANFO.

Dessa forma, ao realizar o mesmo cálculo para outros explosivos, é possível comparar o quão mais energéticos eles são em relação ao ANFO.

É relevante observar a diferença na variação entre a energia mássica e a volumétrica, onde, por exemplo, a diferença na energia mássica entre o explosivo mencionado e o ANFO é de apenas 8%. No entanto, ao considerar a energia volumétrica, essa diferença aumenta para 56%. Tal discrepância ocorre devido às densidades diferentes dos explosivos, permitindo que um explosivo com densidade maior seja inserido em maior quantidade no mesmo espaço, ou seja, no mesmo furo, em comparação ao ANFO.

Embora a compreensão dessa dinâmica possa ser complexa devido à matemática envolvida, é apropriado simplificar o processo, comparando principalmente a energia mássica entre dois explosivos, a fim de evitar o impacto da densidade na comparação. Por exemplo, explosivos com a mesma energia mássica (RWS igual) podem apresentar diferentes energias volumétricas (RBS diferentes) devido à discrepância em suas densidades.

É crucial reconhecer esse detalhe, uma vez que, frequentemente, a comparação é feita com base na energia volumétrica, o que pode levar ao

www.blastingtreinamentos.com

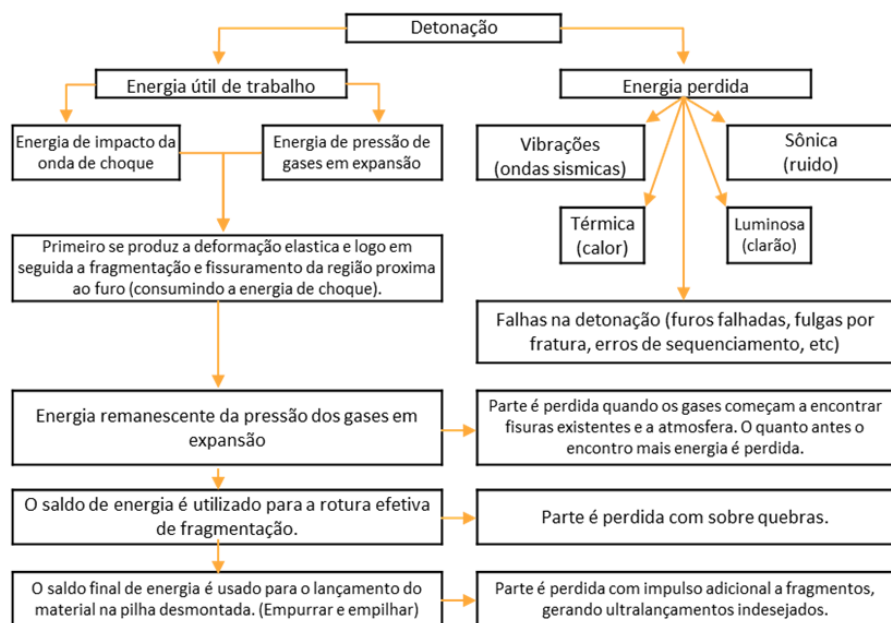
equivoco de considerar um explosivo mais energético do que outro, quando, na realidade, estamos consumindo mais massa desse explosivo devido à sua maior densidade.

Existirão situações específicas, nas quais não dispomos de recursos para perfuração ou precisamos concentrar mais carga explosiva devido às características da rocha, nas quais podemos buscar explosivos com maior densidade ou, então, comparar a energia relativa volumétrica. No entanto, o padrão teórico mais sólido para comparar diferentes explosivos é a energia relativa mássica (RWS).

4.7.6 Distribuição do potencial de energia

Para concluir a discussão sobre energia, é relevante apresentar um quadro que oferece uma representação da distribuição potencial de energia de um explosivo durante o processo de desmonte de rochas.

Primeiramente, observa-se que a energia resultante da detonação do explosivo pode ser direcionada para o trabalho útil ou ser dissipada como perda de energia. Em seguida, a energia útil se divide em duas categorias: a energia de impacto e a energia gasosa, conforme mencionado anteriormente. No entanto, é fundamental estar ciente das perdas de energia ocasionadas por vários fatores, como falhas nas detonações, escape prematuro de gases por fraturas, erros de sequenciamento ou quaisquer situações que resultem na dissipação da energia disponível. O objetivo primordial é minimizar essas perdas de energia em nossas detonações, a fim de reduzir o desperdício, seja através de vibrações, ondas aéreas, calor, luz ou outros elementos que não contribuam para resultados satisfatórios.



No contexto do desmonte de rochas, nosso trabalho não se limita apenas ao planejamento e posicionamento dos explosivos. É crucial realizar essas ações com precisão e, adicionalmente, avaliar minuciosamente os desvios do plano original. Isso inclui verificar a eficácia do tampão, garantir o confinamento adequado durante a detonação, evitar a ejeção precoce de gases, controlar as vibrações e otimizar aspectos que possam estar relativamente adequados, mas que possam ser aprimorados. Essa busca pela otimização visa não apenas prevenir problemas, mas maximizar o desempenho, aproveitando ao máximo a energia dos explosivos para atingir nossos objetivos. Isso resulta em menores perdas de energia, redução de impactos e aumento da segurança.

Ainda comentando sobre a sequência em nossa ilustração, a energia útil de trabalho inicia seu processo causando deformações nas paredes do furo, seguida pelo rompimento da resistência da rocha e trituração dessa rocha próxima ao explosivo, à medida que a onda de choque continua fragmentando e fraturando a rocha até que a energia de choque seja esgotada. Em seguida, ocorre a ação da energia gasosa, decorrente da expansão dos gases, que preenche os espaços, alarga as fraturas criadas, gera novas fraturas e complementa a fragmentação do desmonte de rochas. Por fim, há um saldo

www.blastingtreinamentos.com

remanescente de energia que é empregado para o lançamento do material fragmentado, formando assim a pilha de fragmentos.

Durante o processo de desmonte de rochas, é essencial estar atento para as possíveis perdas de energia. Os gases em expansão podem encontrar pontos de fraqueza na rocha, escapando para a atmosfera prematuramente, resultando em uma perda maior de energia, especialmente em rochas altamente fraturadas ou devido a ineficiências no planejamento do plano de fogo, como um afastamento inadequado. Outra fonte de perda de energia ocorre quando a energia ultrapassa os limites do bloco de rochas, atingindo o maciço remanescente e causando sobrequebras e danos. Portanto, o objetivo primordial é concentrar a utilização da energia dentro dos limites do volume de rochas que precisamos fragmentar.

Por último, o risco de perda de energia e a criação de cenários perigosos ocorrem quando a parte final do processo de lançamento do material desperdiça energia ao impulsionar os fragmentos a distâncias maiores do que o necessário. Isso acarreta riscos de ultralanchamentos que podem resultar em sérios acidentes. Portanto, é imperativo concentrar o aproveitamento da energia gasosa na conclusão da fragmentação da rocha, garantindo que haja o mínimo necessário para o lançamento, dentro dos limites desejados.

Este quadro, como mencionado anteriormente, resume de maneira direta os principais pontos de atenção em um desmonte de rochas e ilustra de maneira clara as diferentes direções que nossa energia pode tomar. Ao analisarmos essas direções, fica evidente para onde a energia deve ser direcionada e o que precisa ser evitado para que as detonações sejam mais eficientes e seguras.

4.8 Gases

A capacidade de gerar gases é uma propriedade essencial dos explosivos, conforme mencionado na própria definição básica do que é um explosivo, e eles desempenham um papel significativo no processo de desmonte de rochas, onde exercem um papel decisivo na fragmentação da rocha e também são responsáveis pelo lançamento do material.

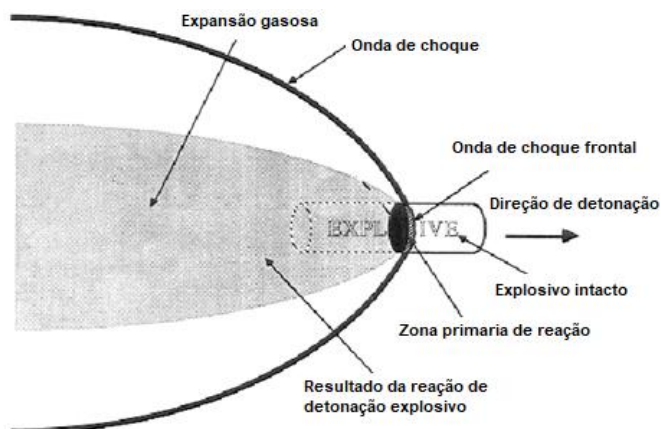
O volume de gás produzido em uma detonação é dado pela relação entre o volume produzido e o peso de explosivo que o gerou, usualmente litros/kg, e como já mencionado anteriormente, os explosivos

podem ser classificados como sendo de alta ou baixa expansão gasosa, onde aqueles que produzem menos de 800 litros de gases por quilo são considerados de baixa expansão gasosa, enquanto os que produzem mais de 800 litros são categorizados como de alta expansão gasosa.

O Volume Gasoso de um explosivo é uma propriedade importante para avaliar sua capacidade em lançar os fragmentos da rocha detonada, principalmente quando estamos fazendo “detonações de lançamento”, normalmente em rochas muito friáveis, cujo objetivo principal é apenas desagregar o material e algumas vezes transpor ele do local para liberar o espaço mais rapidamente.

A maioria dos gases gerados durante uma detonação são componentes já presentes em nossa atmosfera, como nitrogênio, vapor de água e dióxido de carbono, ou seja, são gases normais que não causam danos ao meio ambiente. No entanto, em determinadas situações, podem ser produzidos gases tóxicos, seja devido à ineficiência na formulação química dos explosivos ou por impactos durante sua aplicação.

Dois dos principais gases tóxicos resultantes de uma detonação são o monóxido de carbono, um gás incolor, inodoro e insípido que pode causar sintomas como dor de cabeça, tontura e, em casos graves, desmaios e até mesmo morte. O segundo é o óxido nítrico, que apresenta coloração entre laranja e marrom avermelhado, dependendo da concentração, e possui efeitos irritantes e nauseantes. Quantidades não muito altas podem ser letais para as pessoas expostas.



www.blastingtreinamentos.com

Portanto, é necessário aguardar a dissipação dos gases antes de retornar à área após a detonação, tanto por questões de segurança à saúde quanto ao meio ambiente. A geração de gases tóxicos não apenas representa riscos, mas também é um indicativo de ineficiência na detonação. Nesse sentido, a gestão adequada dos gases gerados é um aspecto crucial do processo de detonação.

4.8.1 Classificação de toxidade dos gases

A classificação dos explosivos quanto à geração de gases tóxicos é fundamental para avaliar o potencial de riscos associados à sua detonação. Existem diversas condições que podem perturbar o equilíbrio de um explosivo, resultando em uma produção maior de gases tóxicos durante a detonação. Essas condições variam desde desequilíbrios químicos devido a erros de fabricação ou formulação dos explosivos até causas relacionadas à aplicação, como iniciação deficiente, contaminação ou confinamento inadequado. Todos esses fatores podem afetar a composição dos explosivos ou sua reação de detonação.

A classificação dos explosivos em relação ao nível de toxicidade dos gases gerados durante a detonação é estabelecida em três categorias:

1. Classe I: Explosivos não tóxicos - geram menos de 22,65 litros de gases tóxicos.
2. Classe II: Explosivos pouco tóxicos - geram entre 22,65 e 46,70 litros de gases tóxicos.
3. Classe III: Explosivos tóxicos - geram naturalmente mais de 46,70 litros de gases tóxicos.

Essa classificação é baseada na formulação química dos explosivos, fornecendo um indicativo inicial de seu grau natural de toxicidade. Em geral, os explosivos que utilizamos são classificados como não tóxicos, pertencentes à classe 1. No entanto, é importante destacar que condições inadequadas podem resultar na geração de quantidades anormais de gases tóxicos, superando os níveis esperados para sua categoria. Portanto, o monitoramento e a manutenção das condições adequadas durante a detonação são fundamentais para garantir que os explosivos permaneçam dentro de suas categorias de toxicidade previstas.

4.8.2 Balanço de Oxigênio

O balanço de oxigênio é um parâmetro químico essencial para avaliar o equilíbrio da formulação dos explosivos em relação à geração de gases. Esse equilíbrio é definido pela proporção entre a quantidade de oxigênio e a quantidade de combustível disponível no explosivo.

Quando o balanço de oxigênio está perfeitamente equilibrado, consideramos que o valor é zero, resultando na geração ideal de gases e um rendimento máximo durante a detonação. No entanto, quando as quantidades de oxigênio e combustível não estão em equilíbrio, surgem dois cenários indesejados:

- O primeiro cenário é o balanço de oxigênio positivo, indicando um **excesso de oxigênio** na composição. Isso leva a uma alta produção de oxigênio, que reage com o nitrogênio presente na atmosfera, resultando na formação de gases nitrosos. O excesso de oxigênio, equivalente à escassez de combustível, resulta na geração de gases nitrosos durante a detonação.
- O segundo cenário é o balanço de oxigênio negativo, indicando **falta de oxigênio** na formulação, ou seja, um excesso de combustível. Nesse caso, ocorre a geração de monóxido de carbono, pois o explosivo tenta consumir oxigênio da atmosfera durante a reação de detonação, convertendo o dióxido de carbono em monóxido de carbono, que também é um gás tóxico.

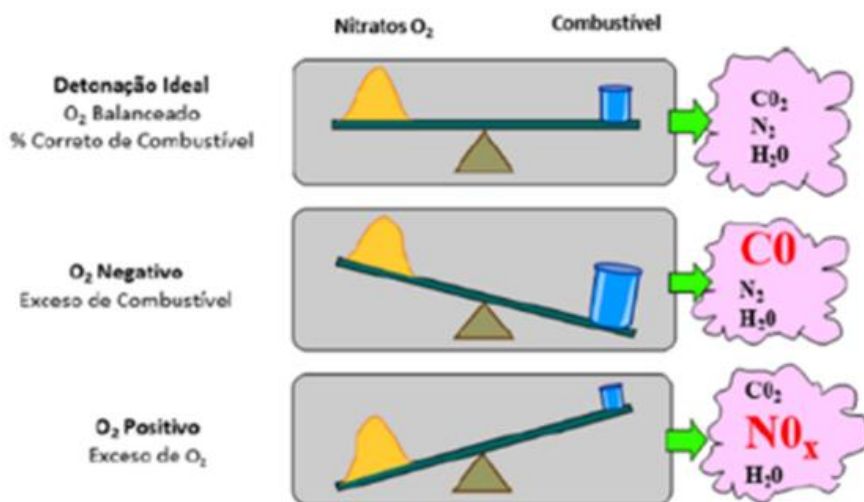


O balanço de oxigênio é o parâmetro químico teórico utilizado para avaliar se um explosivo atende às especificações ideais em termos de geração de gases tóxicos durante a detonação.

Na utilização de explosivos produzido em fábricas, como emulsões encartuchadas, é comum confiar na qualidade do produto entregue pelo fabricante, reduzindo preocupações sobre essas questões. No entanto, em

www.blastingtreinamentos.com

operações que aplicam explosivos de maneira mecânica, esses explosivos são geralmente finalizados e sensibilizados durante a aplicação, tornando o controle de qualidade mais relevante.



Independente do cenário, é sempre importante manter um controle de qualidade operacional para monitorar o desempenho das detonações. Um dos aspectos essenciais a serem controlados é o balanço de oxigênio, o qual deve ser regulado pela aplicação adequada das proporções de cada componente na confecção dos explosivos, bem como pela qualidade das matérias-primas utilizadas. Proporções inadequadas, seja em explosivos simples, como emulsões ou ANFO, ou em produtos blendados mais complexos, afetarão o balanço de oxigênio, a geração de gases e o desempenho do explosivo.

Nos casos de aplicação mecanizada de explosivos, é crucial calibrar adequadamente os equipamentos, monitorar parâmetros de qualidade, como densidade e temperatura do explosivo, e realizar um monitoramento constante das detonações. A principal dificuldade reside no fato de que os efeitos do balanço de oxigênio só são observados após a detonação, especialmente no caso dos gases nitrosos. Isso requer revisão do controle de qualidade dos explosivos e das práticas operacionais para evitar resultados indesejados. Além dos riscos para a saúde, os gases tóxicos indicam que a detonação não atingiu uma reação ideal, resultando em menor liberação de energia, velocidade de detonação reduzida e menor eficácia dos gases, impactando diversos aspectos de uma detonação.

4.8.3 Causas de gases tóxicos

Diversos fatores podem influenciar negativamente a reação de decomposição dos explosivos, levando à geração de gases tóxicos e baixa eficiência na detonação, além do balanço de oxigênio na formulação dos explosivos. Entre esses fatores, destacam-se:

- Iniciação deficiente: Falta de energia de ativação adequada para o explosivo.
- Presença de água: Quando misturada ao explosivo ou em explosivos com baixa resistência, a água interfere na reação química do explosivo, prejudicando seu desempenho.
- Contaminação por agentes estranhos, como lama residual.
- Diâmetro crítico: Diâmetros inadequados vão afetar a reação.
- Coluna danificada: Danos na coluna de explosivo, seja por separação de cargas ou contaminação, vão comprometer a detonação.
- Design de desmonte, incluindo confinamento inadequado e sequenciamento.
- Dessensibilização dinâmica: Condições que levam à redução da sensibilidade do explosivo.
- Densidade crítica: A densidade dos explosivos pode impactar sua reação.
- Reações químicas com minerais presentes na rocha.
- Produtos fora de especificação na formulação.
- Mistura de produtos inadequadas.
- Confinamento inadequado, rocha friável ou maciço muito fraturado.

Esses fatores afetam a reação de detonação do explosivo, reduzindo sua eficiência e gerando gases tóxicos como resultado. Uma prática comum de descartar resíduos das embalagens dos explosivos nos furos, visando sua destruição, também pode contribuir como combustível para a geração de gases tóxicos. Mesmo os invólucros dos explosivos encartuchados podem ser uma fonte potencial.

Em cenários críticos, como minas subterrâneas onde os gases demoram mais para se dispersar, práticas como essa devem ser evitadas, pois mesmo baixos índices de gases tóxicos podem representar riscos à saúde.

www.blastingtreinamentos.com

É essencial manter atenção às práticas operacionais, pois pequenos detalhes podem impactar significativamente a detonação. Em algumas operações, ineficiências na detonação ou geração de gases tóxicos podem causar impactos substanciais que requerem resolução. A análise cuidadosa desses fatores é fundamental para garantir uma detonação eficiente e segura.

É importante ressaltar que visualmente não é possível identificar o monóxido de carbono, o que limita nossa capacidade de detectá-lo diretamente. Esse fato pode causar problemas desconhecidos, já que podemos não estar gerando gases nitrosos, mas ainda assim enfrentar um problema significativo de geração de monóxido de carbono, o que não conseguimos mapear visualmente. Portanto, a melhor abordagem é adotar boas práticas operacionais para minimizar os riscos.

Quando possível, é recomendável realizar medições periódicas dos gases gerados durante a detonação, especialmente em operações subterrâneas, onde os gases podem demorar mais para se dispersar. Essas medições permitem avaliar com mais precisão a presença de gases tóxicos e sua concentração, contribuindo para a segurança e eficiência das operações.

Os gases gerados por uma detonação podem frequentemente se misturar com a poeira proveniente da rocha, o que exige cautela para não confundir a poeira com os gases gerados. Uma avaliação cuidadosa da composição dos gases gerados após a detonação é fundamental para garantir que os resultados sejam interpretados corretamente, evitando equívocos na análise e tomada de decisões.

4.9 Diâmetro crítico

As cargas explosivas com formato cilíndrico apresentam um ponto crítico de diâmetro, abaixo do qual a propagação da onda de detonação se torna insuficiente ou ocorre a uma velocidade significativamente inferior àquela em regime. Esse valor é conhecido como diâmetro crítico.

Vários fatores desempenham um papel crucial na determinação do diâmetro crítico, sendo os principais:

- **Tamanho das Partículas:** Normalmente, os diâmetros críticos são definidos ou influenciados pelo tamanho das partículas presentes nos

componentes das matérias-primas dos explosivos. Partículas menores tendem a resultar em diâmetros críticos mais eficientes.

- **Interligação dos Ingredientes:** Quanto maior for a ligação entre esses componentes, melhor será o cenário para a detonação.
- **Confinamento:** Quanto mais eficaz for o confinamento, mais eficiente será a detonação.
- **Densidade:** Geralmente, cargas explosivas com densidades menores tendem a possuir diâmetros críticos menores, possibilitando a aplicação do explosivo em cenários de menor carga e tornando a iniciação mais acessível.

Para assegurar uma iniciação precisa em condições normais, os fabricantes frequentemente fornecem "diâmetros mínimos recomendados" em seus catálogos. Esses valores costumam ser maiores do que o diâmetro crítico, assegurando que a onda de detonação se propague de maneira consistente e eficaz.



É crucial considerar o diâmetro crítico, especialmente ao empregar explosivos em cargas cilíndricas. Abaixo desse valor, a detonação pode ser comprometida, não permitindo a propagação adequada da onda de choque. Ao planejar detonações, é essencial manter-se acima do diâmetro crítico recomendado pelo fabricante, garantindo a eficácia da detonação e a segurança operacional.

Além disso, é sensato adotar precauções ao operar próximo ao diâmetro crítico ou ao mínimo recomendado, devido a diversos riscos como o desgaste das peças das perfuratrizes ou deslocamentos do maciço, que poderiam reduzir o diâmetro do furo e prejudicar a detonação. Sugere-se trabalhar com diâmetros ligeiramente maiores que o mínimo recomendado, proporcionando uma margem de segurança adicional.

Outro aspecto a ser considerado é a situação em que se operam vários diâmetros de perfuração. Nesse cenário, é fundamental evitar a possibilidade de empregar explosivos em diâmetros inadequados. No momento da troca de explosivos, seja por fornecedor ou outro motivo, é crucial estar atento às

www.blastingtreinamentos.com

características do novo explosivo e avaliar se ele é compatível com os diâmetros utilizados.

Práticas operacionais inadequadas, como contaminação dos explosivos ou iniciação deficiente, podem também prejudicar a iniciação em dimensões próximas ao diâmetro crítico.

A recomendação primordial é consultar o fabricante, especialmente para aqueles que trabalham com explosivos finalizados durante a aplicação. Essa consulta visa determinar o diâmetro crítico ou recomendado para a utilização, garantindo a conformidade do produto com as especificações adequadas.

Para ilustrar, apresentamos alguns exemplos de diâmetros recomendados para diferentes tipos de explosivos.

- | | |
|----------------------------|---------------|
| • ANFO vertido solto | 76 mm - 3 in |
| • ANFO carregado por sopro | 25 mm - 1 in |
| • ANFO pesado | 102 mm - 4 in |
| • Emulsão sensibilizada | 76 mm - 3 in |
| • Encartuchado | 25 mm - 1 in |

No caso do ANFO, geralmente é recomendado um diâmetro de 3 polegadas quando aplicado convencionalmente. No entanto, ao empregar o ANFO de forma pneumática, onde ocorre um confinamento e densidade maiores, é possível usar diâmetros de até 1 polegada. Já o ANFO pesado, que envolve a combinação de ANFO com emulsão, requer um diâmetro mínimo acima de 4 polegadas. Quanto à emulsão sensibilizada na aplicação, recomenda-se um diâmetro de 3 polegadas. Por fim, os explosivos encartuchados, que frequentemente são fabricados a partir de 1 polegada, constituem outra alternativa.

As informações mencionadas são apenas algumas referências. Cada fabricante possuirá seus próprios produtos e recomendações específicas para cada cenário. Seguir as orientações dos fabricantes é imperativo, e caso haja necessidades particulares, é aconselhável buscar explosivos especiais que atendam a essas demandas.

4.10 Resistencia a água

O próximo parâmetro de significância é a resistência à água dos explosivos, referente à habilidade dessas substâncias detonarem mesmo quando expostas à água ou umidade. A avaliação

comumente se baseia no tempo em que um explosivo pode

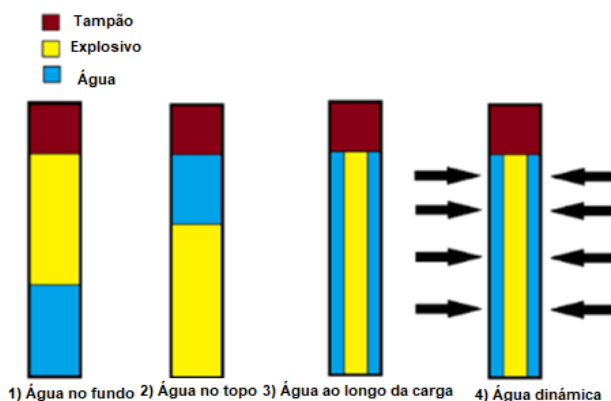
manter contato com a água sem sofrer impactos adversos. Essa resistência varia notavelmente entre diferentes tipos de explosivos, abrangendo desde aqueles que não possuem nenhuma resistência à água até aqueles que exibem uma elevada capacidade de resistir, permanecendo íntegros mesmo após exposição a ambientes aquáticos por dias ou até meses.

Nos ambientes com água parada, o efeito sobre o explosivo é mais gradual, porém, em presença de águas em movimento, o impacto se torna mais pronunciado, uma vez que a água intensifica o contato e dissolve mais rapidamente os sais oxidantes.

Quando um explosivo carece de resistência à água ou ultrapassa seu limite de tolerância, os sais oxidantes contidos nele começam a se dissolver. Esse processo resulta na perda dos elementos oxidantes do explosivo, levando à incapacidade de detonação. Por vezes, mesmo uma pequena quantidade de água afetando o ponto de iniciação pode provocar falhas na detonação, comprometendo sua eficácia.

É crucial compreender que a água pode afetar os explosivos de maneiras diversas: pode acarretar uma perda parcial da eficiência na detonação, afetar apenas uma porção do explosivo, resultando em detonação parcial, ou até mesmo causar falha total na detonação.

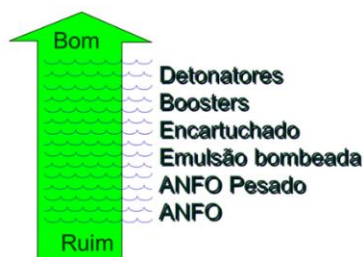
Em relação à resistência à água, os explosivos industriais são categorizados em três classes distintas. A primeira engloba os explosivos sem qualquer



www.blastingtreinamentos.com

resistência à água, como o ANFO, que não deve ser exposto à água. Na segunda classe, encontramos os explosivos com boa resistência à água, capazes de manter suas capacidades de detonação por até 24 horas de exposição. Após esse período, podem começar a sofrer degradação. A terceira classe abarca explosivos com excelente resistência à água, aptos a manter suas propriedades de detonação por mais de 24 horas, embora seja aconselhável limitar a exposição a três dias. Alguns explosivos ultrapassam essa recomendação, mantendo sua eficácia mesmo após diversos dias ou semanas. Para exposições prolongadas, empregam-se explosivos especiais projetados para resistir aos efeitos da água e outras condições adversas ao longo do tempo.

Na figura ao lado, é apresentado um exemplo comparativo de diferentes tipos de explosivos, demonstrando o ANFO na base, desprovido de resistência à água, seguido pelo ANFO pesado com certa resistência proporcional à quantidade de emulsão presente. Em sequência, encontramos a emulsão bombeada, a emulsão encartuchada e, por fim, os mais resilientes, como boosters e detonadores.



4.11 Vida útil

A última propriedade essencial dos explosivos que requer atenção é a sua vida útil. Esta noção refere-se ao intervalo temporal durante o qual os explosivos permanecem em condições ótimas para aplicação.

Ao abordar a vida útil dos explosivos, dois aspectos distintos são considerados. Inicialmente, focalizamos o prazo de validade, que é o período preconizado ou assegurado pelos fabricantes para os quais os explosivos retêm suas características ideais. Em segundo lugar, temos o conceito de tempo de latência, que diz respeito ao período em que um explosivo pode permanecer no furo até a sua detonação.

Os prazos de validade são estipulados pelos fabricantes e podem variar de acordo com o tipo de explosivo. Determinados explosivos possuem prazos de validade de apenas alguns dias, enquanto outros podem estender-se até dois

www.blastingtreinamentos.com

ou cinco anos. Contudo, como é prática comum em relação a todos os produtos, é imperativo aderir às orientações para o armazenamento e manipulação adequados, assegurando que os explosivos preservem sua integridade ao longo do período indicado pelos fabricantes. Além disso, tal prática é essencial para honrar eventuais garantias em caso de deterioração.

De maneira análoga, o tempo de latência varia para diferentes categorias de explosivos e é igualmente estipulado pelos fabricantes. É crucial reconhecer que este intervalo de tempo é válido sob circunstâncias normais, isto é, quando o explosivo se encontra no furo e não há elementos que possam influenciar suas características. Como previamente mencionado, fatores como a presença de água, variações térmicas, composição química das rochas e outras interferências podem impactar a estabilidade do explosivo, e sob essas condições não é possível determinar um tempo exato, sendo o recomendado detonar o antes possível.

O correto armazenamento, transporte e manipulação, assim como as condições operacionais nas quais os explosivos serão empregados, possuem impacto direto na vida útil dessas substâncias. Tal como ocorre com muitos outros produtos, os explosivos são susceptíveis a diversas variáveis, requerendo monitorização constante dos ambientes e das condições de manipulação para evitar sua deterioração.

Estas variáveis podem influenciar a estabilidade e sensibilidade dos explosivos, variando conforme seu grau de deterioração. Em cenários extremos, os explosivos podem tornar-se mais vulneráveis à iniciação, resultando em riscos de detonações prematuras. Por outro lado, em situações adversas, os explosivos podem perder sua sensibilidade, falhando em iniciar a detonação e acarretando riscos como a ocorrência de fogo falhado.

Assim como delineado previamente, é de suma importância aderir às recomendações de manipulação e armazenamento emitidas pelos fabricantes para assegurar a integridade dos explosivos durante o seu uso. Estratégias fundamentais de armazenamento, como a utilização dos explosivos mais antigos em primeiro lugar, evitando o acúmulo de resíduos e garantindo que somente explosivos dentro das datas de validade e em condições adequadas sejam manipulados e armazenados, constituem medidas cruciais para manter a segurança e eficácia das operações. Caso algum explosivo esteja deteriorado

www.blastingtreinamentos.com

ou tenha expirado seu prazo de validade, é imperativo proceder à sua destruição imediatamente.

4.11.1 Tempo de latência (Sleep time)

A consideração da validade de um produto é um requisito padrão para qualquer item de natureza perecível. Neste contexto, é de suma importância manter um acompanhamento rigoroso dos prazos e evitar a utilização de explosivos que tenham ultrapassado sua data de validade. É relevante destacar que, de acordo com as normas regulamentares brasileiras, explosivos vencidos são classificados como defeituosos, o que implica a obrigatoriedade de encaminhá-los para um processo de destruição, estritamente em conformidade com as normas e regulamentos pertinentes ao descarte de produtos explosivos.

De maneira semelhante, é fundamental monitorar o período de latência recomendado pelos fabricantes, levando em consideração as condições às quais os explosivos serão submetidos e avaliando possíveis variações ao longo do tempo. Um exemplo prático disso pode ser visto em situações em que chuvas intensas transformam áreas previamente secas em locais encharcados. Diante desse cenário, a reavaliação do cronograma original é de importância crucial para garantir a eficácia da detonação.

Conforme mencionado anteriormente, um profundo entendimento das propriedades dos explosivos, especialmente em relação às características físicas descritas na seção anterior, desempenha um papel fundamental. Esse conhecimento permite a detecção de desvios das condições normais de conservação, potenciais deteriorações ou quaisquer circunstâncias que possam afetar a adequação dos explosivos para uso.

Manter uma vigilância constante sobre os explosivos, tanto nos furos de detonação quanto nas instalações de armazenamento, é imprescindível. A avaliação sistemática das características físicas, incluindo aspectos como coloração, textura, viscosidade e qualquer sinal de anormalidade, é de extrema importância. À medida que ocorre a degradação dos explosivos, suas características físicas se alteram. Mudanças na coloração, cristalização e separação de fases podem ser indicativos de uma diminuição na estabilidade dos explosivos.

O exemplo apresentado abaixo, que retrata a evolução de uma emulsão ao longo do tempo, ilustra essa dinâmica. A imagem demonstra a emulsão em

www.blastingtreinamentos.com

diferentes estágios, desde sua fabricação recente e estável até um estágio com 40 dias de envelhecimento, caracterizado pelo escurecimento e aumento do brilho devido à liberação de óleo. Finalmente, é retratada a emulsão com 150 dias de envelhecimento, na qual a cristalização dos nitratos de amônio evidencia a separação de fases. Esse processo analítico deve orientar a monitorização dos explosivos, com base em uma compreensão aprofundada do produto utilizado e na identificação de quaisquer mudanças que possam ocorrer.



Quando um explosivo não está de acordo com as especificações, podem surgir problemas evidentes. A cristalização ou empedramento, dificuldades na utilização, perda de água ou óleo e a separação de componentes estão entre os principais sinais. Realizar verificações regulares e fazer perguntas pertinentes, tanto aos responsáveis quanto aos fabricantes, desempenha um papel crítico na garantia da segurança e no desempenho otimizado durante as operações de manuseio e detonação dos explosivos.

Abaixo fornecemos os períodos de latência recomendados para os principais tipos de explosivos. No entanto, é importante ressaltar que essas recomendações são genéricas, destacando a necessidade vital de consultar as diretrizes específicas fornecidas por cada fornecedor. A título de exemplo, o ANFO tem um período de latência recomendado nulo, o que significa que deve ser detonado o mais rápido possível devido à sua tendência à degradação quando exposto à água ou umidade. Por outro lado, os explosivos encartuchados, cuja integridade é preservada por um invólucro plástico, demonstram a capacidade de permanecer no furo de detonação por até um ano, desde que sejam armazenados dentro dos limites de validade e o invólucro permaneça intacto. No que diz respeito às emulsões, sejam elas puras ou combinadas com ANFO, o período de latência varia de acordo com a

www.blastingtreinamentos.com

proporção de emulsão. Em situações normais, esse intervalo de tempo se estende por algumas semanas. Entretanto, em cenários desafiadores ou na presença de água dinâmica, esse período pode ser consideravelmente reduzido, dependendo da quantidade de ANFO presente na mistura.

ANFO	→	Detonar assim que seja possível (pode permanecer latente por meses em condições secas)
ENCARTUCHADO	→	Pacote intacto: 1 ano; pacote danificado: várias semanas
Emulsão/HANFO	→	Latência de varias semanas (dependendo das condições)
Booster	→	Vários meses
Tubo de Choque	→	Influenciados por tipos de combustíveis, voláteis, penetração de tubos EXEL. Varia entre 1 semana e mais de 4 meses.

De maneira geral, os boosters demonstram uma robustez notável em condições normais, com a capacidade de permanecer nos furos de detonação por vários meses. Por fim, é relevante mencionar os tubos de choque, que representam os detonadores, cujo período de latência é determinado pelas características dos componentes explosivos e pelas condições de aplicação. A eventual degradação dos tubos de choque pode ser acelerada quando estão em contato com certos combustíveis, como o óleo diesel presente nos explosivos. Em circunstâncias comuns, o tempo de latência dos tubos de choque tende a variar de algumas semanas a meses.

Em resumo, a escolha do período de latência a ser considerado deve levar em conta o componente com o menor período de latência, a fim de garantir a conformidade de todos os elementos da detonação com suas respectivas janelas de vida útil. Por exemplo, se um carregamento envolver um detonador com tubo de choque e um explosivo encartuchado, será necessário considerar o tempo de latência do tubo de choque, devido à sua duração menor em comparação com o encartuchado. No entanto, se o componente for o ANFO em vez do encartuchado, o tempo de latência a ser considerado será o do ANFO, não o do tubo de choque.

Conclusão

Ao concluir este capítulo que se dedica às Propriedades Fundamentais dos Explosivos, é crucial destacar a importância significativa de adquirir um

www.blastingtreinamentos.com

profundo conhecimento desses elementos essenciais. Uma compreensão abrangente das características intrínsecas dos explosivos e de suas propriedades desempenha um papel vital na orientação de um planejamento e execução eficazes de cada detonação.

As propriedades físicas, químicas e dinâmicas dos explosivos, quando examinadas de forma minuciosa, servem como alicerce que sustenta resultados seguros, precisos e eficientes nas operações de fragmentação de rochas. Uma análise detalhada da sensibilidade, velocidade de detonação, resistência à água, vida útil e outros elementos essenciais oferece uma base sólida para a formulação de estratégias de manipulação e aplicação dos explosivos.

A compreensão das interações complexas entre os componentes dos explosivos e suas reações às variações ambientais, como umidade, temperatura e grau de confinamento, capacita os profissionais a antecipar desafios potenciais e adaptar procedimentos de acordo com as circunstâncias. A adoção de uma abordagem proativa permite a adaptação a cenários em constante evolução, reduzindo os riscos operacionais e assegurando a alinhamento com os objetivos traçados.

A maestria dessas propriedades resulta em uma avaliação mais precisa das limitações e potencialidades inerentes a cada tipo de explosivo, bem como uma compreensão adequada das diretrizes e restrições estabelecidas pelos fabricantes. Por meio desse domínio, é possível selecionar o explosivo mais adequado para uma situação específica, maximizando a eficácia do processo e garantindo uma execução segura.

Assim, reforça-se enfaticamente a importância intrínseca de internalizar as propriedades fundamentais dos explosivos, bem como suas implicações nas operações de desmonte de rochas. A busca contínua pelo entendimento adequado e pela aplicação precisa dessas propriedades culmina em um planejamento e execução de detonações seguros, eficazes e bem-sucedidos, contribuindo para a otimização dos resultados e o contínuo aprimoramento das práticas na indústria de desmonte de rochas.

Capítulo 5: Componentes de um Desmonte de Rochas

Introdução

Nos próximos capítulos deste volume, vamos explorar os produtos explosivos e os acessórios fundamentais utilizados no emocionante mundo do desmonte de rochas. No entanto, antes de mergulharmos nesses detalhes técnicos, vamos dar um passo atrás e entender as funções essenciais de cada peça desse quebra-cabeça explosivo. Essa seção inicial é como o aperitivo que abre o apetite, preparando o terreno para uma análise mais profunda dos elementos individuais envolvidos nas detonações.

Imagine isso como a montagem de um grande quebra-cabeça, onde cada peça desempenha um papel importante. Para explorar os explosivos e acessórios com maestria, é fundamental saber como cada peça se encaixa e o que ela faz durante o espetáculo das detonações. Essa compreensão nos ajuda a distinguir as peculiaridades de cada componente e a entender como elas se traduzem em situações reais.

Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar os principais personagens desse drama explosivo e explorar suas funções essenciais. Ao entender a dinâmica entre eles, estaremos mais preparados para examinar os explosivos e acessórios individualmente. Isso nos permitirá fazer escolhas inteligentes para cada situação, encontrar as combinações perfeitas entre os elementos e perceber como cada um contribui para o sucesso das detonações.

Portanto, antes de irmos fundo nas características técnicas, vamos dar um passo atrás e entender como cada peça desse quebra-cabeça desempenha um papel crucial dentro do processo de desmonte de rochas. Ao entender o objetivo principal de cada componente, estaremos prontos para avaliar e escolher os elementos certos para cada situação. A partir daqui, vamos explorar os papéis de destaque desses componentes, estabelecendo uma base sólida para analisar as características individuais de cada um.

5.1 Principais componentes

Ao examinarmos uma detonação convencional, é possível identificar uma divisão em cinco estágios sequenciais distintos, que culminam no desmonte das rochas. Cada etapa é liderada por um componente específico, desempenhando um papel essencial na contínua progressão do processo de detonação.

Os elementos que constituem uma detonação podem ser classificados em cinco categorias bem definidas, com base em suas funções no procedimento de detonação:



1. **Iniciador:** Responsável por fornecer o sinal inicial para dar início ao desmonte. Exemplos desse componente incluem Mantopin, Lead Line e dispositivos eletrônicos.
2. **Conector de Superfície/Linhas de Transmissão:** Distribui o sinal por toda a superfície do desmonte. Cordel detonante, tubo de choque, cabos elétricos, são alguns exemplos que se enquadram nessa categoria.
3. **Unidade de Coluna:** Transmite o sinal da superfície para a carga no furo e pode ser utilizada para temporização interna do furo. Detonadores não elétricos e eletrônicos são frequentemente associados a essa função.

www.blastingtreinamentos.com

4. **Reforçador:** Amplifica a energia do sinal do detonador, possibilitando a efetiva iniciação da carga explosiva principal. Boosters, encartuchados, estão entre os exemplos de reforçadores utilizados.
5. **Explosivo:** Representa a carga principal que realizará a fragmentação eficaz das rochas. Exemplos notáveis são ANFO, emulsão e hidrogéis.

Além de dividir em 5 componentes, podemos ver isso como 5 etapas, que podem ser realizadas por componentes distintos ou algum desses componentes pode fazer a função de mais de uma etapa:

1 - O primeiro estágio da detonação é a sua iniciação. Nesse momento, torna-se crucial um estímulo externo que estabeleça o ponto de partida para a sequência de detonação. Essa responsabilidade é atribuída ao componente iniciador, que fornece o estímulo primordial para dar início à sequência de detonação.

2 - Após a ativação do iniciador, a energia gerada deve ser distribuída pelos diversos furos que abrigam as cargas explosivas. Para essa finalidade, os conectores de superfície entram em ação, difundindo o sinal por toda a extensão da área de detonação.

3 - O terceiro estágio envolve a transmissão do sinal da superfície para o interior dos furos, onde estão posicionadas as cargas explosivas. A unidade de coluna é responsável por essa tarefa, transmitindo o sinal para o interior do furo. Essa fase é muitas vezes mediada pelos detonadores, que têm a função de captar o sinal da superfície e conduzi-lo ao interior do furo.

É comum a existência de um sequenciamento específico para a detonação, onde os furos são ativados em uma ordem predefinida. Essa coordenação pode ser conduzida pelos componentes de transmissão ou pelos próprios detonadores, dependendo do contexto.

4 - Uma vez transmitida a energia para o interior dos furos, os detonadores dão início à carga principal de explosivos. Entretanto, muitos explosivos necessitam de amplificação adicional da potência do detonador para efetuar sua iniciação. Isso conduz ao quarto estágio, onde entram em ação os reforçadores. Esses componentes amplificam os sinais dos detonadores, assegurando que a energia seja suficiente para iniciar a carga explosiva principal.

www.blastingtreinamentos.com

5 - A quinta etapa é a detonação efetiva do explosivo principal, desempenhando o papel crucial de fragmentar as rochas-alvo. Assim, as quatro primeiras etapas são responsáveis pelo estímulo inicial, sua disseminação e amplificação do sinal que acionará a carga principal. Essa carga principal, por sua vez, desempenha o trabalho fundamental de fragmentação das rochas.

É vital compreender as funções de cada um dos cinco componentes na detonação. Isso possibilita não apenas a compreensão das características dos explosivos e acessórios, mas também a identificação do componente mais adequado para cada função em uma detonação. Ao abordar explosivos e acessórios posteriormente, é importante considerar em qual estágio ou componente cada elemento se encaixa, bem como sua capacidade de desempenhar múltiplas funções.

Vale destacar que alguns explosivos e acessórios têm utilidades específicas, enquanto outros podem assumir diferentes papéis. Em algumas situações, nem todos os cinco componentes são necessários; em desmontes mais simples, menos estágios podem ser empregados. Nesse cenário, um mesmo componente pode ser multifuncional.

Um exemplo expressivo disso é a versatilidade do cordel detonante, que pode desempenhar papéis em quatro estágios distintos de uma detonação. Este componente pode cumprir funções de transmissão do sinal, servir como unidade de coluna, às vezes assume a posição de reforçador e até mesmo é empregado como explosivo principal. É, portanto, essencial que se compreenda profundamente as características do cordel, para identificar seu melhor emprego, vantagens e desvantagens em cada etapa. Além disso, deve-se considerar sua interação com os demais componentes quando desempenha essas diferentes funções.

Ao planejarmos qualquer detonação, elaborando o plano de fogo, é imperativo avaliar o encaixe ideal de cada tipo de acessório e explosivo. Deve-se identificar as combinações mais eficazes e como esses elementos atuarão sinergicamente para alcançar os objetivos do desmonte de rochas.

Mantendo essa estrutura em mente ao abordar explosivos e acessórios, é possível avaliar as funções desempenhadas por cada elemento e determinar como se encaixam em um componente específico. A análise aprofundada de cada componente possibilita entender sua contribuição no processo de

www.blastingtreinamentos.com

detonação e, conseqüentemente, selecionar e dimensionar os elementos de maneira a otimizar os resultados finais.

5.2 Iniciador

Os iniciadores compõem o primeiro componente de uma detonação, desempenhando a função vital de fornecer o estímulo inicial necessário para inaugurar nosso processo de detonação. Entre os acessórios primários utilizados como iniciadores, destacam-se:

- Mantopin
- Sistema Elétrico de Iniciação
- Sistema Não Elétrico de Iniciação
- Sistema Eletrônico de Iniciação

O Mantopin, que é um dos iniciadores mais amplamente usados hoje em dia. Ele é notavelmente simples, consistindo de um cordão com pólvora e um detonador. Sua operação é comparável àquela que frequentemente vemos em filmes do faroeste, onde a ignição ocorre com um fósforo ou isqueiro. O cordão de pólvora queima gradualmente, dando tempo para evacuar o local com segurança antes que a pólvora acione o detonador, iniciando a detonação.

Outro tipo de iniciador é o sistema elétrico. Nesse caso, você pode usar o sistema completo com uma espoleta para iniciar a detonação, ou apenas o equipamento de ativação. No entanto, essa segunda opção é menos comum hoje em dia devido a históricos de acidentes, levando à preferência por outras alternativas. Pode ser que esses sistemas se tornem relíquias históricas em breve, pois estão sendo substituídos por opções mais seguras e eficientes. Ainda assim, existem algumas operações específicas que os utilizam, o que justifica mencioná-los.

É importante lembrar que os sistemas elétricos foram pioneiros ao permitir o acionamento à distância. Eles introduziram a ideia de implantar um detonador elétrico no local de detonação, conectá-lo a um cabo e estender esse cabo por centenas de metros até um local seguro com o acionador. Isso possibilitou o acionamento remoto, eliminando a necessidade de estar na linha de frente durante a iniciação da detonação. Portanto, esse sistema trouxe a capacidade de ativar à distância, ao contrário do Mantopin, que só funciona no local.

www.blastingtreinamentos.com

Em seguida, temos o sistema não elétrico, que também permite o acionamento à distância, em distâncias que podem chegar a centenas de metros. Geralmente, ele é usado como um sistema completo, incluindo conexões e uma unidade de coluna com detonador não elétrico, mas também pode ser combinado com cordel detonante.

Por último, o sistema eletrônico de iniciação é uma abordagem semelhante. Você pode usar o sistema completo com uma única espoleta ou considerar o equipamento de ativação como o iniciador. Essa opção tem se tornado cada vez mais popular, com espoletas eletrônicas conectadas a cordel detonante ou sistemas não elétricos. O uso crescente dos sistemas eletrônicos de iniciação está em ascensão à medida que os custos diminuem e os benefícios são comprovados.

Esses sistemas de iniciação elétrico, não elétrico e eletrônico podem ser combinados de várias maneiras, dependendo da configuração. Por exemplo, você pode iniciar uma detonação com uma espoleta eletrônica, eliminando o risco de falhas na iniciação que podem ocorrer em sistemas não elétricos. Sob essa perspectiva, o iniciador incorporaria o conjunto completo de equipamentos, cabos e um detonador eletrônico usado para iniciar a detonação. Similarmente, o sistema eletrônico completo pode ser adotado, configurando os equipamentos de ativação de detonadores eletrônicos como o iniciador, enquanto os cabos distribuem o sinal e os próprios detonadores eletrônicos funcionam como a unidade de coluna.

Essa abordagem é importante para entender a flexibilidade dos sistemas e como eles podem desempenhar múltiplos papéis. Portanto, esses são os principais exemplos de iniciadores, que serão explorados em maior detalhe nos próximos capítulos. Aqui, é importante considerá-los exclusivamente como iniciadores, embora sejam capazes de desempenhar várias funções ao mesmo tempo.

5.3 Conector de superfície

A segunda fase do processo de detonação envolve os sistemas de conexão, comumente denominado como "Sistema de Conexão" ou "Conector de Superfície". Eles desempenham uma função crucial na transmissão e

www.blastingtreinamentos.com

distribuição do estímulo inicial, originado pelo iniciador, para todos os furos da detonação.

Diversos acessórios são utilizados como conectores, tais como:

- Cordel detonante (com ou sem retardos)
- Sistema de ligação não elétrico
- Cabos para detonadores elétricos
- Cabos para detonadores eletrônicos

Entre os acessórios utilizados com essa finalidade, o cordel detonante é um dos mais comuns. Ele é seguido de perto pelo sistema de ligação não elétrico. Ambos têm a responsabilidade de captar o sinal emitido pelo iniciador e distribuí-lo ao longo dos furos, onde as cargas explosivas estão alocadas.

No caso de sistemas elétricos ou eletrônicos, os cabos projetados especificamente para esses sistemas desempenham o papel de distribuir o sinal. Nesse cenário, o iniciador é representado pelos equipamentos de acionamento, responsáveis por providenciar o estímulo inicial. Os cabos, então, executam a distribuição desse sinal pelos furos da detonação. É relevante observar que os cabos funcionam como conectores somente quando empregamos o sistema completo na detonação, não somente como iniciador.

É crucial ressaltar que, nessa segunda fase da detonação, a aplicação de um sequenciamento é viável. Isso pode ser alcançado utilizando o cordel detonante com retardos ou o sistema de ligação não elétrico com retardos. Contudo, quando empregamos sistemas elétricos ou eletrônicos, o sequenciamento é orquestrado pelo próprio detonador dentro do furo, um aspecto que será detalhadamente abordado na próxima seção.

5.4 Unidade de coluna

Após a distribuição do sinal aos furos, a etapa subsequente exige a transmissão do sinal da área externa do furo para o seu interior, com a finalidade de ativar a carga explosiva. Tal função é executada pelo terceiro componente, responsável pela terceira fase do processo de detonação, isto é, as "Unidade de Coluna", também reconhecidas como "Unidade de Iniciação".

www.blastingtreinamentos.com

Estas unidades recebem o sinal distribuído para os furos e o direcionam até o interior do furo para efetuar a ativação da carga explosiva.

Dentre os principais acessórios que podem ser utilizados como unidades de coluna, destacam-se:

- Cordel detonante
- Detonador elétrico
- Detonador não elétrico
- Detonador eletrônico

É relevante destacar mais uma vez o cordel detonante, que iremos explorar suas particularidades mais a frente, mas além de atuar como transmissor, ele também tem a habilidade de atuar como unidade de coluna. Portanto, é importante ressaltar sua notável versatilidade e sua capacidade de assumir diversas funções.

Adicionalmente, temos a opção de utilizar os detonadores elétricos, não elétricos e eletrônicos, que também desempenham a função de receber o sinal externo e transmiti-lo para o interior do furo. Como mencionado anteriormente, é possível implementar um sequenciamento para os furos da detonação, empregando detonadores elétricos ou não elétricos com retardos, ou aproveitando a programação presente nos detonadores eletrônicos para esse propósito.

5.5 Reforçador

Após a condução do sinal para o interior do furo, observamos que certos tipos de explosivos não são sensíveis o suficiente aos detonadores ou ao cordel detonante para provocar sua ativação. Nesses casos, é necessário aumentar essa energia a fim de superar o limiar de ativação do explosivo. Assim, introduz-se o quarto componente ou etapa, responsável por amplificar a energia a ser transmitida ao explosivo, função essa realizada pelos "Reforçador".

Os principais reforçadores utilizados são:

- Boosters
- Explosivos encartuchados

www.blastingtreinamentos.com

- Cordel detonante (*uso pouco frequente)

Os boosters são dispositivos empregados exclusivamente para maximizar a energia proveniente dos detonadores e impulsionar os explosivos com máxima intensidade. Eles são amplamente preferidos para essa função.

Além disso, os explosivos encartuchados são frequentemente usados como reforçadores devido à sua praticidade, disponibilidade e potência.

Por fim, é mencionado novamente o cordel detonante, que, embora menos comum, é utilizado ocasionalmente como reforçador em situações específicas. Isso envolve o enrolamento do cordel detonante na espoleta para concentrar o explosivo e usá-lo como reforçador nas detonações.

5.6 Explosivo

Avançando temos o quinto componente, que é o "Explosivo", o principal elemento encarregado de efetivar o processo de fragmentação da rocha durante a detonação.

Os principais tipos de explosivos utilizados como carga principal incluem:

- ANFO e suas variantes
- Emulsão e suas variantes
- Outros (pólvora, dinamite, hidrogel, etc.)

Nessa fase final do procedimento, a carga explosiva principal assume a função central de finalizar o processo de detonação e realizar a fragmentação da rocha, recebendo a energia amplificada pelos reforçadores e realizando a detonação propriamente dita.

Atualmente, é notável que a esmagadora maioria das atividades de desmonte de rochas se baseia em dois tipos principais de explosivos: ANFO e emulsões. Esses dois tipos e suas mesclas abrangem uma parcela bem superior a 50% do conjunto de explosivos empregados das principais atividades de desmonte de rochas. Onde normalmente podemos utilizar o explosivo de duas formas, que são os explosivos que vem empacotados, como os cartuchos ou em sacos de 25kg, ou os derramados/bombeados, que normalmente são aplicados mecanicamente.

www.blastingtreinamentos.com

Adicionalmente, existem outras categorias de explosivos que podem ser empregadas, como hidrogéis, pólvora e dinamite. Entretanto, vale mencionar que a utilização dessas opções é consideravelmente menos significativa em relação aos dois primeiros. Destaca-se, especialmente, os hidrogéis, os quais ainda mantêm uma certa relevância em termos de uso, com algumas empresas optando por essa alternativa, devido suas características singulares que veremos no próximo capítulo.

Independentemente da seleção do tipo de explosivo para o desmonte, este desempenhará a função de quinto componente, incumbido de concretizar a fragmentação da rocha e, por conseguinte, concluir o processo de detonação.

5.7 Localização dos componentes

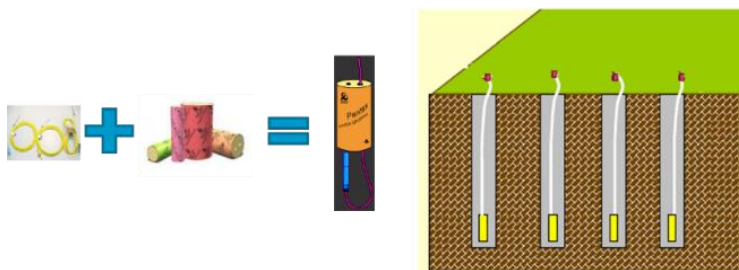
Ao considerarmos a detonação, os cinco componentes ou estágios se configuram como os elementos essenciais para a condução efetiva do desmonte de rochas. Entretanto, é de suma importância reconhecer que essa sequência não se correlaciona diretamente com a ordem de procedimentos empregada na preparação da detonação em si.

A sequência de carregamento segue uma lógica independente da sequência de acionamento, motivo pelo qual aproveitaremos este momento para delinear essa sequência de maneira simplificada, utilizando um exemplo genérico que incorpora os cinco componentes previamente discutidos.

Nesse contexto, o exemplo adotado aborda o desmonte de rochas em bancadas, uma prática recorrente em operações de mineração a céu aberto. Nesse cenário, a sequência de carregamento e a aplicação dos cinco componentes da detonação podem facilmente identificadas.

1 - O processo tem início com a fase de escorva:

www.blastingtreinamentos.com



Na etapa inaugural do carregamento, a preparação da escorva se destaca como o passo primordial. Nesse momento, ocorre a interligação entre o detonador e o booster, os quais correspondem aos componentes 3 e 4 da detonação. A função do componente 3, representado pela unidade de coluna, é conduzir o sinal originário do exterior do furo e direcioná-lo para a carga explosiva localizada no interior do mesmo. Simultaneamente, o componente 4, o reforçador, assume a tarefa de intensificar o sinal, garantindo que a energia seja suficiente para efetuar a detonação da carga explosiva.

Posteriormente, após a confecção adequada da escorva, que une o detonador ao booster, procede-se à inserção desta no interior do furo. Durante essa operação, o furo é carregado com o booster contendo o detonador associado, ao passo que o cabo do detonador é direcionado para a superfície, possibilitando o acesso à extremidade do cabo para fins de conexão externa. Rotineiramente, a extremidade do cabo do detonador é fixada em uma pedra, estaca de madeira ou algum acessório, evitando a possibilidade de o cabo cair dentro do furo.

Dessa maneira, estabelece-se o cenário em que o furo se encontra escorvado, com os componentes 3 e 4 devidamente acomodados e prontos para a fase subsequente do processo de carregamento.

2 - Procede-se, em seguida, ao estágio de carregamento com o explosivo principal:



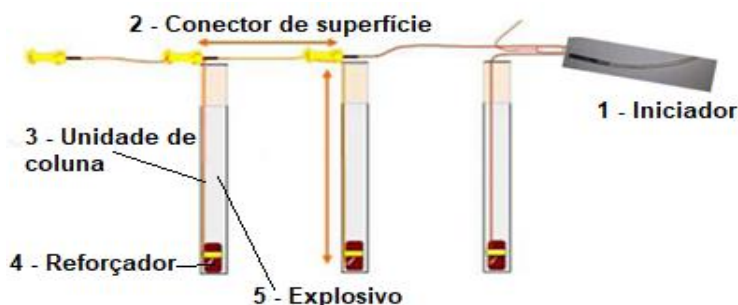
Uma vez que o furo tenha sido adequadamente escorvado, a segunda etapa do carregamento engloba a introdução do explosivo principal. Este elemento constitui a carga central e corresponde ao quinto componente da detonação.

Nesse ponto, o furo se encontra carregado com o componente 3, o detonador que é posicionado a partir da superfície e conectado ao componente 4, o booster, quanto o componente 5, representado pelo explosivo principal. Consequentemente, o furo está preenchido com a carga primordial de explosivo, efetivando a integração dos componentes cruciais da detonação, finalizando o que chamamos de processo de carregamento do furo.

Na pratica, uma vez finalizado o carregamento do furo o próximo passo do processo é realizar o tamponamento do furo. Essa etapa envolve o preenchimento do restante do furo com material inerte, normalmente brita ou pó da perfuração do próprio furo, proporcionando um confinamento mais eficaz à detonação.

3 - Procede-se à interligação dos furos visando o sequenciamento da detonação e a inserção do sistema iniciador:

Uma vez que os furos tenham sido devidamente carregados e tamponados, estando prontos e equipados com os componentes 3, 4 e 5, é possível avançar para a fase subsequente, que abrange a interligação dos furos na nossa detonação.



Nesta etapa do processo, utilizamos o componente 2, que é o sistema de transmissão e distribuição, para conectar todos os furos, através da ligação com o componente 3 de cada furo. A escolha da unidade de coluna determinará qual tipo de componente 2 usaremos. Por exemplo, se optarmos por detonadores eletrônicos, os cabos de ligação serão nosso componente 2. Se escolhermos detonadores não elétricos, a interligação entre os furos será realizada usando cordel detonante ou um sistema de conexão não elétrico (utilizado na ilustração acima).

Após concluir a interligação de todos os furos, de acordo com as diretrizes e o planejamento de conexões, é essencial conectar o componente 1, responsável pelo acionamento inicial da detonação. Assim que essa conexão for estabelecida, a detonação estará pronta para ser iniciada.

Nesse contexto, os cinco componentes estão posicionados de maneira adequada. O iniciador, chamado de componente 1, dará início ao estímulo inicial da detonação. Os conectores, representados pelo componente 2, distribuirão esse estímulo por todos os furos. A unidade de coluna, que incorpora o componente 3, receberá essa energia e a transmitirá para o interior do furo. O reforçador, abrangendo o componente 4, amplificará essa energia, iniciando, assim, a carga principal de explosivo - o componente 5 - que, por sua vez, executará o processo de fragmentação da rocha.

Para ilustrar esse processo, em nosso esquema, mostramos o componente 1 como um Mantopin, o componente 2 como um sistema de ligação não elétrico, o componente 3 como um detonador não elétrico, o componente 4 como um booster e, por fim, o componente 5 como uma emulsão explosiva. Desta forma, temos um cenário onde uma detonação completa, envolvendo os 5 componentes, é descrita.

www.blastingtreinamentos.com

Além disso, é importante observar que, em uma abordagem diferente, uma detonação pode ser simplificada, usando apenas um único acessório e um explosivo. Por exemplo, ao adotar um sistema de detonadores eletrônicos como nosso acessório, juntamente com a utilização de emulsão encartuchada como explosivo, teríamos os equipamentos de acionamento do sistema eletrônico desempenhando o papel dos 3 primeiros componentes, e o primeiro encartuchado cumprindo a função do componente 4, com todos os outros encartuchados operando como o componente 5. Desta forma, configuraríamos a detonação com apenas dois elementos, onde o sistema eletrônico assumiria as funções dos três primeiros componentes, enquanto a emulsão encartuchada abrangeria as duas últimas etapas.

Portanto, conclui-se que a estrutura dos elementos em nossa detonação não necessariamente consistirá em cinco componentes distintos. Dependendo dos acessórios e explosivos adotados, esses elementos podem desempenhar mais de uma função, resultando em uma configuração mais concisa. No entanto, a abordagem lógica permanece a mesma, permitindo uma compreensão profunda de cada etapa no processo de detonação.

Um outro exemplo:

1 MANTOPIM (Iniciador)



2 CORDEL (Conector de superfície)



2 RETARDOS (Conector de superfície)



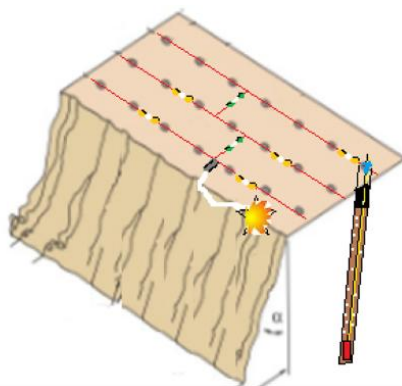
3 NÃO ELETRICO (Unidade de coluna)



4 BOOSTER (Reforçador)



5 EXPLOSIVO (Carga principal)



Neste exemplo esclarecedor, o primeiro elemento, representado por um Mantopin, assume a função de iniciar a detonação, ou seja, do componente 1. Com a ativação do componente 1, o componente 2 é acionado. No cenário apresentado, escolhe-se utilizar cordel detonante para estabelecer as conexões entre os furos. Portanto, é o cordel detonante que transmite o sinal inicial para todos os furos. Além disso, neste contexto, retardos são

www.blastingtreinamentos.com

empregados para sequenciar a detonação. No diagrama, é possível notar a presença de retardos distribuídos ao longo das conexões. Portanto, o componente 2 abrange tanto o cordel detonante quanto os retardos, que conduzem o sinal de forma sequencial aos furos de detonação.

Uma vez que o sinal ou energia alcança os furos, o componente 3 entra em ação. No exemplo em questão, o componente 3 é um detonador não elétrico, desempenhando o papel de receber a energia proveniente do exterior do furo e conduzi-la para o interior do mesmo. Quando a energia atinge o detonador interno do furo, ocorre a detonação deste, acionando o componente 4 - um booster. O booster, por sua vez, amplifica a energia do detonador, garantindo que seja suficiente para iniciar a carga principal de explosivo, o componente 5, responsável pelo processo de fragmentação da rocha.

Essa ilustração destaca os cinco elementos envolvidos na detonação: o Mantopin atua como o componente 1; o cordel detonante e os retardos compõem o componente 2; o detonador não elétrico integra o componente 3; o booster desempenha o papel do componente 4; e, por fim, o explosivo executa a função do componente 5.

É importante reiterar a relevância de compreender essas dinâmicas ao estudar explosivos e acessórios, pois isso permite discernir as áreas de atuação de cada elemento, identificar combinações viáveis de componentes e compreender suas respectivas contribuições em diferentes contextos. O conhecimento sobre os papéis que cada explosivo e acessório podem desempenhar, bem como suas vantagens e desvantagens, facilita a seleção adequada de acordo com os objetivos do desmonte de rochas, maximizando assim a eficácia de cada componente na detonação.

Conclusão

Concluindo o Capítulo 5, realizamos uma análise detalhada dos elementos cruciais que compõem o processo de detonação, proporcionando uma compreensão profunda de como eles interagem e desempenham suas funções. Os cinco componentes - Iniciador, Conector de Superfície, Unidade de Coluna, Reforçador e Explosivo - desempenham papéis vitais na realização de um desmonte de rochas eficiente e controlado.

www.blastingtreinamentos.com

Ao examinarmos o Iniciador, ficou evidente sua função como o primeiro gatilho que inicia a detonação, fornecendo a energia inicial ao sistema. Os Conectores de Superfície têm a responsabilidade de disseminar esse sinal ao longo dos furos, possibilitando uma coordenação precisa da detonação. A Unidade de Coluna assume a tarefa de transferir o sinal do sistema de conexão para a carga explosiva, preparando o terreno para o próximo estágio. Quando necessário, os Reforçadores, por sua vez, amplificam a energia do sinal, conferindo-lhe a potência necessária para ativar a carga explosiva principal. Por fim, o Explosivo desencadeia a efetiva fragmentação da rocha, concluindo o processo de detonação.

É relevante destacar que a configuração das conexões e o uso de acessórios podem modificar o número de componentes em uma detonação. Não é sempre necessário ter os cinco componentes; em algumas situações, apenas dois componentes podem desempenhar múltiplas funções para atingir o resultado desejado. Essa adaptabilidade enfatiza a importância do conhecimento profundo dos explosivos e acessórios, bem como de suas características específicas, para otimizar a escolha e uso desses elementos.

Ao considerar as vantagens e desvantagens de cada acessório ou explosivo, é fundamental ponderar sobre o papel que desempenham em diferentes funções. Por exemplo, um cordel detonante pode assumir diversas funções, desde conexão até ativação, reforço ou até mesmo agir como o explosivo principal. As nuances das interações entre os componentes e a seleção adequada para cada função são cruciais para maximizar o desempenho da detonação, assim como para poder determinar qual a vantagem que cada produto apresenta ao desempenhar determinado papel.

A busca por uma detonação segura e eficiente demanda uma compreensão profunda das funções e interações de cada componente. A combinação precisa desses elementos, orientada por uma escolha criteriosa de acessórios e explosivos, é essencial para o sucesso do desmonte, garantindo uma fragmentação eficaz e minimizando resultados indesejados.

Portanto, ao explorar os Componentes de um Desmonte de Rochas, adquirimos o conhecimento necessário para embasar decisões sólidas, permitindo o controle das variáveis em um processo complexo. Com esse entendimento abrangente, estamos aptos a planejar, implementar e otimizar desmontes de rochas que atendam aos objetivos propostos de maneira

www.blastingtreinamentos.com

segura, eficaz e eficiente. O conhecimento sobre os componentes, suas funções e interações é uma ferramenta indispensável para os profissionais envolvidos na atividade de desmonte de rochas, contribuindo para a excelência das práticas nessa indústria tão dinâmica e importante.

Capítulo 6: Explosivos Utilizados no Desmonte de Rochas

Introdução

A escolha adequada e o uso dos explosivos desempenham um papel crítico no sucesso e na eficácia das operações de desmonte de rochas. Neste capítulo, iremos explorar uma ampla gama de explosivos utilizados para fragmentar rochas de forma controlada e segura. Cada explosivo possui diversas características que influenciam sua aplicabilidade e eficácia, levando em consideração variáveis como o tipo de rocha, o ambiente circundante e os objetivos específicos do desmonte.

Nosso principal objetivo é familiarizá-lo com os principais explosivos disponíveis no mercado, examinando sua utilização atual no contexto do desmonte de rochas e destacando os mais utilizados. Essa compreensão dos explosivos é fundamental para permitir comparações e embasar a seleção do explosivo mais apropriado para cada situação.

Iniciaremos nossa exploração analisando os diferentes tipos de explosivos usados no desmonte de rochas, examinando minuciosamente suas composições e propriedades distintivas. Daremos especial atenção aos explosivos mais amplamente utilizados, como o ANFO (Nitrato de Amônio e Fuel Oil) e as emulsões. Além disso, abordaremos brevemente outros tipos que não são tão comuns, como a pólvora, a dinamite e os hidrogéis, e também forneceremos informações sobre uma série de outros explosivos aplicados em situações específicas. Cada um desses explosivos desempenha um papel específico na otimização das operações de desmonte, considerando seus pontos fortes e limitações particulares.

Através dessa análise aprofundada, nosso objetivo é proporcionar uma compreensão completa dos explosivos utilizados, permitindo que os profissionais envolvidos no desmonte de rochas tomem decisões informadas sobre a escolha do explosivo mais adequado para cada situação. Com esse conhecimento, esses profissionais estarão capacitados a planejar e executar desmontes de rochas com precisão, otimizando a eficiência operacional e minimizando eventuais impactos ambientais e de segurança.

www.blastingtreinamentos.com

Neste capítulo, mergulharemos nas características, aplicações e considerações essenciais de cada tipo de explosivo, capacitando os leitores a enfrentar os desafios inerentes ao desmonte de rochas com confiança e experiência.

6.1 Principais tipos de Explosivos

O avanço tecnológico, em resposta às necessidades econômicas, de saúde pública e ambientais, está continuamente moldando a oferta de produtos para atender às demandas do mercado. No âmbito dos explosivos, alguns produtos foram concebidos e subsequentemente abandonados na evolução industrial devido à sua obsolescência. Por outro lado, outros explosivos passaram por um processo constante de aprimoramento tecnológico, mantendo sua relevância no mercado.

Atualmente, o mercado oferece uma ampla variedade de tipos de explosivos, alguns dos quais estão à beira da obsolescência, enquanto outros continuam a ser aprimorados e inovados. Entre os tipos mais notáveis, destacam-se:

- Pólvora
- Dinamite
- Hidrogéis
- ANFO e suas variações
- Emulsões e suas variações
- Outros explosivos

Essa diversidade de explosivos reflete a constante busca por soluções eficazes e seguras no campo do desmonte de rochas, adaptando-se às mudanças nas necessidades e regulamentações da indústria.

Dentro da gama de explosivos disponíveis, três se destacam como principais. Outros dois possuem relevância histórica e vários outros atendem a necessidades específicas ou derivam dos primeiros grupos. Os dois primeiros, pólvora e dinamite, embora sejam raros nos dias atuais, ainda encontram aplicações pontuais e preservam uma importância histórica que não pode ser ignorada.

Os hidrogéis, o ANFO e a emulsão são os três principais explosivos utilizados na atualidade. Juntamente com seus derivados, esses três tipos de explosivo

www.blastingtreinamentos.com

provavelmente representam mais de 80% dos explosivos utilizados globalmente para o desmonte de rochas.

Por último, existem também explosivos especiais, muitos dos quais são derivados dos três tipos principais, desenvolvidos para suprir necessidades específicas. Alguns exemplos destes explosivos serão abordados ao final deste capítulo como mostra da importância de que situações particulares vão exigir produtos especiais para cada caso, garantindo assim maior segurança e eficiência.

6.2 Pólvora

A pólvora, o primeiro explosivo a ser mencionado em nossa lista, embora tenha um uso atual bastante limitado no desmonte de rochas, desempenha um papel histórico de relevância. Ao longo dos séculos, a pólvora se estabeleceu como o único explosivo conhecido e utilizado em diversas aplicações, incluindo o desmonte de rochas. Seu reinado persistiu até a descoberta da nitroglicerina, que marcou o início de uma era de avanços explosivos.



A pólvora, uma mistura de nitrato de potássio, enxofre e carvão, possui uma reação de combustão relativamente lenta em comparação com explosivos modernos, resultando em uma deflagração controlada em vez de uma detonação. A proporção dos componentes influencia as características explosivas da pólvora, como velocidade de queima e potência. Sua utilização para o desmonte de rochas atualmente é escassa, devido às alternativas mais eficazes e potentes disponíveis. No entanto, seu papel na história da tecnologia de explosivos é inegável.

A pólvora negra, ou pólvora tipo "A", é a mais conhecida e utilizada historicamente. Sua composição básica consiste em aproximadamente 75% de nitrato de potássio, 15% de carvão vegetal e 10% de enxofre. Ela queima de forma relativamente lenta, limitando sua eficácia como explosivo de detonação.

Além da pólvora negra, existe a pólvora branca, ou pólvora tipo "B", que emprega nitrato de sódio em vez de nitrato de potássio. Essa variação tende a queimar mais rapidamente e é utilizada para finalidades específicas, como detonações em materiais menos resistentes, como argilas ou folhelhos.

www.blastingtreinamentos.com

O processo de fabricação da pólvora envolve a moagem e mistura minuciosa dos ingredientes para garantir uma distribuição homogênea, promovendo uma queima mais consistente.

Devido à sua baixa sensibilidade à iniciação e às características de queima, a pólvora frequentemente requer uma fonte de ignição, como estopins, para deflagrar.

Em ambientes úmidos, a pólvora tem uma tendência a absorver a umidade, o que pode afetar negativamente sua estabilidade e desempenho. Portanto, seu armazenamento adequado é essencial para manter sua eficácia.

Características da pólvora incluem:

- Baixa velocidade de reação.
- Enquadramento na categoria de baixos explosivos.
- Altamente higroscópica, tornando-se inapropriada na presença de água.
- Apresentação sob a forma de pó ou grânulos.
- Principalmente utilizada em estopins no desmonte de rochas e na indústria de rochas ornamentais.

As características principais da pólvora são intrinsecamente ligadas à sua natureza. Sua reação ocorre em uma baixa velocidade, o que a enquadra na categoria de baixos explosivos. Além disso, a pólvora é altamente higroscópica, o que significa que ela absorve umidade do ambiente, limitando sua eficácia quando exposta à água. Sua apresentação é sob a forma de pó ou grãos, e historicamente, foi amplamente usada em estopins para iniciar detonações.

A pólvora desempenhou um papel crucial em várias áreas ao longo da história, desde a mineração até a guerra, e suas características distintas influenciaram o desenvolvimento posterior de explosivos mais avançados e seguros.

É importante reconhecer que, embora tenha desempenhado um papel crucial na evolução dos explosivos, a pólvora é agora considerada obsoleta em muitos contextos de desmonte de rochas, devido às demandas por eficiência, segurança e potência. À medida que exploramos explosivos mais modernos, é evidente que a pólvora, com sua história rica e características únicas,

www.blastingtreinamentos.com

contribuiu para o desenvolvimento das técnicas de detonação que empregamos hoje.

Vantagens:

- A pólvora, como precursora dos explosivos no desmonte de rochas, sustenta sua relevância histórica e técnica.
- Sua simplicidade de aplicação permitiu uma adoção generalizada ao longo das eras.

Desvantagens:

- A baixa resistência à umidade restringe sua eficácia em ambientes úmidos.
- Demonstra potência e taxa de reação reduzidas, resultando em deflagração em vez de detonação.
- Comparativamente aos explosivos modernos, sua sensibilidade à iniciação a torna menos segura.

As vantagens inerentes à pólvora derivam de sua posição seminal como o primeiro explosivo empregado no desmonte de rochas. A facilidade de utilização possibilitou sua disseminação ao longo da história, e embora sua aplicação esteja diminuindo no cenário de desmonte de rochas contemporâneo, ainda mantém sua relevância na indústria bélica e na pirotecnia.

Entretanto, não podemos negligenciar suas desvantagens. A baixa resistência à umidade limita seu desempenho em ambientes molhados, e a potência reduzida e a taxa de reação mais lenta resultam em deflagração gradual, contrastando com a detonação instantânea de explosivos modernos. Além disso, quando comparada a esses últimos, a pólvora demonstra uma maior sensibilidade à iniciação, o que aumenta os riscos associados à sua utilização.

Apesar de suas limitações, a pólvora mantém sua relevância como um marco na evolução dos explosivos, servindo como uma memória importante das origens do desmonte de rochas. A atual aplicação da pólvora é restrita, mas seu impacto e papel pioneiro na tecnologia explosiva permanecem incontestáveis.

6.3 Dinamite

As dinamites, o segundo explosivo listado, desempenham um papel significativo na história do desmonte de rochas, representando um avanço notável na evolução dos explosivos em relação ao uso da nitroglicerina. Esse desenvolvimento permitiu manter a alta potência do explosivo, mas com um nível de segurança muito superior em comparação com a nitroglicerina pura.



Historicamente, as dinamites marcaram um ponto de virada importante no progresso dos explosivos para o desmonte de rochas. Seu advento contribuiu substancialmente para o aumento do consumo de explosivos nesse contexto, impulsionando o crescimento das atividades de construção e mineração, ao possibilitar um desmonte mais eficiente e produtivo.

As dinamites são formuladas a partir da nitroglicerina (NG), um composto altamente sensível. Elas podem ser configuradas para apresentar alta plasticidade, densidade elevada e boa resistência à água, características frequentemente requeridas em situações de desmonte onde a presença de água é uma consideração.

Classificadas como alto explosivo, as dinamites possuem características marcantes, como alta brisância (capacidade de fragmentar e estilhaçar quando detonada), densidade elevada e resistência à água. Quando detonadas em furos, as variantes gelatinosas das dinamites demonstram velocidades de detonação moderadamente altas. Essas características, em conjunto com sua densidade e força, tornam-nas eficientes para fragmentar rochas resistentes.

Contudo, o futuro das dinamites foi impactado por questões de segurança e relação custo-benefício. Além de apresentarem maiores riscos potenciais, a confiabilidade de desempenho e eficiência energética por unidade de custo frequentemente são inferiores em comparação com emulsões e explosivos à base de água (hidrogéis).

Devido à quantidade considerável de nitroglicerina utilizada em sua produção, as dinamites ainda podem causar efeitos fisiológicos notáveis, como dores de cabeça intensas. Adicionalmente, existe uma maior propensão a detonações acidentais, particularmente quando submetidas a condições que aceleram a

www.blastingtreinamentos.com

liberação e degradação da nitroglicerina. Esses efeitos podem incluir dores de cabeça intensas. Além disso, as dinamites apresentam um risco mais elevado de detonações acidentais quando comparadas aos explosivos à base de nitrato de amônio.

Ao longo do armazenamento prolongado ou em condições climáticas adversas, pode ocorrer o fenômeno de exsudação, no qual a nitroglicerina, devido à sua alta densidade, tende a migrar para a parte inferior do cartucho. Testes como o "teste do alfinete", "teste do martelo" ou "teste do papel parafinado" podem ser empregados para verificar essa condição.

O alto custo da dinamite simples e as qualidades indesejáveis já citadas permitiram o desenvolvimento das dinamites amoniacaais. As dinamites amoniacaais são similares em composição, às dinamites simples, mas a nitroglicerina e o nitrato de sódio são parcialmente substituídos por nitrato de amônio.



Além disso os constantes estudos e busca por descobrir formas mais eficientes para aplicação das dinamites levaram ao desenvolvimento das gelatinas explosivas, que incluem tanto as gelatinas convencionais quanto as amoniacaais, representam uma classe de explosivos densos e plásticos que desempenham um papel importante no desmonte de rochas em circunstâncias específicas. Desenvolvidas por Alfred Nobel em 1875, essas formulações têm características distintas que as tornam valiosas para determinadas aplicações.

As gelatinas explosivas são conhecidas por sua alta densidade, o que resulta em um poder de fragmentação notável quando detonadas. Essa característica é particularmente útil em rochas mais resistentes, onde a fragmentação eficaz é essencial para garantir a eficácia do desmonte. A textura plástica desses explosivos permite que eles sejam moldados e adaptados conforme a necessidade, facilitando a inserção nos furos de detonação e a conformação a diferentes geometrias de rochas.

A velocidade de detonação das gelatinas é significativamente alta, contribuindo para a rápida propagação do efeito explosivo e garantindo uma fragmentação eficiente da rocha. No entanto, essa alta velocidade também pode gerar gases nocivos durante a detonação, o que requer precauções adicionais em relação à segurança dos operadores e ao controle de emissões.

www.blastingtreinamentos.com

As gelatinas amoniacaais, por sua vez, surgiram como uma alternativa mais segura e econômica em comparação com as gelatinas convencionais. Ao substituir parcialmente a nitroglicerina e o nitrato de sódio pelo nitrato de amônio, buscou-se mitigar alguns dos riscos associados à manipulação e ao armazenamento de explosivos. No entanto, as gelatinas amoniacaais podem ser menos resistentes à água do que suas contrapartes convencionais, o que pode limitar sua eficácia em condições de umidade.

Embora as gelatinas explosivas tenham sido superadas em popularidade por explosivos mais modernos, como as emulsões e os hidrogéis, elas ainda desempenham um papel significativo em aplicações específicas. Seu poder de fragmentação, velocidade de detonação e flexibilidade em moldagem continuam sendo atributos valiosos em situações em que a eficácia na fragmentação de rochas resistentes é fundamental.

Vantagens:

- Elevada potência
- Boa resistência à água
- Maior segurança em comparação com a nitroglicerina pura



Desvantagens:

- Custo elevado
- Menos seguro que os explosivos modernos

Atualmente, ainda é possível encontrar dinamites sendo empregadas em situações excepcionais, embora sua produção seja notavelmente inferior à da pólvora. A substituição relativamente direta das dinamites por emulsões e hidrogéis encartuchados limitou sua utilização a contextos nos quais não há alternativas disponíveis.

Ainda é importante relembrar as valiosas lições que a pólvora e a dinamite deixaram para a prática do desmonte de rochas. A pólvora enfatizou que a mera presença de um explosivo é insuficiente sem um método seguro de iniciação. A dinamite, em conjunto com a nitroglicerina, ressaltou que a potência carece de eficácia se não estiver atrelada à segurança no manuseio. Despedimo-nos agora desses dois ícones da história do desmonte de rochas,

www.blastingtreinamentos.com

compreendendo que eles serão mencionados ocasionalmente, enquanto concentramos nossa atenção nos explosivos mais contemporâneos e pertinentes.

6.4 Hidrogéis

Os hidrogéis, também conhecidos como aquagéis, o terceiro tipo de explosivo em nossa lista, são formulações explosivas que incorporam água como um de seus componentes essenciais. Além da água, seus principais ingredientes incluem nitrato de amônio, nitrato de sódio e agentes gelatinizantes, conferindo-lhes uma textura emborrachada. Outros elementos, como alumínio em pó e outros componentes químicos, também podem fazer parte de sua composição. A aplicação mais comum dos hidrogéis é em forma encartuchada, embora algumas opções mecanizadas também estejam disponíveis. Eles podem ser utilizados de maneira pura ou em misturas com o ANFO, além de outros componentes como alumínio em pó ou substâncias de baixa densidade.



Esses explosivos foram especialmente desenvolvidos para atender às demandas da construção civil e mineração subterrânea. Devido à sua textura emborrachada, os hidrogéis apresentam uma notável aderência às paredes dos furos, o que reduz o risco de migração por fraturas e facilita o uso em furos ascendentes em desmontes subterrâneos. Sua composição balanceada resulta em uma sensibilidade adequada para iniciação, mantendo a segurança e fornecendo alta potência de detonação, além de resistência à água.

Distinguidos por sua alta força volumétrica, resistência à água, sensibilidade controlada e segurança na manipulação, os hidrogéis se tornaram um substituto natural para as dinamites. Sua formulação versátil permite a utilização de diversos tipos de combustíveis e oxidantes, e podem ser sensibilizados de várias maneiras, incluindo processos químicos, físicos e até a inclusão de nitroglicerina. Isso possibilita a adaptação dos hidrogéis às necessidades específicas de cada aplicação.

Os hidrogéis são sensibilizados, em parte, por meio de bolhas de ar ou gás. Alguns também podem ser sensibilizados com explosivos de auto

www.blastingtreinamentos.com

sensibilidade, como a nitroglicerina. Os combustíveis utilizados incluem, em alguns casos, pó de alumínio. A variação na quantidade e tipo de combustível, particularmente pó de alumínio, permite a produção sob medida de hidrogéis com diversas forças em peso e volume.

Conforme o próprio nome sugere, a água desempenha um papel crucial na formulação dos hidrogéis. Sua presença é necessária para conferir a textura e consistência desejadas, pois a ausência de água resulta em uma consistência excessivamente rígida e difícil de manipular, enquanto um excesso de água pode afetar negativamente a energia disponível. A água também contribui para reduzir a sensibilidade a fogo, atrito e impacto.

Apesar de sua eficácia como explosivo, os hidrogéis têm cedido espaço principalmente para as emulsões, devido ao maior custo e complexidade de fabricação, bem como à antiguidade de sua tecnologia. No entanto, suas características únicas ainda os tornam uma escolha válida em situações específicas, como em rochas altamente fraturadas ou em ambientes com fluxos d'água dinâmicos.



Vantagens:

- Alta energia explosiva
- Excelente resistência à água
- Consistência física adaptável
- Segurança no manuseio

Desvantagens:

- Custo elevado

- Complexidade de fabricação em relação a emulsões (mais componentes)

Os hidrogéis apresentam diversas vantagens que os mantêm presentes no mercado, como sua elevada energia explosiva, possibilitando uma variedade de formulações. Além disso, possuem excelente capacidade de resistência à água, tornando-os ideais para ambientes aquáticos. Sua consistência física, similar a borracha, lhes confere uma flexibilidade de aplicação. Também são considerados seguros tanto em manipulação quanto armazenamento, podendo ser aplicados mecanicamente e sensibilizados apenas durante o carregamento. Notavelmente, os hidrogéis se destacam em rochas altamente fraturadas, assim como em situações envolvendo águas dinâmicas, devido a sua composição física adaptável.

Entretanto, o uso dos hidrogéis está associado a um custo mais elevado. Essa maior despesa é devido à complexidade da fabricação, que envolve um maior número de componentes e um processo mais intrincado, comparado às emulsões. Consequentemente, em aplicações normais, as emulsões podem entregar resultados similares a um custo mais acessível. A decisão entre essas alternativas muitas vezes é determinada pela relação custo-benefício e pelas características específicas do desmonte de rochas em questão.

6.4.1 Hidrogéis x Lamas explosivas

Um ponto importante a destacar é a comparação entre os hidrogéis e as lamas explosivas, pois eles são muitas vezes confundidos, apesar das lamas explosivas terem muito mais semelhança as emulsões.

As lamas explosivas, também conhecidas como Slurries, consistem em uma mistura de água, agentes espessantes, oxidantes e outros ingredientes explosivos.

A principal diferença entre os hidrogéis e as lamas explosivas está na textura e na forma de aplicação. Os hidrogéis, como mencionado anteriormente, têm uma textura emborrachada e são frequentemente utilizados em forma encartuchada para desmonte de rochas. Eles são projetados para aderir às paredes dos furos de perfuração, especialmente em situações subterrâneas, onde a estabilidade da carga explosiva é fundamental.

www.blastingtreinamentos.com

Por outro lado, as lamas explosivas, ou Slurries, são misturas fluidas de água, agentes espessantes e componentes explosivos, frequentemente bombeadas para os furos de perfuração. Elas são especialmente úteis quando a fragmentação é necessária em furos de



grande diâmetro ou em condições desfavoráveis, como presença de água. As lamas explosivas têm a vantagem de se adaptar a diferentes condições de perfuração, permitindo um maior controle sobre o desmonte em ambientes variados, mas sua consistência líquida também faz com que migrem muito facilmente por fraturas e que seja passível de contaminação por qualquer material estranho.

Portanto, enquanto os hidrogéis têm uma textura mais emborrachada e são aplicados em forma sólida, as lamas explosivas são fluidas e são bombeadas para os furos. Ambos os tipos de explosivos têm suas aplicações específicas e são escolhidos com base nas características do terreno, nas condições de perfuração e nos objetivos do desmonte.

No entanto, ao longo do tempo, as lamas explosivas foram em grande parte substituídas por outras tecnologias, como as emulsões e os próprios hidrogéis, que oferecem vantagens em termos de segurança, facilidade de uso, eficiência e custo-benefício. As emulsões, por exemplo, são amplamente utilizadas devido à sua maior estabilidade, velocidade de detonação controlável e menor sensibilidade a fatores externos, como água e impacto, assim podemos dizer que elas foram as substitutas naturais das lamas, enquanto os hidrogéis ainda permanecem devido suas características particulares

6.5 ANFO (Nitrato de Amônio e Fuel Oil)

O explosivo ANFO, abreviação de "Ammonium Nitrate + Fuel Oil" (nitrato de amônio e óleo combustível), desempenha um papel de destaque no vasto panorama dos explosivos. Em sua essência, o ANFO é composto majoritariamente por nitrato de amônio, um composto químico amplamente empregado tanto como fertilizante agrícola quanto como elemento central na fabricação de explosivos. A formulação do ANFO aprimora-se através da combinação meticulosa do nitrato de amônio com óleo diesel, dando origem



www.blastingtreinamentos.com

a uma simbiose de ingredientes que culmina em uma substância caracterizada por suas notáveis propriedades explosivas. Resultado dessa combinação, o ANFO figura como um dos explosivos mais simples e, ao mesmo tempo, mais difundidos globalmente.

O ANFO, com sua simplicidade, facilidade de fabricação e excelente relação custo-benefício, emerge como um dos explosivos de maior destaque atualmente. Ao longo das décadas, tem sido a base fundamental para o desenvolvimento de diversos outros explosivos. Além disso, o ANFO é o principal usuário do nitrato de amônio, que constitui sua matéria-prima essencial, como veremos adiante.

Antes de nos aprofundarmos nas características intrínsecas do ANFO, é prudente aproveitarmos esta oportunidade para lançar um olhar mais profundo sobre o nitrato de amônio. Este composto figura como o elemento central da maioria dos explosivos utilizados atualmente, extrapolando os limites do ANFO para também englobar os Hidrogéis e as Emulsões. Essa versatilidade destaca o papel fundamental do nitrato de amônio na engenharia de explosivos, servindo como elo unificador que permeia diversas formulações explosivas.

6.5.1 Nitrato de amônio

Na década de vinte, o nitrato de amônio (NH_4NO_3) emergiu como uma substância de destaque, desempenhando um papel central na composição do ANFO e nos principais explosivos utilizados na atualidade. Este componente químico é notório por sua ampla aplicação em diversas indústrias. Inicialmente, o nitrato de amônio se destacou como um fertilizante agrícola essencial, devido à sua riqueza em nitrogênio. No contexto dos explosivos, suas propriedades oxidantes o tornam uma escolha lógica para a formulação do ANFO, constituindo a base para a reação exotérmica que confere a potência explosiva ao composto.

Como já mencionado, o nitrato de amônio é a matéria-prima predominante na fabricação de explosivos industriais, devido às suas excelentes propriedades como oxidante. Este sal inorgânico é composto por aproximadamente 60% de oxigênio, o que acelera a



www.blastingtreinamentos.com

combustão do combustível presente nos explosivos, resultando em uma liberação de energia mais rápida e intensa em comparação com a disponibilidade de oxigênio da atmosfera, que contém apenas cerca de 21% de oxigênio.

É crucial compreender que o nitrato de amônio não é, por si só, um explosivo, mas sim um oxidante com propriedades excepcionais para a produção de explosivos. Devido à sua natureza, seu manuseio é restrito e ele é classificado como material perigoso, estando sujeito a uma série de regulamentações rigorosas em relação ao seu uso.

A produção de nitrato de amônio é adaptada de acordo com suas aplicações específicas, uma vez que cada uso requer propriedades distintas. As principais categorias incluem



o nitrato de amônio para fins de fertilização, formulações explosivas, misturas congelantes e ainda a produção de herbicidas e inseticidas.

O nitrato de amônio apresenta diversas características, sendo uma delas a sua higroscopicidade. Esse atributo implica que ele tem a capacidade de absorver umidade de fontes ao seu redor. Quando exposto à umidade, o nitrato de amônio tende a amolecer ou até mesmo dissolver, dependendo da quantidade de água absorvida. Ao secar, ele recupera sua consistência endurecida. Em ambientes com umidade suficiente, o nitrato de amônio pode dissolver-se por completo.

Outra particularidade que afeta a utilização do nitrato de amônio é sua baixa resistência a variações de temperatura. Quando sujeito a flutuações acima e abaixo de 32 graus Celsius, os cristais de nitrato de amônio tendem a expandir e contrair. Esse processo pode resultar em sua fragmentação, levando à formação de uma poeira fina. A presença de umidade pode aglomerar essa poeira, transformando-a em pedaços maiores e duros.

Em sua forma pura, o nitrato de amônio não é inflamável. No entanto, quando misturado com um combustível apropriado, ele pode queimar com intensidade. Esse atributo torna os incêndios que envolvem nitrato de amônio especialmente perigosos. Tais incêndios não requerem oxigênio do ar para se

www.blastingtreinamentos.com

propagarem, uma vez que o próprio nitrato fornece o oxigênio necessário para a combustão. Portanto, tentativas de abafar um incêndio desse tipo são fúteis, e o aquecimento excessivo pode levar ao ponto de detonação.

Essas características peculiares do nitrato de amônio contribuem para a complexidade de seu manuseio e utilização em aplicações industriais, incluindo sua função como componente-chave na produção de explosivos, como no caso do ANFO.

Conforme discutido anteriormente, o nitrato de amônio desempenha um papel de destaque como o principal oxidante empregado na fabricação de explosivos industriais. No entanto, é crucial observar a importância da seleção adequada do tipo de nitrato de amônio, uma vez que diferentes variedades estão disponíveis para diferentes aplicações. Para a produção de explosivos, o nitrato de amônio deve possuir um alto grau de porosidade, o que lhe permite absorver e reter o combustível de maneira eficaz. Isso possibilita que o óleo combustível seja distribuído por toda a partícula, tanto internamente quanto externamente, aprimorando sua capacidade de detonação.

Dois tipos principais de nitrato de amônio são amplamente utilizados na fabricação de explosivos: o nitrato de amônio poroso e o nitrato de amônio denso.

O nitrato de amônio poroso, como sugere o nome, possui uma porosidade significativa e,

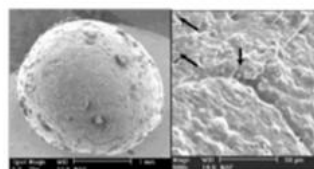
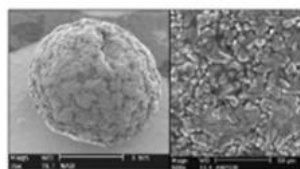
consequentemente, uma densidade menor. Essa característica favorece a absorção eficiente do óleo combustível e oferece espaços internos vazios que desempenham um papel crucial na sensibilização do explosivo. Geralmente, esse tipo é empregado na produção de ANFO e misturas explosivas.

Por outro lado, o nitrato de amônio denso apresenta pouca porosidade e é mais denso. Isso resulta em uma menor penetração do óleo nos grãos de

NA Poroso

x

NA Denso



Densidade ~ 0,75 g/cm³

Densidade ~ 1,0 g/cm³

Absorção de Óleo ~ 10% a 12%

Absorção de Óleo ~ 1% a 2%

Próprio para Anfo e Blends

Não Indicado para Anfo e Blends

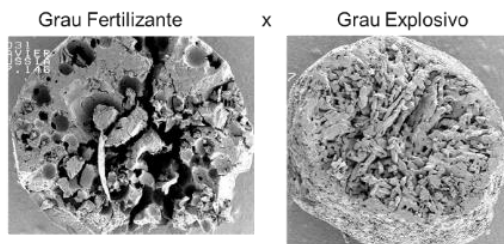
www.blastingtreinamentos.com

nitrato. Por esse motivo, o nitrato de amônio denso é indicado para a fabricação de explosivos como emulsões e hidrogéis, que normalmente dissolvem o nitrato em água. A porosidade desse tipo não influencia significativamente nessas formulações. No entanto, vale ressaltar que o nitrato de amônio denso não é adequado para a produção de ANFO ou misturas, pois sua baixa absorção de óleo combustível leva a uma reação de detonação insatisfatória.

A seleção cuidadosa do tipo de nitrato de amônio de acordo com a aplicação desejada é essencial para garantir a eficiência e a segurança dos explosivos produzidos. Portanto, o conhecimento detalhado sobre as características e as propriedades do nitrato de amônio é vital para os profissionais que atuam na indústria de explosivos.

É interessante observar que em algumas operações, especialmente em abordagens mais artesanais, o nitrato de amônio fertilizante é ocasionalmente utilizado na produção de ANFO como forma de redução de custos. No

entanto, é importante destacar que esse tipo de nitrato de amônio não é apropriado para esse propósito. O nitrato de amônio fertilizante possui uma estrutura mais rígida, o que dificulta a absorção eficiente do óleo combustível.



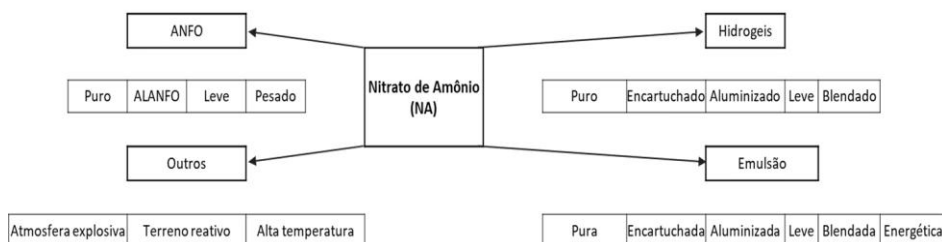
Um quadro resumo ajuda a evidenciar as principais distinções entre o nitrato de amônio fertilizante e o nitrato de amônio utilizado em explosivos. O fertilizante possui grãos cristalinos sólidos e densos, o que limita a absorção do óleo combustível apenas à sua superfície. Como consequência, ocorre uma reação ineficiente, resultando em uma baixa velocidade de detonação e menor liberação de energia. É importante ressaltar que a perda de energia percentual é substancial nesse cenário, o que impacta diretamente o desempenho da detonação. Esses fatores combinados tornam a relação custo-benefício desfavorável.

	Fertilizante	Explosivo
Dureza	Muito duro	Brando
Forma	Cristal solido	Cristal poroso
Distribuição do óleo	Superficial	Homogênea
Velocidade de detonação confinado em 100mm	1800 m/s	3400 m/s

Uma análise microscópica revela as diferenças entre o nitrato de amônio fertilizante e o nitrato de amônio destinado a explosivos. Enquanto o fertilizante exibe uma estrutura mais compacta e poucos vazios internos devido a suas imperfeições, o nitrato de amônio empregado em explosivos é altamente poroso. Isso permite uma absorção completa do óleo, resultando em um desempenho de detonação aprimorado, como ilustrado na figura à direita.



Outro aspecto importante é a variedade de explosivos que empregam o nitrato de amônio como oxidante principal. Além do ANFO em suas diferentes formas, desde as mais simples até as variantes, os hidrogéis e emulsões também se beneficiam do uso do nitrato de amônio. Esses explosivos podem ser empregados em suas formas puras ou em diversas formulações e misturas. Além disso, vários explosivos especiais também utilizam o nitrato de amônio como base, muitas vezes derivados de emulsões que possuem, em sua essência, o nitrato de amônio como componente chave. O quadro ilustrativo apresenta essa diversidade de explosivos que se fundamentam nesse composto.



É importante reforçar, que devido às suas propriedades explosivas quando combinado com combustíveis apropriados, como mencionado anteriormente, o nitrato de amônio é classificado como material perigoso e está sujeito a

www.blastingtreinamentos.com

regulamentações rigorosas para seu manuseio, armazenamento e transporte. O composto é sensível a choques, fricção, calor e até mesmo à contaminação por substâncias incompatíveis, podendo resultar em riscos de acidentes graves, como incêndios ou explosões.

Portanto, para garantir a segurança no uso do nitrato de amônio, são estabelecidas normas estritas em relação à sua manipulação e armazenamento. Isso envolve o uso de instalações apropriadas, treinamento adequado para os trabalhadores, proteção contra contaminações e um controle rigoroso sobre a quantidade e as condições em que o composto é utilizado. A gestão correta do nitrato de amônio é fundamental para evitar acidentes e assegurar um ambiente de trabalho seguro, por isso é recomendado a consulta detalhada da regulamentação e das práticas recomendadas em cada localidade.

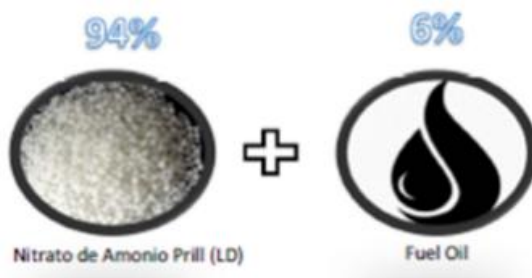
Essa dimensão de segurança é de suma importância e deve ser mencionada, pois destaca a necessidade de rigor e precaução ao lidar com um composto tão versátil e potencialmente perigoso como o nitrato de amônio.

6.5.2 Características do ANFO

O ANFO, como já mencionado, é um explosivo obtido por meio da mistura do nitrato de amônio com óleo diesel, sendo esta combinação altamente eficaz devido à disponibilidade e custo relativamente baixo do óleo diesel, além da sua excelente capacidade de performance.

A nomenclatura "ANFO" deriva das iniciais das matérias-primas em inglês, com "AN"

representando "Ammonium Nitrate" (nitrato de amônio) e "FO" referindo-se a "Fuel Oil" (óleo combustível). A proporção ideal para o ANFO é de 94,4% de nitrato de amônio e 5,6% de óleo diesel.



A densidade de carregamento do ANFO varia de 0,8 a 0,90 gramas por centímetro cúbico, mas essa densidade pode ser maior quando aplicada de maneira pneumática, muitas vezes alcançando valores próximos a 1 gramas

www.blastingtreinamentos.com

por centímetro cúbico. A densidade crítica do ANFO é de 1,2 gramas por centímetro cúbico, o que significa que, quando comprimido até essa densidade, ele perde sua sensibilidade e não detona. Essa característica é essencial para entender os limites de aplicação do ANFO e garantir sua segurança operacional.

O ANFO demonstra um desempenho notável na maioria dos tipos de rocha, destacando-se particularmente em rochas de consistência mais branda e em situações de desmonte onde o lançamento do material é uma necessidade. A baixa densidade e o custo acessível do ANFO o tornam uma opção popular para ser utilizado como carga de coluna, bem como em cenários onde o objetivo é soltar o material de forma controlada.

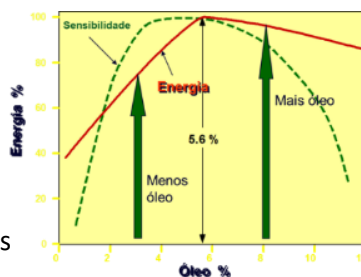
Uma característica importante do ANFO é sua baixa sensibilidade. Recomenda-se o uso de um reforçador de iniciação, visto que, apesar de ser possível iniciar o ANFO com apenas um detonador em diâmetros menores quando aplicado de forma pneumática, o uso de cordel detonante não é apropriado devido à sua sensibilidade limitada, o que pode resultar em uma iniciação inadequada ou deflagração. No entanto, essa mesma baixa sensibilidade contribui para um elevado nível de segurança durante o manuseio, transporte e armazenamento do ANFO.

Quando derramado, o ANFO apresenta um diâmetro crítico de cerca de 2 polegadas. No entanto, quando carregado de forma pneumática, devidamente confinado e iniciado de maneira adequada, ele pode ser detonado em furos de até 1 polegada, embora sua performance nesses casos possa não ser ideal. Essa versatilidade no tamanho dos furos amplia a aplicabilidade do ANFO em diversos cenários de desmonte de rochas.

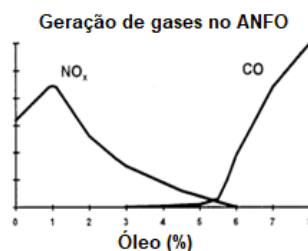
Uma das principais vantagens do ANFO reside na sua capacidade substancial de expansão gasosa durante a detonação. No entanto, essa característica é influenciada por uma reação química delicada, que pode ser facilmente comprometida, levando à formação de uma quantidade significativa de gases tóxicos. Nesse sentido, uma mistura adequada, seguindo as proporções recomendadas de 94,4% de nitrato de amônio e 5,6% de óleo diesel, é essencial para garantir uma reação otimizada e um desempenho eficaz na detonação.

www.blastingtreinamentos.com

Como ilustrado no gráfico ao lado, a energia do ANFO é maximizada quando a mistura obedece a essa proporção específica. Além disso, a sensibilidade à iniciação também é otimizada nessa relação. No gráfico seguinte, observa-se que essa proporção resulta na menor quantidade possível de gases tóxicos gerados durante a detonação.



Quando há uma falta proporcional de óleo na mistura, o que corresponde a um excesso de nitrato, ocorre uma considerável perda de energia, uma maior produção de gases nitrosos e uma queda mais acentuada na velocidade de detonação. É importante ressaltar que o ANFO requer no mínimo 2% de óleo devidamente distribuído para iniciar a detonação; abaixo desse valor, ele torna-se insensível.



Por outro lado, um excesso proporcional de óleo na mistura, significando uma menor quantidade de nitrato, resultará em uma perda de energia mais gradual, uma maior geração de monóxido de carbono e um aumento nos custos devido ao desperdício de óleo. Quando há um excesso de combustível, o ANFO torna-se insensível quando a proporção de óleo ultrapassa 9%, o que o torna excessivamente saturado de combustível. Isso aumenta consideravelmente a probabilidade de combustão em vez de detonação.

Falta de óleo:

- Grande perda de energia
- Sensível até 2% de óleo.
- Maior produção de NO_x (fumaça laranja)
- Baixa velocidade de detonação.

Excesso de óleo:

- Menor perda de energia.
- Sensível até 9% de óleo.
- Maior produção de CO
- Desperdício de combustível.

A correta proporção e mistura dos componentes são vitais para assegurar a eficácia, segurança e desempenho desejados do ANFO durante sua aplicação em operações de desmonte de rochas. A relação entre nitrato de amônio e óleo diesel é crucial para otimizar a reação exotérmica, minimizar a formação de gases tóxicos e garantir uma detonação controlada e eficiente.

Uma característica marcante do ANFO é sua extrema sensibilidade à água, sendo um explosivo que possui a menor ou nenhuma resistência à umidade.

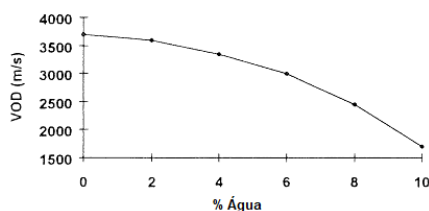
www.blastingtreinamentos.com

Isso limita significativamente suas aplicações a ambientes secos, uma vez que a presença de umidade elevada pode ter efeitos adversos na sua eficácia.

A água, quando presente em quantidades substanciais, tem o potencial de dissolver o nitrato de amônio na mistura do ANFO. Isso resulta na inibição da absorção do óleo diesel, reduzindo a sensibilidade do explosivo e comprometendo sua velocidade de detonação. Em situações mais críticas, a água pode dissolver completamente ou em grande parte o nitrato de amônio, desfazendo a mistura e resultando em uma falha na detonação.

Mesmo pequenas quantidades de água podem ter um impacto significativo na eficácia do ANFO. A partir de uma porcentagem superior a 8% de água distribuída pelo ANFO, a probabilidade de falha na detonação aumenta consideravelmente. Isso é particularmente relevante ao considerar furos de detonação, onde uma pequena quantidade de água na região da escorva pode dessensibilizar o ANFO, levando à falha na detonação, mesmo que o restante da massa explosiva esteja intacto, devido a não iniciação da carga.

O gráfico no lado esquerdo ilustra como a presença de água afeta a velocidade do ANFO. A diminuição da velocidade com o aumento da quantidade de água presente evidencia o impacto substancial que a umidade pode ter na capacidade de detonação do ANFO.



Dessa forma, o controle rigoroso das condições ambientais, com especial atenção à umidade, é fundamental para o sucesso da aplicação do ANFO em operações de desmonte de rochas. A prevenção da exposição do explosivo à umidade é crucial para manter suas propriedades e desempenho desejados, assegurando uma detonação eficaz e segura.

6.5.3 Fabricação do ANFO

A fabricação do ANFO pode ser realizada de três maneiras distintas.

1. A primeira delas ocorre em fábricas especializadas, onde o ANFO é produzido e embalado em sacos de 25 quilos, prontos para serem transportados e utilizados.

www.blastingtreinamentos.com

2. A segunda abordagem envolve o uso de caminhões-fábrica que efetuam a mistura do nitrato de amônio e do óleo diesel diretamente no momento da aplicação, agilizando o processo de desmonte de rochas em grandes operações.
3. A terceira forma de fabricação é realizada através de misturadores portáteis ou mesmo manualmente no local de aplicação, sempre obedecendo às regulamentações e obtendo as autorizações necessárias.



No Brasil, a fabricação e utilização de ANFO, bem como de qualquer outro tipo de explosivo, requerem uma licença específica. Isso se aplica tanto à produção em larga escala quanto à fabricação artesanal, incluindo a utilização de nitrato fertilizante. A produção de ANFO exige o uso de equipamentos projetados para essa finalidade, que possuam dispositivos de segurança adequados. Qualquer equipamento modificado para a mistura deve ser revestido e adaptado para evitar corrosão ou aquecimento excessivo.

Os equipamentos de fabricação devem ser projetados para garantir a homogeneidade da mistura, evitando segregação dos componentes e assegurando que cada partícula de nitrato de amônio seja recoberta com uma fina camada de óleo diesel. Isso resulta em uma maior sensibilidade à iniciação e uma melhor performance explosiva.

O processo de mistura exige cuidado, especialmente para evitar a presença de umidade, uma vez que o ANFO é altamente sensível à água. A umidade pode dissolver o nitrato de amônio, prejudicar a absorção do óleo diesel e comprometer a reação explosiva. Portanto, a manutenção de um ambiente seco e a escolha adequada das condições climáticas para a fabricação e aplicação são essenciais para garantir a qualidade do produto final.

Nos casos em que a fabricação ocorre no local da aplicação, a utilização de caminhões-fábrica, equipados com os sistemas adequados de mistura e medição, oferece praticidade e eficiência. Esses veículos permitem a produção

www.blastingtreinamentos.com

controlada do ANFO conforme a necessidade, evitando o transporte de explosivos já preparados e reduzindo os riscos associados.

Um aspecto relevante na fabricação do ANFO é a recomendação de adicionar um corante à mistura. Esse corante é utilizado para diferenciar visualmente o nitrato de amônio puro do ANFO já fabricado. Devido a essa prática, é comum encontrar fabricantes de ANFO que utilizam diferentes colorações para facilitar a identificação do produto.

Nos dias atuais, devido às regulamentações rigorosas para a fabricação e uso de explosivos, muitas vezes a abordagem mais prática é adquirir o ANFO pronto para pequenas aplicações ou utilizar um caminhão-fábrica para aplicação direta no furo de detonação em operações maiores. Essas opções oferecem maior comodidade e conformidade com as normas de segurança.

6.5.4 Aplicação do ANFO

O carregamento de furos com ANFO é uma etapa crucial no processo de desmonte de rochas e mineração, e existem diversas formas de realizar essa aplicação, cada uma adequada a diferentes tipos de operações e demandas.

A aplicação manual do ANFO, onde o explosivo é derramado diretamente no furo, é comum em operações menores a céu aberto. No entanto, essa abordagem exige atenção para garantir uma distribuição uniforme e adequada do explosivo, além de medidas de segurança para evitar acidentes durante o manuseio.

A aplicação pneumática, especialmente utilizada em desmontes subterrâneos, envolve o uso de equipamentos pneumáticos que transportam o ANFO diretamente para o furo através de tubulações, assegurando uma aplicação eficaz mesmo em locais de difícil acesso.

Equipamentos específicos, conhecidos como ANFO Loaders, são empregados em grandes operações para atender às



www.blastingtreinamentos.com

altas demandas de produção. Esses carregadores são capazes de aplicar o ANFO a taxas impressionantes, podendo chegar até 1000 quilos por minuto, tornando o processo mais rápido e eficiente.

Durante a aplicação, é essencial seguir os procedimentos operacionais recomendados. Certificar-se de que os furos estejam limpos, secos e livres de materiais que possam cair é fundamental para garantir a integridade da carga explosiva. Em desmontes subterrâneos, a limpeza dos furos assume um caráter ainda mais crítico.



Para garantir uma aplicação precisa e evitar desperdícios, a utilização de "cones" ou dispositivos de encamisamento dos furos pode ser recomendada, especialmente em situações onde a carga explosiva precisa ser direcionada para uma área específica.



Equipamentos como plataformas adaptadas com carregadores pneumáticos ou caminhões equipados com sistemas de carregamento de ANFO são comuns em operações maiores. Esses equipamentos possuem tanques para armazenar tanto o nitrato de amônio quanto o óleo diesel, e utilizam sistemas de rosca sem fim para aplicar o ANFO misturado de maneira eficiente nos furos.

Em resumo, a aplicação do ANFO requer cuidados precisos para garantir uma distribuição uniforme e adequada do explosivo nos furos. A escolha da abordagem de aplicação depende do tipo de operação, do ambiente e das demandas de produção, sendo essencial seguir as melhores práticas e normas de segurança para um desmonte eficaz e seguro.

A performance do ANFO é influenciada por uma série de fatores, cuja compreensão e controle são essenciais para garantir a eficácia e a segurança das detonações. Vamos explorar esses fatores em detalhes:

www.blastingtreinamentos.com

1. Presença de água na mistura: A umidade ou a presença de água na mistura de ANFO é prejudicial, uma vez que pode dissolver o nitrato de amônio e desfazer a mistura, resultando em menor sensibilidade e capacidade de detonação. Portanto, garantir uma mistura seca é fundamental.

2. Proporção de óleo combustível: A proporção correta de óleo diesel na mistura é crucial para uma detonação eficaz. O equilíbrio entre nitrato de amônio e óleo diesel influencia diretamente a velocidade e a eficiência da reação de detonação.

3. Características do prill: Utilizar nitrato de amônio poroso na fabricação do ANFO é essencial. A porosidade e o tamanho dos grânulos (prills) de nitrato afetam a capacidade de absorção do óleo diesel, contribuindo para a performance da detonação.

4. Contaminação: A presença de elementos estranhos ou detritos de rocha na mistura do ANFO pode interferir na reação de detonação. Portanto, a pureza dos componentes é crucial para obter resultados consistentes.

5. Temperatura: A variação de temperatura pode afetar as características físicas do prill de nitrato, causando quebras e alterando a performance da detonação. Controlar a temperatura durante o armazenamento e a aplicação é importante.

6. Confinamento: A eficácia da detonação do ANFO é influenciada pelo grau de confinamento da carga explosiva no furo. Um confinamento adequado ajuda a direcionar a energia da detonação de forma eficaz.

7. Potência do iniciador: A escolha do iniciador ou detonador adequado é crucial para iniciar a detonação do ANFO. A potência do iniciador deve ser compatível com as características da mistura explosiva.

8. Diâmetro do furo: O diâmetro do furo no qual o ANFO será carregado afeta a distribuição e a eficácia da detonação. Um diâmetro inadequado pode levar a resultados indesejados.

9. Densidade: A densidade final do ANFO no furo influencia diretamente sua performance. Manter a densidade dentro de parâmetros adequados é importante para garantir uma detonação controlada.

www.blastingtreinamentos.com

10. Presença de sulfetos: Algumas rochas contêm sulfetos que podem reagir com o nitrato de amônio, afetando a performance e, em casos extremos, levando a detonações acidentais. Portanto, ao lidar com rochas potencialmente contendo sulfetos, precauções adicionais são necessárias.

Em resumo, o sucesso da aplicação do ANFO está intrinsecamente ligado à compreensão e ao controle desses fatores que afetam sua performance. Manter a qualidade dos componentes, seguir procedimentos operacionais rigorosos e tomar precauções específicas em diferentes cenários são elementos fundamentais para garantir a eficácia e a segurança das detonações.

6.5.5 ANFO Aluminizado

O ANFO pode ser modificado pela adição de componentes para conferir-lhe características específicas. Uma das modificações mais conhecidas é a adição de pó de alumínio ao ANFO, com o objetivo de aumentar sua pressão de detonação e a energia liberada durante a reação. Geralmente, de 5% a 15% de pó de alumínio é adicionado à mistura, resultando em um aumento na força da detonação, no calor gerado pela reação e na sensibilidade à iniciação. No entanto, acima de 15%, a relação custo-benefício tende a se tornar menos atrativa.

A presença do pó de alumínio modifica a reação química que ocorre durante a detonação do ANFO. A reação do nitrato de amônio com o óleo diesel agora é auxiliada pela adição de alumínio, o que aumenta significativamente a quantidade de energia térmica liberada. Isso resulta em uma detonação mais potente e eficaz, sendo útil para desmontes de rochas mais densas ou quando é necessário um efeito de fragmentação mais intenso.

Essa prática é uma alternativa valiosa quando não se dispõe de outros tipos de explosivos e é necessário maximizar a energia de choque do ANFO. Contudo, é importante destacar que a opção de utilizar explosivos alternativos, como emulsões, geralmente torna essa alternativa menos preferível por três motivos principais:

1. Em primeiro lugar, o alto custo do pó de alumínio contribui para elevar os custos finais da mistura, tornando-a mais cara do que outras opções de explosivos disponíveis, como emulsões.

2. Em segundo lugar, é necessário ajustar a granulometria do pó de alumínio às características da aplicação e, especialmente, ao diâmetro do furo onde será aplicado.
3. Por fim, mesmo nas condições ideais, a reação entre o alumínio e os gases da detonação não alcança um equilíbrio térmico ao se quebrar e deslocar a rocha. Como resultado, parte da energia térmica gerada na reação das partículas de alumínio é perdida, não sendo transferida para os gases da detonação.

Esses fatores fazem do ANFO aluminizado uma alternativa viável apenas em casos específicos, como aplicações pontuais ou situações onde outras opções de explosivos não estão disponíveis. Da mesma forma que o ANFO puro, o ANFO aluminizado também pode ser adquirido em sacos de 25 quilos diretamente de fabricantes ou aplicado usando equipamentos dimensionados para esse fim. Geralmente, equipamentos específicos ou adaptados são necessários para lidar com essa mistura, pois os equipamentos padrão para aplicação de ANFO podem não ser adequados ao uso de alumínio.

O ANFO aluminizado já foi mais amplamente utilizado no passado, especialmente devido à limitação de alternativas e às facilidades de produção local. Embora apresente maior sensibilidade e densidade devido à adição de pó de alumínio, ele ainda mantém a característica de não ser resistente à água, sendo indicado somente para uso em furos secos. Apesar dessas modificações, o ANFO aluminizado ainda mantém um nível adequado de segurança na manipulação e armazenamento, sendo considerado uma alternativa viável em circunstâncias específicas.

6.5.6 ANFO Leve

Uma abordagem interessante para customizar o desempenho do ANFO é a criação do ANFO Leve, uma variante que incorpora componentes de menor densidade à sua composição. Esse processo visa não apenas reduzir a densidade do explosivo, mas também ajustar suas características de detonação para atender às demandas específicas de cada aplicação. O resultado é um explosivo mais leve, capaz de oferecer diferentes níveis de impacto e eficácia, conforme a necessidade.



www.blastingtreinamentos.com

Uma das alternativas bem reconhecidas para o ANFO Leve envolve a adição de poliestireno expandido (EPS), um material plástico de baixa densidade e alta versatilidade. O EPS é conhecido por suas propriedades isolantes e sua capacidade de absorver energia de impacto, tornando-o uma escolha adequada para reduzir a energia liberada durante a detonação do ANFO. Essa adição pode compor até 70% da mistura, dependendo das metas do desmonte e das características da rocha.

O ANFO Leve é frequentemente empregado em cenários onde minimizar o impacto de overbreaks é crucial. Overbreaks ocorrem quando a detonação causa uma fragmentação excessiva da rocha, levando à remoção desnecessária de material. Ao ajustar a densidade do ANFO por meio da adição de EPS, pode-se controlar com mais precisão o grau de fragmentação, evitando perdas desnecessárias de material.

Além disso, o ANFO Leve encontra aplicação em desmontes de afrouxamento, onde o objetivo é liberar o material sem fragmentá-lo em pedaços muito pequenos. A menor energia liberada pela detonação do ANFO Leve permite que o material seja solto de forma mais eficaz, facilitando a escavação subsequente.

Uma consideração importante é que a redução da densidade do explosivo também resulta em uma diminuição na sensibilidade à iniciação. Isso implica na necessidade de utilizar iniciadores mais potentes para garantir que a detonação ocorra conforme o planejado. A escolha do iniciador deve ser feita com base nas características da aplicação e nas especificidades do ANFO Leve utilizado.

Embora a adição de poliestireno seja a abordagem mais comum para criar o ANFO Leve, já foi testado uma variedade de outros componentes, como casca de arroz, sabugo de milho moído, pó de madeira e espumas trituradas. No entanto, o poliestireno continua sendo a escolha mais recomendada devido à sua disponibilidade, facilidade de mistura e características de desempenho.

Geralmente, as empresas fornecedoras de explosivos dão preferência ao uso de poliestireno na fabricação do ANFO Leve devido às suas propriedades superiores. O poliestireno é escolhido devido à sua facilidade de mistura e eficácia em modificar a densidade e a energia do explosivo. Por outro lado, outros componentes como casca de arroz, espuma ou isopor triturado têm

www.blastingtreinamentos.com

sido historicamente aplicados de maneira mais artesanal, porém essa prática tem sido reduzida significativamente nos últimos anos.

A utilização de materiais alternativos, embora menos comum atualmente, era geralmente adotada com o objetivo primordial de reduzir os custos de produção. Essa abordagem costumava ser mais prevalente em operações de menor escala ou em garimpos onde os recursos financeiros eram mais limitados. Com o avanço das técnicas de fabricação e o acesso a materiais de melhor desempenho, a preferência por poliestireno se fortaleceu devido à sua consistência e à capacidade de otimizar a densidade e energia do ANFO de forma mais controlada.

É importante ressaltar que a escolha do componente adicional no ANFO Leve deve considerar tanto as características técnicas quanto os objetivos específicos do desmonte. A decisão deve ser guiada pela busca do equilíbrio entre eficácia, segurança e eficiência econômica.

Vale destacar que, ao utilizar poliestireno na mistura, é fundamental considerar os tipos de óleos que podem ser usados. Alguns óleos especiais são mais compatíveis com o poliestireno, enquanto o óleo diesel comum pode afetar negativamente sua integridade. Portanto, é essencial selecionar óleos que garantam uma mistura estável e consistente.

Em suma, o ANFO Leve representa uma abordagem eficaz para adaptar as propriedades do explosivo ANFO às necessidades específicas do desmonte. Ao reduzir a densidade e ajustar a energia liberada, o ANFO Leve oferece uma alternativa versátil e econômica para situações em que é necessário controle preciso do desmonte e redução de energia liberada. A escolha dos componentes, proporções e iniciadores deve ser feita com cuidado, a fim de garantir uma detonação bem-sucedida e segura.

6.5.7 ANFO Pesado (HEAVY ANFO)

O ANFO Pesado, também mais conhecido pelo termo em inglês “Heavy ANFO”, figura como um dos derivados de maior proeminência derivados do ANFO, notabilizando-se por ser uma composição que combina ANFO com emulsão ou, alternativamente, hidrogéis. Caracterizando-se pela prevalência da proporção de ANFO em sua composição, a adição de emulsão é um componente-chave

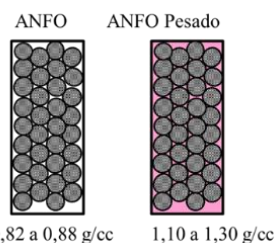


www.blastingtreinamentos.com

desse explosivo, embora uma parcela significativa de emulsão possa ser incorporada.

A incorporação de emulsão no ANFO Pesado proporciona uma característica notável: a emulsão, em seu estado fluido, tem a capacidade de penetrar nos grãos de nitrato de amônio, resultando em um aumento substancial na densidade do explosivo final. Essa densidade pode frequentemente se equiparar à densidade da emulsão e ultrapassar 1 grama por centímetro cúbico. Cuidados especiais são

essenciais, uma vez que o preenchimento excessivo do espaço vazio pelos componentes fluidos pode diminuir a sensibilidade do ANFO, necessitando sensibilizar a emulsão para garantir uma performance adequada.



A presença da emulsão no ANFO Pesado tem como resultado um aumento significativo na Velocidade de Detonação (VOD), uma vez que essa melhoria está diretamente ligada à densidade mais elevada e à energia adicional fornecida pela emulsão. Esse incremento na velocidade e energia tem como objetivo aprimorar o desempenho do explosivo, especialmente em rochas mais resistentes, proporcionando resultados superiores e, em alguns casos, expandindo as áreas de detonação. Isso é particularmente útil em situações em que a capacidade de perfuração é limitada.

É importante destacar que, embora a adição de emulsão torne o ANFO Pesado mais resistente à água, tornando-o menos suscetível à umidade, ele não se transforma em um explosivo totalmente à prova d'água. Em vez disso, sua resiliência se aplica a pequenas quantidades de água e umidade, o que também resulta em um aumento proporcional no tempo de latência antes da detonação.

Em operações de menor escala, é possível observar a aplicação manual dessa mistura. No entanto, é mais comum encontrar a prática de carregar explosivos separadamente, com a emulsão posicionada na base do furo e o ANFO colocado na coluna superior. Nesse cenário, não estamos lidando diretamente com o ANFO Pesado, mas sim com a utilização de duas cargas distintas.

Por outro lado, em operações de grande porte, são empregados equipamentos que realizam a mistura no momento da aplicação. Esses equipamentos oferecem a flexibilidade de criar várias proporções de mistura,

www.blastingtreinamentos.com

abrangendo desde o ANFO Pesado até a emulsão blendada. Devido à sua consistência mais densa, o ANFO Pesado é derramado diretamente no furo, enquanto a emulsão blendada, com um teor de emulsão superior a 70%, é mais adequada para processos de bombeamento.

Além disso, a adição de emulsão permite um balanceamento mais eficaz da mistura, reduzindo o risco de geração de gases tóxicos e melhorando a eficiência da reação química. Em comparação com o ANFO aluminizado, o ANFO Pesado apresenta vantagens notáveis, como custo mais baixo, melhor equilíbrio de componentes e uma utilização mais eficiente da energia adicional. Portanto, sempre que viável, o ANFO Pesado emerge como uma alternativa altamente vantajosa e eficaz.

6.6 Emulsões

Antes de explorarmos as emulsões explosivas em detalhes, é fundamental compreender o conceito de emulsão como um todo. A definição e as características das emulsões são cruciais para um entendimento completo de sua aplicação na indústria.

O conceito de emulsão abrange uma mistura de dois líquidos imiscíveis, ou seja, que naturalmente não se misturam. Nessa mistura, um dos líquidos, denominado fase dispersa, encontra-se distribuído na forma de pequenas gotas dentro do outro, que é a fase contínua. O resultado é uma mistura estável. Exemplos cotidianos de emulsões incluem margarina, maionese e diversos produtos cosméticos.

Do ponto de vista da classificação, existem dois tipos principais de emulsões: as do tipo óleo em água e as do tipo água em óleo. Nas emulsões óleo em água, a fase dispersa consiste em óleo, que é distribuído dentro de uma fase contínua aquosa. Já nas emulsões água em óleo, a fase dispersa é aquosa e encontra-se distribuída dentro de uma fase contínua oleosa.

A ilustração proporcionada por figuras facilita a compreensão deste processo, pois, embora seja conceitualmente simples, pode apresentar complexidades. Na figura à esquerda, por exemplo, podemos visualizar a junção de óleo e água, inicialmente separados, que após o processo de emulsificação resulta em uma mistura homogênea.

www.blastingtreinamentos.com

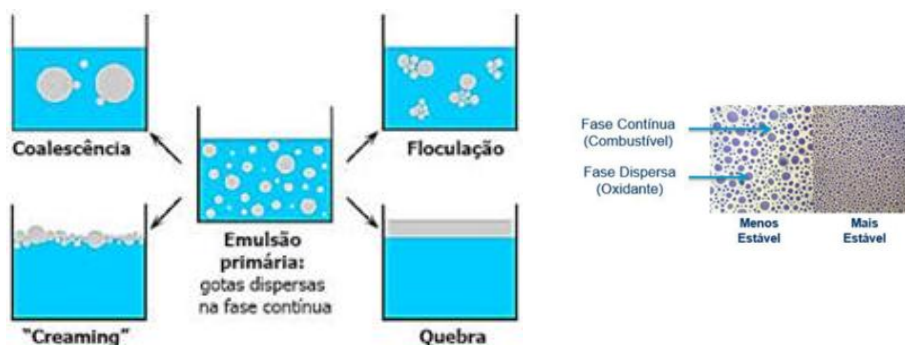


A figura à direita traz uma ilustração que representa os dois tipos de emulsões de maneira mais gráfica. Na parte superior, a emulsão água em óleo, onde as bolinhas de água (fase dispersa) são distribuídas pelo óleo (fase contínua). Já na parte inferior, temos a emulsão óleo em água, na qual o óleo está disperso na água. Vale ressaltar que após a emulsão estar pronta, a separação das fases não é mais visível, pois a mistura se torna homogênea.

É importante observar que a estabilidade das emulsões é essencial para que as fases não se separem após a mistura. Para assegurar essa estabilidade, são empregados agentes emulsificantes, que funcionam como "cola", mantendo as bolinhas da fase dispersa aderidas à fase contínua e garantindo a mistura homogênea. A estabilidade da emulsão está diretamente relacionada à sua vida útil. Quanto mais estável a emulsão, maior será sua vida útil, pois ao final desse período a mistura começará a se separar.

Quando misturamos líquidos imiscíveis, a tendência natural é que eles se separem. O processo de emulsificação, por meio dos agentes emulsificantes, evita essa separação, mantendo as fases estáveis. Contudo, após a vida útil ou devido a determinados fatores, as fases podem se separar de quatro formas distintas:

1. **Coalescência:** As gotículas da fase dispersa começam a se unir, formando concentrações maiores.
2. **Floculação ou Agregação:** As gotículas não se unem completamente, mas se aglomeram em pequenos grupos.
3. **"Creaming" ou Creme:** As bolinhas tendem a flutuar e se aglomeram na parte superior da fase contínua.
4. **Quebra ou Separação:** As fases se separam completamente, sendo visivelmente distintas.



A figura à direita ilustra bem a diferença da qualidade da mistura e da estabilidade da emulsão. A primeira imagem representa uma emulsão menos estável, em que as fases são claramente identificáveis. Na segunda imagem, a mistura é mais estável, com a fase dispersa mais distribuída, indicando uma mistura mais homogênea.

Em resumo, a qualidade da mistura, sua estabilidade e a união das fases são aspectos vitais das emulsões. A mistura de duas fases que naturalmente não se misturariam é o que confere às emulsões suas propriedades únicas, e a manutenção dessa mistura estável é crucial para a aplicação eficaz desses explosivos.

6.6.1 Emulsões Explosivas

As emulsões explosivas são uma classe de explosivos amplamente empregada na indústria de mineração, construção civil e diversas outras atividades que demandam desmonte de. Ao contrário de explosivos como o ANFO, as emulsões explosivas possuem uma composição mais complexa, envolvendo água, óleo, um agente emulsificante e um oxidante. Essas emulsões oferecem vantagens substanciais, proporcionando flexibilidade, controle preciso de energia e eficiência em uma ampla variedade de aplicações.

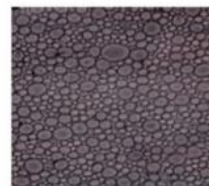
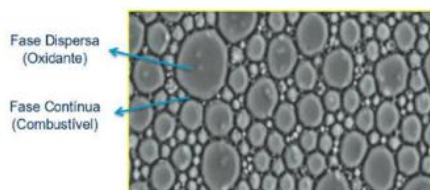
As emulsões explosivas pertencem ao tipo água em óleo, consistindo de micro gotículas da fase aquosa, que contém o oxidante, dispersas dentro de uma matriz oleosa, que serve como a fase contínua. Essa configuração cria uma dispersão estável de pequenas gotículas de óleo na fase aquosa, onde o oxidante é solubilizado. Essa característica fundamental diferencia as emulsões explosivas das misturas granulares, como o ANFO. Uma das

www.blastingtreinamentos.com

principais vantagens das emulsões é a habilidade de ajustar tanto a sua densidade quanto a energia de detonação por meio de formulação específica, permitindo um ajuste preciso às características das rochas que serão fragmentadas.

Ao observar a figura que apresenta a visualização sob microscópio, é possível identificar as micro gotículas dispersas em meio à fase contínua.

Notavelmente, as gotículas de água não entram em contato direto umas com as outras devido à



presença da fase oleosa que as envolve. Esse revestimento da fase oleosa desempenha um papel essencial na conferência de resistência à água do explosivo, agindo como uma barreira protetora que envolve as micro gotículas da fase aquosa, onde o oxidante está contido.

A respeito da formação do explosivo, é essencial ressaltar que nenhum dos componentes individuais de uma emulsão é, por si só, explosivo. A verdadeira natureza explosiva emerge da combinação desses elementos e do processo de sensibilização. Portanto, a qualidade da mistura e a estabilidade são fatores cruciais que determinam a eficácia e confiabilidade do explosivo resultante.

As emulsões explosivas representam uma evolução significativa no campo dos explosivos industriais, permitindo uma maior adaptabilidade e controle no processo de detonação. A capacidade de ajustar suas propriedades em resposta às características das formações rochosas alvo, bem como sua resistência à água proporcionada pela matriz oleosa, destaca as emulsões como uma escolha versátil e eficiente para diversas aplicações de desmonte de rochas e outros fins industriais.

A fabricação de uma emulsão explosiva envolve um processo meticuloso e preciso. Os ingredientes básicos da emulsão, conforme podemos observar na imagem, consistem essencialmente em nitrato de amônia, água, aditivos e óleos. Esses componentes são misturados em duas fases distintas, uma fase oxidante e outra fase oleosa. Uma vez que essas duas fases são combinadas, passam por uma série de processos para alcançar as características desejadas, resultando na matriz de emulsão. Vale salientar que, nesta etapa, a emulsão ainda não é considerada um explosivo, já que ainda não foi sensibilizada.



O processo de fabricação de uma emulsão, embora aparentemente simples, é intrincado e a qualidade da mistura é fundamental para o resultado final. A escolha dos componentes e a proporção entre eles, assim como a estabilidade da mistura, desempenham um papel crucial no processo de fabricação.

Um exemplo ilustrativo dos principais passos para a fabricação de emulsão é apresentado a seguir:

- **Dissolução dos Nitratos:** O primeiro passo envolve a dissolução dos nitratos em água. Além do nitrato de amônio, o nitrato de sódio também pode ser empregado. Isso resulta na formação da solução oxidante. Geralmente, a solução é preparada utilizando água aquecida a uma temperatura superior a 80 graus Celsius.
- **Formulação:** Dependendo da formulação, cerca de 80% dos nitratos e aditivos são misturados, enquanto os restantes 20% consistem na água utilizada para compor a solução. É importante destacar que as formulações podem variar, bem como os aditivos adotados por cada fabricante.
- **Preparação da Fase Oleosa:** Simultaneamente, a fase oleosa é preparada, composta por óleos combustíveis e o agente emulsificante, geralmente também um óleo especial. Essa mistura pode ser realizada em temperatura ambiente ou com aquecimento, a fim de facilitar a mistura e o subsequente contato com a fase oxidante, que estará aquecida.

www.blastingtreinamentos.com

- **Mistura das Fases:** Uma vez que as duas fases estão prontas, elas são introduzidas simultaneamente em um misturador. A agitação vigorosa nesse processo é fundamental para a dispersão da fase aquosa na fase oleosa, enquanto o agente emulsificante desempenha o papel de envolver as gotículas da fase oxidante, funcionando como um fixador dentro da fase oleosa.
- **Refinamento da Mistura:** Posteriormente, essa mistura passa por um ou vários equipamentos para refinar ainda mais a composição, alcançando as características de viscosidade desejadas. Esse refinamento culmina na matriz de emulsão pronta para uso.



Cada fabricante pode ter suas próprias formulações e processos específicos. Independentemente das particularidades, a qualidade e a estabilidade da mistura desempenham um papel preponderante na eficácia e confiabilidade da emulsão resultante.

Em resumo, a fabricação de emulsões explosivas é um processo que requer rigor, precisão e controle para assegurar que a matriz final possua as propriedades necessárias para atender às exigências do desmonte de rochas e outras aplicações industriais. A escolha cuidadosa dos componentes, a formulação adequada e a qualidade da mistura são aspectos cruciais que influenciam diretamente na eficácia e segurança desses explosivos.

Como já mencionado previamente, as emulsões representam o ápice das inovações na categoria de explosivos e têm sido objeto de intenso estudo e desenvolvimento nos últimos anos. Acredita-se que elas continuarão a evoluir até que eventualmente possam ser substituídas por descobertas futuras.

Comparadas aos hidrogéis, que são explosivos altamente eficazes, mas pertencem a uma geração anterior, as emulsões conseguiram reter muitas das características dos hidrogéis, porém com uma flexibilidade muito maior. Essa flexibilidade possibilita o desenvolvimento de emulsões que se adequem a

www.blastingtreinamentos.com

uma ampla gama de cenários, oferecendo a capacidade de atender necessidades específicas com maior precisão e resultados aprimorados.

As emulsões têm a capacidade de gerar altas pressões de detonação com velocidades consideravelmente elevadas. Geralmente, suas velocidades de detonação variam entre 4.000 a 6.500 metros por segundo, dependendo do tipo de emulsão e das condições de aplicação.

Um aspecto notável das emulsões é que elas podem apresentar uma força em peso teórica, conhecida como RWS (Relative Weight Strength), menor do que a do ANFO. Por exemplo, enquanto o ANFO é frequentemente utilizado como referência com uma força em peso de 100, certas emulsões podem apresentar uma força em peso de apenas 80, ou seja, 20% menor do que a do ANFO, e ainda assim produzir resultados superiores. Isso ocorre devido ao grau significativo de interligação entre os componentes da emulsão, resultando em um rendimento energético mais eficaz e menor desperdício de energia durante a reação química de detonação.

É importante ressaltar que, ao comparar diferentes tipos de explosivos, também é necessário considerar as eficiências energéticas distintas que eles podem possuir. Isso significa que a energia liberada ou utilizável pode ser menor do que a energia teórica, uma vez que parte dela pode ser perdida devido a reações químicas deficientes entre os componentes do explosivo.

As emulsões explosivas representam uma conquista notável na evolução dos explosivos, mantendo características vantajosas dos explosivos anteriores, mas com aprimoramentos notáveis em termos de flexibilidade e eficiência energética. Seu potencial para adaptação a diversas situações, juntamente com a capacidade de oferecer resultados superiores com menor força em peso teórica, destaca a importância das emulsões na indústria de explosivos e suas aplicações variadas.

Aqui temos um exemplo da conversão da energia relativa em peso para a energia relativa em volume, ilustrando um aspecto importante das emulsões:

- ✓ Imagine uma emulsão com um RWS de 80 e uma densidade média de 1,15 gramas por centímetro cúbico. Ao calcular o RBS (Relative Bulk Strength), que é a energia relativa volumétrica, obtemos um valor de 110.

www.blastingtreinamentos.com

$$RBS = 80 \times 1,15/0,84 = 110$$

(aqui, 0,84 é a densidade média assumida do ANFO).

Isso indica que, em termos de volume, a energia da emulsão é maior do que a do ANFO. No entanto, essa diferença ocorre porque a emulsão possui uma quantidade maior de massa explosiva no mesmo espaço devido à sua densidade superior.

Este cálculo ressalta como a densidade influencia diretamente na conversão da energia entre a forma relativa em peso e em volume. A densidade mais elevada da emulsão permite que ela contenha mais massa explosiva em um volume determinado, contribuindo para sua eficiência energética e desempenho superior em comparação com explosivos de menor densidade.

Esse conceito de densidade e sua influência na eficiência e performance das emulsões é crucial para a compreensão das propriedades desse tipo de explosivo, permitindo uma escolha mais precisa do explosivo a ser utilizado em cada cenário de detonação.

É relevante ressaltar que os números nem sempre refletem de forma precisa o desempenho real dos explosivos. A teoria da detonação de explosivos ainda apresenta uma ampla diversidade de informações e, simultaneamente, algumas lacunas de conhecimento, especialmente quando aplicada ao contexto de desmonte de rochas. Portanto, realizar comparações teóricas entre diferentes tipos de explosivos se apresenta como um processo desafiador.

Resumindo, ao efetuar a seleção de explosivos para aplicações específicas, é prudente avaliar as informações de maneira crítica e considerar a fonte da informação. Dessa forma, é possível obter uma compreensão mais precisa das características reais e, por conseguinte, tomar decisões mais embasadas para otimizar os processos de desmonte.

As emulsões explosivas têm se destacado e conquistado um espaço significativo em virtude de suas diversas vantagens:

- **Preço competitivo:** As emulsões oferecem um custo-benefício mais atrativo em comparação com alternativas como hidrogéis ou explosivos nitroglicéricos. Essa relação entre preço e energia

liberada no desmonte de rochas torna as emulsões uma opção economicamente vantajosa.

- **Segurança abrangente:** Desde a fase de fabricação até a aplicação e manuseio, as emulsões demonstram alto padrão de segurança. Além disso, a possibilidade de sensibilização apenas no momento da aplicação, especialmente nas emulsões bombeadas, realça ainda mais esse aspecto.
- **Elevada velocidade de detonação:** A característica de alta velocidade de detonação das emulsões as torna excepcionais para fragmentar maciços de rocha resistentes, bem como para serem utilizadas como iniciadoras de explosivos menos sensíveis.
- **Opções de densidades:** As emulsões proporcionam a flexibilidade de variar suas densidades, velocidades e energias conforme as exigências dos diferentes cenários de fragmentação de rocha. Isso contribui para um desempenho otimizado.
- **Resistência à água:** A excelente resistência à água das emulsões é um atributo crucial para operações em ambientes úmidos, garantindo sua eficácia mesmo em condições adversas.
- **Fator de adensamento:** Notadamente nas emulsões bombeadas, a capacidade de adensamento é impressionante, permitindo o preenchimento completo dos furos, o que é fundamental para um desmonte eficaz.
- **Facilidade de carregamento:** As emulsões apresentam boas características para carregamento mecanizado dos furos, agilizando o processo de preparação da detonação.
- **Potencial de mistura:** A versatilidade das emulsões se estende à possibilidade de misturá-las com outros explosivos, incluindo o ANFO e outros componentes, o que amplia as opções de formulação e adequação às necessidades específicas.

Essas vantagens têm contribuído para o crescente domínio das emulsões no campo dos explosivos para desmonte de rochas. Em conjunto com o ANFO e seus derivados, as emulsões representam a maioria dos explosivos empregados nesse contexto. A contínua expansão das emulsões em relação ao ANFO é notável, especialmente devido à sua aplicação em misturas variadas que equilibram custo e resultados desejados. Nos próximos anos, é previsível que as emulsões mantenham sua posição de destaque como um dos

www.blastingtreinamentos.com

explosivos mais utilizados, tornando fundamental o conhecimento aprofundado sobre sua aplicação e propriedades.

Ainda que não haja uma solução perfeita, é importante também reconhecer algumas limitações inerentes às emulsões explosivas. Embora essas limitações sejam mais específicas em comparação com outras alternativas, algumas delas podem ser contornadas em diferentes contextos ou podem não ter relevância para determinadas situações:

- **Processo restrito de preparação:** Em relação ao ANFO, o processo de fabricação das emulsões é mais criterioso e complexo. Isso contribui para um custo relativamente mais alto em comparação com o ANFO puro.
- **Sensibilidade a baixas temperaturas:** Em climas frios, as emulsões padrões podem apresentar desafios, demandando a utilização de aditivos especiais para manter sua eficácia.
- **Maior risco de contaminação:** Devido à sua fluidez, as emulsões são mais propensas a contaminação, especialmente quando são bombeadas com baixa viscosidade. Isso pode afetar sua integridade e desempenho.
- **Limites de armazenamento:** As emulsões possuem um período de armazenamento mais restrito em comparação com os hidrogéis, sendo influenciado pelas condições ambientais. Sua estabilidade e eficácia podem ser comprometidas ao longo do tempo.
- **Sensibilidade às proporções e condições operacionais:** As emulsões podem se tornar instáveis ou mesmo "desintegrar" devido a proporções inadequadas de ingredientes, mistura insuficiente, presença de impurezas, impactos do bombeamento ou mistura excessiva com nitrato de amônio. O fator operacional tem um impacto substancial no desempenho final das emulsões.

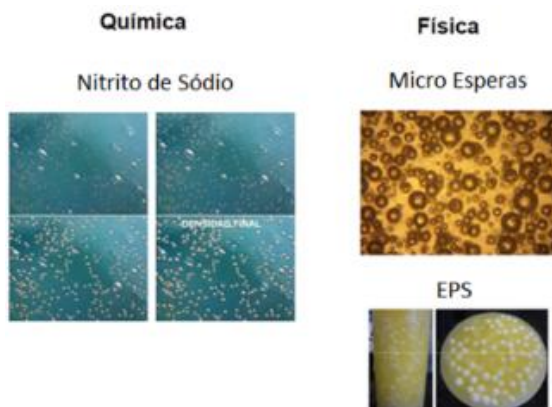
É válido reforçar que sempre a seleção entre diferentes explosivos deve ser pautada por uma avaliação cuidadosa das condições específicas de aplicação, dos desafios do ambiente e das necessidades da operação. Cada explosivo apresenta suas próprias características e requisitos operacionais, e o conhecimento detalhado desses aspectos é fundamental para garantir a eficácia e a segurança do desmonte de rochas.

6.6.2 Sensibilização das Emulsões

A sensibilização das emulsões é um processo crítico para transformá-las de uma matriz inerte em um explosivo sensível e detonável. Conforme discutido anteriormente, a qualidade dos componentes e a precisão da mistura desempenham um papel crucial na sensibilidade das emulsões. No entanto, é por meio do processo de sensibilização que microbolhas de gás ou ar são introduzidas na matriz, conferindo-lhe a capacidade de detonação.

Existem duas abordagens principais para sensibilizar as emulsões:

- **Sensibilização Química:** Nesse método, um componente químico é empregado para sensibilizar a emulsão. O nitrito de sódio é um exemplo comum de um agente químico utilizado para esse fim. Esse processo é mais econômico e de realização mais simples, além de gerar uma quantidade substancial de microbolhas. A sensibilização química oferece uma melhor sensibilização devido à geração de um maior número de microbolhas, tornando a emulsão mais sensível à detonação.
- **Sensibilização Física:** Aqui, microesferas de vidro ou plástico são incorporadas à emulsão para sensibilizá-la. Esse método proporciona maior resistência e estabilidade, especialmente em aplicações que envolvem furos profundos ou pressões pré-compressivas. A sensibilização física também oferece a vantagem de não apresentar migração de bolhas em emulsões de baixa viscosidade, além de aumentar a capacidade de resistência ao transporte.



É importante mencionar que o processo de sensibilização é frequentemente chamado de "gaseificação da emulsão", uma vez que envolve a criação deliberada de microbolhas de gases dentro da matriz emulsificada. Ao

www.blastingtreinamentos.com

comparar as duas abordagens, observa-se que a gaseificação química é mais econômica e permite uma sensibilização eficaz devido à geração de uma maior quantidade de microbolhas. Por outro lado, a gaseificação física oferece maior resistência e estabilidade às emulsões, especialmente em situações de pressão hidrostática e pré-compressão.

Em aplicações que demandam furos profundos, a gaseificação física se destaca devido à sua capacidade de resistir à pressão hidrostática e à pré-compressão. Além disso, não há migração de bolhas em emulsões de baixa viscosidade, o que contribui para a estabilidade do explosivo. Por outro lado, a sensibilização química é eficaz em termos de custo e permite a sensibilização na aplicação, bem como o armazenamento e transporte do produto matriz como oxidante.

A escolha entre os métodos de sensibilização dependerá das necessidades específicas da aplicação e das condições em que as emulsões serão utilizadas, visando otimizar a sensibilidade e a eficácia do explosivo.

6.6.2.1 Sensibilização Química

A sensibilização química é um processo crucial que transforma uma emulsão inerte em um explosivo sensível à detonação. Nesse processo, um sensibilizante reage com os componentes da emulsão, sendo o nitrito de sódio um exemplo clássico desse agente sensibilizante. A reação entre o nitrito de sódio e o nitrato de amônia libera nitrogênio gasoso, resultando na formação de microbolhas de gás dentro da emulsão. Essas microbolhas desempenham um papel duplo: reduzem a densidade da emulsão e atuam como "Hot Spots" que promovem a sensibilização.

Durante a detonação, a onda de choque gerada pela explosão comprime essas microbolhas, elevando sua pressão e temperatura. Quando essas microbolhas estouram, liberam ondas de choque adicionais, que mantêm a reação em curso, aquecendo-a e propagando as ondas de choque ao longo da detonação. Cada "Hot Spot" contribui para manter a reação em andamento.



www.blastingtreinamentos.com

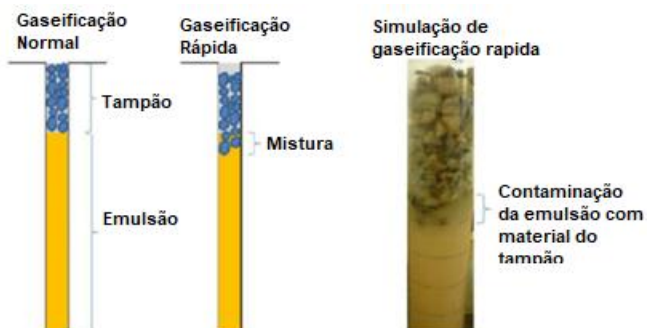
O processo de gaseificação é influenciado por diversos fatores, incluindo a temperatura, acidez da emulsão, concentração e quantidade da solução de nitrito de sódio, bem como a qualidade da mistura entre a emulsão e o sensibilizante. Aumentos na temperatura, acidez, concentração e quantidade do nitrito de sódio geralmente resultam em maior sensibilização e velocidade da reação.

Além de determinar o nível de sensibilidade e a densidade da emulsão, o processo de gaseificação também tem um impacto direto na performance da detonação. Problemas durante a gaseificação podem afetar adversamente o desempenho explosivo. A gaseificação inadequada pode levar a uma detonação ineficaz, onde o explosivo pode não estar completamente sensibilizado.

No entanto, problemas mais significativos estão associados à gaseificação excessivamente rápida. Isso pode resultar em uma emulsão com baixa resistência e, durante a detonação, gerar gases nitrosos indesejados. A gaseificação rápida pode ocorrer devido à alta temperatura da matriz emulsificada ou ao excesso de nitrito de sódio. Em condições ideais, um processo de gaseificação adequado deve ocorrer em um intervalo de tempo entre 20 e 40 minutos. Gaseificações excessivamente rápidas podem levar a esses problemas.

A baixa resistência da emulsão pode facilitar a contaminação por detritos, incluindo materiais do tampão, que podem ir descendo para dentro da emulsão,

prejudicando sua performance. Portanto, um controle cuidadoso do processo de gaseificação é fundamental para garantir a qualidade, sensibilidade e eficácia das emulsões explosivas.



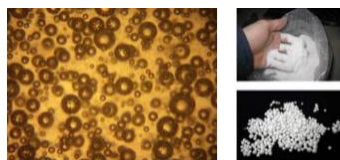
6.6.2.2 Sensibilização Física

A sensibilização física de emulsões explosivas envolve a adição de microesferas de vidro ou plástico à matriz de emulsão. Esse processo ocorre

www.blastingtreinamentos.com

após a emulsão ser fabricada, e as microesferas são misturadas cuidadosamente à emulsão. No entanto, devido à leveza e dificuldade de manipulação das microesferas, seu uso é mais comum em ambientes de fábrica e em emulsões encartuchadas, onde a manipulação pode ser realizada com maior precisão.

As microesferas atuam de maneira semelhante às microbolhas de gás, funcionando como "Hot Spots" que sustentam a reação de detonação, mantendo-a aquecida e contribuindo para a propagação das ondas de choque durante a detonação. No entanto, as microesferas oferecem benefícios adicionais, como maior resistência e estabilidade às emulsões.



Esse método de sensibilização física é especialmente utilizado em emulsões projetadas para aplicações específicas, como furos profundos ou situações em que um maior tempo de latência é desejado. As emulsões sensibilizadas por microesferas são capazes de resistir a condições de pressão hidrostática em furos profundos, bem como à pré-compressão (pressão morta) devido à espessura mais robusta das paredes da microesfera.

Essa técnica proporciona um maior controle sobre a sensibilidade das emulsões, permitindo ajustes para atender às necessidades específicas de diferentes cenários de detonação. Além disso, a sensibilização física com microesferas contribui para uma maior estabilidade e segurança nas aplicações de detonação, tornando-as uma opção valiosa para situações em que a resistência do explosivo e a propagação controlada da detonação são críticas.

6.6.3 Densidade

A determinação da densidade final das emulsões explosivas ocorre por meio do mesmo processo de sensibilização. Esse procedimento é de grande importância, especialmente nas emulsões que são sensibilizadas no momento da aplicação, uma vez que a densidade é um dos parâmetros de controle de qualidade que requer monitoramento cuidadoso.

A densidade de um explosivo está intrinsecamente relacionada à sua velocidade de detonação e à energia disponível por unidade de volume. Em

www.blastingtreinamentos.com

geral, quanto maior a densidade de um explosivo, maior será sua velocidade de detonação e maior será a energia liberada por volume. No entanto, é essencial compreender que a densidade não é o único fator determinante da energia de um explosivo. Dois produtos com a mesma densidade podem apresentar energias completamente diferentes.

Assim, é comum considerar que explosivos mais densos geralmente proporcionam maior energia. Portanto, em certos casos, aumentar a densidade de um explosivo pode contribuir para seu desempenho, desde que a densidade crítica não seja ultrapassada.

Uma das vantagens notáveis das emulsões explosivas é a flexibilidade para ajustar sua densidade de acordo com a aplicação específica. Esse ajuste é realizado variando as proporções de água, óleo e oxidante na mistura. Em cenários de detonação subterrânea, densidades mais elevadas podem ser preferíveis para assegurar uma detonação eficaz, enquanto densidades mais baixas podem ser mais adequadas para evitar danos excessivos em formações rochosas mais frágeis.

A habilidade de controlar a densidade das emulsões confere versatilidade aos profissionais de desmonte de rochas, permitindo a seleção do explosivo mais adequado para diferentes circunstâncias geológicas e necessidades específicas de fragmentação. Isso ressalta a importância de um planejamento cuidadoso na formulação e preparação de emulsões explosivas, a fim de otimizar a eficácia das operações de desmonte de rochas.

6.6.4 Consistência

A consistência das emulsões explosivas é um fator de considerável importância, impactando tanto o manuseio quanto as propriedades físicas desses explosivos. Essa consistência varia desde pastas densas até formulações mais fluidas, adaptando-se conforme a aplicação específica e as preferências dos usuários. A natureza da consistência desempenha um papel

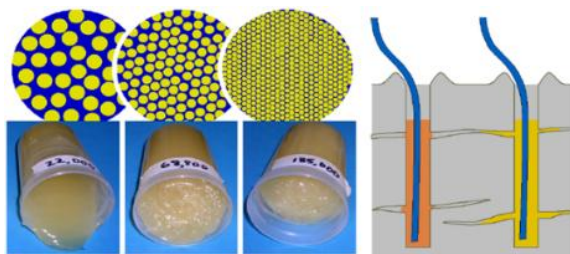
www.blastingtreinamentos.com

crucial na capacidade de carregamento em furos e na distribuição da emulsão, bem como na eficácia global da detonação.

Emulsões com menor consistência tendem a ser mais fluidas, facilitando o processo de bombeamento.

Entretanto, essa fluidez também pode resultar em

maior propensão à migração por fraturas nas rochas ou a possíveis contaminações. Por outro lado, emulsões mais consistentes possuem uma textura mais sólida, o que pode ocasionar desafios no bombeamento. No entanto, essas formulações são menos suscetíveis à contaminação e não se deslocam facilmente através de fraturas presentes nas formações rochosas.



No contexto das emulsões encartuchadas, a consistência geralmente é maior, visto que esses explosivos são aplicados de forma manual e, portanto, uma textura mais coesa é mais adequada. Já no caso das emulsões bombeadas, é crucial avaliar e determinar o nível de consistência mais apropriado com base nas condições operacionais específicas.

Encontrar o equilíbrio adequado entre a consistência e a aplicação desejada é fundamental para garantir a segurança, a eficácia e a eficiência nas operações de desmonte de rochas. A escolha da consistência certa para cada situação contribui para a otimização dos resultados e a minimização de problemas durante o processo de detonação.

6.6.5 Emulsão Encartuchada

As emulsões explosivas podem ser produzidas tanto na forma encartuchada quanto para aplicação a granel, frequentemente por meio de equipamentos especializados de manuseio. A introdução das emulsões na indústria não apenas serviu como substituição para os hidrogéis, tanto na forma granel quanto encartuchada, mas também marcou o início do declínio do uso das tradicionais dinamites (que já haviam sido parcialmente substituídas pelos hidrogéis). As versões encartuchadas das emulsões foram desenvolvidas com alta potência de detonação, resistência superior à água e capacidade de ruptura elevada.

www.blastingtreinamentos.com

Em geral, as emulsões encartuchadas são revestidas por capas plásticas que apresentam dimensões e características distintas, de acordo com as especificações do fabricante e a adaptabilidade a diferentes cenários. Frequentemente comercializadas em caixas de 25 quilos, a quantidade exata depende das dimensões do produto.



Diversos tipos de emulsões encartuchadas foram criados para atender a requisitos específicos. Por exemplo, existem encartuchados aluminizados que oferecem maior poder de ruptura, encartuchados apropriados para ambientes explosivos, e versões longas destinadas a desmontes em contornos de terreno, entre outras opções especializadas.

Em geral, os produtos encartuchados possuem densidade e potência mais elevadas, conferindo-lhes uma resistência superior à água e a capacidade de suportar períodos de latência mais longos. Essas características tornam as emulsões encartuchadas ideais para uma variedade de aplicações, proporcionando desempenho consistente e controlado em ambientes diversos.

Diferentemente das emulsões bombeadas, as emulsões encartuchadas são produtos completos e já sensibilizados durante a fabricação, tornando-as explosivos prontos para uso. Uma característica importante é que a produção finalizada em fábrica confere aos produtos encartuchados um maior controle de qualidade, geralmente resultando em produtos de acabamento superior. Isso se traduz em melhor desempenho energético e maior Velocidade de Detonação (VOD), o que frequentemente os torna escolhas ideais para atuar como reforçadores tanto para o ANFO quanto para as emulsões bombeadas.

Outro ponto distintivo das emulsões encartuchadas é sua tendência a serem mais consistentes devido à concentração geralmente maior de nitrato, resultando em menor teor de água. Em muitos casos, os encartuchados incluem parafina na fase oleosa. Entretanto, é necessário observar que, ao longo do tempo ou quando expostos a deterioração, esses produtos podem cristalizar, tornando seu uso mais desafiador.

www.blastingtreinamentos.com

Os produtos encartuchados também têm a vantagem de apresentar uma vida útil mais longa em comparação com as emulsões bombeadas. Isso se deve principalmente à qualidade superior de fabricação e ao revestimento plástico que proporciona uma proteção eficaz. Dessa forma, as emulsões encartuchadas destacam-se como opções confiáveis e convenientes, prontas para utilização em uma variedade de cenários de detonação.

Os produtos encartuchados estão disponíveis em uma ampla variedade de cores e consistências, variando conforme o fabricante e suas especificações. Essas diferenciações são frequentemente realizadas por meio da coloração da embalagem ou até mesmo da própria emulsão, além de algumas características físicas, como a consistência do produto.

Ainda que os encartuchados sejam geralmente adquiridos de fabricantes especializados, algumas operações menores que normalmente utilizam emulsões bombeadas podem confeccionar cartuchos manualmente para atender a situações específicas onde o uso de emulsões bombeadas não é viável. Entretanto, é importante observar o diâmetro crítico da emulsão bombeada para garantir que os encartuchados não sejam produzidos com um diâmetro que inviabilize sua detonação.

A presença de nitroglicerina nas dinamites frequentemente resultava em dores de cabeça para os operadores durante o manuseio, e os vapores liberados em ambientes fechados causavam efeitos semelhantes. Em contraste, as emulsões são isentas de ingredientes que possam causar dores de cabeça. Como resultado, a utilização desses produtos aumenta o conforto dos blasters e, conseqüentemente, a eficiência operacional.

Além das notáveis propriedades de resistência à água e da alta qualidade dos produtos encartuchados, seu revestimento plástico proporciona uma camada extra de proteção contra águas dinâmicas, ambientes ácidos e até mesmo contaminantes. Esse revestimento plástico também impede o contato direto com a rocha, evitando reações com rochas reativas que poderiam impactar a eficácia da detonação.

Os encartuchados geralmente apresentam excelente aderência durante o carregamento mecânico, tornando-os explosivos ideais para aplicações em minerações subterrâneas e em furos ascendentes. Essa aderência é particularmente benéfica, pois permite que os explosivos fiquem firmemente presos às paredes do furo e não se movam.

www.blastingtreinamentos.com

Vale ressaltar que as emulsões encartuchadas possuem uma característica que pode ser vista como vantagem ou desvantagem dependendo da situação: elas não preenchem completamente o furo, principalmente devido ao seu formato e consistência. Isso resulta em um alto fator de desacoplamento, ou seja, a presença de espaços vazios dentro do furo. Essa característica pode ser vantajosa quando é necessário controlar a carga explosiva, porém, pode ser desvantajosa devido à perda de energia e à menor interação com a rocha durante a detonação. Para melhorar o adensamento quando necessário, é comum adotar a prática de cortar ou abrir o cartucho para que ele se espalhe e se adense melhor dentro do furo.



É uma prática comum, quando se busca maior energia no fundo do furo, rasgar os cartuchos de emulsão encartuchada, a fim de obter uma concentração mais elevada de explosivo. Isso é particularmente relevante quando esses cartuchos são utilizados como carga de fundo. Entretanto, é crucial destacar que esse procedimento não deve ser realizado com o primeiro cartucho, que desempenha o papel de escorva. Em vez disso, é aconselhável efetuar esse rasgamento apenas nos cartuchos subsequentes, situados na parte do furo em que se requer maior energia. Em seguida, completa-se a sequência com os cartuchos normais.

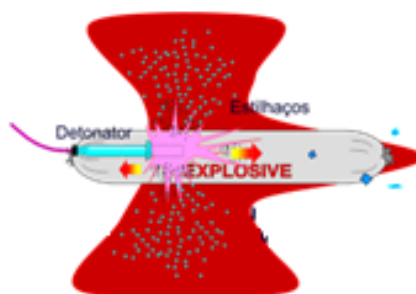
É importante exercer cautela ao adotar essa prática, principalmente em situações em que há a presença de água dinâmica, ambientes ácidos ou contaminantes. Nessas circunstâncias, a emulsão ficará mais exposta, uma vez que a proteção plástica estará ausente. Isso pode resultar em características semelhantes às das emulsões bombeadas, devido à sua maior exposição aos elementos externos.

É crucial manter a continuidade da carga ao carregar emulsões encartuchadas, assegurando o contato entre os diversos cartuchos do carregamento. É comum que alguns encartuchados se prendam nas paredes do furo, gerando um espaço vazio entre os cartuchos. Conforme destacamos anteriormente, a distância máxima de separação entre os cartuchos é o diâmetro de um encartuchado. Qualquer intervalo superior a esse valor representa um risco de falha na continuidade da detonação.

Outro ponto fundamental é a posição de iniciação dos detonadores. Esse aspecto é de suma importância, pois um posicionamento inadequado pode

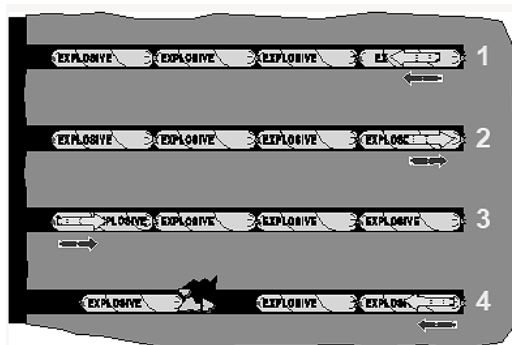
www.blastingtreinamentos.com

resultar em falhas na detonação. Quando um detonador é acionado, ele ejeta fragmentos metálicos provenientes de sua cápsula. Esses fragmentos têm o potencial de cortar lateralmente os encartuchados, separando sua carga. Para garantir a continuidade da detonação, é essencial que os detonadores



estejam direcionados para a continuidade da carga. Isso significa que, se os detonadores estiverem posicionados no fundo do furo, eles devem estar apontados para a parte inicial do furo, onde se encontra o restante da carga explosiva. O mesmo princípio se aplica à situação inversa: se os detonadores estiverem no início do furo, devem estar voltados para o fundo do furo.

Na figura ilustrativa apresentada, destacamos as diferentes situações. No Cenário 1, observamos a posição correta do detonador, direcionado para a continuidade dos encartuchados no fundo do furo. No Cenário 2, exemplificamos a posição



incorreta, na qual o detonador aponta para a rocha, o que poderia resultar em uma separação inadequada dos cartuchos. O Cenário 3 ilustra a posição correta de um detonador localizado no início do furo, voltado para a continuidade da carga. Por fim, no Cenário 4, evidenciamos o risco relacionado ao desprendimento de material ou ao próprio encartuchado ficando preso e gerando separação das cargas.

6.6.6 Emulsão Bombeada

Além das emulsões encartuchadas, existe a categoria das emulsões aplicadas mecanicamente, conhecidas como emulsões bombeadas. Nesse caso, quando as emulsões são aplicadas de forma pura, sem mistura com outros componentes, elas são denominadas emulsões bombeadas.

Para a aplicação das emulsões bombeadas, a fábrica geralmente fornece a matriz de emulsão,



também chamada de pré-emulsão. Essa matriz é armazenada em um silo e, a partir desse ponto, alimenta os equipamentos responsáveis pela aplicação. Normalmente, esses equipamentos possuem um compartimento separado para o sensibilizante, que é adicionado apenas durante o carregamento dos furos.

A possibilidade de não ter uma emulsão sensibilizada até o momento da aplicação traz diversas vantagens técnicas, operacionais, econômicas e de segurança. Por exemplo, há benefícios legais, uma vez que o produto é considerado oxidante e não explosivo, além da segurança na manipulação da matriz de emulsão.

Além da notável resistência à água, as emulsões bombeadas possuem a vantagem de poderem ser aplicadas diretamente no fundo do furo, preenchendo-o completamente e expulsando a água sem se misturar a ela, desde que se sigam as recomendações operacionais. Esse aspecto é particularmente vantajoso em comparação às emulsões encartuchadas, que, devido à sua embalagem e à necessidade de aplicação a partir da boca do furo, tendem a flutuar em águas sujas de densidade mais elevada.

As emulsões bombeadas também oferecem maior flexibilidade na dosagem e na aplicação, permitindo ajustes precisos conforme a necessidade de cada detonação. Sua aplicação mecanizada em mineração a céu aberto ou subterrânea traz eficiência e rapidez, contribuindo para um desmonte mais controlado e seguro.

Ao contrário dos encartuchados, que podem ser iniciados diretamente com detonadores, a recomendação geral para as emulsões bombeadas é a utilização de reforçadores. Embora existam emulsões bombeadas que, sob certas condições, podem ser iniciadas com detonadores, o uso de reforçadores garante uma melhor iniciação do processo de detonação.

Uma das grandes vantagens das emulsões bombeadas é o excelente fator de acoplamento que oferecem, preenchendo completamente o furo. Isso

www.blastingtreinamentos.com

permite uma transmissão direta das ondas de choque para a rocha, resultando em um efeito de fragmentação mais eficaz.

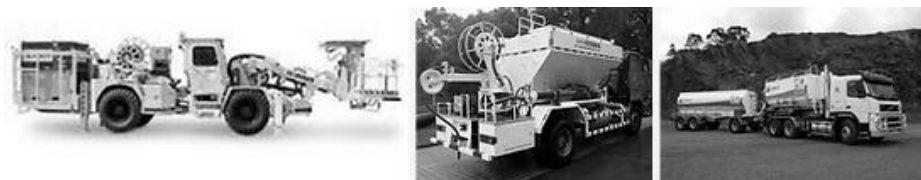
Outro aspecto importante a ser considerado é a redução da sensibilidade à medida que a densidade da emulsão aumenta. Portanto, é necessário controlar cuidadosamente o processo de gaseificação, especialmente em furos de menor diâmetro, para garantir uma detonação segura e eficaz.

As emulsões bombeadas também se destacam por terem uma alta Velocidade de Detonação (VOD). Isso ocorre porque os oxidantes e combustíveis são misturados de forma muito fina, permitindo que reajam quimicamente de maneira muito rápida quando em contato próximo. No entanto, a VOD real medida no interior dos furos dependerá de vários fatores, como densidade da emulsão, diâmetro do furo, teor de nitrato de amônio (ou "doping"), tipo de rocha circundante e qualidade da aplicação.

A aplicação de emulsões bombeadas exige atenção a detalhes técnicos e operacionais para garantir a eficácia do desmonte de rochas. O controle adequado da gaseificação, a escolha adequada dos reforçadores e a configuração correta dos detonadores são aspectos cruciais para obter resultados satisfatórios.

Uma das principais vantagens das emulsões bombeadas é a capacidade de atender a altas taxas de produção, tornando-se a melhor alternativa para aplicações em operações de grande escala e para diâmetros maiores. Isso resulta em otimização operacional, reduzindo os ciclos, os custos e a mão de obra necessária para conduzir as operações.

Normalmente, os equipamentos utilizados para aplicar emulsões bombeadas são montados em caminhões para desmontes a céu aberto. Também existem adaptações para atender às demandas de desmontes subterrâneos, que geralmente envolvem quantidades menores de explosivo, mas requerem maior agilidade para não afetar os ciclos de produção. Esses equipamentos são frequentemente chamados de "fábricas de explosivos", pois finalizam o processo de sensibilização das emulsões. Eles são equipados com uma série de dispositivos e instrumentos para conduzir o processo de forma controlada e segura.



Geralmente, esses equipamentos possuem dois reservatórios: um maior para a matriz de emulsão e um menor para a solução de nitrito de sódio, que é usado como sensibilizante. Há uma variedade de modelos de equipamentos disponíveis, alguns dos quais podem aplicar não apenas emulsões, mas também uma variedade de outros produtos e misturas.

O processo de aplicação envolve bombear a matriz de emulsão do reservatório ao longo do circuito interno do caminhão. Durante esse processo, a solução de nitrito de sódio é adicionada à emulsão para sensibilização. A emulsão sensibilizada é então carregada no furo através de uma mangueira.

Alguns equipamentos podem exigir auxílio manual para mover a mangueira, e o operador pode precisar controlar o painel. No entanto, os equipamentos mais modernos frequentemente contam com sistemas automatizados. Isso permite que o operador na cabine controle todo o processo, desde a fabricação até a manipulação da mangueira para o carregamento de vários furos. Essa automação contribui para a eficiência e segurança da operação.

6.6.6.1 Controle de Qualidade

O controle de qualidade ao utilizar emulsões bombeadas é um ponto de extrema importância, uma vez que a emulsão só é finalizada durante a aplicação, tornando essencial um controle rigoroso para garantir a qualidade do explosivo. Em comparação com as emulsões encartuchadas, que já saem da fábrica prontas, a confiança na qualidade do produto é maior, visto que os controles necessários são realizados na própria fábrica. No entanto, nas emulsões bombeadas, essa responsabilidade recai sobre nós para realizar esses controles durante o processo de aplicação.

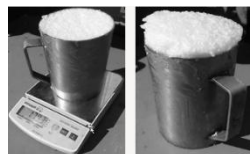
Dois controles básicos são fundamentais durante a aplicação de emulsões bombeadas:

www.blastingtreinamentos.com

1. O primeiro é um controle técnico que envolve a densidade final da emulsão, juntamente com o monitoramento do processo de gaseificação, que é o processo de sensibilização da emulsão.
2. O segundo controle é o controle visual, que apesar de parecer simples, é essencial na identificação de possíveis anomalias. Esse controle visual é a base para a identificação da qualidade da emulsão bombeada e pode revelar características que fogem do padrão.

Para realizar o controle visual efetivamente, é necessário compreender as características físicas dos produtos utilizados e monitorá-las diariamente. Isso inclui observar a coloração, identificar separações de fases, cristalização, consistência e qualquer outra característica que possa diferir do padrão. Explosivos são produtos perecíveis e, como tal, apresentam indicativos quando não estão mais adequados para uso. Operadores experientes utilizam esse mesmo processo para identificar possíveis anomalias nos equipamentos, nas dosagens de matérias-primas e em qualquer aspecto que possa estar fora do padrão durante o processo de bombeamento da emulsão.

O outro controle essencial durante a aplicação de emulsões bombeadas é o controle de densidade. Vale ressaltar que a densidade é a única medida numérica que temos para determinar se a emulsão está dentro dos parâmetros exigidos. Esse controle é crucial pois, durante a finalização da emulsão bombeada, geralmente é realizado apenas um teste de densidade para garantir sua qualidade. Portanto, esse controle deve ser conduzido de forma precisa e repetido quantas vezes forem possíveis operacionalmente para garantir que a emulsão esteja dentro dos padrões.



Além disso, o controle de densidade também nos dá informações sobre o progresso do processo de gaseificação, ou seja, da sensibilização do explosivo. Dessa forma, esse controle tem uma importância dupla: garantir que a emulsão esteja dentro dos padrões e assegurar que ela tenha sido sensibilizada corretamente para garantir um desempenho adequado durante a detonação.

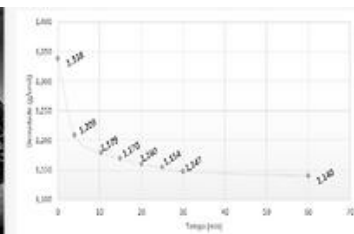
6.6.6.2 Densidade

No processo de controle de qualidade para emulsões bombeadas, é crucial realizar amostragens e monitoramento contínuo para assegurar que o

www.blastingtreinamentos.com

explosivo esteja dentro dos padrões de qualidade. A retirada da amostra deve ocorrer assim que o bombeamento é iniciado, porém, é importante aguardar até que o equipamento entre em regime, pois pode levar alguns quilos de emulsão até que a formulação seja ajustada corretamente.

Para realizar a amostragem, um copo é posicionado na ponta da mangueira para coletar a amostra. Após a primeira amostra ser retirada, todo excesso de material é eliminado, e a amostra é



pesada para verificar a densidade inicial. Se possível, a temperatura também é medida para fins de controle, e a observação da gaseificação é feita.

Conforme a emulsão vai gaseificando, novas amostras são retiradas e os excessos de material são eliminados, permitindo a realização de novas pesagens para traçar uma curva de densidades. Caso seja necessário, ajustes nas dosagens e velocidades de bombeamento são realizados para garantir que a emulsão permaneça dentro dos padrões requeridos.

É altamente recomendado realizar esse monitoramento e registro ao longo de todo o processo de carregamento, com observações a cada 5 minutos. O acompanhamento de cada amostra é essencial até que a densidade final seja alcançada, o que normalmente ocorre entre 20 a 45 minutos após o início do bombeamento. Caso a gaseificação esteja ocorrendo antes ou depois deste intervalo, ajustes nas dosagens precisam ser feitos para que se enquadrem nesse período de tempo.

A retirada de, no mínimo, uma amostra e o monitoramento constante são procedimentos mandatórios para assegurar a qualidade da emulsão bombeada. Em furos de menor diâmetro ou profundidade, onde o carregamento leva mais tempo, a recomendação é retirar amostras a cada 30 minutos para garantir a estabilidade dos parâmetros ao longo do processo.

Esse rigoroso processo de controle de qualidade durante a aplicação de emulsões bombeadas é fundamental para garantir que o explosivo atenda aos requisitos de segurança, eficiência e performance, assegurando a qualidade do resultado final.

www.blastingtreinamentos.com

Nas emulsões bombeadas, a densidade frequentemente varia ao longo do furo devido à pressão hidrostática da coluna de explosivo. Em outras palavras, o próprio peso do explosivo acima comprime as bolhas de gás, resultando em um aumento da densidade conforme se desce até o fundo do furo.

É importante compreender que, embora a densidade medida em um copo seja um parâmetro relevante para o controle de qualidade da emulsão, ela não representa a densidade real do explosivo no interior do furo. Portanto, essa medida não deve ser usada para cálculos de consumo ou projetos de detonação.

A seguir, apresentamos um quadro comparativo que fornece uma noção da variação da densidade da coluna em relação à densidade medida no copo:

Densidade do Copo (g/cm ³)	Densidade Média da Coluna (g/cm ³)
1,05	1,20
1,15	1,26

Esse quadro exemplifica a variação aproximada em furos de 15 a 20 metros, e é importante destacar que os valores específicos podem variar de acordo com o diâmetro do furo, profundidade e o material utilizado para o tampão.

Compreender essa variação é fundamental para realizar cálculos precisos e para planejar de forma adequada a aplicação das emulsões bombeadas em diferentes cenários, garantindo a eficácia e a segurança das operações de desmonte de rochas.

6.6.7 Emulsão Blendada

Quando exploramos o conceito de emulsão blendada, encontramos uma abordagem que envolve a combinação de emulsões explosivas com outros materiais, como o ANFO (nitrato de amônio com óleo diesel) ou diretamente com o nitrato de amônio, resultando em uma mistura mais complexa e adaptável a diferentes situações de desmonte de rochas.



www.blastingtreinamentos.com

Nos casos de emulsões blendadas, as proporções entre os componentes são cruciais para determinar as características finais do explosivo. Geralmente, quando há uma predominância da emulsão na mistura, chamamos de "emulsão blendada", enquanto uma maior quantidade de ANFO resulta em um "ANFO pesado". A faixa comumente utilizada para a proporção de emulsão em peso gira em torno de 70% a 90%.

Para manter as propriedades desejadas, uma quantidade mínima de 70% de emulsão é frequentemente mantida na mistura. Proporções menores podem dificultar o bombeamento do explosivo, exigindo que ele seja aplicado por derramamento no furo. Também é importante considerar que proporções maiores de ANFO ou nitrato de amônio podem comprometer a resistência da emulsão à água.

Blend	Emulsão (%)	LDAN (%)	Diesel (%)
90/10	90	9,4	0,6
80/20	80	18,6	1,2
70/30	70	28,2	1,8
65/35	65	32,9	2,1
50/50	50	57	3



A variação nas proporções de emulsão e ANFO tem um impacto direto na velocidade da detonação e na quantidade de gás liberada durante a detonação. Esses fatores influenciam a energia liberada e a taxa de liberação dessa energia, tornando a proporção da mistura um fator chave para atingir os objetivos específicos de cada desmonte de rochas.

A estratégia de emulsão blendada oferece uma opção flexível e adaptável, permitindo que as equipes de desmonte de rochas ajustem a composição do explosivo de acordo com as necessidades específicas de cada cenário, maximizando a eficiência, segurança e controle durante as operações. Elas oferecem uma série de vantagens significativas em comparação com outras opções de explosivos, tornando-as uma escolha versátil e eficiente em várias aplicações de desmonte de rochas. Abaixo, destacamos algumas das principais vantagens das emulsões blendadas:

- **Maior Energia Total:** Em comparação com emulsões puras ou ANFO, as emulsões blendadas podem fornecer uma energia total maior,

www.blastingtreinamentos.com

resultando em um efeito de fragmentação mais eficaz e em uma maior capacidade de quebra de rochas.

- **Maior Resistência à Água:** As emulsões blendadas geralmente possuem uma maior resistência à água em comparação com o ANFO, o que significa que elas são mais adequadas para aplicações em ambientes úmidos ou subaquáticos.
- **Variação de Energia através do Furo:** Dependendo dos tipos de equipamentos utilizados e das Unidades de Mistura de Base (UMBs), é possível realizar variações de proporções da mistura ao longo do furo. Isso permite ajustar a energia liberada em diferentes partes do furo, otimizando a fragmentação de acordo com as características geológicas do local.
- **Custo Balanceado:** Embora o custo das emulsões blendadas possa variar com base nas proporções utilizadas e no preço das UMBs, essa abordagem frequentemente oferece um equilíbrio de custos entre emulsões puras e ANFO, tornando-a uma escolha econômica e eficaz.
- **Maior Densidade:** As emulsões blendadas podem ser formuladas para atingir uma densidade mais elevada, o que é vantajoso em aplicações que requerem uma carga mais concentrada ou em cenários de desmonte específicos.

Ao considerar essas vantagens, é importante ressaltar que a escolha entre emulsões blendadas, emulsões puras e outros explosivos dependerá das necessidades específicas de cada operação de desmonte de rochas. A compreensão das características geológicas, dos equipamentos disponíveis, das Unidades Moveis de Bombeamento (UMBs) e dos objetivos do desmonte é crucial para determinar a melhor abordagem explosiva para cada situação.

A possibilidade de utilizar emulsões blendadas em diferentes proporções ao longo de um mesmo furo ou em furos distintos é uma abordagem técnica complexa e altamente dependente dos equipamentos, práticas operacionais e objetivos específicos do desmonte de rochas. Embora teoricamente seja possível criar carregamentos adaptados às características geológicas da rocha ou à região do plano de fogo, na prática, essa tarefa não é tão simples e requer uma análise cuidadosa.

Atualmente, os fabricantes de equipamentos de aplicação de explosivos promovem soluções mais flexíveis que supostamente permitem mudanças rápidas nas proporções de emulsão e ANFO. No entanto, é importante

www.blastingtreinamentos.com

ressaltar que esse cenário é mais viável para furos de grande diâmetro e profundidade, onde a aplicação precisa de quantidades significativas de explosivos para ser eficaz.

Embora a capacidade de variar as proporções de explosivos dentro de um mesmo furo seja intrigante, existem desafios operacionais a serem considerados. Por exemplo, os equipamentos são projetados para atender a certas proporções e, ao alterar essas proporções, há o risco de sobrar ou faltar material em algum ponto do furo, o que pode afetar a quantidade total de carga explosiva aplicada.

Além disso, ao abordar a seleção de explosivos, é crucial lembrar que o "melhor" explosivo não é necessariamente aquele com maior energia ou menor custo. A escolha deve ser orientada pelos objetivos específicos do desmonte, levando em conta as características geológicas, os aspectos operacionais e os resultados desejados. É fundamental avaliar as necessidades e objetivos específicos de cada operação antes de tomar decisões sobre a utilização de emulsões blendadas ou qualquer outro explosivo.

Ao considerar essa abordagem, é aconselhável realizar testes e avaliações antes de implementar uma mudança significativa na mistura explosiva, a fim de compreender completamente os resultados e os possíveis impactos sobre a fragmentação, o desempenho da detonação e a eficiência operacional.

6.6.8 Emulsões Energéticas

Uma categoria de emulsões explosivas que merece destaque são as conhecidas como "emulsões energéticas". Essas emulsões são comercializadas pelos fabricantes como produtos premium, destinados a atender operações que lidam com rochas extremamente duras ou que exigem maior nível de fragmentação. Diferenciando-se das emulsões padrão, as emulsões energéticas são formuladas para proporcionar um desempenho superior em termos de energia liberada durante a detonação.

Essas emulsões energéticas geralmente possuem uma proporção reduzida de água em sua composição, além de contar com aditivos especiais que aprimoram a reação de detonação. Esses aditivos têm a capacidade de acelerar a taxa de liberação de energia, tornando a detonação mais eficaz, especialmente em rochas mais resistentes. Elas são frequentemente

www.blastingtreinamentos.com

empregadas em furos de maior diâmetro, sendo direcionadas principalmente para operações de mineração em grande escala. No entanto, também existem produtos voltados para operações menores e para trabalhos em subsolo. Alguns desses explosivos energéticos não passam pelo processo de gaseificação, o que lhes confere uma densidade mais alta. Para iniciar adequadamente esses explosivos, geralmente são necessários boosters de alta gramatura.

É importante notar que esses produtos premium tendem a ser mais caros em comparação com explosivos convencionais devido às formulações aprimoradas e aos aditivos adicionais. Portanto, a avaliação cuidadosa dos custos adicionais em relação aos benefícios proporcionados é essencial para determinar a viabilidade econômica. Em alguns casos, a aplicação de emulsões energéticas pode não ser a solução mais eficaz ou vantajosa, dependendo da complexidade da rocha, das condições operacionais e dos resultados desejados. Em última análise, a escolha deve ser baseada na análise de custo-benefício e nos objetivos específicos da operação.

6.6.9 Emulsões Aluminizadas

Dentro do escopo das formulações explosivas, surge a possibilidade de adicionar pó de alumínio às emulsões, tanto na forma encartuchada quanto na bombeada, com o propósito de intensificar a pressão de detonação e o calor liberado durante a reação. Tipicamente, incorpora-se de 5% a 15% de pó de alumínio na mistura explosiva, promovendo um aumento no calor gerado pela reação, bem como na força e na sensibilidade à iniciação. Contudo, é essencial destacar que não se busca a adição excessiva de alumínio, uma vez que quantidades maiores não contribuiriam significativamente para o incremento energético, mas sim elevariam consideravelmente o custo final.

A adição de pó de alumínio é considerada uma alternativa viável quando a disponibilidade de outros tipos de explosivos é limitada e há a necessidade de otimizar os resultados obtidos. No entanto, ao se dispor de opções mais energéticas, é fundamental realizar uma análise comparativa mais aprofundada. Existem três motivos primordiais para tal abordagem:

- Primeiramente, o alto custo do pó de alumínio contribui para elevar os custos totais do processo explosivo.

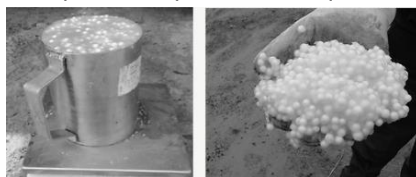
- Em segundo lugar, é preciso ajustar a granulometria do pó de alumínio para que esta se harmonize com as características da aplicação, especialmente o diâmetro do furo.
- Por fim, mesmo que a adição seja realizada de maneira apropriada, a reação entre o alumínio e os gases da detonação não é eficiente, resultando na perda inicial de aproximadamente um terço da energia térmica disponível.

Embora a adição de pó de alumínio já tenha sido uma alternativa significativa no passado, a ascensão das emulsões energéticas coloca em questionamento a relação custo-benefício desse método. É vital realizar uma análise detalhada e individualizada em cada caso, pois existem situações em que essa abordagem pode ser mais atraente. Um exemplo é quando a necessidade primordial é ampliar a geração de finos durante o processo de fragmentação. Isso ocorre porque o alumínio eleva a temperatura da reação e a liberação energética na primeira zona de fragmentação, próxima às paredes do furo, onde a maioria dos finos resultantes do desmonte é produzida.

É importante ressaltar que, apesar de existirem emulsões e outros explosivos que incorporam alumínio em sua formulação, o foco aqui está nas emulsões padrão que recebem a adição de pó de alumínio como um componente adicional para potencializar seus efeitos.

6.6.10 Emulsões Leves

Outro exemplo de adaptação das emulsões explosivas que tem conquistado espaço no cenário é o desenvolvimento das emulsões leves. Essas emulsões incorporam materiais de baixa densidade e os fabricantes oferecem formulações que podem resultar em densidades muito inferiores às do ANFO, chegando a valores próximos de 0,6 gramas por centímetro cúbico, ou até mesmo mais baixas.



A aplicação dessas emulsões leves abrange dois cenários distintos. Em primeiro lugar, busca-se reduzir os custos por meio da utilização de uma quantidade menor de explosivos. Ainda que o preço por quilo possa ser mais elevado, a quantidade total utilizada tende a ser menor, resultando em uma

www.blastingtreinamentos.com

diminuição no custo global. Isso é especialmente vantajoso em rochas de baixa resistência, onde o objetivo é apenas o afrouxamento do material. O segundo cenário é mais específico e envolve a preservação do maciço remanescente. Nesse caso, a aplicação das emulsões leves concentra-se principalmente nos furos de contorno das detonações, com o propósito de evitar sobrequebras e danos à rocha circundante.

O poliestireno é o material mais empregado para reduzir a densidade das emulsões, pois oferece uma mistura mais homogênea e viabiliza densidades mais baixas. A inclusão de poliestireno resulta em uma significativa diminuição na energia de choque, o que minimiza o impacto no maciço remanescente. Apesar dessa considerável redução na densidade, o volume gasoso gerado permanece eficaz, uma vez que as ondas de choque exercem menos influência do que o volume gasoso. Assim, as emulsões leves continuam sendo uma alternativa valiosa para desmontes focados no afrouxamento de materiais.

Embora seja possível utilizar outros componentes para alcançar os objetivos desejados, especialmente quando a meta é reduzir os custos, é recomendável que as necessidades específicas sejam avaliadas em parceria com os fornecedores. Em geral, essas emulsões leves são produtos sob demanda, onde os componentes e as densidades são ajustadas individualmente para cada operação. A adaptação das emulsões para se adequarem aos requisitos específicos das operações de desmonte de rochas é um testemunho da flexibilidade e da constante inovação nesse campo.

6.7 Outros Explosivos

Ao longo do tempo, uma diversidade de outros explosivos foi meticulosamente elaborada para abordar as múltiplas demandas que foram emergindo no contexto da aplicação explosiva. Embora alguns destes tenham gradativamente cedido espaço frente à crescente versatilidade de novas soluções, como as emulsões, é essencial sublinhar exemplos que atendem a demandas extremamente particulares que surgiram à medida que a utilização desses dispositivos se alargou e situações singulares vieram à tona. Estes cenários particulares instigaram o desenvolvimento de explosivos especializados, meticulosamente concebidos para direcionar necessidades circunscritas. Entre esses contextos, merecem destaque:

- **Explosivos para rochas reativas:** Certo conjunto de rochas manifesta reações químicas com os componentes presentes nos explosivos convencionais, gerando respostas indesejadas e, ocasionalmente, detonações prematuras. Para contornar esse desafio, foram formulados explosivos específicos que inibem essas reações. Um exemplo corrente envolve rochas contendo sulfetos em sua composição, que interagem com o nitrato de amônio. Para superar esse entrave, desenvolveram-se explosivos especiais incorporando componentes que desativam essas reações, assegurando uma aplicação isenta de riscos.
- **Explosivos para rochas quentes:** Algumas formações rochosas retêm calor, mantendo temperaturas substancialmente elevadas (superiores a 50°C), o que pode representar uma ameaça para a estabilidade de explosivos e acessórios em contato prolongado. Em resposta a esse desafio, foram concebidos produtos capazes de resistir a temperaturas mais elevadas.
- **Explosivos para atmosferas explosivas:** Esses explosivos, conhecidos como explosivos de segurança ou permissíveis, são primordialmente destinados a minas subterrâneas de carvão ou ambientes nos quais gases potencialmente explosivos, como o metano, estão presentes. Esses explosivos foram engenhosamente concebidos para não gerar chamas durante a detonação, evitando assim a ignição de gases ou poeira de carvão suspensa.
- **Explosivos para desmontes esculturais:** Essa abordagem especializada no domínio do desmonte de rochas visa modelar taludes ou executar desmontes precisos, demandando cortes precisos na rocha, ao invés da fragmentação convencional. Nesse contexto, explosivos específicos foram desenvolvidos ao longo do tempo para atender a essas necessidades específicas.

Esses produtos oferecem a vantagem de satisfazer demandas altamente específicas com maior segurança e eficácia, proporcionando uma variedade de configurações que frequentemente são ajustadas às exigências da situação. Contudo, sua utilização circunscrita resulta em custos mais elevados e desafios na aquisição, devido à demanda limitada e disponibilidade restrita para quantidades menores.

www.blastingtreinamentos.com

Vantagens:

- Atendem a necessidades específicas
- Melhor desempenho e segurança na sua área
- Várias configurações de produto



Desvantagens:

- Utilização pontual
- Mais caros que os explosivos comuns
- Dificuldades de aquisição devido baixa demanda



Além dos explosivos previamente citados, há outros tipos empregados no desmonte de rochas. Dentre eles, destacam-se:

- **Explosivos Plásticos:** São explosivos moldáveis que podem ser adaptados a diversas formas e dimensões, tornando-os adequados para cenários que requerem ajustes precisos à geometria das rochas.
- **Explosivos para Detonação Controlada:** Alguns explosivos foram desenvolvidos para permitir um maior controle sobre o processo de detonação, seja para limitar a fragmentação, reduzir a vibração ou controlar a pressão da explosão.
- **Materiais Não Detonantes:** São empregados para o corte de rochas de maneira não explosiva, explorando as propriedades expansivas de materiais como cimento expansivo ou argamassa expansiva.
- **Explosivos Sísmicos:** Utilizados em estudos sísmicos para mapear a subsuperfície e investigar a estrutura geológica, auxiliando na exploração mineral e de petróleo.
- **Cargas direcionais:** Explosivos especiais utilizados para demolições, aberturas específicas, interligações de poços de petróleo, entre outras aplicações.

Cada um desses tipos de explosivos foi desenvolvido para atender a demandas específicas em diferentes cenários de desmonte de rochas, demonstrando a amplitude de opções disponíveis para os engenheiros e técnicos que atuam nessa área. Eles devem servir principalmente como exemplos da diversidade de opções que existem disponíveis, além do fato que muitas adaptações são feitas aos explosivos mais comuns para tenderem também essas demandas quando necessário.

Conclusão

À medida que encerramos este capítulo, somos levados a apreciar a extensa gama de considerações e práticas envolvidas na seleção e aplicação desses materiais essenciais. A exploração minuciosa dos principais tipos de explosivos, desde os tradicionais, como a pólvora, até as inovações modernas, como as emulsões, revelou a complexidade subjacente à escolha criteriosa desses agentes no contexto do desmonte de rochas.

Cada seção deste capítulo deve servir como ponto de partida para iluminar as diversas características e potenciais de cada explosivo. Desde os explosivos tradicionais, como a dinamite, até as inovações contemporâneas, como as emulsões, a análise meticulosa demonstrou que a seleção do explosivo mais apropriado transcende a mera aplicação empírica. O cenário multifacetado das operações de desmonte de rochas exige uma avaliação profunda das características das rochas, dos objetivos operacionais e das considerações econômicas.

Ao examinarmos o ANFO, não apenas investigamos sua composição e processo de fabricação, mas também as várias variações, como o ANFO aluminizado e o ANFO leve. No que diz respeito às emulsões, exploramos não apenas os aspectos técnicos, como densidade e sensibilização, mas também as diferentes formas de aplicação, desde a emulsão encartuchada até a emulsão bombeada e blendada.

Além disso, a introdução de emulsões energéticas e aluminizadas adicionou uma camada adicional de complexidade, demonstrando a crescente demanda por explosivos adaptados a cenários específicos. A abordagem das emulsões leves enfatizou a busca por soluções inovadoras em situações que exigem a preservação do maciço e a redução de custos.

Em cada análise, a relevância indiscutível do controle de qualidade emergiu como fator crítico. A avaliação rigorosa de parâmetros como densidade e consistência não apenas garante a eficácia do explosivo, mas também garante a segurança da equipe e a eficiência da operação. A escolha informada e a aplicação precisa dos explosivos se revelam determinantes na busca por resultados ótimos, minimizando os impactos ambientais e maximizando a fragmentação controlada das rochas.

www.blastingtreinamentos.com

É fundamental reconhecer que situações especiais muitas vezes exigem abordagens específicas. Em contextos desafiadores ou únicos, onde os explosivos tradicionais podem não ser a escolha mais adequada, a busca por soluções personalizadas é essencial. Consultar os principais fabricantes para obter recomendações específicas em cada caso é o primeiro passo. Conhecer a existência de alternativas e variações é o ponto de partida para a avaliação minuciosa de cada cenário e suas necessidades particulares, garantindo resultados otimizados e uma abordagem segura e eficaz no desmonte de rochas.

Portanto, a conclusão inescapável é que a seleção e aplicação de explosivos são cruciais para o sucesso das operações de desmonte de rochas. Com base nas informações apresentadas aqui, os profissionais do setor são incentivados a tomar decisões embasadas, levando em consideração cada variável específica e buscando alinhar as características dos explosivos com os objetivos desejados.

À medida que a tecnologia e as práticas evoluem, é imperativo manter-se atualizado com as tendências emergentes, os avanços tecnológicos e as melhores práticas do setor. Nesse processo contínuo, a excelência na seleção e aplicação de explosivos continuará a ser a base para a realização eficaz e segura das operações de desmonte de rochas, contribuindo para a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental e a maximização dos resultados.

Capítulo 7: Acessórios Utilizados no Desmonte de Rochas

Introdução

No intrincado cenário do desmonte de rochas, onde precisão e segurança são imperativos, os acessórios desempenham um papel muitas vezes oculto, porém crucial. São eles os protagonistas nos bastidores que conferem aos explosivos sua capacidade de transformação e eficácia.

Este capítulo nos convida a explorar profundamente o mundo dos acessórios empregados no desmonte de rochas, uma fusão entre mineração e engenharia civil, onde os explosivos se unem aos componentes que permitem controle, segurança e eficácia das detonações. Cada detonação se transforma em uma coreografia precisa, onde detonadores, tubos de choque, sistemas eletrônicos e outros acessórios desempenham papéis de destaque.

Nossa jornada começa com a análise das diversas classes de acessórios disponíveis. Aprofundaremos em cada categoria, procurando entender suas funções e os cenários que eles melhor desempenham seu papel.

Na sequência, adentraremos o universo dos detonadores - componentes que conectam de maneira crucial o explosivo ao processo de detonação. Das versões elétricas aos sistemas eletrônicos avançados, analisaremos as abordagens pelas quais a tecnologia e a precisão se unem para determinar o momento exato da detonação. Entenderemos como a sincronização meticulosa dos detonadores desempenha um papel essencial na direção da fragmentação da rocha com máxima eficiência.

Contudo, nossa exploração não se restringe a isso. À medida que examinamos os acessórios que assumem funções cruciais no processo de detonação, nos depararemos com os boosters - dispositivos explosivos que reforçam a potência inicial e garantem a iniciação adequada. Investigaremos as características que conferem aos boosters um papel indispensável em situações onde explosivos de baixa sensibilidade requerem uma dose extra de estímulo.

www.blastingtreinamentos.com

Além disso, estaremos na vanguarda das inovações tecnológicas que estão moldando o futuro do desmonte de rochas. Os sistemas eletrônicos de detonação sem fio estão se consolidando como a próxima fronteira na precisão e segurança das operações. Compreenda como essas inovações estão redefinindo a indústria e preparando o terreno para um desmonte mais ágil, controlado e adaptável.

Nossa exploração nos guiará pelo território dos acessórios especializados. Descobriremos como os desmontes subaquáticos, ambientes inflamáveis e atividades de prospecção sísmica desafiam a engenhosidade dos profissionais e criam demandas singulares para os acessórios empregados. Esses componentes customizados asseguram que, mesmo nas situações mais desafiadoras, segurança e precisão se mantenham intactas.

Este capítulo foi meticulosamente elaborado para fornecer conhecimento e inspiração aos profissionais das áreas de mineração, engenharia civil e disciplinas correlatas. Compreender a importância vital dos acessórios é uma chave mestra para dominar a arte do desmonte de rochas, conduzindo de maneira habilidosa uma das atividades mais essenciais para o desenvolvimento e progresso de nossas sociedades.

7.1 Sistemas de iniciação

Ao revisitar a definição de explosivo, vemos que ela se refere a uma substância ou combinação de substâncias que, sob estímulo apropriado, desintegra-se rapidamente, resultando principalmente em produtos gasosos. Esse processo é acompanhado pela liberação de calor e pressão elevada. Vale destacar que esse estímulo, que dá início ao processo de detonação do explosivo, pode ser provocado de forma acidental ou intencional. Os estímulos podem variar entre natureza mecânica, elétrica, térmica ou radioativa, abrangendo diversas fontes capazes de fornecer a energia necessária para dar início à reação de detonação.

Observa-se, dentro deste contexto, que esse estímulo desempenha o papel crucial de iniciador da detonação. Dessa forma, os acessórios explosivos assumem um papel de suma importância. São essenciais para gerar, distribuir e controlar o estímulo de maneira deliberada e planejada, conforme requisitos específicos.

www.blastingtreinamentos.com

Fundamentalmente, os acessórios representam o ponto de partida do processo de detonação, atuando como condutores e gestores da iniciação segura e controlada da reação explosiva. Assim este capítulo mergulha nas minúcias técnicas de diversos acessórios, revelando suas características intrínsecas e seus papéis vitais no processo de desmonte de rochas. A análise detalhada de cada componente proporciona uma visão abrangente das interações entre eficiência, segurança e precisão. Esses acessórios vão além de componentes mecânicos; eles constituem a ligação entre teoria e aplicação prática, engenharia e execução.

Ao nos aprofundarmos no universo dos desmontes de rochas, surge uma questão essencial: a função e a importância dos acessórios utilizados nesse processo. Para compreender plenamente seu papel, é necessário revisitarmos a história e evolução dos explosivos.

Desde os primórdios, a lição tirada da pólvora foi clara: a necessidade de uma iniciação segura dos explosivos. Essa compreensão primordial evidenciou a importância crucial dos acessórios desde o início. Assim, à medida que os explosivos evoluíram, os acessórios também seguiram esse caminho de desenvolvimento, adaptando-se às crescentes demandas do processo de detonação.

Podemos destacar cinco necessidades fundamentais que evoluíram ao longo do tempo, impulsionando a transformação dos acessórios para atendê-las.

1. A primeira delas diz respeito à necessidade de fornecer estímulos mais energéticos aos explosivos. Hoje, deparados com explosivos menos sensíveis, exigimos maiores doses de energia para ativá-los. Se contrastarmos isso com a pólvora, que podia ser iniciada por uma pequena faísca, agora nos deparamos com explosivos que demandam reforços extremamente potentes, às vezes superiores a 1 quilo. A responsabilidade por essa tarefa recai sobre os acessórios reforçadores.
2. Uma segunda necessidade emergiu: o controle da sequência de detonação, essencial para dirigir o lançamento e fragmentação da rocha. Essa demanda por precisão no sequenciamento das cargas explosivas recaiu sobre os acessórios.
3. Posteriormente, surgiu a necessidade de gerenciar os impactos da detonação, como vibrações, ruídos e projeções de rochas.

www.blastingtreinamentos.com

4. A quarta necessidade concentrou-se na criação de múltiplas possibilidades de iniciação, adaptadas a diferentes cenários. Isso abriu portas para iniciações pontuais, múltiplas iniciações e iniciações ao longo de toda a carga explosiva.
5. Por último, a agilidade e flexibilidade nas operações de preparo das detonações tornaram-se vitais, especialmente diante das altas demandas de produção. Os acessórios desempenharam um papel fundamental nesse aspecto, aumentando tanto a eficiência quanto a segurança do processo.

Ao compararmos a evolução dos explosivos e dos acessórios, fica evidente que estes últimos precisaram se transformar significativamente para suprir as crescentes necessidades. Enquanto os explosivos evoluíram em termos de potência e segurança, os acessórios precisaram se tornar mais potentes, seguros, flexíveis, precisos e tecnológicos. Tudo isso foi necessário para conferir um controle cada vez maior sobre o complexo processo de detonação, aspecto fundamental na engenharia moderna de desmonte de rochas.

Como princípio fundamental, os Acessórios Iniciadores, ou Sistemas de Iniciação, são meticulosamente definidos como uma sinergia de produtos e tecnologias empregados em conjunto, com a finalidade de iniciar com confiabilidade uma carga explosiva específica, no momento preciso e na sequência correta.

Esses sistemas, meticulosamente concebidos e ajustados, desempenham um papel de extrema importância na precisa sincronização das detonações, garantindo que o processo ocorra com a máxima eficácia e segurança. O objetivo primordial dos Acessórios Iniciadores é conferir o estímulo necessário para dar início à reação explosiva de maneira controlada, direcionada e previsível.

Nos meandros das complexas exigências do desmonte de rochas, cada fração de segundo e sequência de detonação desempenham um papel crucial na eficácia do processo. A escolha e a configuração precisas dos Acessórios Iniciadores desempenham um papel determinante na obtenção dos resultados desejados, seja em termos de fragmentação controlada, segurança dos trabalhadores ou redução dos impactos ambientais.

www.blastingtreinamentos.com

Dessa forma, a definição dos Acessórios Iniciadores como um conjunto cuidadosamente composto de produtos e tecnologias destinados a iniciar as cargas explosivas de maneira confiável, no momento exato e na sequência apropriada, reflete a importância intrínseca e a conexão vital com a engenharia moderna de desmonte de rochas. Tais sistemas representam o elo crítico entre a teoria e a prática, onde precisão e segurança convergem para moldar o futuro das operações de desmonte.

Esta definição enfatiza a necessidade fundamental de que os acessórios cumpram quatro objetivos importantes:

1. Primeiramente, eles precisam gerar energia de ativação de forma segura e controlada para os explosivos.
2. Depois, devem distribuir essa energia para as diversas cargas explosivas de maneira precisa.
3. Além disso, é essencial que esses acessórios garantam que as cargas explosivas iniciem ao mesmo tempo em intervalos pré definidos, em uma detonação sincronizada.
4. Por último, eles são responsáveis por iniciar os explosivos de forma adequada para liberar a máxima energia.

Cada um desses objetivos exerce um papel crucial, evidenciando a incontestável importância dos acessórios no processo de detonação. Ainda que os explosivos, por si só, desempenhem o papel central na fragmentação da rocha, são os acessórios que coordenam essa transformação de maneira precisa e segura, alinhada com nossas necessidades.

Essa reflexão nos reafirma que os acessórios desempenham um papel central na busca pela eficiência e segurança no desmonte de rochas. Eles não devem ser considerados como meros componentes secundários; ao contrário, são os componentes essenciais que garantem o funcionamento suave da máquina de detonação, produzindo resultados previsíveis e controlados. Portanto, a importância dos acessórios vai além de serem apenas complementares, elevando-os ao status de elementos cruciais na engenharia moderna de desmonte.

7.1.1 Classificação dos sistemas de iniciação

Após entendermos as funções básicas e a importância dos acessórios, é hora de explorar os sistemas de iniciação. Existem quatro principais tipos de sistemas de iniciação que merecem destaque:

1. O sistema de iniciação a fogo foi o pioneiro. Nesse método, a energia de iniciação é transmitida através da combustão ou deflagração. Um exemplo histórico é o Mantopin.
2. Em seguida, temos o sistema de iniciação elétrica, onde a energia é transmitida por meio de corrente elétrica, percorrendo cabos condutores. Os detonadores elétricos são os principais representantes desse método.
3. O sistema de iniciação não elétrico é o terceiro tipo. Aqui, a energia é transmitida por ondas de choque geradas pela detonação de explosivos em tubos plásticos. O tubo de choque é um exemplo notável dessa categoria. Também é importante mencionar o cordel detonante, que, embora seja considerado um sistema de transmissão, se encaixa nessa classe de iniciação.
4. Por fim, temos o sistema de iniciação eletrônica, que utiliza energia elétrica, mas requer sistemas e comandos eletrônicos para funcionar. Os detonadores eletrônicos são os principais representantes desse tipo.

Ao explorarmos essas quatro categorias de sistemas de iniciação, podemos compreender a evolução e a diversidade tecnológica que caracterizam o campo do desmonte de rochas. Cada um desses métodos tem seu próprio propósito, atendendo às necessidades específicas da área. Essa análise nos proporciona uma visão abrangente das ferramentas que desempenham um papel central na engenharia moderna de desmonte.

Dentro desse contexto, podemos traçar uma linha do tempo ilustrando o surgimento e a evolução de cada sistema, destacando suas características mais distintas. Podemos ver como cada categoria representou um avanço em relação à anterior, moldando o cenário dos sistemas de iniciação ao longo do tempo.

1. O sistema de iniciação a fogo foi o primeiro, mas era rudimentar em termos de precisão e segurança. Embora tenha sido um ponto de partida, suas limitações eram evidentes.

2. O sistema elétrico veio a seguir, introduzindo maior segurança com a iniciação à distância e a capacidade de ajustar retardos com precisão. No entanto, era vulnerável a interferências externas que poderiam ativá-lo acidentalmente.
3. Os sistemas não elétricos surgiram em seguida, melhorando significativamente a segurança, resistência e praticidade das operações de desmonte. Sua capacidade de funcionar sem depender de eletricidade eliminou muitos dos riscos associados aos sistemas anteriores.
4. Por fim, chegamos ao sistema eletrônico, que representou um avanço notável em segurança e precisão. A capacidade de comunicação bidirecional permitiu um controle mais refinado das detonações. No entanto, essa sofisticação exigiu treinamento mais detalhado e o uso de equipamentos de controle mais complexos.



Ao observar essa progressão, fica claro o compromisso contínuo com a melhoria e otimização do processo de desmonte de rochas. Onde cada sistema aborda desafios específicos, moldando-se às necessidades em constante evolução do campo. Essa análise retrospectiva nos mostra como os sistemas de iniciação evoluíram para combinar eficiência, precisão e segurança, fundamentais para as operações modernas de desmonte de rochas.

7.2 Tipos de Acessórios

O cenário dos sistemas de acessórios difere dos explosivos, uma vez que, apesar das evoluções contínuas, muitos sistemas de acessórios permaneceram em uso por períodos mais prolongados. Esse fenômeno é motivado principalmente por considerações operacionais e pelos custos associados às novas tecnologias. Diante desse contexto, uma variedade de tipos de acessórios explosivos se encontra disponível no mercado. Nesse espectro diversificado, alguns estão gradualmente caminhando para a extinção, enquanto outros continuam a ser inovados constantemente. Entre os principais tipos de acessórios, podemos destacar:

- **Mantopim:** Este acessório, que remonta aos primórdios do desmonte de rochas, se destaca como um representante emblemático. Seu uso histórico e seus princípios básicos o mantiveram em operação, apesar do avanço tecnológico. O Mantopim ilustra a persistência de certos métodos tradicionais que encontraram seu nicho em determinadas aplicações.
- **Detonador Elétrico:** A evolução da tecnologia trouxe à cena os detonadores elétricos, que empregam correntes elétricas para iniciar as detonações. Essa categoria de acessórios representou um salto em termos de segurança e precisão, pautadas na possibilidade de iniciações a distância e testes de circuito.
- **Cordel Detonante:** Embora classificado como um sistema de transmissão em vez de iniciação, o cordel detonante desempenha um papel significativo no panorama dos acessórios. Sua capacidade de iniciar cargas explosivas o coloca em uma posição singular, conferindo-lhe relevância mesmo em face do surgimento de tecnologias mais avançadas.
- **Retardo de Superfície:** Este tipo de acessório desempenha um papel crucial no controle dos tempos de detonação, permitindo a sincronização precisa das sequências. Sua aplicação oferece uma maneira confiável de gerenciar os intervalos entre as detonações, contribuindo para a eficácia global do processo.
- **Detonador Não-Elétrico (Tubo de Choque):** Os sistemas não elétricos, ou tubo de choque, ganharam destaque devido à sua capacidade de transmitir energia de iniciação através de ondas de choque resultantes da detonação de explosivos. Sua resistência e facilidade

de aplicação têm mantido sua relevância, mesmo diante das opções mais avançadas.

- **Detonador Eletrônico:** Representando um passo adiante na evolução, os detonadores eletrônicos incorporam tecnologia e eletrônica para oferecer maior precisão e segurança. Esses sistemas exigem a integração de comandos eletrônicos e dispositivos de controle, promovendo uma detonação mais sofisticada e ajustada.
- **Reforçadores:** Essenciais para iniciar cargas explosivas menos sensíveis, os reforçadores são elementos que fortalecem o poder inicial de iniciação. Sua aplicação se destaca em cenários onde explosivos de baixa sensibilidade requerem um impulso adicional para a detonação.

Diante dessa gama diversificada de acessórios, é evidente que o campo do desmonte de rochas abrange uma ampla variedade de soluções, desde aquelas que remontam às origens até as mais modernas inovações. Essa coexistência de métodos tradicionais e tecnologias de ponta demonstra a rica tapeçaria da engenharia moderna de desmonte, onde a seleção criteriosa dos acessórios é crucial para atender às demandas específicas das operações.

Para abordarmos de forma organizada os principais acessórios disponíveis, é necessário efetuar uma divisão por classes, considerando a classificação legal dos acessórios. Embora já tenhamos explorado esse conceito durante a discussão sobre a classificação dos explosivos, aqui nos referimos a cada tipo específico de acessório que será tratado nesta seção:

TIPOS DE ACESSÓRIOS – Detonadores (Armazenados no Paio de Acessórios)

- Mantopim
- Detonador Elétrico
- Retardos
- Detonador Não-Elétrico
- Detonador Eletrônico

TIPOS DE ACESSÓRIOS – Explosivos (Armazenados no Paio de Explosivos)

- Cordel Detonante
- Reforçador (Boosters)

www.blastingtreinamentos.com

A partir dessa classificação, dividimos os acessórios em dois grupos principais. Essa divisão é essencialmente fundamentada na quantidade de carga explosiva presente e na sensibilidade de iniciação. Dessa forma, temos os acessórios que são comumente referidos como acessórios detonadores ou iniciadores. Esses incluem o Mantopim, detonadores elétricos, não-elétricos e eletrônicos, bem como os retardos. Devido à sua maior sensibilidade, esses acessórios são armazenados no paiol de acessórios e, quando transportados, são mantidos separados do outro grupo.

O segundo grupo é constituído pelos acessórios explosivos, caracterizados por conterem uma quantidade maior de carga explosiva. Esses acessórios são armazenados juntamente com os explosivos e, durante o transporte, também são mantidos junto aos explosivos. O cordel detonante e os reforçadores fazem parte desse grupo.

É importante destacar que essa divisão tem um impacto significativo no armazenamento e no transporte, garantindo que cada produto seja associado ao seu grupo de compatibilidade. A segregação dos acessórios dessa maneira garante a conformidade com as regulamentações e promove a segurança no manuseio desses elementos vitais para o desmonte de rochas.

7.3 Seleção dos sistemas de iniciação

Antes de prosseguirmos e adentrarmos nas características de cada tipo de acessório, é importante abordar um aspecto crucial: a seleção dos sistemas de iniciação ou dos próprios acessórios. Esse tema será explorado no próximo capítulo, mas é importante fornecer uma compreensão preliminar sobre sua importância e influência direta nos resultados das detonações.

A seleção do sistema de iniciação não se restringe a meros detalhes técnicos; trata-se de uma decisão crítica que vai além da simples ordem de detonação. Essa escolha exerce um impacto significativo em diversos fatores determinantes para o sucesso global da detonação. Alguns desses fatores abrangem:

- **Dinâmica Operacional:** O sistema de iniciação adotado tem um impacto substancial na dinâmica operacional durante a detonação. As nuances de cada sistema podem influenciar a eficiência do processo, afetando diretamente ou indiretamente o desempenho global.

- **Vibrações Geradas:** A escolha do sistema de iniciação desempenha um papel crucial na determinação das vibrações geradas durante a detonação. A seleção apropriada pode minimizar impactos indesejados, mantendo um ambiente de trabalho seguro e mitigando efeitos adversos.
- **Fragmentação e Sobrequebra:** A seleção do sistema de iniciação também desempenha um papel crucial na fragmentação das rochas. Além disso, pode afetar a sobrequebra, que é o desprendimento de material além do planejado, resultando em ineficiência e custos adicionais.
- **Lançamento e Formato da Pilha:** A forma como os explosivos reagem à iniciação influencia diretamente o lançamento e o formato da pilha de material desmontado. A escolha apropriada pode otimizar o resultado final, afetando diretamente a eficácia da operação.

Ao discutirmos a seleção do sistema de iniciação, é essencial reconhecer que existe um equilíbrio entre dois extremos: o aspecto econômico e a adoção de inovações tecnológicas. Enquanto o custo é uma consideração relevante, ele deve ser secundário, especialmente se a escolha do sistema mais econômico prejudicar os fatores mencionados acima. Economias iniciais podem resultar em custos posteriores substancialmente maiores, tornando a escolha um investimento estratégico.

Ao abordarmos os acessórios, é comum focarmos na iniciação dos explosivos e na sequência de detonação. No entanto, devemos ampliar nossa análise para abranger as questões operacionais. A dinâmica de uma detonação pode ser radicalmente diferente de um sistema para outro. Devemos considerar o controle de impactos ambientais, as necessidades específicas de fragmentação, lançamento de material e outros objetivos que regem nossas detonações. Portanto, a escolha dos acessórios não é apenas uma extensão da escolha dos explosivos, mas uma etapa crucial que afeta todo o processo de detonação.

Em resumo, o conhecimento das características de cada acessório é fundamental para tomar decisões informadas. As escolhas em relação aos acessórios têm repercussões em todo o processo de detonação, desde o planejamento até a dinâmica operacional. Portanto, a compreensão das características intrínsecas dos acessórios e a clareza em relação aos objetivos são cruciais para o sucesso do desmonte de rochas.

7.4 Mantopin

O Mantopin, é um dos acessórios mais antigos em disponibilidade, mas que ainda desempenha um papel significativo na iniciação de operações de desmonte de rochas. Como já comentado anteriormente, na história dos acessórios explosivos, até o século XVIII, houve inúmeras tentativas de se alcançar uma forma segura de iniciar a pólvora. Diversas abordagens foram experimentadas, desde o uso de penas de ganço até tubos de madeira preenchidos com pólvora. No entanto, nenhuma delas revelou-se eficaz ou segura, resultando em um aumento de incidentes à medida que a utilização da pólvora se expandia.



Essa realidade perdurou até o ano de 1831, quando o Estopim foi criado por Willian Bickford. Esse avanço consistiu em um cabo com um núcleo de pólvora negra envolto por juntas e cordões, permitindo uma iniciação mais segura da pólvora. Posteriormente, alguns anos se passaram, e a espoleta simples foi introduzida por Alfred Nobel após inventar a dinamite. Combinada com a inovação de Willian Bickford, essa espoleta passou a constituir o Mantopin – uma combinação que uniu o estopim ao detonador, conferindo a capacidade de eficientemente iniciar a dinamite e produtos similares.

O Mantopin representou um marco na história da iniciação de explosivos, proporcionando uma alternativa mais segura e eficaz para as operações de desmonte. Combinando avanços tanto no estopim quanto na espoleta simples, essa abordagem introduziu maior controle e previsibilidade ao processo de detonação.

7.4.1 Estopim

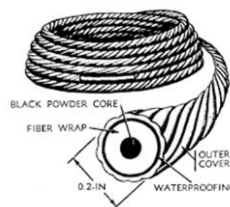
Antes de entrarmos nos detalhes sobre o Mantopin que se utiliza hoje, é importante conhecer o estopim, que é a parte do cordão ou cabo do mantopin, que tipicamente apresenta um revestimento externo de cor branca, embora alguns fabricantes tenham utilizado colorações distintas. O núcleo do estopim é composto por pólvora negra, podendo ainda conter misturas de outros componentes, como nitrato de potássio. Esse núcleo é envolto por materiais impermeabilizantes e um revestimento externo de

www.blastingtreinamentos.com

material plástico, servindo como proteção contra a penetração de água, contaminação e perda de material.

Até alguns anos atrás, era possível adquirir o estopim sem o detonador, sendo fornecido em rolos. Nesse formato, era simplesmente cortado no tamanho necessário, podendo ser empregado diretamente para a iniciação de explosivos sensíveis à chama, como a pólvora. Alternativamente, como será abordado a seguir, era viável acoplar um detonador a fim de possibilitar a iniciação de explosivos menos sensíveis.

Na ilustração, é possível observar o núcleo de pólvora negra que ocupa o centro do estopim, além dos revestimentos externos. Esses revestimentos conferem uma notável resistência à água; no entanto, é fundamental manusear o estopim com cuidado, uma vez que danos podem alterar a taxa de queima, podendo até ocasionar falhas em sua iniciação.



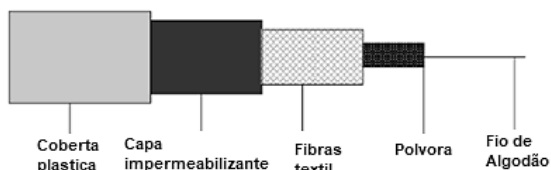
A característica central do estopim reside na sua taxa uniforme de queima, que pode variar, dependendo do fabricante e dos componentes misturados à pólvora, entre 100 e 160 segundos por metro. Um quadro ilustrativo proveniente de um fabricante apresenta informações características deste estopim. Observa-se que sua velocidade padrão é de 145 segundos por metro, com uma margem de erro padrão de 10% para mais ou para menos. Isso significa que este exemplo específico pode queimar com uma taxa compreendida entre 130 e 160 segundos por metro.

O estopim foi originalmente desenvolvido com o propósito de iniciar cargas explosivas sensíveis à chama, a exemplo da pólvora e algumas variedades de dinamite. No entanto, à medida que dinamites menos sensíveis foram sendo desenvolvidas, a necessidade de empregar detonadores tornou-se evidente. Consequentemente, o estopim passou a ser utilizado em conjunto com o detonador, a fim de iniciar essas dinamites.

Devido à relativa constância da velocidade de queima do estopim, diferentes comprimentos começaram a ser adotados para acionar distintas cargas explosivas. Essa abordagem permitiu a realização de sequenciamentos para as detonações. Assim, o processo de iniciar a sequência das cargas explosivas durante uma detonação teve início com a utilização de Mantopins de comprimentos diversos.

www.blastingtreinamentos.com

À medida que o estopim evoluiu, diferentes tipos de revestimentos foram empregados, variando desde revestimentos asfálticos até camadas de cera ou plástico. Essas modificações contribuíram para aumentar a resistência do estopim, prevenindo o contato do seu núcleo com componentes externos capazes de alterar sua velocidade, tais como água, óleos ou outros materiais contaminantes.



7.4.2 Espoleta simples

No início, o Estopim era frequentemente utilizado sem o auxílio do detonador. No entanto, em 1867, Alfred Nobel introduziu o conceito do detonador. Inicialmente, este dispositivo consistia em um tubo de vidro contendo uma carga de pólvora comprimida. Posteriormente, ele evoluiu para um invólucro metálico que continha uma carga interna de fulminato de mercúrio, oferecendo maior potência.

Atualmente, como ilustrado na figura, o detonador é



composto por uma cápsula de alumínio. Internamente, contém uma carga iniciadora de azida de chumbo, que é ativada pela chama proveniente do estopim. Essa carga iniciadora, por sua vez, inicia a carga principal de pentrita. A imagem à direita apresenta fotografias das cápsulas abertas, já preenchidas com pentrita e azida de chumbo.

A carga primária (azida de chumbo) é ativada pela chama do estopim, fornecendo a energia necessária para iniciar a carga secundária (nitropenta). Esta, por sua vez, possui potência suficiente para iniciar de maneira adequada o explosivo.

Os detonadores padrão seguem o padrão da carga número 8, consistindo em cerca de 0,88 gramas de explosivo. Geralmente, 40% dessa carga é composta pela carga iniciadora, enquanto os restantes 60% constituem a carga principal.

www.blastingtreinamentos.com

Devido à margem de erro de 10% na taxa de queima, os detonadores não são recomendados para iniciação de cargas que requerem simultaneidade, pois é improvável que eles iniciem as cargas ao mesmo tempo. Portanto, sua aplicação mais recomendada é para iniciar cargas pontuais ou pequenas detonações secundárias, onde é possível detonar as cargas em momentos distintos, sem comprometer o sequenciamento.

7.4.3 Acoplamento/Amolgamento

Inicialmente, a prática comum era manter os detonadores e os estopins separados, sendo necessário unir os dois componentes no momento da aplicação, em um processo conhecido como acoplamento ou amolgamento do detonador. A formação do mantopim, como conhecemos hoje, resultava da união desses elementos. No entanto, devido ao risco envolvido nesse processo, os mantopins agora são geralmente fornecidos montados de fábrica.

O procedimento padrão incluía cortar o estopim a um comprimento proporcional ao tempo de queima necessário para o mantopim, sendo a recomendação mínima um metro, proporcionando cerca de 2 minutos de tempo. Antes disso, aproximadamente 10 cm iniciais eram eliminados para prevenir falhas de queima devido à possível penetração de umidade. O corte era feito de forma reta para garantir um contato direto entre o núcleo de pólvora e a carga iniciadora do detonador. O estopim era então inserido cuidadosamente no detonador até tocar no fundo da carga de azida de chumbo. Posteriormente, um alicate especial era utilizado para amolgar o conjunto e assegurar a fixação adequada.

A ilustração exemplifica essa prática de amolgamento, destacando a importância do corte reto para o contato direto entre os elementos. Cortes diagonais ou a falta de contato direto poderiam resultar em falhas na iniciação, já que as chamas da pólvora poderiam não acionar perfeitamente a carga iniciadora.



www.blastingtreinamentos.com

Uma prática extremamente equivocada, porém, comum, era o uso da boca para amolgar o detonador, frequentemente resultando na ativação acidental da carga iniciadora. Por isso a evolução desse processo levou ao desenvolvimento de conjuntos prontos, que hoje conhecemos como mantopins, que já vêm com as dimensões adequadas para uso e unido a espoleta. Um exemplo dessa abordagem é ilustrado ao lado, mostrando um amolgamento sendo realizado de maneira mais padronizada e segura, onde o detonador é inserido em um equipamento que previne lesões em caso de eventos indesejados.



Estopim inserido na espoleta

Amolgamento

Esse avanço teve um impacto significativo na redução do número de acidentes relacionados ao processo de amolgamento, representando um passo positivo em direção à segurança operacional.

7.4.4 Cordão ignitor

Um elemento que é mais mencionado como uma curiosidade é o cordão ignitor. Consistindo em um cordão fino e flexível que queimava com uma chama firme, esse dispositivo era empregado para a iniciação simultânea de diversos mantopins. Assim como um cordel detonante, o cordão ignitor tinha o propósito de acionar mantopins, porém não causava detonação, mas sim uma queima intensa para ativar os mantopins.

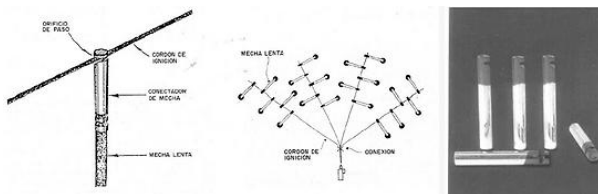
O cordão ignitor era construído com um cordão delgado contendo material incendiário. Ao ser queimado, ele acendia os mantopins conforme passava por eles. O interior do cordão incluía um fio de aço, que assegurava a integridade das conexões após a queima, evitando rompimentos e garantindo que as ligações permanecessem firmes até a detonação ocorrer. Essa medida minimizava o risco de algum Mantopim não ser ativado ou de queima fora de sequência.

Devido à intensidade da chama, era recomendável manter uma distância mínima de 50 centímetros entre as conexões. Era crucial garantir que o cordão ignitor ativasse todos os mantopins antes do primeiro detonar, a fim de evitar possíveis interrupções e falhas na detonação.

www.blastingtreinamentos.com

Embora seu uso seja quase inexistente na atualidade, o cordão ignitor desempenhava um papel importante no passado, especialmente em detonações subterrâneas, como túneis e produção de minérios. Sua aplicação era vantajosa em cenários onde havia uma sequência bem definida de furos próximos, evitando a necessidade de acionar vários mantopins individualmente.

A ilustração retrata as conexões do cordão ignitor e o conector metálico utilizado para estabelecer um contato



preciso entre o cordão ignitor e o mantopim. O conector era fixado na extremidade inicial do mantopim, enquanto o cordão ignitor passava pelo encaixe na ponta, iniciando o mantopim ao queimar em contato com ele.

7.4.5 Características do Mantopim

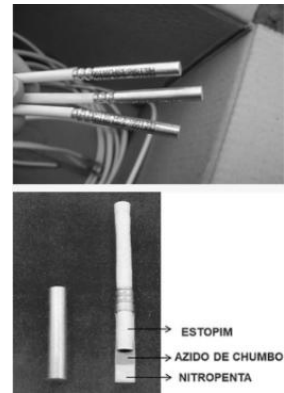
O Mantopim trouxe uma significativa melhoria em termos de segurança ao eliminar a necessidade de amolgamento durante a aplicação, o que por sua vez reduziu consideravelmente o risco de acidentes. Com sua fabricação concluída na fábrica, ele chega ao mercado em tamanhos prontos para uso, eliminando a etapa de corte e garantindo um melhor controle de qualidade. Geralmente disponíveis em uma variedade de tamanhos, os comprimentos padrão abrangem de 1 a 10 metros, com intervalos de 50 centímetros entre eles.

Essa abordagem de fabricação finalizada proporciona benefícios adicionais, como uma qualidade aprimorada no que diz respeito ao contato entre a pólvora e a carga iniciadora, bem como uma maior resistência à água e outros contaminantes que poderiam comprometer as características da pólvora. Embora ainda seja amplamente utilizado, sobretudo devido ao seu baixo custo e praticidade, o papel predominante do Mantopim reside na iniciação de desmontes de rochas, não sendo mais empregado para iniciar ou sequenciar diretamente cargas explosivas. A exceção é quando há necessidade de ativar cargas pontuais em desmontes secundários, embora esse consumo seja bastante reduzido.

www.blastingtreinamentos.com

Apesar das melhorias em segurança, o uso do Mantopim ainda requer a presença do blaster próximo ao local de detonação para sua iniciação. Essa limitação tem incentivado a busca por alternativas, como os detonadores eletrônicos que permitem o acionamento remoto. A tendência é que, com o tempo, o uso do Mantopim seja gradualmente substituído por tecnologias mais avançadas e versáteis.

Na imagem, temos uma fotografia de um Mantopim pronto para uso e visualizamos um exemplo inerte aberto, revelando os componentes internos e o contato utilizado.

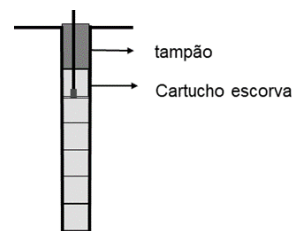


7.4.6 Aplicação do Mantopim

Conforme mencionado anteriormente, o mantopim ainda encontra aplicação na iniciação de cargas pontuais, especialmente em encartuchados e desmontes secundários. Para esse fim, é realizada uma prática conhecida como escorva, que consiste em unir o detonador ao explosivo inicial.

No processo de escorva de um Mantopim em um encartuchado, é recomendável o uso de um perfurador padrão feito de madeira ou plástico. O detonador do Mantopim deve ser cuidadosamente inserido no interior do encartuchado e fixado com fita adesiva, garantindo que ele permaneça seguro e estável. É de extrema importância evitar forçar o detonador para romper a embalagem do encartuchado, uma vez que isso pode gerar pressão interna no detonador, ocasionando uma detonação prematura.

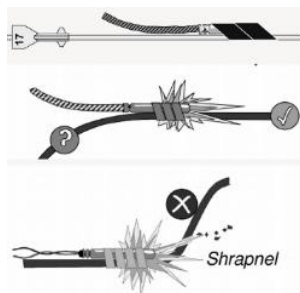
Uma prática comum é posicionar o encartuchado escorvado na abertura do furo, ou seja, inseri-lo por último. Isso assegura que, durante a queima da pólvora, ela não entre em contato com os outros encartuchados presentes no furo, prevenindo a detonação indesejada dos demais explosivos. Esse procedimento visa a manter a ordem e sequência adequadas durante a detonação, garantindo a segurança e eficácia do desmonte.



A utilização cuidadosa do Mantopim na escorva de encartuchados contribui para a execução segura e eficiente das detonações, minimizando os riscos associados ao processo.

www.blastingtreinamentos.com

Independentemente do tipo de conexão escolhido, é de extrema importância que o detonador esteja orientado na direção da continuação da detonação. Essa disposição é fundamental para evitar a possibilidade de que os estilhaços gerados pela detonação danifiquem ou cortem o tubo de choque ou o cordel detonante, o que poderia resultar na falha da detonação da parte localizada atrás do detonador.



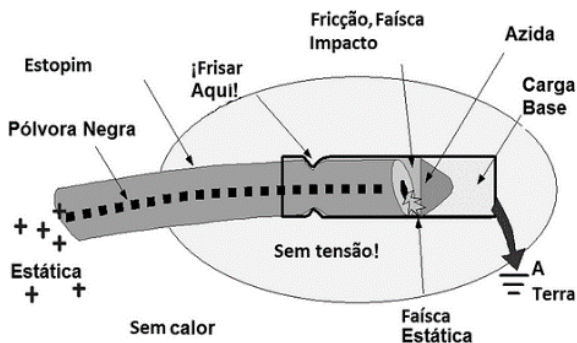
Além disso, é altamente recomendado o uso de uma fita para fixar o detonador do Mantopim ao tubo de choque ou ao cordel detonante. Essa medida assegura um contato sólido e eficaz no momento do acionamento. Da mesma forma, deve-se ter o cuidado de evitar que os cabos fiquem emaranhados, a fim de evitar possíveis danos causados pela proximidade.

É uma ocorrência frequente que o Mantopim seja entregue enrolado em sua embalagem original. Sua composição pode fazer com que ele mantenha a forma na qual estava armazenado, o que pode levar a problemas durante a queima. Portanto, muitas vezes é necessário prendê-lo a uma pedra ou estaca de madeira para garantir que não haverá torção indesejada durante o processo de detonação. Esta precaução contribui para assegurar que o Mantopim funcione de maneira eficaz e consistente.



7.4.7 Segurança

Embora seja um processo aparentemente simples, é imperativo adotar precauções rigorosas e evitar práticas inadequadas que possam amplificar o potencial de riscos associados ao uso. Apesar da simplicidade inerente à operação do Mantopim, existem diversos cuidados a serem



www.blastingtreinamentos.com

observados para mitigar os riscos que a sua aplicação apresenta:

1 - Preserve a Integridade:

- Não realize cortes no Mantopim. Utilize-o nas medidas de fábrica ou adquira tamanhos diferentes, caso necessário.
- O tamanho mínimo recomendado é 1 metro.
- Evite cortes para assegurar o desempenho adequado e a segurança do processo.

2 - Atenção ao Uso de Múltiplos Mantopins:

- Quando utilizar vários ao mesmo tempo, certifique-se de que o último esteja aceso e seguro antes da detonação do primeiro.
- Isso evita cortes causados por fragmentos de rocha decorrentes da detonação.

3 - Limitações de Detonação Simultânea:

- Evite a detonação simultânea de várias cargas, pois mesmo com velocidade de queima "constante", o Mantopim admite uma margem de erro de até 10%.

4 - Cuidado com o Núcleo Sensível do Estopim:

- O núcleo do estopim é composto por pólvora sensível ao impacto e fricção.
- Evite impactos, quedas e esteja atento a possíveis fragmentos de rocha.

5 - Distância Entre os Mantopins:

- Mantenha uma distância de 50 cm entre os Mantopins para evitar que as chamas ou faíscas de um atinjam o outro.

6 - Acendimento Cauteloso:

- Ao acender o Mantopim, tome cuidado para evitar queimaduras graves.

7 - Proteção Contra Umidade e Óleos:

www.blastingtreinamentos.com

- O revestimento de plástico torna o Mantopim à prova d'água, mas proteja-o contra umidade e óleos durante armazenamento prolongado.

8 - Utilize os Mais Antigos Primeiro:

- Priorize a utilização dos estopins mais antigos, pois a velocidade de queima reduz com a idade e umidade.

9 - Evite Estopins Danificados ou Molhados:

- Não utilize estopins de segurança danificados ou molhados, pois isso pode acarretar riscos imprevistos.

10 - Sistemas de Alarme para Múltiplos Mantopins:

- Ao acender 3 ou mais mantopins, utilize um sistema de alarme para indicar o momento de evacuação da área.

11 - Planejamento da Rota de Fuga:

- No acendimento de vários estopins, atente para a sequência de acionamento, iniciando pelo mais distante e seguindo em direção à rota de fuga.

12 - Prevenção de Dobras no Estopim:

- Evite dobras no estopim, pois ele tende a manter a forma em que foi acondicionado. Use rochas ou estacas de madeira para garantir que o estopim não dobre durante a queima.

13 - Conexão do Mantopim no Momento da Detonação:

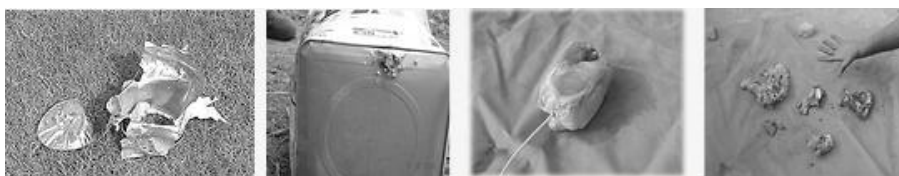
- Não conecte o Mantopim ao circuito de detonação antecipadamente. Conecte-o apenas no instante da detonação.

Ao incorporar essas recomendações de segurança em sua prática com o mantopim, você estará assegurando uma abordagem responsável e minimizando riscos potenciais. Uma abordagem fascinante é conduzir testes que ilustram, com notável clareza, o potencial destrutivo inerente a um mantopim e aos demais acessórios. Esses testes constituem um alerta contundente, enfatizando que, apesar da aparente simplicidade e praticidade,

www.blastingtreinamentos.com

o mantopim é, de fato, um dispositivo explosivo que traz consigo um considerável poder destrutivo.

No exemplo apresentado, um mantopim foi detonado no interior de um frango, resultando em um cenário em que somente fragmentos e pedaços, carbonizados pelas chamas da detonação, restaram. Esse experimento proporciona uma visão vívida do dano que poderia ser infligido em situações onde o mantopim fosse detonado na proximidade de um indivíduo. Por exemplo, o processo tradicional de amolgamento, realizado com os dentes, poderia resultar em ferimentos graves em caso de detonação acidental.



A importância de respeitar o Mantopim não pode ser subestimada. Embora sua utilização possa parecer simples, é crucial ter em mente que esse dispositivo é, essencialmente, um explosivo. Portanto, merece a nossa máxima consideração e cautela. É imperativo recordar que os explosivos são concebidos para detonar, e é nossa responsabilidade assegurar que tal detonação ocorra somente no momento apropriado e com total controle.

Ao compreendermos plenamente a natureza explosiva do mantopim e respeitarmos suas propriedades, estaremos adotando uma postura consciente e segura no manuseio e aplicação desse dispositivo. Esta consideração atenta à natureza explosiva é vital para garantir a segurança de todos os envolvidos em atividades relacionadas ao desmonte de rochas.

7.4.8 Testes de qualidade com mantopim

A avaliação da taxa de queima é uma prática essencial e recorrente, realizada tanto nas fábricas de produção quanto em operações que buscam garantir a conformidade das especificações dos mantopins. Dois testes práticos se destacam nesse contexto, e sua realização é fundamental para assegurar o desempenho confiável desses dispositivos.

1 - O primeiro teste concentra-se na **verificação da taxa de queima**, e oferece a flexibilidade de ser conduzido utilizando tanto o cordão de pólvora

www.blastingtreinamentos.com

isoladamente quanto o sistema de mantopim integral. O procedimento é executado como segue:

Teste do Cordão de Pólvora (Estopim):

- Corte um segmento do extremo do cordão e inutilize-o.
- Corte um pedaço com 1 metro de comprimento.
- Acenda o estopim e inicie a cronometragem do tempo de queima.
- A taxa de queima é considerada adequada se estiver dentro das especificações fornecidas pelo fabricante, permitindo um desvio máximo de 10%.

Teste do Mantopim:

- Selecionar mantopins de idêntico tamanho e provenientes do mesmo fabricante.
- Acender cada mantopim e registrar o tempo de detonação.
- Verificar se o tempo de detonação está conforme as especificações fornecidas pelo fabricante, admitindo um desvio máximo de 10%.

Atualmente, o teste do estopim é executado predominantemente nas instalações de fabricação, uma vez que os estopins não são mais comercializados separadamente. Nesse contexto, os estopins são cortados em segmentos de 1 metro, acendidos e o tempo de queima é cronometrado para assegurar a conformidade com os padrões estabelecidos. Por outro lado, para o sistema completo de mantopim, comumente utilizado em diversas operações, amostras de mantopins do mesmo tamanho são selecionadas e acionadas, enquanto o tempo de detonação de cada amostra é registrado. Este procedimento é crucial para verificar se os tempos de detonação estão dentro dos limites aceitáveis.

Resultados que excedam o desvio máximo de 10% na taxa de queima demandam a realização de novos testes e a comunicação direta com o fabricante. Em casos onde os resultados se afastem dos padrões aceitáveis, é imperativo não utilizar os dispositivos provenientes do mesmo lote, a fim de prevenir eventuais riscos e garantir um nível elevado de segurança durante as operações de detonação.

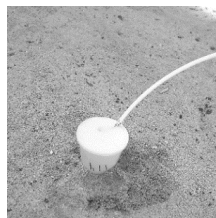
2 - O segundo teste que iremos abordar é empregado para verificar a **sensibilidade de um explosivo à detonação pelo detonador**, sendo uma

www.blastingtreinamentos.com

prática frequentemente conduzida em fábricas para avaliar as características explosivas, bem como em operações onde a disponibilidade de reforçadores e encartuchados possa estar limitada. Esse teste é fundamental para confirmar se os explosivos estão dentro das condições padrões de sensibilidade e densidade, aspectos de extrema relevância para a eficácia e segurança das detonações.

O procedimento envolve a colocação do explosivo em um recipiente, idealmente com um diâmetro semelhante ao que será utilizado na prática, e a detonação é efetuada por meio de um Mantopim. A observação do resultado após a detonação é crucial para determinar a sensibilidade do explosivo ao detonador:

- A detonação do explosivo: Confirmar se o explosivo efetivamente detonou, sem deixar resíduos significativos. Isso indica que o explosivo possui a sensibilidade necessária para ser iniciado pelo Mantopim.
- Destruição ou Ejeção: Observar se o explosivo foi apenas destruído ou ejetado devido à detonação do Mantopim, sem alcançar uma detonação plena. Esse resultado pode indicar uma sensibilidade insuficiente do explosivo para ser iniciado pelo detonador.



Importante ressaltar que este teste deve ser conduzido sem confinamento, ou seja, sem restringir o movimento do explosivo. Essa abordagem adicionalmente reforça a confiabilidade do teste, uma vez que, quando confinado, a detonação tende a ocorrer de maneira ainda mais eficaz, devido ao direcionamento da energia gerada pelo confinamento.

Por meio desse teste, é possível obter informações vitais sobre a sensibilidade do explosivo ao detonador, permitindo avaliar a adequação do explosivo para diferentes cenários de detonação. Dessa forma, os operadores podem tomar decisões informadas e seguras em relação à escolha e utilização dos explosivos em suas operações.

7.5 Detonadores Elétricos

Ainda que os Detonadores Elétricos sejam hoje uma raridade em comparação com os mantopins, optamos por dedicar atenção a eles devido à sua relevância histórica nas práticas atuais de detonação. Existem algumas operações no mundo que ainda utilizam detonadores elétricos, principalmente devido aos custos significativamente mais baixos em comparação com os detonadores eletrônicos. Além disso, os detonadores elétricos oferecem a vantagem de serem testáveis antes da detonação, uma característica ausente nos detonadores não elétricos.



As espoletas elétricas se assemelham às espoletas simples, diferindo principalmente pela inclusão de uma resistência elétrica em contato com o explosivo primário. A ativação dessas espoletas ocorre por meio de uma corrente elétrica, o que confere a elas a capacidade de serem temporizadas ou de promover detonações instantâneas.

Essas espoletas elétricas podem ser classificadas em duas categorias principais: Retardo e Instantânea. Além disso, é possível categorizá-las quanto à sensibilidade, classificando-as como sensíveis, insensíveis e altamente insensíveis. A capacidade de combinar essas espoletas em série ou em paralelo oferece uma flexibilidade adicional na configuração das detonações, adaptando-se às necessidades específicas de cada operação.

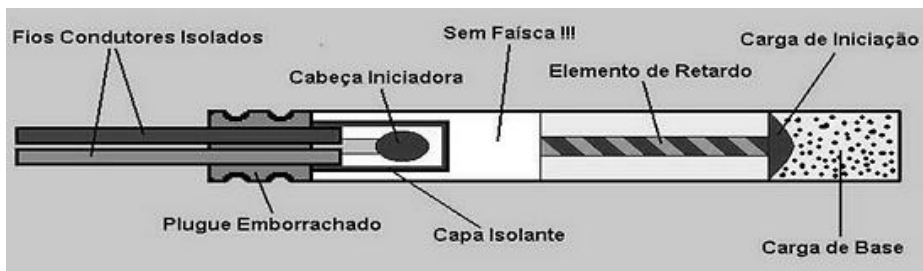
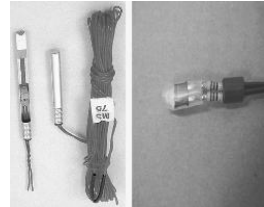
Um marco significativo foi a introdução dos elementos de retardo nos detonadores elétricos, uma inovação que revolucionou a segurança e precisão das temporizações dos furos de detonação. Além disso, os detonadores elétricos abriram a porta para a possibilidade de acionamento à distância, uma conquista que era anteriormente inviável com os mantopins.

Embora os detonadores elétricos não sejam amplamente utilizados nos dias de hoje, é essencial compreender sua importância histórica e suas características particulares. A evolução desses detonadores desempenhou um papel fundamental na melhoria da eficiência, segurança e controle das operações de detonação em diversas indústrias.

www.blastingtreinamentos.com

7.5.1 Componentes

O detonador elétrico é composto por uma cápsula de alumínio que abriga diversos elementos essenciais para a detonação controlada. Na extremidade do detonador, encontramos a carga de base, composta por pentrita, uma substância explosiva. A seguir, a carga iniciadora de azida de chumbo se encontra posicionada. No caso de detonadores com funcionalidade de retardo, o elemento de retardo se encontra logo após a carga iniciadora. Caso contrário, a cabeça iniciadora vem diretamente após a carga de azida de chumbo. A cabeça iniciadora é composta basicamente por uma resistência envolta por uma camada de explosivo. Quando uma corrente elétrica percorre os cabos conectados, essa resistência aquece e detona a camada de explosivo, iniciando o processo de detonação.



Em modelos que possuem retardo, o elemento de retardo é ativado após a iniciação pela cabeça iniciadora. Este elemento de retardo introduz um atraso controlado, assegurando a sincronização adequada das detonações em furos múltiplos.

7.5.2 Equipamentos de detonação

Os detonadores elétricos são ativados por meio de uma descarga elétrica precisa e controlada. Para essa finalidade, é imperativo o uso de equipamentos de detonação dimensionados especificamente para esse propósito, uma prática altamente recomendada para garantir a segurança e a eficácia da detonação. No entanto, deve-se mencionar que práticas antigas já envolveram o uso de baterias ou fontes alternativas de energia elétrica para esse fim.

www.blastingtreinamentos.com

É relevante destacar que os equipamentos de detonação podem variar em termos de suas funcionalidades. Alguns equipamentos são projetados para conectar os detonadores em série, enquanto outros são concebidos para conexões em paralelo. Além disso, existem equipamentos capazes de acionar os detonadores de ambas as maneiras. Diante dessa diversidade, é essencial selecionar o equipamento adequado com base nas exigências específicas da operação e nas práticas operacionais.

Aqui apresentamos alguns exemplos de equipamentos de detonação, entretanto, vale ressaltar que o mercado oferece uma ampla gama de modelos e variações. Portanto, é aconselhável, ao empregar espoletas elétricas, entrar em contato com o fabricante para avaliar qual o modelo mais apropriado e alinhado com as necessidades e práticas operacionais vigentes. A escolha do equipamento correto é um passo crucial para garantir uma detonação segura e precisa, mantendo o mais alto padrão de segurança e eficácia nas operações de desmonte de rochas.



7.5.3 Teste de circuito

Uma das principais vantagens que tem garantido a preservação dos detonadores elétricos como uma opção viável é a capacidade de realizar testes de circuito. Esses testes permitem verificar a integridade do circuito elétrico, avaliando a continuidade e a resistência. Por meio desses testes, é possível identificar potenciais falhas ou defeitos nas conexões antes da detonação propriamente dita, oferecendo a oportunidade de efetuar reparos e correções necessárias.

É digno de nota que, embora os detonadores eletrônicos proporcionem testes ainda mais precisos e uma série de outros benefícios, anteriormente, antes da proliferação desses dispositivos, os detonadores elétricos eram os únicos capazes de efetuar algum tipo de verificação prévia. Dada a realidade de que os detonadores eletrônicos podem, em algumas ocasiões, ter um custo mais

www.blastingtreinamentos.com

elevado em comparação a outros sistemas, operações que demandam a capacidade de realizar testes de verificação frequentemente optam pelos detonadores elétricos como uma alternativa mais econômica.

Esta é a razão pela qual os detonadores elétricos ainda são empregados, principalmente em pequenas obras e minerações subterrâneas. No entanto, à medida que os preços dos detonadores eletrônicos continuam a cair, temos observado uma tendência de declínio no uso das espoletas elétricas, uma vez que os dispositivos eletrônicos estão gradativamente ocupando esse espaço no mercado, um fenômeno que já vem ocorrendo nos últimos anos.

Abaixo apresentamos apenas alguns exemplos de equipamentos de teste. Esses testadores de continuidade e resistência são comumente distintos dos equipamentos de acionamento. É crucial ressaltar que há uma ampla variedade de equipamentos disponíveis para essa finalidade. Portanto, é sempre prudente seguir as orientações e recomendações dos fabricantes para determinar qual equipamento é mais apropriado para a sua situação específica. Isso assegura que os testes sejam realizados de maneira eficaz e de acordo com as melhores práticas da indústria.



7.5.4 Segurança

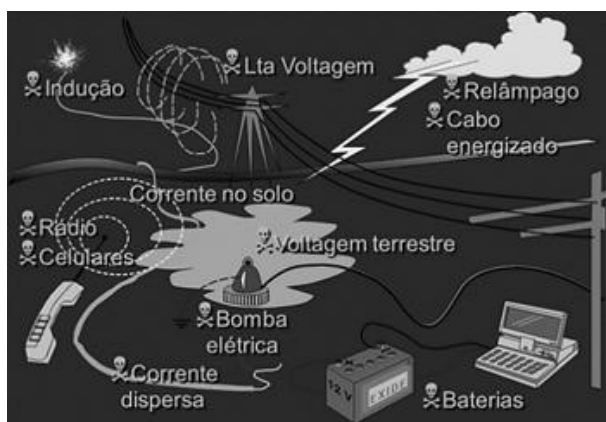
No período de seu desenvolvimento, os detonadores elétricos, apesar de serem uma revolução na iniciação remota de cargas explosivas, trouxeram consigo um desafio significativo: o risco de serem acionados por correntes estranhas. Eles eram suscetíveis a serem acionados por qualquer fonte de energia capaz de transmitir sinais elétricos, incluindo energia estática, rádios, motores e várias outras fontes de energia.

Embora atualmente apresentem um nível de segurança mais elevado, incorporando diferentes níveis de sensibilidade, ainda é considerado um dos sistemas de iniciação menos seguro. Portanto, a manipulação de detonadores elétricos requer extrema cautela.

www.blastingtreinamentos.com

Dentre as principais fontes de energia estranha que podem causar acionamento acidental dos detonadores elétricos, destacam-se:

- Baterias e fontes de energia
- Equipamentos elétricos e cabos energizados
- Tubos de aço, trilhos e condutores
- Relâmpagos e correntes de terra
- Eletricidade estática, rádio e celulares
- Cabos de queima e condutores próximos a linhas de energia



Vale ressaltar a relevância da energia estática, que pode acumular-se inclusive nos corpos das pessoas. Assim, recomenda-se o uso de roupas e botas antiestáticas durante a manipulação de detonadores elétricos. Ademais, é importante reforçar que mesmo com os avanços na segurança dos detonadores elétricos, o risco de acidentes não pode ser subestimado. Portanto, o uso desses dispositivos deve ser restrito a situações de necessidade real e à falta de recursos para utilizar detonadores eletrônicos mais seguros.

É intrigante observar que os detonadores elétricos são a principal raiz de todas as recomendações e normas que hoje desencorajam o uso de rádios, celulares e equipamentos elétricos e eletrônicos nas áreas de carregamento e manipulação de explosivos. Embora algumas dessas restrições possam não ser mais aplicáveis a detonadores eletrônicos ou não elétricos, muitas delas ainda persistem na legislação de diversos países e procedimentos operacionais,

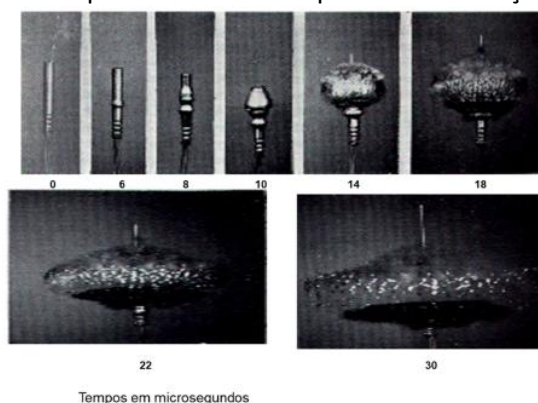
www.blastingtreinamentos.com

mesmo em situações em que os detonadores elétricos não são mais empregados.

7.5.5 Detonação

As imagens capturadas por uma câmera de alta velocidade são especialmente elucidativas, pois nos permitem acompanhar o ciclo completo da detonação de um detonador elétrico, cujo comportamento é substancialmente similar ao de outros tipos de detonadores.

Na sequência visual, podemos observar cada estágio da detonação da cápsula, o que nos proporciona uma visão detalhada desse processo.



Inicialmente, o detonador se encontra intacto, e logo em seguida, presenciamos a detonação das cargas explosivas contidas em seu interior: a carga iniciadora de azida de chumbo e a carga principal de pentrita.

Nesse contexto, é perceptível a ejeção de estilhaços metálicos provenientes da cápsula, predominantemente lançados lateralmente. Essa emissão de fragmentos metálicos evidencia o potencial de risco associado, uma vez que a detonação em proximidade de pessoas pode resultar em múltiplas perfurações. Como abordado anteriormente, também ressaltamos o risco de corte associado aos encartuchados, enfatizando a importância de alinhar o detonador de modo a garantir a continuidade da carga explosiva. Caso contrário, a carga poderia ser separada, o que impediria a iniciação da porção posterior do detonador.

7.6 Cordel Detonante

O Cordel Detonante é um componente reconhecido por sua versatilidade e relevância nas práticas de detonação, desempenhando funções essenciais em variados contextos. Ele desempenha um papel significativo no



www.blastingtreinamentos.com

desmonte de rochas, sendo empregado para a iniciação de cargas explosivas e para a conexão entre os furos de detonação. Sua flexibilidade permite usos adicionais, como reforçador ou até mesmo como carga principal em situações específicas.

A composição do Cordel Detonante é relativamente simples, compreendendo um núcleo de pentrita revestido por fios sintéticos e uma camada de PVC. Embora originalmente tenha sido desenvolvido em 1913 com um núcleo de TNT, a transição para pentrita em 1937 demonstrou ser mais eficaz, uma escolha mantida até o presente.

Uma característica notável do Cordel Detonante é sua notável velocidade, que gira em torno de 7 mil metros por segundo. Essa alta velocidade o torna adequado para conectar furos de detonação ou realizar pré-cortes em rochas com precisão.

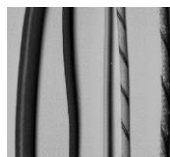
É comum encontrar o Cordel Detonante comercializado em rolos de diversos comprimentos, variando conforme o tipo e as especificações do fabricante, podendo variar de 100 a 1000 metros.

O Cordel Detonante pode ser iniciado por detonadores, outros cordéis ou até mesmo explosivos de maior potência. Sua adaptabilidade o torna compatível com uma variedade de acessórios e explosivos, proporcionando um recurso valioso para múltiplas situações, sendo muitas vezes utilizado como backup ou quando se necessita fazer alguns ajustes ou conexões extras.

7.6.1 Características do cordel

Para identificação e referência do cordel detonante, utiliza-se a quantidade de pentrita presente por metro linear. Por exemplo, o termo "NP 3" indica que o cordel possui 3 gramas de pentrita por metro, e da mesma forma, "NP 5" contém 5 gramas por metro. Esse padrão se estende para outras variações, como "NP 10" com 10 gramas por metro, "NP 20" com 20 gramas por metro, e assim por diante, até "NP 100" ou "NP 200", representando 100 e 200 gramas por metro, respectivamente.

Os tipos mais comuns de cordel detonante são o "NP 5" e o "NP 10". Algumas operações que buscam otimizar custos ou reduzir ruídos podem optar pelo "NP 3", especialmente para



www.blastingtreinamentos.com

interligar outros cordéis. O "NP 5" é amplamente utilizado como referência para conexões, tanto entre cordéis detonantes quanto para conectar detonadores não elétricos. Essa combinação é frequentemente aplicada em desmontes a céu aberto, onde os detonadores não elétricos são usados como unidades de coluna e o cordel detonante, junto com os retardos, estabelece as conexões entre os furos.

O "NP 10" é especialmente empregado na iniciação de cargas explosivas, principalmente encartuchados. Também é recomendado para interligar detonações distintas e é amplamente utilizado em desmontes de pré-corte, onde sua união com encartuchados é conhecido como "churrasquinho". Por fim, cordéis de maior gramatura, como "NP 40" até "NP 200", são utilizados como carga principal em desmontes de contorno. Devido à alta velocidade e potência, esses cordéis são excelentes para efetuar cortes na rocha com precisão.

Uma prática interessante adotada pelos fabricantes é a atribuição de cores distintas a cada tipo de cordel detonante. Isso facilita a identificação durante o uso. Por exemplo, o cordel "NP 5" pode ser colorido de azul, e o "NP 10" de vermelho. Essa diferenciação de cores simplifica a identificação rápida, evitando a necessidade de examinar detalhadamente as especificações. É importante notar que diferentes fabricantes podem usar conjuntos de cores distintos. Portanto, ao usar produtos de fabricantes diferentes ou ao mudar de fornecedor, é necessário tomar cuidado para evitar trocas de cores.

Normalmente existem dois modelos de cordéis detonantes: o padrão e o reforçado. O modelo padrão é amplamente utilizado na maioria das operações. Já o modelo reforçado possui capas de proteção adicionais, conferindo maior resistência à tração e ao corte. Cordéis reforçados são empregados em condições mais desafiadoras, onde estarão expostos por períodos prolongados e podem sofrer mais tensões. Além disso, são frequentemente usados em desmontes de pré-corte, onde o peso dos encartuchados pode exercer maior tração. Nestes casos, é comum utilizar o cordel reforçado, de maior resistência à tração, ou empregar cordinhas alternativas para suportar o peso, conforme discutido em aulas específicas sobre pré-corte.

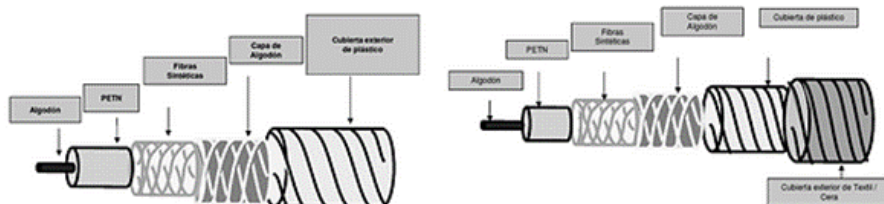
A pentrita, componente do cordel detonante, possui baixa resistência à temperatura. Portanto, é crucial evitar o contato com superfícies e

www.blastingtreinamentos.com

equipamentos quentes. Isso se aplica especialmente a terrenos quentes, onde a temperatura das rochas pode ser elevada. O quadro indica que o cordel tem resistência de até 60 graus Celsius. Terrenos quentes podem atingir temperaturas acima de 50 graus Celsius, o que está próximo dos limites do cordel.

Uma preocupação adicional surge quando se utilizam explosivos em altas temperaturas, o que representa um risco significativo. Isso se aplica especialmente a emulsões, que são fabricadas em temperaturas elevadas. Em algumas situações, as emulsões podem não ser resfriadas automaticamente, resultando em temperaturas elevadas no momento da utilização. Casos foram relatados em que a temperatura da emulsão superou os 70 graus Celsius, o que poderia iniciar uma reação com o cordel detonante, afetando a pentrita ou o revestimento do cordel. Um exemplo inclui situações em que temperaturas superiores a 70 graus Celsius levaram ao derretimento do tubo de choque em detonadores não elétricos. Isso evidencia que mesmo detalhes aparentemente insignificantes podem representar sérios problemas em diferentes operações.

Aqui estão ilustrações que apresentam os detalhes dos dois tipos principais de revestimento encontrados no cordel detonante. No lado esquerdo, vemos o cordel detonante com revestimento padrão. Esse revestimento envolve o núcleo de pentrita com fibras sintéticas, seguido por uma camada de algodão e, por fim, uma cobertura de plástico, geralmente feito de PVC. O revestimento proporciona proteção final, impermeabilidade e abriga a coloração do cordel de acordo com suas especificações. No lado direito, temos o cordel detonante do tipo reforçado. Esse modelo possui as mesmas camadas do tipo normal, porém recebe uma camada extra de fibra de tecido e cera. Isso confere maior resistência à água, tração, impacto, atrito e corte.



www.blastingtreinamentos.com

Esses são exemplos dos revestimentos disponíveis para os dois modelos de cordel detonante. É importante destacar que a composição dos revestimentos pode variar de acordo com o fabricante. Além disso, existem cordéis detonantes especiais projetados para lidar com condições específicas, como rochas quentes ou ambientes extremamente frios. Esses cordéis podem apresentar revestimentos diferenciados para garantir sua integridade em tais condições.

Apesar de conter uma quantidade maior de pentrita em comparação aos detonadores, o cordel detonante é considerado mais seguro. Isso ocorre devido à forma como a carga explosiva está acondicionada no cordel, o que lhe confere maior resistência a impactos e atrito. Além disso, ao contrário dos detonadores, o cordel não possui outras cargas explosivas mais sensíveis, como a azida de chumbo presente nos detonadores, nem outros elementos adicionais, dependendo do tipo de detonador.

Entretanto, é crucial compreender que o cordel detonante não deve ser exposto a estímulos ou situações de risco, como impactos, atrito ou calor. Embora possua um nível ligeiramente superior de segurança em relação aos detonadores, é importante ressaltar que o cordel, ainda sendo um acessório, é mais sensível que os explosivos principais e foi projetado para detonação. A comparação entre o cordel detonante e os detonadores visa mostrar que o cordel possui uma probabilidade um pouco menor de causar acidentes do que os detonadores. No entanto, é crucial lembrar do seu potencial de dano, que é consideravelmente maior devido à sua carga explosiva mais elevada.

Um ponto negativo relevante do cordel detonante em comparação aos detonadores é o ruído significativo que ele gera. Devido à sua maior carga explosiva, o cordel produz um ruído mais intenso. Por essa razão, em detonações próximas a áreas urbanas, onde o ruído pode causar impactos significativos, o cordel geralmente não é empregado. No entanto, excluindo esse cenário, o cordel é amplamente utilizado em diversas aplicações, incluindo obras e minerações tanto a céu aberto quanto subterrâneas.

Vantagens e desvantagens estão intrinsecamente ligadas ao uso do cordel detonante, com sua importância variando conforme o contexto e a comparação feita.

Vantagens:

www.blastingtreinamentos.com

- Simplicidade de uso: O cordel detonante é facilmente manipulável.
- Conexões por nós ou fitas adesivas: Conexões podem ser realizadas com nós ou fitas adesivas.
- Inspeção Visual Facilitada: Sua estrutura permite uma inspeção visual simples.
- Segurança Comparativa: É mais seguro que espoletas, possuindo menor risco de acidentes.
- Bilateralidade de Iniciação: Possui no mínimo dois caminhos de iniciação (circuito fechado), o que aumenta sua confiabilidade.
- Substituição de Espoletas: Pode substituir espoletas como iniciador de cargas explosivas.
- Livre de Eletricidade Estática e Frequência Externa: Não é afetado por eletricidade estática ou frequências externas.
- Carregamento Descontínuo Possível: Permite carregamento descontínuo com espaçadores nos furos.
- Vida Útil Longa: Possui uma longa vida útil.
- Baixo Custo: É econômico.

Desvantagens:

- Alto Ruído (Airblast/Deslocamento de Ar): A detonação gera um alto ruído, especialmente significativo.
- Agressivo às Colunas de Explosivos: Pode afetar negativamente as colunas de explosivos, causando danos.
- Iniciação Lateral Limitada: Pode não iniciar os explosivos lateralmente.
- Ausência de Testes Possíveis: Não oferece a possibilidade de teste das conexões.
- Suscetível a Cortes Superficiais: Pode sofrer cortes na superfície, interrompendo a detonação.
- Explosivo Não Detonado Pode Ficar na Pilha: Um corte no furo pode resultar em explosivo não detonado na pilha.
- Iniciação Boca para Fundo: Inicia o furo da boca para o fundo.
- Dano a Explosivos Não Iniciados: Pode danificar explosivos não iniciados por ele.
- Ejeção do Tampão Antes da Conclusão: Ejeta o tampão antes que o explosivo termine sua reação.

www.blastingtreinamentos.com

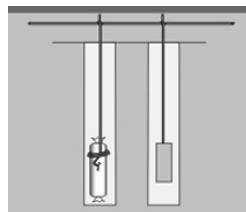
De forma concisa, as principais vantagens do cordel detonante estão relacionadas à sua facilidade de uso, conexões práticas por nós ou fitas, inspeção visual acessível, maior segurança em comparação às espoletas, bilateralidade de iniciação, substituição potencial de espoletas, resistência à eletricidade estática e frequência externa, capacidade de carregamento descontínuo com espaçadores, longa durabilidade e custo reduzido.

No que tange às desvantagens do cordel, estas podem ser divididas em dois grupos, de acordo com suas principais aplicações. Quando utilizado para conexão entre furos, as principais desvantagens incluem o ruído intenso gerado durante a detonação, conexões mal executadas que podem causar danos, bem como cortes no fio que podem ser provocados por projeções de rochas ou pelo próprio processo de detonação. Já no uso como iniciador, as desvantagens são mais relacionadas à sua alta potência explosiva, que pode destruir parte das cargas explosivas não sensíveis ao cordel, ao fato de iniciar o furo da boca para o fundo e ao dano causado ao tampão, resultando em ejeções mais intensas.

7.6.2 Uso do cordel como Iniciador

O uso do cordel detonante como iniciador é um dos propósitos principais desse componente, muitas vezes substituindo os detonadores tradicionais, devido à sua velocidade de detonação elevada e poder explosivo significativo. Essa característica possibilita sua aplicação para iniciar cargas explosivas sensíveis a detonadores ou para a escorva de reforçadores.

Na função de iniciador, o cordel detonante é frequentemente empregado em encartuchados ou boosters. Algumas operações também o utilizam para iniciar explosivos a granel, como o ANFO ou emulsões. Por isso, geralmente se recomenda a escolha do cordel "NP 10" para essa finalidade, devido à potência localizada desse tipo de cordel, que se assemelha à de um detonador.



Vale salientar que a alta velocidade do cordel, comparada à maioria dos explosivos, significa que, em contato direto, o cordel define a velocidade de detonação do explosivo. O cordel inicia o explosivo lateralmente à medida que se propaga.

www.blastingtreinamentos.com

Outra aplicação do cordel é como backup para detonadores, seja elétrico ou eletrônico. Também é usado em situações em que há risco de separação de cargas. Nesse contexto, o cordel é iniciado pelo detonador posicionado no fundo do furo, propagando-se ao longo da coluna de explosivos. Essa técnica é especialmente empregada em minerações subterrâneas, onde há risco de movimentação dos maciços rochosos e deslocamento dos furos, ou em casos de baixa aderência do explosivo.

Além de ser usado como backup, é comum em operações que não utilizam reforçadores aproveitar o cordel como um elemento de reforço para iniciação dos detonadores. Operações menores podem adotar a prática de enrolar pedaços de cordel nos detonadores para substituir um reforçador. Contudo, deve-se ter cautela ao manusear essa abordagem para evitar pressionar indevidamente o detonador, o que poderia causar danos ou mesmo detonações acidentais.

No cenário de uso do cordel como iniciador, suas características de alta velocidade e poder explosivo são os principais atributos explorados, tornando-o uma escolha eficaz para iniciar explosivos sensíveis, seja como componente principal ou como backup de segurança em diversas operações.

Em muitas operações de menor porte, que possuem recursos limitados, o uso do cordel detonante é uma escolha comum devido ao seu menor custo, maior flexibilidade e à redução da necessidade de gerenciar diversos tipos de produtos em estoque, algo mais comum com os detonadores. Isso é especialmente aplicável quando o objetivo primordial é a remoção de rochas, sem a necessidade de detonações de alto desempenho.

Uma curiosidade histórica é que o cordel detonante foi desenvolvido antes dos detonadores não elétricos. Ele originalmente substituiu os detonadores elétricos em situações de risco de raios durante períodos chuvosos ou em locais onde a presença de energias externas poderia afetar os detonadores.

Além disso, o cordel também é empregado como substituto dos detonadores em circunstâncias operacionais mais complexas. Isso inclui desmontes secundários, detonações em superfícies irregulares ou em situações que envolvam um maior risco na manipulação dos detonadores.

www.blastingtreinamentos.com

Destacamos a imagem, que captura o momento da detonação de um cordel detonante. No canto inferior esquerdo, podemos notar uma estaca de madeira que marcou o ponto onde um detonador iniciou o cordel. Observamos então o cordel detonando e se propagando até o ponto onde uma nuvem de poeira se levanta, indicando os furos da detonação. O poder de detonação e o fogo gerado por algo tão fino quanto o cordel detonante são notáveis, o que nos alerta tanto para o potencial de risco quanto para a importância da precisão em nossas conexões.



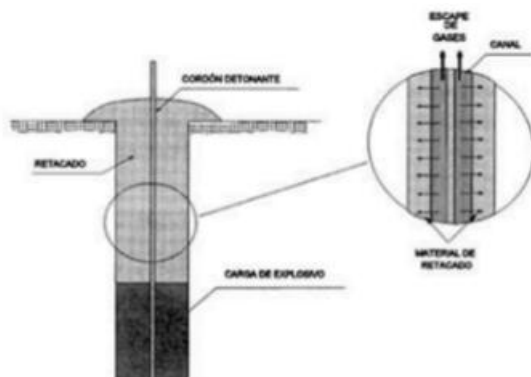
A versatilidade do cordel detonante e sua capacidade de substituir outros métodos de iniciação em uma variedade de cenários operacionais reforçam sua relevância em muitas aplicações de desmonte de rochas.

Apesar de ser amplamente utilizado como um iniciador alternativo em certas situações, é importante destacar uma série de ressalvas e contraindicações da utilização do cordel detonante na maioria dos cenários de desmonte de rochas. Isso se deve ao fato de que o cordel pode gerar uma série de efeitos negativos que impactam o desempenho global da operação.

Em operações onde o ruído não é um fator impeditivo para o uso do cordel, ele pode ser eficaz para iniciar cargas menores, em desmontes secundários ou em diâmetros pequenos com quantidades limitadas de explosivos. Nesses casos, o cordel pode iniciar a carga de maneira pontual, e o tampão não exerce uma influência significativa. No entanto, ao considerarmos cenários com cargas maiores, diâmetros maiores, furos mais profundos ou o uso do cordel na escorva para iniciar um reforçador, os efeitos negativos começam a superar os benefícios de economia ou praticidade associados ao cordel detonante.

Um dos efeitos negativos mais relevantes é o que chamamos de "efeito de canal". Esse efeito se refere à formação de um canal ou abertura à medida que o cordel detonante se propaga desde a parte externa do furo até o seu ponto final. Esse processo destrutivo acontece lateralmente ao longo do tampão e da carga explosiva.

Na ilustração, podemos observar a representação dessa abertura formada na região do tampão. Esse canal resulta no escape dos gases gerados pela detonação, levando à ineficácia do tampão, aumento da ejeção de material, perda de energia e volume gasoso, prejudicando a fragmentação da rocha e o lançamento dos detritos resultantes. A magnitude desse efeito é mais pronunciada quando se utilizam cordéis detonantes com gramaturas maiores, devido ao maior poder explosivo envolvido.



É importante ressaltar que esse efeito de canalização é mais relevante quando os furos não possuem tampão adequado ou quando o poder de confinamento do tampão é limitado, como em pequenos diâmetros, blocos de rocha ou detonações em túneis e galerias subterrâneas. Em tais situações, o impacto negativo do efeito de canal tende a ser menos significativo em relação à eficiência do tampão.

Outro impacto negativo associado ao efeito de canalização ocorre quando lidamos com explosivos insensíveis ao cordel e usamos o cordel como reforçador. Nesse cenário, uma vez que o cordel não consegue iniciar o explosivo, ele acaba destruindo parte da carga enquanto avança em direção ao reforçador. Além disso, a progressão do cordel ao longo da carga explosiva pode dessensibilizar essa carga, comprometendo ainda mais a eficácia do reforçador. Isso resulta na formação de um canal ao longo da carga explosiva, que, além de permitir a fuga dos gases gerados pela detonação, danifica a carga e a separa, diminuindo a pressão de detonação e comprometendo o desempenho geral da detonação.



www.blastingtreinamentos.com

É válido considerar também o cenário oposto, no qual o explosivo é um pouco mais sensível do que o necessário. Nessa situação, o cordel pode iniciar o explosivo de maneira inadequada, levando-o a deflagrar em vez de detonar. Isso pode resultar em uma detonação de baixa performance, fazendo com que o reforçador perca sua eficácia, uma vez que o explosivo já foi iniciado com um desempenho abaixo do ideal.

Outro efeito adverso da detonação do cordel detonante é a sua propagação da boca do furo em direção ao fundo. Esse padrão de detonação acaba por resultar em menor aproveitamento da energia do explosivo, devido ao menor confinamento proporcionado. Em outras palavras, a detonação se propaga rapidamente e encontra uma saída pela boca do furo antes de ter detonado completamente a carga explosiva. Quanto mais profundo o furo, maior será o impacto negativo desse padrão de detonação, uma vez que a carga explosiva, devido à sua maior extensão, levaria mais tempo para detonar e ficaria confinada por mais tempo.

É essencial considerar todos esses fatores ao optar pelo uso do cordel como iniciador, pois, embora ele apresente vantagens como economia e praticidade em certos cenários, é importante estar ciente dos impactos negativos potenciais que podem afetar a eficácia global da detonação.

De fato, a utilização do cordel detonante como iniciador requer atenção cuidadosa devido a uma série de fatores que podem afetar o desempenho global da detonação. Uma das preocupações está relacionada à energia do cordel, que deve ser suficiente para garantir a iniciação lateral do explosivo. No entanto, quando o cordel não possui energia adequada para iniciar o explosivo lateralmente, pode ocorrer um fenômeno conhecido como "efeito de pré-compressão". Nesse caso, o cordel ao explodir pode comprimir a carga explosiva de maneira inadequada, levando ao que é chamado de "pressão de morte". Essa pressão excessiva pode desencadear a insensibilidade do explosivo, fazendo com que ele perca sua sensibilidade e densidade, levando-o a um estado insensível que não detonará mais. É importante ressaltar que esse efeito se torna mais pronunciado à medida que a gramatura do cordel detonante aumenta.

Além disso, devemos considerar as situações em que parte da carga explosiva está contaminada ou em condições que a tornem menos sensível, como a presença de umidade ao usar ANFO. Nesses casos, o explosivo pode se tornar

www.blastingtreinamentos.com

insensível ao cordel detonante, ressaltando a importância de escolher explosivos compatíveis com a iniciação por cordel e evitar situações operacionais que possam prejudicar a sensibilidade do explosivo.

Outro ponto crucial diz respeito a cargas desacopladas, especialmente em explosivos encartuchados. Quando essas cargas não estão bem presas ao cordel, elas podem se distanciar dele dentro do furo, resultando em um contato inadequado entre o cordel e a carga explosiva. Isso pode levar a uma detonação incompleta da carga ou a danos na carga que afetam seu desempenho. É recomendável fixar os encartuchados com fita no cordel para garantir um contato adequado e uma detonação eficaz.

Em relação ao uso do cordel com ANFO, é importante mencionar que o cordel pode iniciar parcialmente o explosivo, levando a uma detonação inadequada. O ANFO é apenas parcialmente sensível ao cordel em determinadas condições de aplicação, tornando-o menos indicado como acessório de iniciação para esse tipo de explosivo. Nesses cenários, a recomendação é o uso de reforçadores para o ANFO, preferencialmente iniciados com detonadores.

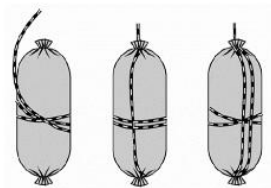
Quando se trata de explosivos como hidrogéis, emulsões bombeadas ou blends, é fundamental avaliar sua sensibilidade ao cordel. O cordel pode exercer pressão sobre as microbolhas que geram os "Hot Spots", levando a uma dessensibilização parcial ou total da carga explosiva. Portanto, é aconselhável avaliar minuciosamente o tipo de explosivo, as recomendações para sua iniciação e a configuração de carga, a fim de evitar resultados indesejados.

Vale ressaltar também que a localização do cordel dentro do furo pode afetar sua eficácia como iniciador. Quando o cordel está na parede do furo, ele pode ter um menor contato com a carga explosiva, resultando em parte de sua energia sendo direcionada para a rocha ao invés da carga. Isso é especialmente relevante para explosivos que não são totalmente sensíveis ao cordel detonante.

7.6.3 Escorva com encartuchado

A escorva com cordel e encartuchado é uma técnica importante e requer atenção para garantir uma detonação eficaz e segura. Há diversas formas de realizar a escorva, e uma recomendação fundamental é inserir o cordel diretamente dentro do encartuchado, semelhante ao procedimento adotado para inserir detonadores. Isso garante que o cordel terá um contato direto com a carga explosiva, permitindo a transmissão da detonação de maneira eficaz.

Após inserir o cordel no encartuchado, é aconselhável dar algumas voltas ao redor do encartuchado, seja utilizando nós ou fita adesiva. Esse passo é crucial para evitar que o cordel se separe do encartuchado durante movimentações ou detonações, proporcionando uma conexão segura e confiável entre ambos os componentes.



No entanto, é importante ter cautela para não estrangular o encartuchado com o cordel. Um aperto excessivo pode resultar em problemas, como a separação da carga ou até mesmo atingir um diâmetro crítico que comprometa a eficiência ou a propagação adequada da detonação. Portanto, é necessário encontrar um equilíbrio entre uma fixação firme e a preservação da integridade do encartuchado.

Quando se trata de encartuchados de emulsão ou hidrogel, é recomendado o uso do cordel detonante "NP 10". Esse tipo de cordel proporciona uma iniciação lateral mais eficaz para encartuchados desse tipo de explosivo. Em contrapartida, cordéis de gramatura mais baixa, como o "NP 5", frequentemente usado, podem não ter a potência necessária para iniciar os encartuchados lateralmente. Isso pode resultar em falhas na detonação, especialmente em casos de separação de cargas dentro do furo.

Garantir uma escorva adequada é crucial para evitar falhas na detonação e maximizar a eficácia do processo de desmonte de rochas. Portanto, a escolha do tipo de cordel adequado, a maneira como ele é inserido no encartuchado e a atenção aos detalhes da fixação são elementos-chave para garantir uma operação de detonação segura e eficiente.

7.6.4 Uso do cordel como conector de superfície

O uso do cordel como conector de superfície é uma aplicação amplamente empregada em operações que possuem restrições de recursos ou quando é necessário interligar diversos furos em uma detonação. Apesar das desvantagens associadas ao cordel discutidas anteriormente, ele ainda é amplamente utilizado como um sistema eficaz de conexão entre os furos em muitos cenários.

Uma das principais vantagens do cordel como conector de superfície reside na facilidade de realizar as conexões entre os furos. A praticidade se deve à possibilidade de utilizar fitas adesivas ou nós padronizados para unir os cordéis, simplificando o processo de montagem da sequência de detonação. Além disso, a alta velocidade de detonação do cordel contribui para uma transmissão rápida da detonação entre os furos, minimizando os riscos de corte por fragmentos de rochas que podem ocorrer em detonações sequenciais.

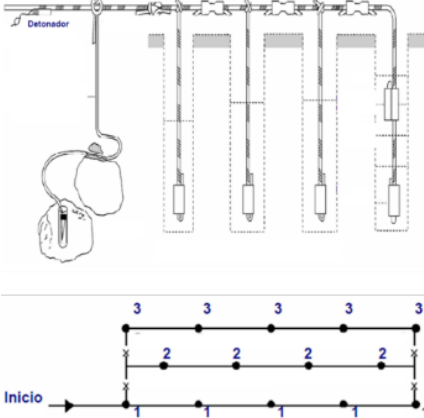
A diversidade de gramaturas de cordel disponíveis, juntamente com a opção de utilizar os revestimentos reforçados, confere flexibilidade ao sistema. Essa versatilidade permite que o cordel seja adaptado para diferentes cenários operacionais, sendo uma alternativa viável para operações com alto nível de produção e desafios operacionais específicos.

É importante ressaltar que, apesar das vantagens, o uso do cordel como conector de superfície também está sujeito às limitações discutidas anteriormente, como o efeito canal e outras questões relacionadas à eficácia da detonação. Portanto, ao optar pelo cordel como sistema de ligação entre os furos, é essencial considerar tanto as vantagens quanto as desvantagens, avaliando cuidadosamente as características da operação e a natureza das rochas a serem detonadas.

No contexto de desmonte de rochas, a escolha entre o uso do cordel como conector de superfície e outras alternativas dependerá das necessidades específicas da operação, dos recursos disponíveis e dos objetivos de eficiência e segurança. A análise criteriosa desses elementos auxiliará na tomada de decisão quanto à escolha do método de conexão mais apropriado para a situação.

www.blastingtreinamentos.com

No contexto do uso do cordel como conector de superfície em detonações, é importante destacar os elementos essenciais que compõem uma detonação conectada por cordel detonante:

1. **Detonador de Iniciação:** O iniciador, frequentemente um Mantopim, é utilizado para dar início à sequência de detonação. Alternativamente, um detonador eletrônico também pode ser empregado para essa finalidade.
2. **Cabo Principal de Cordel:** O cabo principal de cordel é crucial para ligar o iniciador ao circuito das demais conexões. Recomenda-se o uso de cordel "NP 10", e quando possível, a utilização de duas linhas de cordel distintas, separadas por uma distância superior a 50 cm. Contudo, em algumas situações, o iniciador pode ser conectado diretamente a uma das extremidades das conexões, dispensando a necessidade dessa linha principal.
3. **Conexões de Superfície com Cordel:** Este elemento se refere às interligações entre os furos da detonação, responsáveis por transmitir a energia do iniciador para os demais furos. É aconselhável usar cordel "NP 05" para as conexões entre os furos. No caso de derivações, como em desmontes secundários, recomenda-se a utilização de cordel "NP 10". Nesse terceiro elemento, podemos considerar dois cenários distintos. No primeiro, a unidade de coluna do furo é um detonador não elétrico, que é o mais comum. Esses detonadores vêm equipados com um conector "J" que permite uma conexão direta com o cordel, facilitando o processo. No segundo cenário, o próprio cordel detonante é utilizado como iniciador do furo. Nesse caso, a conexão é feita por meio de nós recomendados para o cordel, geralmente conectando o cordel do furo à linha de conexão.
4. **Retardos para Cordel Detonante:** O quarto elemento nas conexões de superfície são os retardos. Estes componentes são responsáveis por determinar o sequenciamento dos furos na detonação. Eles são

www.blastingtreinamentos.com

posicionados entre os furos individuais ou grupos de furos, de acordo com a sequência de detonação planejada.

Em resumo, a estrutura de uma detonação conectada por cordel detonante compreende o iniciador, o cabo principal de cordel, as conexões de superfície com cordel e os retardos. Esses elementos colaboram para uma detonação controlada e eficaz, permitindo a transmissão da energia do iniciador ao longo dos furos, seguindo a sequência determinada. A escolha dos componentes e a sua configuração devem ser cuidadosamente planejadas para garantir um desmonte de rochas seguro e eficiente.

Quando se trata de quaisquer conexões envolvendo o cordel detonante, uma série de recomendações deve ser seguida, principalmente devido ao seu alto poder explosivo, que pode potencialmente danificar as conexões. As principais diretrizes para conexões com cordel são as seguintes:

1. **Posicionamento do Detonador Iniciador:** A primeira recomendação foca na fixação do detonador iniciador na linha principal de cordel. O uso de fita adesiva para fixar o detonador e direcioná-lo para a continuação da linha principal ajuda a evitar o risco de cortes causados pelos fragmentos do detonador. Isso é especialmente relevante quando nós são usados, uma vez que o acúmulo de energia do nó pode causar danos a conexões próximas ou linhas de cordel, e até mesmo levar a uma possível falha ou detonação prematura.
2. **Requisito de Circuito Fechado:** um princípio fundamental para as interconexões com cordel é que cada conexão deve ter um circuito fechado. Isso significa que todos os furos e conexões conectados devem ter pelo menos dois pontos de iniciação, aproveitando assim a natureza bidirecional do cordel. Essa característica garante que, em caso de falha ou corte, a detonação possa prosseguir pelo outro lado, garantindo a iniciação da carga.
3. **Ângulos de Conexão:** Os ângulos de conexão devem ser maiores que 90 graus para evitar que as linhas de cordel se aproximem e danifiquem umas às outras prematuramente.
4. **Distância Mínima para Linhas Paralelas:** Ao usar linhas paralelas de cordel, deve haver uma distância mínima de 50 centímetros para conexões instantâneas e pelo menos 1 metro para conexões

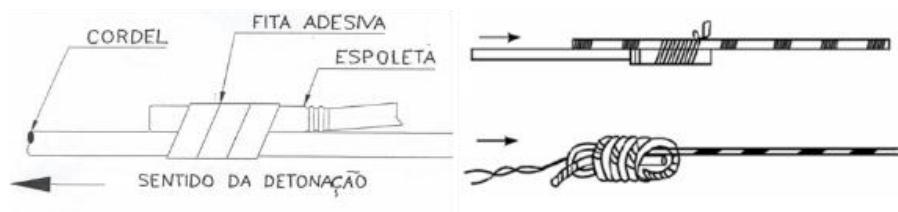
com retardos. Essa separação impede que uma linha danifique a outra.

5. **Distância dos Retardos:** Para conexões que envolvam retardos, é crucial manter uma distância de pelo menos 1 metro de outras linhas ou conexões para evitar que seus fragmentos danifiquem linhas próximas ou cheguem a uma proximidade perigosa.
6. **Regra de Um Palmo:** Manter uma distância de pelo menos 20 centímetros (aproximadamente o tamanho de um palmo) entre conexões e nós é recomendado para evitar o acúmulo de energia e possíveis danos.
7. **Evitar Torção ou Alongamento Excessivo:** O cordel não deve ser torcido, esticado ou deixado com pontas soltas, pois essas ações podem levar a danos ou falhas durante a detonação.
8. **Evitar Excesso de Cordel:** Garantir que não haja comprimentos excessivos de cordel ou pontas soltas é importante para evitar emaranhados, conexões inadequadas ou possíveis falhas.

Essas recomendações, embora simples, desempenham um papel crítico em assegurar o uso seguro e eficaz do cordel detonante em interconexões.

7.6.5 Conexão com detonadores

Aqui, apresentamos algumas ilustrações que demonstram a conexão do detonador iniciador com o cordel detonante. Como mencionado, as principais orientações para essa conexão são as seguintes:



1. **Direcionamento do Detonador:** Ao conectar o detonador iniciador com o cordel detonante, é essencial direcionar o detonador na continuação da linha de cordel. Isso é crucial para evitar riscos de corte lateral e para assegurar que a porção do cordel que fica atrás do detonador não falhe.

2. **Utilização de Fita Adesiva:** Recomenda-se fazer a conexão entre o detonador e o cordel usando fita adesiva. Essa prática previne que nós causem estrangulamento do detonador. Utilizar fita adesiva em vez de nós é importante para evitar acúmulos de energia que possam danificar o detonador ou causar falhas.
3. **Conexão Paralela com Dois Detonadores:** Sempre que possível, é indicado usar dois detonadores conectados em paralelo ao cordel. Essa medida de segurança é adotada para evitar a interrupção da detonação caso um dos detonadores falhe. Garantir a continuidade da detonação é vital, já que o risco de retornar a uma detonação não iniciada é significativo.

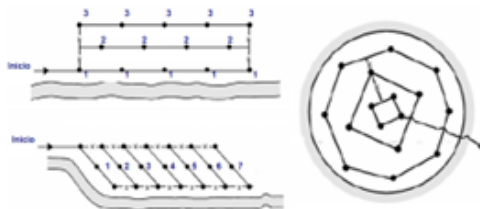
Essas orientações visam garantir a integridade e a eficácia das conexões entre o detonador iniciador e o cordel detonante, minimizando riscos e contribuindo para detonações bem-sucedidas.

7.6.6 Circuito fechado

O conceito de circuito fechado refere-se à configuração em que o cordel detonante forma um laço contínuo, assegurando a continuidade da detonação ao longo do sistema. A utilização do circuito fechado é crucial para garantir que todas as cargas explosivas sejam detonadas de maneira eficaz, minimizando possíveis falhas de detonação. Essa prática é fundamental para explorar a bidirecionalidade do cordel: caso ocorra um corte em qualquer ponto, é possível iniciar a detonação a partir do extremo oposto do circuito. Ao fechar o circuito, garantimos que todos os furos dentro dele tenham pelo menos dois caminhos para receber a energia de iniciação.

Comparativamente ao sistema de detonação não elétrico, que é unidirecional, a abordagem com cordel detonante possui uma vantagem substancial. O sistema não elétrico é suscetível a falhas

em conexões, resultando em múltiplos furos não detonados. Em contrapartida, o circuito fechado do cordel detonante garante que as falhas em conexões não resultem em furos falhados, já que a detonação pode ser acionada de ambos os lados.



www.blastingtreinamentos.com

Uma prática adicional relevante é a introdução de linhas de segurança no circuito. Essas linhas extras, utilizadas em detonações de maior escala com maior risco de falhas, conectam os furos ou linhas para atuar como uma salvaguarda. Caso ocorra uma falha em alguma conexão, as linhas de segurança podem ser acionadas, permitindo que a detonação prossiga através delas e conclua a detonação dos furos afetados.

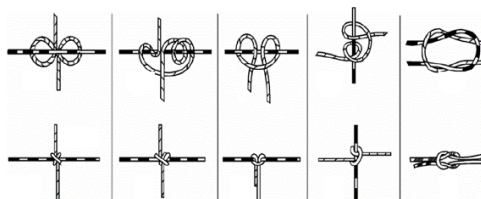
É importante destacar que a escolha do retardo é crucial para o fechamento do circuito e para as linhas de segurança. Geralmente, é recomendado utilizar um tempo de retardo pelo menos duas vezes maior que o da linha principal de iniciação. Por exemplo, se a linha principal tem um retardo de 100 milissegundos, as linhas de segurança e o fechamento do circuito devem ter um retardo de no mínimo 200 milissegundos. Isso assegura que a detonação siga pelas linhas extras somente em caso de falha.

A utilização de circuito fechado e linhas de segurança apresenta uma clara vantagem em relação ao sistema não elétrico de detonação. A prática é indispensável para detonações maiores e em situações com maior risco de cortes e falhas, contribuindo significativamente para a segurança e o sucesso da detonação.

7.6.7 Cuidados nas Conexões

As conexões entre os cordéis detonantes, encartuchados e detonadores requerem atenção meticulosa. É essencial garantir conexões seguras e confiáveis para evitar falhas na transmissão da detonação. A precisão na montagem das conexões assegura o funcionamento correto do sistema de detonação. É relevante mencionar os nós padrão recomendados pelos fabricantes, que têm a finalidade de garantir um contato eficaz e evitar ângulos inferiores a 90 graus.

Na imagem, são ilustradas as alternativas de nós recomendados, da esquerda para a direita. Os quatro primeiros nós representam opções para conexões que devem manter um ângulo de 90 graus. Os três



primeiros nós são aplicáveis quando a linha de cordel detonante segue

www.blastingtreinamentos.com

adiante, enquanto o quarto nó representa uma opção quando uma linha finaliza a conexão. No último exemplo, é evidenciada uma emenda entre dois cordéis, garantindo uma união segura que mantém a continuidade da detonação.

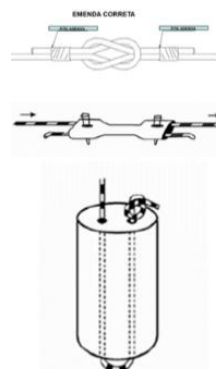
Esses nós recomendados para o cordel detonante são simples de executar, especialmente após prática, e asseguram uma conexão confiável, contribuindo para a continuidade da detonação. Além disso, eles possibilitam a manutenção dos ângulos adequados, evitando complicações que possam impactar negativamente o processo.

Portanto, os nós padrão destacados representam uma prática importante para a realização de conexões bem-sucedidas com o uso do cordel detonante, promovendo eficiência e segurança no contexto das detonações.

Um ponto de atenção é a necessidade de cuidado em relação às pontas que podem sobrar dos nós. O ideal é minimizar o tamanho dessas pontas e mantê-las próximas das outras linhas de conexão. Frequentemente, utiliza-se fita adesiva para fixar essas pontas, com o propósito de evitar que, durante a detonação, elas possam chicotear e causar danos às outras partes das conexões.

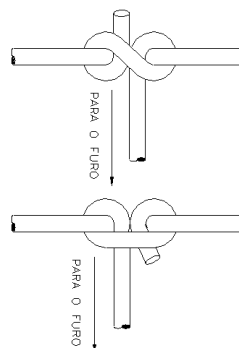
Na figura, é apresentado um exemplo do uso da fita adesiva para fixar as pontas dos nós. Na sequência, é ilustrada uma conexão que envolve um retardo para o cordel detonante. Por fim, é demonstrada a maneira de conectar um booster. Independentemente do tipo de nó utilizado, é de suma importância que ele seja firmemente amarrado e bem ajustado, respeitando o princípio dos ângulos de 90 graus e evitando que pontas soltas de grande extensão estejam presentes.

Essas práticas visam a garantir a integridade e eficácia das conexões durante o processo de detonação. O cuidado na realização dos nós e na fixação das pontas contribui para a segurança e a qualidade das detonações efetuadas por meio do cordel detonante.



www.blastingtreinamentos.com

Na ilustração ao lado, é apresentado um exemplo em que o cordel detonante é empregado nas interligações, coexistindo com o iniciador colocado dentro do furo. Nessa situação, duas alternativas se destacam: a ponta de conexão pode ser posicionada para cima ou para baixo. Pessoalmente, a preferência recai em posicionar a ponta para baixo, reduzindo as probabilidades de que essa ponta cause danos a outras conexões.



Nesse contexto, dois pontos ganham relevância. O primeiro é que, geralmente, o cordel presente no furo é aquele que se conecta à linha de cordel de interligação. Essa conexão deve ser centralizada no furo para evitar ângulos inadequados. O segundo ponto é a necessidade de assegurar que o cordel do furo não exerça um peso excessivo sobre a linha de cordel de interligação. Embora ambas devam estar conectadas firmemente, não deve ocorrer uma tração excessiva entre elas. Quando há peso envolvido, é comum ancorar o cordel em uma estaca de madeira ou pedra, ou mesmo utilizar uma corda pequena para suportar esse peso.

Uma prática relativamente comum em operações menores é a utilização do cordel detonante para iniciar diretamente cargas explosivas que as vezes não são sensíveis a ele, assim que para compensar é realizado vários nós na extremidade, a fim de acumular carga e atuar como reforçador. Embora essa prática seja observada, ela não é recomendada. Isso ocorre porque a iniciação do explosivo resulta em baixo desempenho e, além disso, enfrenta todos os problemas discutidos anteriormente acerca do uso do cordel em explosivos insensíveis a ele. Se, em casos excepcionais, for absolutamente necessário utilizar o cordel detonante como iniciador de um explosivo não sensível ao cordel, é fundamental abordar todos os impactos previamente apresentados. Além disso, é imperativo empregar um booster ou um encartuchado que possua a potência suficiente para efetuar a iniciação desse explosivo de maneira adequada.

Reitero que, para assegurar conexões precisas e eficientes, é imperativo adotar práticas adequadas. Não se devem permitir ângulos menores que 90 graus, manter pontas soltas, dobrar ou tracionar o cordel de maneira inadequada. Uma atenção especial deve ser dedicada a cortes ou danos que possam prejudicar o desempenho das conexões. Além disso, é fundamental

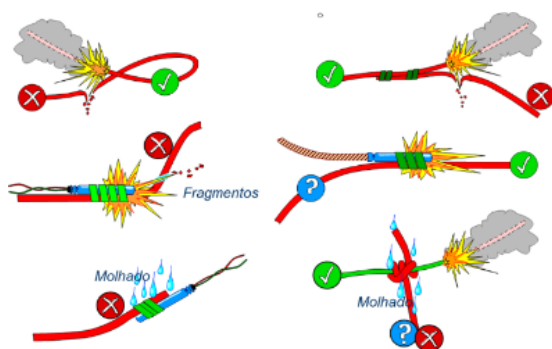
www.blastingtreinamentos.com

manter distâncias apropriadas entre as conexões. Todas essas diretrizes, apesar de serem simples e básicas, desempenham um papel fundamental na garantia de conexões sólidas e na prevenção de falhas nas detonações.

Vale destacar que a maioria das ocorrências de falhas está diretamente ligada a erros operacionais fundamentais, quando essas pequenas recomendações não são seguidas com rigor. Portanto, observar esses princípios torna-se um passo essencial para o sucesso operacional e para a segurança das detonações.

Um outro aspecto de considerável importância que frequentemente resulta em falhas é a qualidade das conexões, seja entre os detonadores ou entre as próprias linhas de cordel. Ao conectar os detonadores à linha de cordel detonante, é necessário estar atento a várias considerações. É crucial direcionar os elementos de maneira adequada, evitando a possibilidade de estilhaços metálicos dos detonadores danificarem o cordel. Além disso, é importante verificar a integridade da ponta do cordel, assegurando que ela não tenha sido comprometida por água, contaminantes ou qualquer fator que possa prejudicar seu desempenho.

Uma recomendação padrão é evitar conectar o detonador exatamente na extremidade final do cordel. Ao invés disso, é recomendável conectar o detonador alguns centímetros à frente, cerca de 10 a 20 centímetros da ponta. Essa prática é adotada devido à vulnerabilidade da ponta aberta, que está mais suscetível a danos. Uma analogia pode ser feita com o procedimento de pegar um rolo de cordel para uso, onde os primeiros 10 a 20 centímetros geralmente são descartados, considerando o risco de comprometimento.

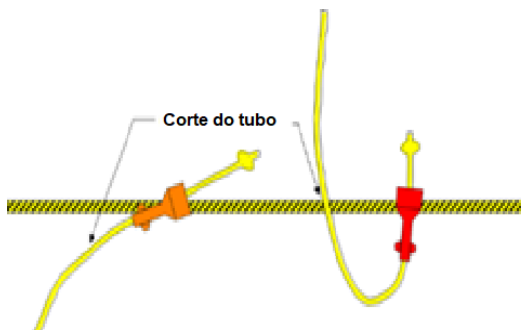


Neste contexto, temos também a ocorrência de cordéis enrolados sobre si mesmos, conexões em proximidade com ângulos menores que 90 graus e a presença da ponta do cordel imersa em água. Todos esses cenários foram abordados anteriormente e demandam atenção constante em nossa prática

www.blastingtreinamentos.com

diária. Ao manter vigilância sobre esses pontos, contribuímos para a mitigação das potenciais falhas nas operações.

Além disso, há outro aspecto crucial a ser considerado, referente à conexão entre o cordel detonante e detonadores não elétricos. Essa conexão deve ser estabelecida por meio do conector conhecido como "J". É de suma importância que esse conector esteja firmemente fixado para assegurar uma iniciação perfeita. No entanto, é imperativo manter a atenção quanto a dobras e ângulos menores que 90 graus, pois esses fatores podem comprometer a eficácia da conexão. Outra recomendação que merece destaque é a seguinte: no caso de extravio ou danos ao conector "J", por qualquer motivo que seja, existe a opção de utilizar os nós de cordel detonante para conectar o tubo de choque aos detonadores. No entanto, é crucial compreender que essa prática é viável somente em um sentido. Ou seja, é desaconselhável utilizar o tubo de choque para amarrar o cordel detonante. Em vez disso, é preferível utilizar o cordel detonante para dar um nó no tubo de choque, garantindo assim um contato eficaz e seguro.



7.6.8 Segurança

A segurança é uma preocupação central em todas as atividades envolvendo o cordel detonante. Devido à sua natureza explosiva, é crucial seguir procedimentos rigorosos ao manusear, armazenar e transportar esse material. O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), treinamento adequado para as equipes e aderência a protocolos de segurança são medidas essenciais para reduzir os riscos associados ao cordel detonante.

É importante lembrar que, embora o cordel detonante seja relativamente insensível a estímulos externos, ele ainda é um explosivo de alta potência. Portanto, é fundamental seguir todas as diretrizes de segurança, especialmente aquelas fornecidas pelos fabricantes, para evitar qualquer detonação acidental.

www.blastingtreinamentos.com

Outra consideração importante é a resistência do cordel detonante à umidade. Embora seu revestimento o proteja da água, é necessário tomar cuidado para evitar que a umidade penetre nas extremidades. Para manter o desempenho adequado, é recomendável cortar 10 a 20 centímetros das extremidades e descartá-las de acordo com os protocolos de segurança.

Quando se trata de fragmentos de cordel detonante que sobram após o uso, é essencial avaliar se estão em condições adequadas para reutilização. Eles devem ser armazenados corretamente em suas caixas e, ao serem utilizados, as extremidades danificadas devem ser descartadas.

A destruição adequada de fragmentos de cordel detonante que não serão mais usados também é crucial para evitar riscos. Isso pode ser feito inserindo os fragmentos em um furo com explosivos ou conectando os fragmentos com nós e, em seguida, conectando-os a uma extremidade da detonação para garantir uma detonação completa. Lembrando que até mesmo um pequeno fragmento de cordel detonante contém uma quantidade significativa de explosivo, por isso todas as medidas de segurança devem ser rigorosamente seguidas durante o manuseio.

Uma recomendação de segurança essencial é nunca utilizar ferramentas inadequadas para cortar ou manusear explosivos. O uso de martelos, pedras ou qualquer objeto que possa causar atrito ou impacto nos explosivos é estritamente proibido. É necessário utilizar apenas cortadores recomendados, como cortadores de mandíbula plástica, dispositivos específicos para cordel detonante ou facas sem pontas afiadas. Lembrando que a segurança é fundamental em todas as etapas de trabalho com explosivos para evitar acidentes graves.



7.7 Retardos de Superfície

Iniciando este novo tópico, abordaremos os "Retardos de Superfície". Este é um assunto crucial, uma vez que os retardos desempenham um papel fundamental no processo de detonação, especificamente em relação ao sequenciamento e à otimização do desempenho.

www.blastingtreinamentos.com

Retardos, como acessórios essenciais, merecem uma análise minuciosa das suas características e funções principais. Eles desempenham um papel crucial no sequenciamento e na eficácia das nossas detonações. Apesar da existência de diferentes tipos de retardos, todos compartilham uma função fundamental: criar intervalos de tempo, em frações de segundos, entre duas ou mais cargas explosivas. Esta capacidade de criar retardo é fundamental, uma vez que proporciona o controle necessário para um sequenciamento preciso e eficiente da detonação.

O processo de criar intervalos controlados entre as detonações é fundamental para alcançar os objetivos desejados em termos de lançamento de material, fragmentação da rocha e controle das vibrações. Esta abordagem precisa e calculada contribui significativamente para a eficácia das operações de detonação em ambientes de mineração e obras civis.

Uma das principais vantagens proporcionadas pelos retardos é a capacidade de criar faces livres adicionais nas rochas. Essas faces livres são essenciais para permitir a expansão controlada da rocha após a detonação, evitando danos excessivos e contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro. Além disso, os retardos são uma ferramenta valiosa para atender às necessidades de produção e ao cronograma, permitindo um melhor gerenciamento da carga explosiva em termos de quantidade e distribuição.

No contexto de redução de carga média por evento, os retardos oferecem uma maneira precisa de controlar a quantidade de material explosivo detonado simultaneamente. Isso não apenas afeta as vibrações e a pressão acústica resultantes, mas também é vital para evitar sobrecargas indesejadas nos equipamentos e na infraestrutura circundante.

Além disso, a capacidade de direcionar a detonação usando retardos é um componente crucial para maximizar a eficiência operacional. Ao otimizar a direção do lançamento do material, os retardos permitem que a rocha seja direcionada de maneira apropriada para atender aos requisitos de produção e minimizar o desperdício de material valioso.

Por fim, a utilização estratégica dos retardos também contribui para reduzir as sobrequebras. A habilidade de controlar o fluxo de energia dos explosivos através do sequenciamento preciso ajuda a minimizar os efeitos indesejados na rocha remanescente, garantindo uma fragmentação mais eficiente e evitando apropriações indesejadas de energia.

www.blastingtreinamentos.com

A aplicação inteligente dos retardos de superfície é essencial para alcançar um equilíbrio entre o desempenho ideal da detonação e a minimização dos impactos ambientais e operacionais indesejados. A seleção, configuração e aplicação corretas dos retardos são fundamentais para o sucesso das operações de mineração e obras civis. A abordagem prática e precisa dos retardos permite o controle refinado do processo de detonação, resultando em fragmentação eficiente, vibrações controladas e impacto ambiental reduzido.

Além disso, a execução segura das detonações envolve medidas de segurança rigorosas. Isso inclui a adoção de práticas de manuseio seguro dos retardos, bem como a verificação final de todas as conexões e componentes antes da detonação. A garantia de que os retardos estejam instalados corretamente e que não haja interferência indesejada entre os componentes é crucial para evitar incidentes e garantir resultados previsíveis.

A escolha do tipo de retardo, a disposição nos furos, a sincronização dos tempos de detonação e a adoção de medidas de segurança adequadas são componentes essenciais para maximizar os benefícios da utilização dos retardos. Uma abordagem precisa e técnica não apenas otimiza a fragmentação da rocha, mas também contribui para um ambiente de trabalho seguro e sustentável.

Os retardos desempenham um papel fundamental no sequenciamento das detonações, permitindo que as cargas explosivas conectadas a diferentes segmentos detonem em intervalos de tempo distintos. Essa sequência de detonação tem impactos significativos em todo o processo, como por exemplo:

- As escolhas relacionadas aos retardos têm implicações diretas em como as rochas são fragmentadas e lançadas. Por exemplo, ao usar retardos entre linhas em um desmonte de rochas de bancada a céu aberto, a primeira linha detona antes da segunda. Isso resulta em uma redução da carga enfrentada pela segunda linha, pois não precisa mais empurrar a rocha que já foi fragmentada pela primeira linha. Essa redução na carga permite que a segunda linha arremesse sua parcela de rocha a uma distância maior, resultando em uma pilha de material detonado mais baixa e espalhada.

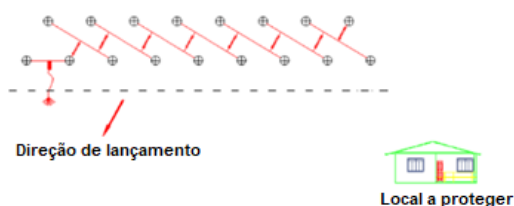
www.blastingtreinamentos.com

- Essa estratégia também afeta positivamente o arranque do pé da detonação. Ao criar um alívio entre as linhas, a segunda linha encontra uma face livre completa para avançar. Isso melhora a eficiência do arranque, diminuindo a geração de irregularidades no pé da bancada.
- À medida que essa abordagem de alívio é aplicada a todas as linhas da detonação, chegamos à última linha, que agora também possui um alívio. Isso permite que a última linha saia para frente, reduzindo o dano causado à rocha remanescente e diminuindo as sobrequebras.
- Além disso, os benefícios se estendem à eficiência energética. O alívio entre as linhas resulta em menor esforço de deslocamento, permitindo que o explosivo de cada furo utilize sua energia de maneira mais eficiente, reduzindo as vibrações causadas pelo confinamento excessivo do material à frente.

Nossa detonação é um processo interconectado, onde cada escolha afeta diretamente o resultado final. Os retardos desempenham um papel crucial nessa sequência, criando uma cascata de efeitos que influenciam a fragmentação, a dispersão, as vibrações e a eficiência geral da detonação. A compreensão profunda dos retardos e sua aplicação estratégica são fundamentais para obter resultados previsíveis e otimizados em nossas operações de detonação.

É importante ressaltar que a eficácia dos retardos varia significativamente de acordo com vários fatores, incluindo a quantidade de retardos, os tempos de detonação e, acima de tudo, o tamanho, configurações e condições específicas da detonação em questão. Naturalmente, o impacto dos retardos em uma detonação de apenas 2 furos será consideravelmente menor do que em uma detonação que envolva 100 furos. Da mesma forma, a influência dos retardos será diferente se tivermos 100 furos alinhados em uma única linha em comparação com 100 furos distribuídos em 10 linhas de 10 furos cada. Geralmente, quanto maior e mais complexa for a detonação, maior será o impacto dos retardos.

Uma das aplicações principais dos retardos é direcionar o lançamento do material resultante da detonação. Isso é particularmente útil quando é necessário evitar que o



www.blastingtreinamentos.com

material seja lançado em direção a estruturas ou áreas sensíveis. Por exemplo, considere uma situação em que uma casa está localizada em um dos lados da detonação. Nesse caso, ao invés de permitir que o material seja lançado na direção da casa, podemos utilizar os retardos para direcionar o material na direção oposta, protegendo assim a estrutura.

Outro cenário onde os retardos são fundamentais é em detonações onde não há face livre adequada para acomodar o material detonado. Isso é comum em desmontes de trincheira, onde o comprimento é grande e as faces livres são limitadas. Nesses casos, os retardos são usados para liberar o material de maneira controlada ao longo da detonação, criando espaço gradualmente e definindo uma direção de lançamento para os próximos furos.

Portanto, fica evidente que a utilização dos retardos é essencial em uma variedade de situações. Eles podem estar associados aos objetivos gerais da detonação ou abordar situações específicas em desmontes particulares. Cada aplicação dos retardos é única e precisa ser cuidadosamente planejada e ajustada para atender aos requisitos da operação, maximizando os benefícios que eles proporcionam à sequência de detonação e aos resultados finais.

7.7.1 Tipos de retardo

Dentro do contexto dos retardos, é crucial compreender que eles podem ser encontrados em duas configurações distintas: os retardos internos e os retardos externos. Os **retardos internos** são incorporados aos detonadores, sejam eles elétricos ou não elétricos. Nesse sentido, inclusive os chips presentes nos detonadores eletrônicos também desempenham a função de retardos internos. A função primordial dos retardos internos é possibilitar o sequenciamento da detonação.

Enquanto detonadores elétricos e eletrônicos utilizam os retardos internos unicamente para esse sequenciamento, os detonadores não elétricos podem utilizá-los de forma dupla. Eles podem ser empregados tanto para sequenciar a detonação quanto como elementos de segurança. Nessa segunda função, são empregados com um tempo maior e constante, denominado retardo de fundo. Essa medida visa garantir que todos ou grande parte dos elementos de conexão sejam detonados antes da efetiva detonação dos furos.

www.blastingtreinamentos.com

A razão por trás desse procedimento está relacionada à possibilidade de fragmentos serem lançados nas interligações dos furos antes que todos sejam acionados, o que poderia resultar em uma falha na detonação. Assim, ao utilizar retardos internos nos furos, esses fragmentos seriam retardados em sua saída, permitindo que as conexões dos furos fossem acionadas antes da detonação dos primeiros furos. Essa estratégia, conhecida como frente de queima, é uma medida de segurança que é abordada mais detalhadamente quando se fala das práticas do sequenciamento das detonações.

Já os **retardos externos** são acessórios do tipo retardo, utilizados para o sequenciamento fora dos furos, entre as interligações. Vale mencionar que os retardos são empregados exclusivamente com cordel detonante ou em sistemas não elétricos.

Importante destacar também que os retardos internos presentes nos detonadores, tanto elétricos quanto não elétricos, assim como os retardos externos, são retardos do tipo pirotécnico. Eles utilizam componentes pirotécnicos para compor o elemento de retardo contido nos detonadores. Por outro lado, os detonadores eletrônicos fazem uso de chips, razão pela qual são chamados de retardos eletrônicos. Uma diferença substancial entre os retardos pirotécnicos e os eletrônicos reside na precisão. Os retardos pirotécnicos podem apresentar uma margem de erro de até 10% devido às características de seus componentes e processo de fabricação. Em contraste, os retardos eletrônicos possuem uma margem de erro inferior a 0,01%.

O foco deste capítulo é compreender os retardos externos, mais conhecidos como retardos de superfície no contexto de desmontes de rocha a céu aberto. Estes são amplamente utilizados em detonações a céu aberto, ao contrário das detonações subterrâneas, que normalmente empregam os retardos internos presentes nos detonadores, sejam eles pirotécnicos ou eletrônicos.

Os retardos externos podem ser categorizados em dois grupos distintos:

1. **Retardos para cordel:** Utilizados para atrasar a detonação nos pontos de conexão de superfície onde o cordel detonante (geralmente NP05) é empregado.



2. **Retardos para tubo de choque:**

também conhecidos como retardos de conexão não elétricos, são empregados para atrasar a detonação nas ligações diretas com as espoletas não elétricas, também conhecidas como tubos de choque, que estão inseridos nos furos.



É importante destacar que os retardos externos podem ser combinados de três maneiras distintas:

1. **Cordel Detonante com Cordel Detonante:** Nesse cenário, o cordel detonante é usado tanto como iniciador de coluna nos furos quanto para as interconexões entre eles. Nesse caso, empregamos os retardos externos projetados para o cordel detonante.
2. **Detonadores Não Elétricos com Cordel Detonante:** Quando utilizamos detonadores não elétricos como iniciadores de coluna nos furos e ainda fazemos as interconexões com cordel detonante, aplicamos os retardos externos adequados para o cordel detonante. Esses retardos são posicionados nas interconexões entre os furos.
3. **Detonadores Não Elétricos com Retardos de Conexão Não Elétricos:** Na terceira combinação, empregamos detonadores não elétricos como iniciadores de coluna nos furos e conectamos os furos utilizando os retardos de conexão não elétricos. Esses retardos são uma alternativa às conexões de cordel detonante quando usamos detonadores não elétricos como iniciadores dos furos.

Manter esses três cenários em mente nos auxilia a compreender a diversidade de possibilidades e combinações entre os acessórios em diferentes cenários de detonação. Em resumo, os retardos externos para cordel detonante são empregados quando as conexões de furos são feitas com cordel detonante, independentemente de o iniciador dos furos ser o próprio cordel detonante ou detonadores não elétricos. Já os retardos externos de conexão não elétricos surgem como alternativa para as conexões de cordel detonante, especialmente quando detonadores não elétricos são utilizados como iniciadores dos furos.

7.7.2 Retardo para cordel

Os retardos para cordel detonante, conforme a denominação sugere, são empregados exclusivamente nas interligações que utilizam cordel detonante. Esses retardos podem ser classificados em dois tipos principais: os retardos rígidos, conhecidos popularmente como "ossinhos de cachorro" no Brasil, e os retardos de conector, ilustrados na foto. Esta imagem exemplifica um design padrão, embora os modelos possam variar entre diferentes fabricantes.

Retardo rígido (Ossinho de cachorro)



Retardo de conector



Geralmente, os retardos para cordel detonante são projetados para serem utilizados em conexões com cordel do tipo "NP 5". Alguns desses retardos também são compatíveis com o cordel "NP 10", porém, a realização das conexões pode exigir mais atenção devido ao maior diâmetro, menor flexibilidade e maior potência do cordel "NP 10".

É importante destacar que o fator determinante para a utilização desses retardos é a conexão com cordel detonante, sem interferência quanto ao tipo de iniciador dos furos, seja cordel detonante ou detonadores não elétricos.

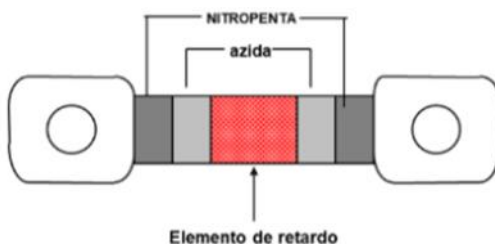
7.7.2.1 Retardo rígido

Os retardos rígidos para cordel detonante representam um modelo mais antigo que gradativamente está sendo substituído pelos retardos de conectores, os quais são mais contemporâneos. Os retardos rígidos possuem duas cargas internas separadas pelo elemento de retardo, todas envoltas por uma capa plástica que contém dois conectores nas extremidades, conforme evidenciado na imagem à direita.

Cada fabricante emprega um esquema de cores particular, relacionado aos diferentes tempos de retardo, a fim de facilitar a identificação e uso. A configuração pode variar levemente entre os formatos, mas as propriedades e o design em geral permanecem praticamente consistentes. É importante

www.blastingtreinamentos.com

ressaltar a importância de se atentar às mudanças de cores ao utilizar produtos de diferentes fabricantes.



A distribuição interna de cargas no retardo rígido é esquematizada de forma simplificada na ilustração à direita. O elemento de retardo situa-se no centro, entre cargas de azida de chumbo e pentrita nas extremidades. Isso confere ao retardo uma natureza bidirecional semelhante ao cordel detonante, permitindo que ele seja iniciado a partir de qualquer um dos lados.

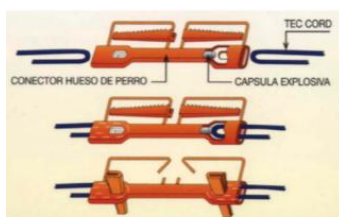
Na prática, suponhamos que o cordel detonante inicie a detonação pelo lado esquerdo. Isso acionará as cargas de pentrita e azida de chumbo à esquerda, que por sua vez incendiarão o elemento de retardo. Esse elemento queimará durante um tempo predefinido, como 25 ou 100 milissegundos, antes de ativar as cargas de azida de chumbo do lado direito. Essas cargas, por sua vez, darão início às cargas de pentrita, que então iniciam o cordel detonante, que prossegue com a detonação. Tal sequência se repete a cada acionamento de retardo.

Analogamente, o cenário inverso também é possível, onde o cordel inicia o retardo a partir do lado direito, incendiando primeiro as cargas de pentrita e azida de chumbo da direita, as quais dão início ao elemento de retardo. Após o tempo de queima, as cargas do lado esquerdo são iniciadas, dando continuidade à conexão com o cordel detonante.

A presença de cargas em ambas as extremidades possibilita a bidirecionalidade do retardo, permitindo que ele seja acionado a partir de qualquer um dos lados, em consonância com o comportamento do cordel detonante.

www.blastingtreinamentos.com

Na ilustração, apresenta-se um exemplo da forma como é efetuada a ligação entre o cordel detonante e o retardo rígido. O procedimento comum envolve o estiramento do cordel, permitindo que seja conectado aos diferentes furos da detonação. Conforme avançamos nesse processo, realizamos cortes no cordel nos pontos onde os retardos serão inseridos. Posteriormente, pegamos as seções cortadas do cordel e as conectamos às extremidades do retardo rígido, dobrando as pontas e inserindo-as nos conectores. Pequenos pinos, fornecidos junto com os retardos, são usados para fixar as pontas do cordel detonante, garantindo que ele permaneça bem seguro e em contato com as cargas do retardo.



Uma prática recomendada é dar um nó nas pontas do cordel. Isso evita que, sob tração durante a detonação, o cordel saia dos conectores. Além disso, é importante evitar deixar as pontas excessivamente longas, uma vez que poderiam oscilar e danificar ou cortar outras conexões durante o processo de detonação.

É crucial manter em mente que o cordel não deve estar sob tensão excessiva, ao mesmo tempo em que não deve estar solto a ponto de ser chicoteado durante a detonação, o que poderia resultar em impactos indesejados em outras conexões ou componentes. O equilíbrio entre esses fatores é fundamental para garantir uma detonação segura e eficaz.

7.7.2.2 Retardos de conector

No contexto dos retardos para cordel detonante, é essencial compreender um segundo tipo, conhecido como retardos de conector. Esses retardos foram desenvolvidos para aprimorar a usabilidade, especialmente em comparação com os modelos tradicionais de retardos rígidos, que nem sempre são tão convenientes para as conexões. Além disso, buscaram-se maiores níveis de

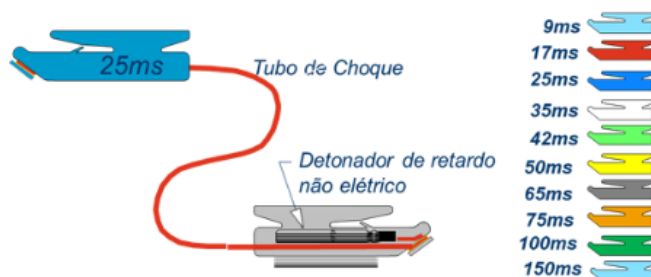
www.blastingtreinamentos.com

precisão nos tempos de retardo, visando reduzir as margens de erro inerentes aos retardos pirotécnicos.

Os retardos de conector também operam como um sistema

bidirecional. Eles incorporam dois detonadores não elétricos de retardo, encaixados em

conectores plásticos, e são interligados por um tubo de choque que atua como transmissor de sinal entre ambos os componentes. Isso é claramente ilustrado na figura, onde os dois conectores e o tubo de choque são destacados. No conector inferior, uma visão interna do detonador demonstra sua semelhança com os detonadores não elétricos utilizados para iniciar as cargas explosivas nos furos. Cada detonador é configurado com um elemento de retardo cujo tempo é predefinido.



A coloração dos conectores plásticos pode variar em conformidade com os tempos de retardo, e o design pode também diferir entre fabricantes. Contudo, os padrões gerais de funcionamento permanecem consistentes. Os retardos de conector operam de maneira semelhante aos retardos rígidos. Quando o cordel detonante é iniciado, ocorre a detonação instantânea de um dos detonadores, que então transmite o sinal pelo tubo de choque para o segundo detonador. Este último realiza a contagem do tempo de retardo por meio da queima do elemento de retardo pirotécnico específico que o compõe. Após o término desse período, o segundo detonador é acionado, dando continuidade ao processo de detonação do cordel detonante. Notavelmente, esse processo pode ocorrer de qualquer direção, seja da direita para a esquerda ou vice-versa, garantindo a funcionalidade bidirecional do cordel detonante.

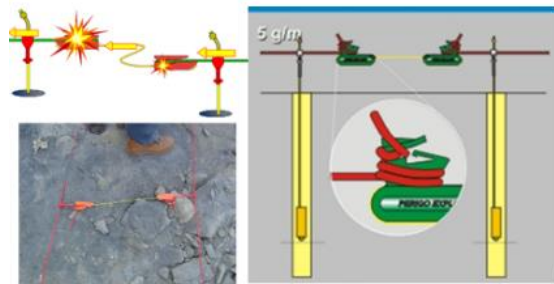
É ressaltado que esses retardos devem ser empregados exclusivamente em conjunto com o cordel detonante, o qual pode ser tanto o "NP 5" quanto o "NP 10", outras gramaturas não são adequadas para esse tipo de retardo.

Outras recomendações essenciais incluem:

www.blastingtreinamentos.com

- Assegurar o uso de ângulos retos ao conectar os retardos, uma vez que ângulos menores que 90 graus podem resultar em falhas no processo.
- É imperativo evitar a aplicação de tração nos retardos e jamais cortar o tubo de choque.
- Em caso de qualquer sinal de defeito ou deterioração, é fortemente desaconselhado utilizar os retardos.
- Por fim, é crucial evitar deixar pontas soltas nas conexões, devido ao risco de chicoteamento que pode danificar outras conexões ou os próprios retardos.

Na ilustração, observamos um retardo posicionado entre dois furos. Os retardos para cordel detonante são notavelmente simples de utilizar e verificar visualmente. Com experiência, é possível visualizar facilmente a sequência de detonação a partir do primeiro furo que será iniciado. Esses retardos são exclusivamente compatíveis com conexões de cordel detonante, podendo ser usados tanto quando o próprio cordel detonante é o iniciador quanto em conjunto com detonadores não elétricos.



Um equívoco comum é a ideia de que o tempo de retardo seria dobrado devido à presença de dois detonadores no conector de retardo. Entretanto, isso não procede. O sistema é projetado de tal maneira que o primeiro detonador é instantaneamente ativado ou destruído pelo cordel detonante, não contabilizando o tempo de retardo. O segundo detonador, aquele que recebe o sinal pelo tubo de choque, é que registra o tempo de retardo.

Em outras palavras, se o retardo for de 100 milissegundos, haverá dois detonadores de retardos de 100 milissegundos no conector. No entanto, um deles é eliminado ou ativado imediatamente pelo cordel detonante, enquanto apenas o segundo detonador conta o tempo. Independentemente do lado pelo qual o processo seja iniciado, um detonador é eliminado pelo cordel, e o segundo é o que funciona como retardo. Essa configuração foi projetada para

www.blastingtreinamentos.com

garantir a bidirecionalidade, ou seja, para que o retardo possa operar a partir de qualquer um de seus lados.

7.7.3 Retardo para tubo de choque

Os retardos de conexão não elétricos, também conhecidos como retardos para tubo de choque ou para detonadores não elétricos, são considerados retardos externos utilizados para estabelecer conexões entre furos quando detonadores não elétricos são empregados. Esses retardos oferecem uma alternativa ao uso de cordel detonante, apresentando duas vantagens proeminentes, além de uma desvantagem significativa em relação à utilização do cordel detonante para conexões.



A primeira vantagem reside na consideração do nível de ruído. Quando o ruído gerado se torna uma preocupação, os retardos de conexão não elétricos surgem como uma alternativa, notavelmente mais silenciosa. Isso leva a que muitas vezes sejam denominados de "sistema silencioso" ou "linha silenciosa" para conexões. A segunda vantagem tangencia a praticidade e eficiência das operações de conexão. Apesar de as conexões utilizando cordel detonante e retardos para cordel já serem processos simples e diretos, os retardos de conexão não elétricos elevam ainda mais a simplicidade. As conexões entre furos são efetuadas em um único passo, uma vez que esses retardos já vêm incorporados nos conectores, acompanhados de um tubo de choque que facilita a conexão com o próximo furo.

Porém, a desvantagem notável desse sistema é a sua unidirecionalidade. Em outras palavras, a detonação ocorre em apenas uma direção, seguindo a sequência das conexões. Se por acaso a sequência for equivocada ou ocorrer um corte, uma falha na detonação é inevitável. Todos os furos após o ponto de falha não serão detonados. Isso contrasta com o cordel detonante, cuja bidirecionalidade e a capacidade de estabelecer circuitos alternativos, como linhas de segurança, oferecem caminhos alternativos para a continuação da detonação e a completa detonação de todos os furos.

www.blastingtreinamentos.com

A escolha entre esses sistemas, geralmente, baseia-se no nível de ruído e no risco de falha durante a detonação. Quando o ruído é um problema, o sistema de conexão não elétrico surge como uma alternativa viável. No entanto, quando o ruído não é uma preocupação, esse sistema é usualmente utilizado em detonações de menor porte ou com baixo risco de falha, como é o caso de rochas menos densas, onde o risco de fragmentos causar cortes nas conexões é minimizado. Caso contrário, as conexões com cordel detonante são preferidas.

Os retardos de conexão não elétricos são compostos por conectores plásticos. No interior desses conectores, encontramos um detonador de retardo não elétrico, cujo tubo de choque possibilita a conexão direta com outro furo. Os conectores são coloridos de acordo com os tempos de retardo, e assim como outros retardos, podem apresentar designs diversos de acordo com o fabricante.

As principais características desses retardos incluem a utilização de plásticos resistentes nos conectores, um design de fácil manuseio e conexão, a capacidade de conectar de 5 a 8 tubos de choque, dependendo do modelo, um nível de segurança satisfatório, excelente resistência à água e, notavelmente, níveis de ruído consideravelmente menores em comparação com o cordel detonante.

Na imagem abaixo, é evidenciado que o retardo é constituído por um conector plástico amarelo. Contudo, a coloração do conector variará conforme o tempo de retardo e o fabricante. O interior do conector abriga um detonador não elétrico. Logo após, é possível identificar o tubo de choque do detonador e, na extremidade oposta, está o conector "J", destinado à conexão com cordel detonante, quando necessário. Além disso, a etiqueta de identificação está presente.



A imagem central ilustra como os tubos de choque são acomodados dentro do conector. Nesse cenário, o conector pode abrigar até 6 tubos de choque. Eles se dispõem em torno da cabeça interna do conector, que corresponde à região onde está localizada a cabeça do detonador não elétrico. A proximidade entre os tubos de choque e essa região é crucial para garantir que os tubos recebam a energia necessária para a sua ativação. Consequentemente, é imperativo que os tubos estejam devidamente inseridos e conectados, evitando a utilização de um número maior de tubos do que o recomendado. A disposição adequada garante que os tubos fiquem devidamente acomodados, sem espaço para conexões adicionais.

Na imagem à direita, mais detalhes do conector são revelados, acompanhados de uma ilustração que demonstra a disposição do detonador dentro do conector. Internamente, o detonador exibe o tubo de choque azul, que é guiado até a carga amarela, correspondente ao elemento de retardo. Esse elemento é responsável por determinar o tempo de retardo, baseado no tempo de queima. Além disso, a ilustração apresenta a carga explosiva, representada em preto, que corresponde à combinação de azida de chumbo e pentrita. Essa combinação dará início aos tubos de choque que estão conectados.

Resumidamente, os retardos de conexão não elétricos constituem detonadores não elétricos com uma cabeça plástica de conexão. Alguns fabricantes podem desenvolver versões desses retardos com cargas explosivas menores, suficientes apenas para a ativação dos tubos de choque.

www.blastingtreinamentos.com

Para realizar a conexão no conector, é suficiente segurar o próprio conector com uma das mãos e puxar o tubo de

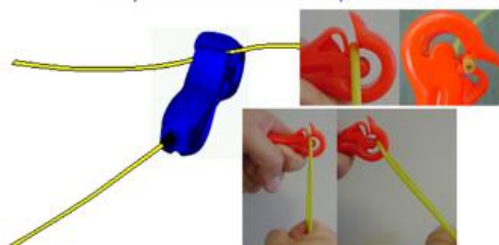


choque com a outra mão. Ao fazer isso, o tubo de choque irá forçar a abertura do conector e se encaixar de forma apropriada. Esse procedimento deve ser repetido para todos os tubos de choque que serão conectados ao conector, sempre atentando ao limite máximo estabelecido pelo fabricante.

A cabeça de conexão pode apresentar uma certa rigidez, o que visa garantir que os tubos de choque permaneçam firmemente inseridos após a conexão. É de suma importância conferir minuciosamente se todos os tubos de choque estão devidamente conectados e ajustados dentro do conector. É essencial lembrar que esses tubos precisam manter contato com a cabeça interna do conector, onde se encontra o detonador não elétrico.

Enfatizamos a importância de assegurar que os tubos de choque estejam completamente inseridos nos conectores, a fim de evitar falhas de iniciação devido a mau contato. É crucial estar especialmente atento a esses aspectos, pois podem surgir desafios, especialmente quando há somente um único tubo de choque ou quando o

•O tubo de choque tem que entrar completamente no conector para evitar falhas.



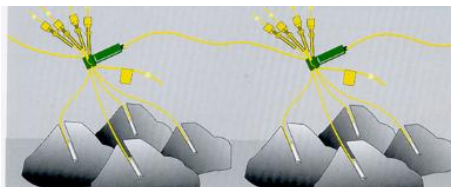
limite máximo de conexões está sendo alcançado. Realizar uma verificação rápida e minuciosa é fundamental para garantir que tudo esteja de acordo com os padrões, e esse processo consome apenas um segundo do tempo.

Da mesma forma, é essencial realizar uma inspeção geral das conexões, a fim de garantir que nenhum furo ou retardo tenha sido negligenciado na conexão. Para essa verificação, podemos percorrer a área, observando se há conectores ou tubos de choque soltos, que ainda não estão conectados. Alternativamente, podemos adotar uma abordagem mais detalhada, percorrendo o plano de fogo e conferindo não apenas as conexões, mas

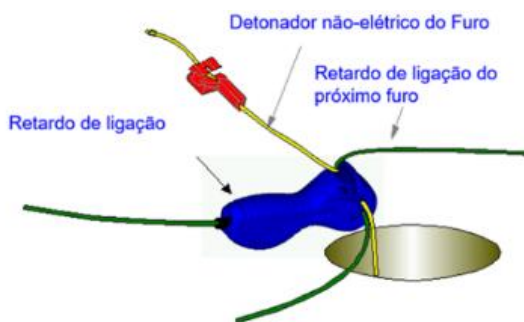
www.blastingtreinamentos.com

também a sequência e a ordem de conexão. Dessa maneira, asseguramos que tudo esteja em conformidade com os padrões e com o plano de detonação.

Na imagem, observamos o uso do sistema não elétrico, incluindo detonadores e retardos, para a detonação de blocos de rocha. Essa aplicação demonstra uma das vantagens dos retardos de conexão não elétricos, que é a flexibilidade para unir vários blocos em um único retardo. No entanto, é necessário ter cuidado para não exceder a capacidade máxima de conexão e para não deixar nenhum bloco sem conexão, especialmente porque em detonações desse tipo a organização pode não ser tão clara, com blocos em diversas posições.



A imagem ilustra um exemplo de conexão sequencial de furos. Aqui, o detalhe da conexão em um furo é destacado, indicando que o conector deve unir o tubo de choque do detonador do furo atual e o tubo de choque do próximo retardo. Após ser acionado, o retardo aguarda seu tempo de retardo designado, inicia o furo e, em seguida, aciona o próximo retardo. Esse processo proporciona o sequenciamento da detonação, realizado pelos retardos de conexão não elétricos.



Ao explorar futuramente o tópico dos detonadores não elétricos, abordaremos um derivado específico que engloba tanto o detonador quanto o conector de retardo em uma única peça. Essa abordagem se revela uma excelente alternativa para detonações mais padronizadas ou de menor escala, caracterizadas por uma sequência bem estabelecida. A utilização dos retardos de conexão não elétricos nesse cenário possibilita a realização de complementos ou ajustes no sequenciamento, permitindo que ambos os tipos de sistema trabalhem em conjunto na detonação.

www.blastingtreinamentos.com

Uma dúvida comum que costuma surgir é se a opção de utilizar o sistema conjunto, que inclui o detonador e o conector em uma única peça, seria mais econômica e vantajosa. No entanto, a distinção crucial reside na flexibilidade que os retardos de conexão não elétricos independentes oferecem. Essa flexibilidade possibilita uma gama mais ampla de opções de conexão e ajuste quando necessário. Portanto, é por essa razão que os retardos são empregados para realizar ajustes e complementos mesmo quando se opta pelo sistema conjunto. É relevante considerar que, independentemente do custo potencialmente mais baixo do sistema conjunto, em detonações de maior envergadura, complexas ou quando não há uma sequência pré-definida, o sistema de retardos proporciona uma flexibilidade ampliada, que é particularmente crucial em tais cenários.

Algumas recomendações importantes merecem destaque:

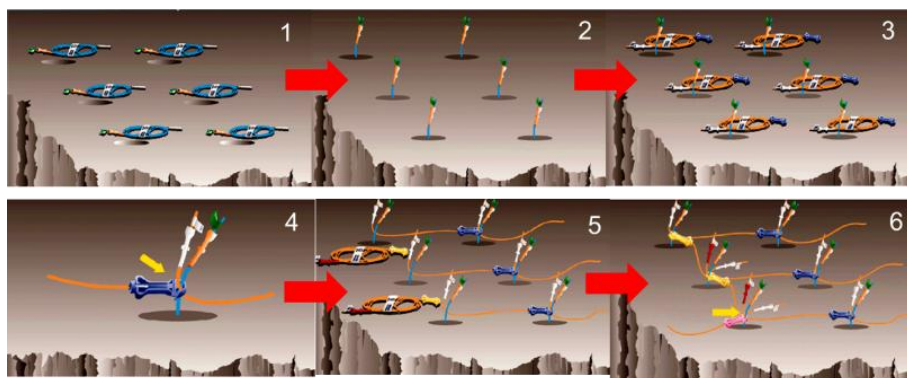
- O detonador iniciador deve sempre estar direcionado para o sentido da detonação e nunca para o sentido contrário. Esta medida é crucial para mitigar o risco real de falhas de detonação por possíveis cortes inadequados.
- É vital não cortar nem romper o tubo ou o conector em hipótese alguma, bem como não utilizar acessórios ou explosivos que demonstrem qualquer sinal de dano. Quando tais elementos apresentarem indícios de danos, é imperativo identificá-los e encaminhá-los para destruição imediata, seguindo as diretrizes e procedimentos estabelecidos pela empresa e os requisitos legais vigentes.
- Assim como ocorre com qualquer sistema de ligação, é fundamental evitar a tensão excessiva nos componentes. O excesso de tensão pode resultar em ruptura do tubo ou no estreitamento da sua abertura interna, comprometendo a eficácia da detonação.
- Outro ponto crucial é não dar mais de uma volta com o tubo de choque dentro do detonador. Em vez disso, é suficiente garantir um encaixe perfeito, uma vez que a sobreposição do tubo de choque pode levar a falhas na iniciação correta.
- A prática de cortar o tubo de choque deve ser rigorosamente evitada, pois isso pode ocasionar a perda de sua sensibilidade devido à umidade, além de permitir a entrada de contaminantes ou a perda da pequena carga explosiva presente em seu interior.

- A utilização de linhas de cordel detonante cruzando ou próximas ao tubo de choque também deve ser evitada, visto que isso poderia causar danos ao tubo ou desencadear iniciações prematuras.
- Nunca tente remover o conector para utilizar o detonador interno a fim de iniciar cargas explosivas. Além do alto risco de detonação prematura do detonador, a tentativa de abertura de um detonador lacrado é desaconselhada e, ainda, o detonador interno pode não ter a mesma carga explosiva de um detonador padrão, o que levaria a resultados inadequados ou mesmo ineficazes na iniciação da carga explosiva.
- Se recomenda que as conexões sejam feitas o mais próximo possível da boca dos furos de detonação. Essa prática visa otimizar a eficácia da detonação, garantindo que a onda de choque seja transmitida de forma eficiente ao longo dos furos.
- É importante manter uma distância mínima de 30 centímetros entre os conectores. Essa medida é crucial devido à possibilidade de lançamento de estilhaços metálicos durante a detonação. O lançamento desses fragmentos pode ocasionar danos a outras conexões ou aos próprios conectores, comprometendo a integridade da detonação como um todo.



Embora essas recomendações possam parecer elementares, sua importância não deve ser subestimada. Muitas vezes, devido a pressa ou falta de atenção, algumas pessoas inadvertidamente realizam ações contrárias a essas diretrizes no cotidiano, o que pode resultar em riscos substanciais. Portanto, a devida observância dessas orientações é crucial para assegurar um ambiente de trabalho seguro e eficiente.

Na figura abaixo temos um exemplo ilustrativo do procedimento passo a passo para realizar a conexão de uma detonação com o uso de conectores não elétricos:



1: Detonadores não elétricos são posicionados para servirem como detonadores de coluna ou de iniciação dos furos.

2: Detonadores não elétricos são posicionados para receberem as conexões. Nesse ponto, considera-se que o furo já foi totalmente carregado e tampado, estando pronto para as conexões. Sugere-se que as conexões sejam feitas próximo ao momento da detonação para minimizar os riscos associados.

3: Os retardos de conexão são distribuídos ao longo das linhas da detonação. Geralmente, recomenda-se dois métodos distintos de conexão: conectando os furos de cada linha e depois as conexões entre linhas, seguindo o plano de fogo a partir do ponto de início da detonação, ou iniciando pelo último furo do plano de fogo e voltando a conectar até o primeiro furo. A escolha entre essas alternativas depende das características operacionais e da configuração da detonação.

4: Mostra a conexão de um furo, onde os detonadores de cada furo são conectados aos retardos entre furos e aos tubos de choque dos retardos de conexão do próximo furo. Isso é repetido ao longo de todas as linhas, resultando em um sequenciamento adequado.

5: Os retardos entre furos já estão conectados, e agora é necessário conectar as linhas da detonação usando conectores de cor diferente e com um tempo de retardo diferente.

6: Conexões são feitas entre as linhas da detonação, conectando o primeiro furo da linha, o retardo do próximo furo da mesma linha e o retardo da próxima linha. Esse processo é repetido em todas as linhas até que a última

www.blastingtreinamentos.com

seja alcançada, onde apenas o furo e o retardo do próximo furo são conectados.

Para concluir, a detonação é conectada ao iniciador por meio de um retardo de conexão não elétrico. A detonação é iniciada pelo detonador de iniciação, que aciona o retardo de conexão inicial, iniciando a sequência de detonação, incluindo os retardos entre furos e entre linhas.

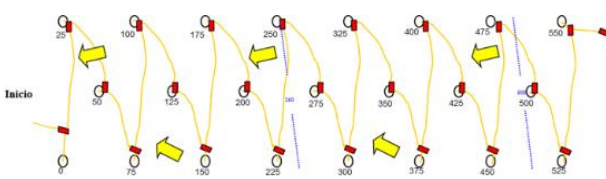
Existem variadas possibilidades de sequenciamento no uso de retardos para tubo de choque. Os exemplos incluem diferentes formas de conexões e como elas afetam o resultado final do sequenciamento da detonação.

Vale a pena mencionar um ponto relevante quando utilizamos os retardos de conexão não elétrico, pois com eles nem sempre é possível identificar a sequência apenas olhando para as conexões. Pequenas variações nos tempos ou nas conexões podem resultar em sequenciamentos bastante diferentes. Por isso, é essencial contar com experiência e analisar cuidadosamente o plano de fogo para compreender verdadeiramente como ocorrerá o sequenciamento da detonação.

Como comparação, temos os extremos: de um lado, os cordéis detonantes, onde o sequenciamento é frequentemente mais visível, pois muitas vezes seguimos visualmente o caminho do cordel detonante para entender a sequência da detonação. Por outro lado, temos os detonadores eletrônicos, nos quais só vemos os cabos, que podem seguir qualquer ordem e não indicam o sequenciamento. Portanto, a análise do plano de fogo é essencial para identificar a ordem correta nesses casos. Esses exemplos ressaltam a importância de compreender os diferentes métodos de conexão e a análise cuidadosa do sequenciamento em detonações com retardos não elétricos.

Um exemplo mais simples é o caso de uma detonação em trincheira, onde as conexões de retardos

de conexão não elétricos seguem exatamente a ordem de detonação. Assim,



www.blastingtreinamentos.com

é mais conveniente iniciar a conexão a partir do primeiro ou do último furo e seguir a sequência de detonação.

Este também é um caso onde o sistema conjunto poderia ser aplicado, em que o retardo de conexão já está acoplado ao detonador do furo. No entanto, é perfeitamente viável utilizar o retardo de conexão não elétrico independente sem problemas.

É essencial lembrar que esse sistema de conexão é unidirecional. Portanto, o sentido de conexão do conector deve seguir a ordem de detonação. Se começarmos a conexão pelo primeiro furo, conectaremos o retardo do próximo furo juntamente com o primeiro furo. Continuaremos assim ao longo de toda a detonação, garantindo que estamos conectando na sequência correta. Caso iniciemos pelo último furo, faremos o processo inverso: conectaremos o último furo e traremos o tubo de choque do retardo de conexão para o furo anterior. Conectaremos esse tubo de choque ao retardo do próximo furo e ao tubo de choque do furo, repetindo esse processo enquanto voltamos em direção ao primeiro furo. Sempre mantendo a direção de detonação, em vez de seguir a ordem das conexões.

Este cuidado é crucial, pois já testemunhamos situações em que pessoas pouco familiarizadas com o procedimento iniciaram a conexão pelo último furo em vez do primeiro. Isso resultou em um processo invertido e falha na detonação. Portanto, é fundamental que o conector seja posicionado de acordo com a sequência de detonação, não com a ordem das conexões.

Esse erro também é comum quando uma equipe está acostumada a fazer conexões com cordel detonante e passa a usar esse sistema de retardos de conexão não elétricos. Muitas vezes, o erro ocorre porque, com o cordel detonante, a ordem não é tão crucial, desde que os retardos sejam posicionados corretamente. No entanto, com os retardos de conexão não elétricos, a ordem é fundamental para o sucesso da detonação.

7.8 Detonador Não-Elétrico

Os detonadores não elétricos, também conhecidos como detonadores de tubo de choque, sistema de linha silenciosa ou pelo termo "NONEL". Essas várias denominações são frequentemente utilizadas devido à



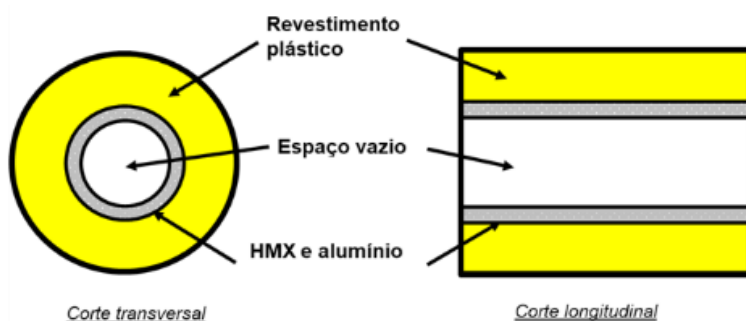
www.blastingtreinamentos.com

natureza abrangente do sistema não elétrico, no qual o tubo de choque é um componente específico e o detonador não elétrico se refere à parte final. Contudo, é comum empregar qualquer uma dessas denominações práticas para se referir a esse tipo de sistema.

O sistema não elétrico é constituído por um tubo plástico com a superfície interna impregnada por uma mistura explosiva. Essa mistura contém 92% de HMX (hexamina) e 8% de pó de alumínio. Frequentemente, referimos ao explosivo interno como sendo apenas HMX devido à sua predominância, embora o pó de alumínio seja adicionado por muitos fabricantes para intensificar a reação explosiva. A quantidade de explosivo HMX dentro do tubo é bastante pequena, aproximadamente 18mg/m de tubo. Quando essa substância explosiva é acionada, ela gera uma onda de choque que se propaga a uma velocidade de 2000 metros por segundo, viajando até o detonador na extremidade oposta e gerando energia suficiente para ativar o detonador.

Os detonadores não elétricos foram desenvolvidos pela Nitro Nobel no ano de 1973, com a intenção de substituir os detonadores elétricos. Apesar de serem mais seguros, não conseguiram uma substituição completa devido à incapacidade de testá-los da mesma forma que é possível com os detonadores elétricos. Nestes últimos, podemos verificar a integridade e a continuidade do circuito antes da detonação. No entanto, os detonadores não elétricos ganharam ampla aceitação e atualmente são os mais utilizados.

Uma característica marcante do tubo de choque é que, devido à baixa intensidade da onda de choque gerada, ele permanece intacto após a passagem da onda de choque, não gerando



ruído significativo. Na ilustração no canto direito, é possível observar a estrutura do tubo de choque: a camada externa de plástico, a mistura explosiva de HMX e alumínio na superfície interna, e o interior oco pelo qual a onda de choque se propaga após a ativação.

www.blastingtreinamentos.com

Os detonadores não elétricos podem variar em termos de tamanho do tubo de choque. Comumente, encontramos comprimentos que variam de 3 metros a 40 metros, dependendo do fabricante. A profundidade do furo é frequentemente usada como referência para determinar o comprimento adequado, sendo recomendável acrescentar pelo menos 1 metro à profundidade do furo para evitar que o tubo de choque fique excessivamente ajustado.

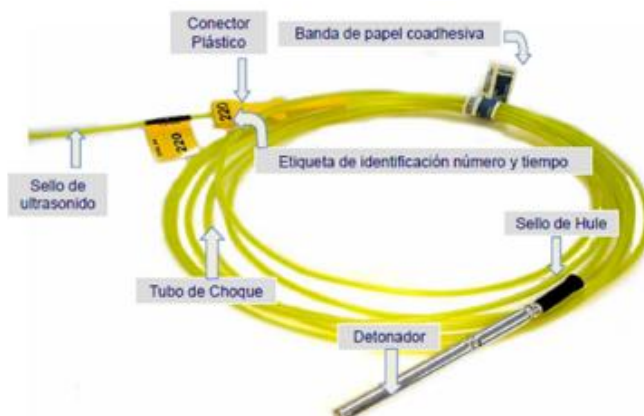
Na figura ao lado, a partir de uma das extremidades do detonador não elétrico, encontramos o próprio detonador, que pode ser instantâneo ou de retardo. Um selo de borracha é utilizado para evitar a entrada de umidade e contaminantes.

O tubo de choque parte do interior do detonador e segue o seu comprimento conforme as especificações.

Na outra extremidade, há um conector em

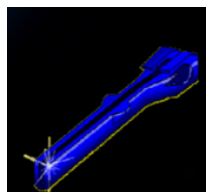
formato de "J", uma etiqueta de identificação com informações como tempo de retardo, comprimento, código de rastreamento e outros detalhes relevantes. Além disso, encontramos um selo ultrassônico na extremidade oposta, que também impede a entrada de contaminantes, umidade e preserva a carga interna do tubo.

Os comprimentos dos detonadores podem variar de acordo com o tempo de retardo ou as especificações do fabricante. O comprimento do tubo de choque pode ser diversificado, assim como o material e a coloração. O modelo e a coloração do conector em formato de "J" e das etiquetas também podem diferir de acordo com o fabricante.

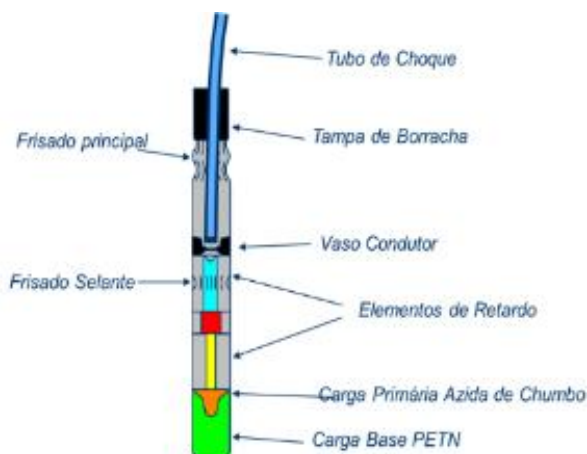


www.blastingtreinamentos.com

Como mencionado anteriormente, a função do conector em formato de "J" é exclusiva para situações em que há conexão com cordel detonante. Esse conector permite uma fixação segura do cordel, além de garantir um contato perpendicular entre o cordel e o tubo de choque, minimizando os riscos de falha no processo.

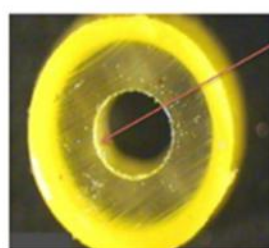


Na ilustração é possível observar os componentes internos do detonador. O tubo de choque penetra na cápsula metálica e é fixado por um frisado na própria cápsula. Um selo de borracha é utilizado para vedar a entrada da cápsula, protegendo-a contra umidade e contaminantes externos. O tubo de choque passa



por um guia interno que o centraliza e assegura um contato preciso com os elementos de retardo, que também são fixados por frisos para manter sua posição adequada. Dependendo do tempo de retardo e do fabricante, pode haver um ou dois elementos de retardo. Logo após os elementos de retardo, encontramos uma carga primária de azida de chumbo, que será acionada após a queima dos elementos de retardo. Por fim, temos a carga de pentrita, que é responsável pela potência do detonador.

www.blastingtreinamentos.com

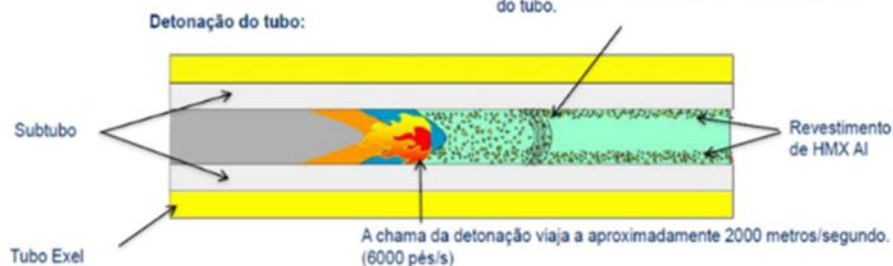


• Tubo oco que contém um revestimento fino de pó de HMX AI

O HMX AI (explosivo com alto ponto de fusão) contém uma mistura de:

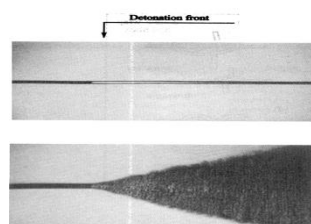
- Ciclotetrametilenotranitroamina
- Camada de alumínio

A onda de choque antecede a frente das chamas e desprende o revestimento de HMX AI da parede interna do tubo.



Acima, são apresentados detalhes sobre o tubo de choque. Também é ilustrada a propagação interna da detonação. Quando o detonador é acionado, uma onda de choque é gerada e se propaga à frente, criando o que pode ser comparado a uma nuvem de partículas de HMX. Essa nuvem é então acionada pela frente de queima da detonação, dando continuidade ao processo. Importante ressaltar que todo esse processo ocorre no interior do tubo de choque, que desempenha um papel fundamental como condutor do estímulo de iniciação para o detonador.

A foto à esquerda nos proporciona uma visão contrastante entre um cordel detonante e um tubo de choque. Na parte superior da imagem, observamos o resultado da detonação de um tubo de choque, em que somente a queima interna do tubo é visível, sem causar danos externos. Por outro lado, na parte inferior, é exibida a potência explosiva do cordel detonante, representando o maior risco potencial em sua detonação.



www.blastingtreinamentos.com

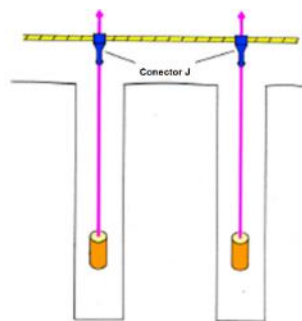
Na imagem, fica claro que o tubo de choque é bidirecional. Ou seja, se iniciado corretamente em qualquer ponto, a detonação seguirá nos dois sentidos do tubo de choque. No entanto, é importante esclarecer que a bidirecionalidade se aplica apenas ao tubo de choque, e não ao detonador ou ao sistema de conexão como um todo. O detonador está presente em apenas uma das extremidades do tubo de choque. Consequentemente, em um dos lados teremos somente a queima interna do tubo de choque, enquanto no outro lado teremos a iniciação do detonador.



Assim como as espoletas elétricas, os detonadores não elétricos também podem ser classificados como instantâneos ou de retardo. Para essa finalidade, eles contêm em suas cápsulas detonadoras um elemento de retardo pirotécnico.

O sistema não elétrico foi concebido para oferecer as mesmas opções de retardos internos presentes nos detonadores elétricos, porém sem os inconvenientes de segurança associados a esses últimos. Uma desvantagem prática que limitou a substituição completa dos detonadores elétricos por aqueles não elétricos é a impossibilidade de realizar testes nos circuitos internos. Como resultado, a verificação visual precisa ser minuciosa.

Um aspecto notável é que, uma vez que a reação ocorre confinada no interior do tubo, este não entra em estado de detonação, mas sim age como um condutor de energia. Este tubo, frequentemente fabricado em plástico de alta qualidade, apresenta um diâmetro externo de cerca de 3 mm. Geralmente, é transparente, embora possa apresentar variações de coloração conforme o fabricante. Esse tipo de tubo costuma satisfazer a maioria das necessidades, mas é possível encontrar versões reforçadas para ambientes mais hostis. A quantidade reduzida de HMX no interior do tubo garante que a reação de detonação permaneça contida, evitando que o tubo exploda e assegurando que ele funcione estritamente como um condutor de energia.



www.blastingtreinamentos.com

O tubo de choque, em geral, pode ser iniciado por meio de um detonador, cordel detonante ou até mesmo por um dispositivo acionador específico. Quando ativado, o tubo queima internamente, transportando o estímulo de iniciação até o detonador, que é responsável por dar início à carga explosiva. Devido a esse processo, o tubo de choque é parte integrante dos sistemas de iniciação pontual, diferenciando-se do cordel detonante, que detonaria ao longo de todo o seu comprimento.

A iniciação pontual oferece uma contribuição significativa para o desempenho da detonação, especialmente quando empregada no fundo do furo, pois possibilita um confinamento mais eficiente durante o processo de detonação. Além disso, uma das vantagens do sistema não elétrico é que, quando suas conexões são estabelecidas com retardos de conexão não elétricos em substituição ao cordel detonante, o ruído gerado pela detonação é praticamente restrito ao som do explosivo, o que justifica a denominação de "linha silenciosa" para esse sistema.

Contudo, uma das desvantagens em comparação com o cordel detonante como iniciador é que a iniciação pontual não assegura a continuidade da detonação em situações de separação de cargas ou danos ao detonador. Por outro lado, o cordel detonante permitiria a detonação ao longo de todo o seu comprimento, independente de eventuais interrupções.

A imagem ao lado ilustra um detonador não elétrico reforçado, projetado para situações operacionais desafiadoras. Esse tipo de detonador é empregado em condições em que existe um risco maior de danos ao cabo durante as etapas de preparação e detonação. Além disso, esses detonadores reforçados são empregados em cenários que envolvem furos profundos, nos quais há um maior perigo de queda de material durante o carregamento, danos ao tamponamento ou movimentação intensa da rocha devido à detonação de cargas explosivas consideráveis.



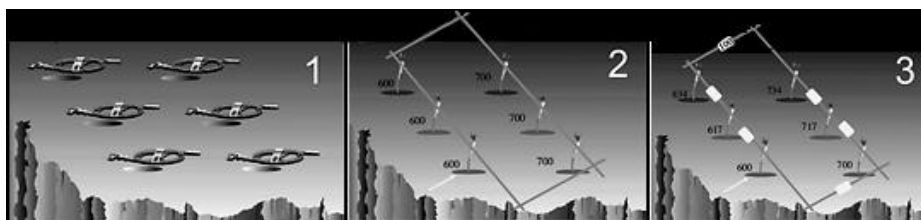
Embora, em muitos casos, apenas o tubo de choque seja reforçado, vários fabricantes disponibilizam detonadores que podem ser reforçados em situações específicas, seja por questões operacionais ou para atender a condições particulares. Isso pode envolver situações que incluem altas

www.blastingtreinamentos.com

pressões, presença de água corrosiva ou qualquer circunstância que possa causar danos aos detonadores.

O revestimento do tubo reforçado costuma ser realizado com plásticos mais resistentes ou por meio da aplicação de camadas adicionais de revestimento. Isso proporciona maior resistência à radiação solar, permitindo exposição prolongada, bem como proteção contra corrosão química causada por águas ácidas ou exposição prolongada a certos tipos de explosivos. Ademais, esse revestimento oferece maior tolerância a variações extremas de temperatura, o que é particularmente relevante em terrenos quentes ou em presença de rochas reativas.

Abaixo ilustramos a utilização dos detonadores não elétricos em conjunto com o cordel detonante:



1. Na primeira figura temos os detonadores não elétricos que serão empregados para realizar a iniciação da carga explosiva. O processo começa com a colocação da escorva do furo, seguida pelo carregamento do explosivo principal e, por fim, o tamponamento dos furos para prepará-los para a detonação.
2. Na figura 2 podemos observar que após carregar e tamponar os furos, e próximo ao momento da detonação, realizamos a conexão de todos os furos por meio do cordel detonante. Esse cordel é conectado nos conectores "J" dos tubos de choque. Geralmente, iniciamos conectando todos os furos de cada linha e, posteriormente, estabelecemos as conexões entre as diferentes linhas, fechando assim o circuito.
3. Finalmente, na figura 3 adicionamos os retardos para o cordel detonante, tanto entre os furos como entre as linhas. Com essa configuração, nossa detonação está pronta para ser acionada.

Essa abordagem permite a combinação de diferentes sistemas de detonação, aproveitando as características específicas dos detonadores não elétricos em

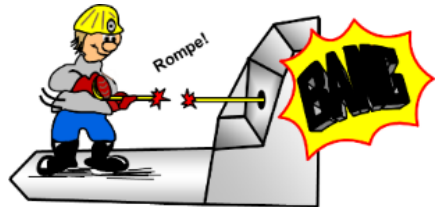
www.blastingtreinamentos.com

conjunto com o cordel detonante, para criar uma sequência de detonação eficaz e segura.

É importante destacarmos algumas recomendações básicas:

- Para conexões de detonadores não elétricos devemos utilizar cordel detonante “NP05” ou o sistema de conexão não elétrico;
- Os circuitos com cordel devem ser fechados, mantendo as conexões próximas as bocas do furo e respeitando as distancias entre nós, retardos e conexões de um palmo (20 cm);
- As conexões devem manter ângulos retos;
- É importante não cortar, tracionar ou danificar os tubos de choque.

É fundamental estar ciente de um risco associado aos tubos de choque, que consiste no perigo de esticá-los ou tracioná-los a um ponto em que possam se romper. Essa ação pode resultar em um fenômeno conhecido como "Slap, Snap and Shot", expressão em inglês que descreve o risco potencial de detonação quando o tubo é esticado até se romper. O interior do tubo contém o explosivo sensível HMX, que reage facilmente ao atrito e ao impacto, tornando-se suscetível a detonar acidentalmente.



Portanto, é de extrema importância nunca tracionar excessivamente o tubo de choque. É essencial tomar cuidado para evitar que fiquem presos em equipamentos ou veículos e manejar com extrema cautela os furos falhados. Conscientização e atenção minuciosa a essas precauções são essenciais para garantir a segurança durante as operações, minimizando o risco de acidentes relacionados aos tubos de choque.

As imagens apresentadas aqui são verdadeiramente impressionantes, capturando o brilho interno do tubo de choque assim que é acionado. Na foto da esquerda, podemos observar o momento de iniciação em uma frente de túnel, onde aparentemente quatro detonadores dão início aos diversos tubos de choque que



www.blastingtreinamentos.com

compõem a detonação. O resultado é um espetáculo luminoso, com todos os tubos de choque brilhando simultaneamente em um instante único. Já na foto da direita, temos um tubo de choque individual, utilizado como linha de iniciação, capturado no momento exato em que é acionado.

Essas imagens nos proporcionam uma visão única e fascinante do processo de detonação utilizando os tubos de choque. No entanto, é notável que essa experiência está gradualmente sendo substituída pelos avanços tecnológicos, como os detonadores eletrônicos, que oferecem vantagens significativas, embora não apresentem o brilho característico nas detonações. O uso de imagens como essas pode não apenas ilustrar o impacto visual das detonações, mas também servir como recurso educacional para entender as características e a eficácia dos sistemas de iniciação.

As imagens que temos a seguir oferecem exemplos visuais dos efeitos resultantes da detonação de um único detonador. Cada par de fotos apresenta uma comparação entre a situação antes e após a detonação, permitindo-nos observar claramente os efeitos causados pela detonação.



No primeiro exemplo, uma lata foi submetida à detonação de um detonador. Na imagem superior, vemos a lata intacta antes da detonação, enquanto na imagem inferior, observamos as perfurações ao longo de toda a lateral da lata. Essas perfurações foram causadas pelos estilhaços resultantes da detonação da cápsula do detonador.

No segundo exemplo, a detonação de um detonador resultou no completo despedaçamento de um frango. Novamente, a imagem superior exibe a situação prévia à detonação, com o frango intacto, enquanto na imagem

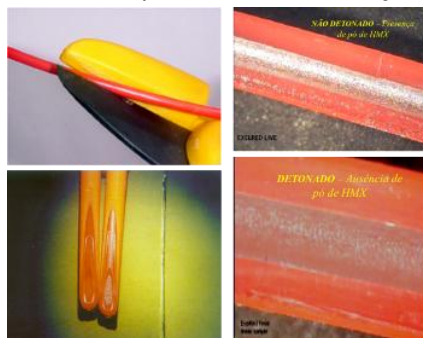
www.blastingtreinamentos.com

inferior, vemos o estado fragmentado em que o frango ficou após a detonação.

O terceiro exemplo mostra uma luva de borracha preenchida com massa, simulando a forma de uma mão. Na imagem superior, a luva representa a mão intacta, enquanto na imagem inferior, após a detonação, a luva foi partida e os "dedos" foram destruídos.

Essas imagens nos lembram de maneira contundente que, apesar de um único detonador possuir uma carga explosiva relativamente pequena e ser projetado para operar de maneira segura, ele ainda é um explosivo com potencial de causar danos significativos. Esses exemplos enfatizam a importância de manter procedimentos de segurança rigorosos ao trabalhar com explosivos, independentemente de seu tamanho ou configuração.

Diferentemente das espoletas elétricas, que possibilitam a verificação de seus circuitos, e dos detonadores eletrônicos, que permitem inúmeros testes, os detonadores não elétricos não oferecem a mesma capacidade de verificação. Isso significa que, além da verificação visual, não há métodos de teste diretos para garantir o funcionamento adequado desses detonadores. Portanto, quando há indícios de falhas ou quando ocorre uma detonação malsucedida, é necessário realizar uma inspeção minuciosa do tubo de choque.



Apesar de alguns tubos de choque serem transparentes, nem sempre é fácil discernir se foram acionados ou não. Isso ocorre porque as características das paredes internas antes e depois da detonação podem se assemelhar bastante. Além disso, a aparência das paredes pode variar dependendo do tipo de plástico utilizado; elas podem ficar cinzas, mais escuras ou permanecer limpas após a detonação. Como resultado, frequentemente é necessário cortar o tubo de choque para verificar se há ainda a presença de HMX em seu interior.

Para realizar essa verificação, muitas vezes é utilizado o mesmo tipo de cortador empregado para o cordel detonante. Um corte diagonal é feito no tubo de choque, expondo seu interior, o que permite avaliar se ainda há resíduos de HMX presentes. Algumas vezes, também é feito um leve balançar

www.blastingtreinamentos.com

do tubo para verificar se partículas de pó são liberadas e coletadas na luva de proteção.

É importante ressaltar que essa verificação deve ser realizada apenas por indivíduos devidamente treinados e autorizados, em situações de furos falhados ou quando há suspeitas de mau funcionamento. Não se deve, de forma alguma, realizar essa verificação como um teste rotineiro, tampouco usar tubos de choque cortados em detonações. Mais informações sobre procedimentos de segurança e resposta a incidentes serão abordadas em detalhes nas aulas dedicadas à segurança no manuseio de explosivos.

7.8.1 Derivados do detonador não elétrico

No âmbito dos derivados do detonador não elétrico, existem dois principais tipos:

1. **Detonador de Ligação:** Este tipo de detonador é utilizado em conjunto com os retardos de ligação. Consiste em um detonador de fundo que está conectado a um retardo de superfície. A função deste retardo de superfície é possibilitar a conexão direta com o furo subsequente. Em outras palavras, o detonador de ligação serve não apenas para iniciar o furo, mas também para estabelecer uma interconexão eficiente com o próximo furo já implementando a sequência de temporização desejada.
2. **Linha Silenciosa de Inicialização:** Este derivado é um detonador utilizado para iniciação remota. Ele é composto por um detonador com um tubo de choque de comprimento considerável. O tubo de choque pode vir pré-determinado com um comprimento específico, mas também pode ser cortado ou emendado conforme a necessidade. A linha silenciosa de inicialização é projetada para possibilitar a detonação a distância, substituindo, em certa medida, a função das espoletas elétricas para iniciação remota. No entanto, a natureza não reutilizável do tubo de choque e o custo associado limitaram sua adoção



www.blastingtreinamentos.com

completa como alternativa às espoletas elétricas. Ainda assim, essa abordagem é considerada mais segura para a iniciação a distância.

Além do detonador não elétrico padrão, que já discutimos anteriormente, esses derivados ampliam as opções disponíveis. O detonador de ligação possibilita uma iniciação eficiente e interconexão entre furos, enquanto a linha silenciosa de inicialização visa proporcionar um meio mais seguro para a detonação a distância, embora apresente algumas limitações em termos de custo e reutilização do tubo de choque.

7.8.2 Detonador não elétrico de ligação

Os detonadores não elétricos de conexão podem ser entendidos como uma fusão entre o detonador não elétrico e o retardo não elétrico, formando uma única peça. A identificação comum desses dispositivos é baseada nos tempos de retardo associados a cada um dos seus componentes.



Espoleta com retardo:
500 ms



Retardo de superfície:
17 ms



Retardo + Espoleta com retardo :
17/500

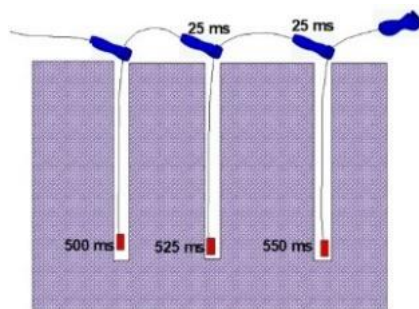
Por exemplo, considere o cenário acima, onde temos um detonador de fundo com um retardo de 500 milissegundos e um retardo de conexão de 17 milissegundos. Nesse caso, quando se trata de um detonador não elétrico de conexão com essa combinação específica, ele será designado como "detonador não elétrico de conexão de 17 por 500 milissegundos", ou seja, ele tem um retardo de conexão de 17 ms e o seu detonador de fundo 500 ms. Nessa designação, o primeiro número indica o tempo do retardo de conexão, enquanto o segundo número se refere ao tempo do detonador de fundo. Essa nomenclatura clara permite identificar prontamente os tempos de retardo associados a cada componente do detonador não elétrico de conexão.

www.blastingtreinamentos.com

Os detonadores não elétricos de conexão encontram sua maior utilidade em detonações com sequenciamento bem definido, que não exigem ajustes ou modificações no processo. Eles são especialmente empregados em detonações de menor escala ou em operações subterrâneas com um número reduzido de furos.

Em geral, o sistema de utilização é relativamente simples, mas requer uma atenção cuidadosa devido à sua natureza unidirecional. Qualquer falha ou corte ao longo do percurso pode interromper a sequência de detonação. Um aspecto crítico a ser considerado é que os detonadores não elétricos de conexão já vêm com o retardo predefinido, o que limita a flexibilidade do sequenciamento. Portanto, é necessário determinar antecipadamente qual retardo será atribuído a cada furo. Uma abordagem comum é utilizar um retardo fixo e conectar os detonadores sequencialmente, o que resulta em intervalos constantes entre os furos.

Normalmente, é feita uma análise da relação entre os tempos do detonador e o retardo para avaliar quantos furos podem ser acionados antes que o primeiro efetivamente detone, representando um risco potencial para os demais. Por exemplo, se considerarmos um detonador de fundo com um retardo de 500 milissegundos e um conector de retardo de 25 milissegundos, ao calcular a razão entre 500 e 25, constata-se que é possível acionar 20 detonadores antes que o primeiro efetivamente detone e possa comprometer os demais na sequência, ou seja, se detonarmos 20 ou menos furos, todos eles serão acionados antes da detonação do primeiro, mas se tivermos mais de 20 furos, corremos o risco que o primeiro detone e lance fragmentos encima dos outros antes que eles sejam acionados. Essa análise é fundamental para garantir uma detonação segura e eficaz.



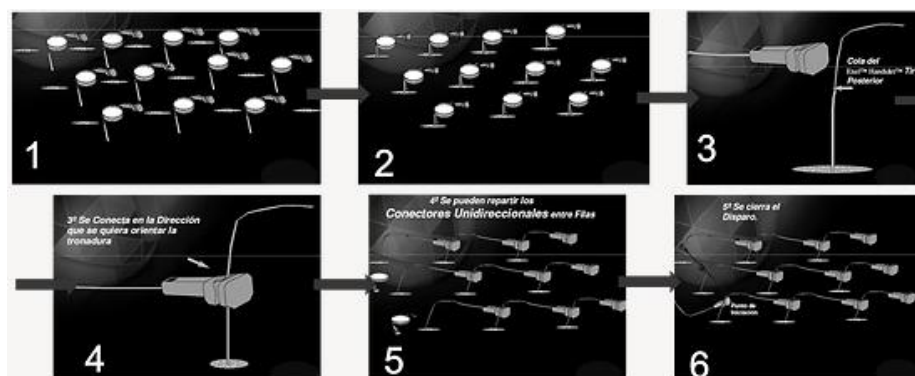
Um entendimento que precisa ficar claro é que nesse contexto o detonador de fundo ocupa a função de escorva no interior do furo, enquanto o conector de retardo estabelece a ligação direta com o furo subsequente na sequência.

www.blastingtreinamentos.com

Em comparação com o sistema de retardos de conexão não elétricos independentes, esse formato de sistema conjunto apresenta duas notáveis desvantagens:

1. Primeiramente, a questão da segurança é um ponto crítico a ser considerado. Nos sistemas de conexão conjunta, os retardos ficam expostos durante todo o processo de carregamento dos furos, em contraste com o sistema independente, no qual os retardos podem ser inseridos apenas momentos antes da detonação. Essa característica representa um aspecto relevante para a segurança dos operadores e para a integridade do processo de detonação. Por isso esse sistema é mais recomendado para pequenas detonações que serão preparadas e acionadas em um mesmo momento, ou em detonações de subsolo de tuneis ou ascendentes, evitando que o conector fique no solo e exposto durante a atividade.
2. Além disso, a flexibilidade é um fator a ser levado em consideração. Nos sistemas de ligação conjunta, as escolhas dos detonadores e seus retardos são determinadas antecipadamente, limitando a possibilidade de ajustes ou modificações. Em contrapartida, nos sistemas independentes de retardos, há a capacidade de realizar alterações a qualquer momento antes da detonação. Essa flexibilidade se mostra vantajosa especialmente em situações em que podem ocorrer mudanças inesperadas nas condições do terreno ou nos requisitos da detonação. Portanto, a escolha entre os sistemas depende das necessidades específicas de cada operação, ponderando-se os aspectos de segurança, flexibilidade e eficiência do sequenciamento.

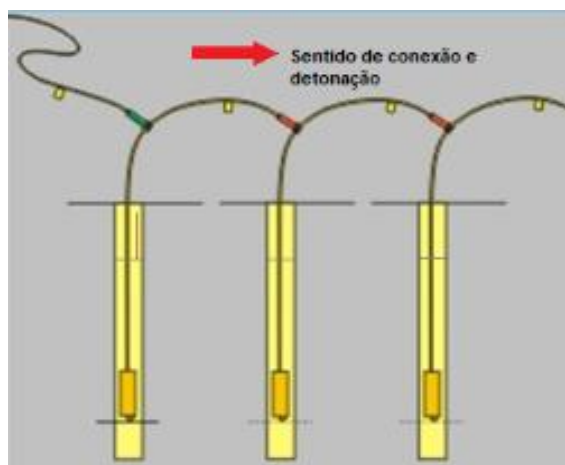
Aqui temos um exemplo concreto de como realizar a sequência de utilização dos detonadores não elétricos de conexão. A figura 1 ilustra os detonadores previamente distribuídos ao longo dos furos, enquanto a figura 2 representa o cenário em que os furos foram devidamente carregados e tamponados, restando somente os conectores de retardo posicionados para a realização das ligações.



Nas figuras 3 e 4, a conexão é efetuada seguindo a mesma abordagem empregada nos retardos de conexão não elétricos. No entanto, em vez de conectar separadamente o detonador do furo e o retardo subsequente, é realizada uma única conexão. Tal ação se deve à configuração dos detonadores não elétricos de conexão, nos quais o detonador de fundo e o conector de retardo já estão integrados. Assim, quando o conector é acionado, ocorre a detonação do furo em questão e a ativação do retardo que se conecta ao próximo furo na sequência.

A figura 5 retrata todas as linhas de furos interligadas e, na figura 6, é evidenciada a distribuição dos retardos de conexão não elétricos, os quais são empregados para conectar as diferentes linhas entre si.

Vale ressaltar que, em cenários nos quais se deseja efetuar uma detonação com uma única linha ou quando se trata de uma ligação sequencial, apenas um retardo de conexão seria necessário para acionar o primeiro furo, uma vez que os demais furos já estão interconectados. No entanto, no exemplo em questão, é necessário empregar os retardos de



www.blastingtreinamentos.com

conexão não elétricos para finalizar as conexões entre as linhas.

Portanto, é importante reconhecer que esse sistema de detonadores não elétricos de conexão é mais apropriado para situações que envolvam furos sequenciais ou detonações de menor escala. Em detonações mais complexas, esse sistema pode requerer o suporte dos retardos de conexão não elétricos para garantir a eficácia e a segurança das conexões.

7.8.3 Linha silenciosa de inicialização

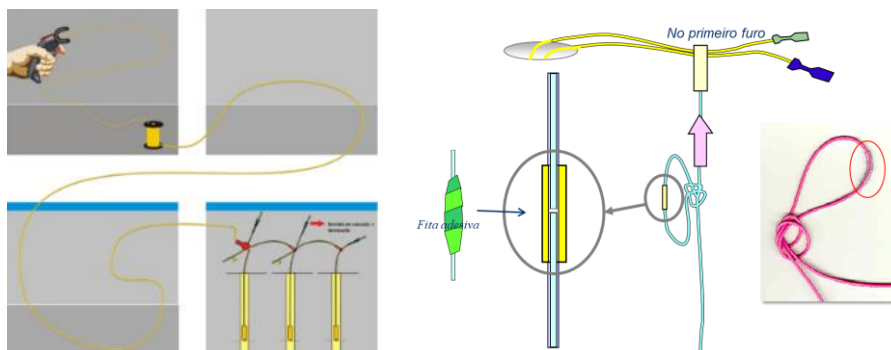
A "Linha Silenciosa de Inicialização" constitui o segundo derivado do detonador não elétrico. Esse acessório consiste do uso de um tubo de choque de grande extensão, o qual pode ou não conter um detonador em sua extremidade. Geralmente, essa linha silenciosa é capaz de iniciar tanto outros detonadores não elétricos quanto cordéis detonantes. Sua criação teve o propósito de substituir métodos de iniciação presenciais com Mantopim, bem como iniciações a distância por meio de detonadores elétricos.



linha

Apesar de seu potencial de segurança mais elevado, os detonadores não elétricos de linha silenciosa de iniciação não ganharam tanta aderência devido ao custo mais alto. Isso se deve ao fato de que os longos tubos de choque não são reutilizáveis, ao contrário dos cabos elétricos, tornando-os significativamente mais onerosos que os tradicionais Mantopim. Por consequência, embora ainda sejam utilizados em pequena escala nos dias de hoje, esses detonadores estão quase que completamente suplantados pelos sistemas eletrônicos, que têm ganhado predominância na indústria.

Abaixo, do lado esquerdo temos um exemplo ilustrativo tirado do catálogo de produtos da empresa Orica, onde podemos ver o esquema de utilização de uma linha silenciosa para acionar uma detonação com o sistema não elétrico, onde vemos que a linha silenciosa será acionada em uma das suas extremidades e conduzirá o sinal de acionamento para dar início a detonação.



Do lado direito, vemos um exemplo de como se faz a união entre uma linha silenciosa e um detonador não elétrico de conexão. Nesse caso, recorre-se a um encaixe de plástico que une a linha silenciosa de iniciação com um retardo de conexão não elétrico. A conexão deve ser revestida com o uso de fita isolante. O princípio de funcionamento envolve que o tubo de choque da linha de iniciação deve acionar o retardo de conexão, que, por sua vez, dá início à detonação de forma eficaz. Essa abordagem é uma alternativa viável quando o detonador não é diretamente acoplado à linha silenciosa de iniciação.



Na ativação das linhas silenciosas de iniciação ou qualquer tubo de choque, são empregados equipamentos de acionamento. Esses dispositivos vêm em diferentes modelos, como os elétricos, os que utilizam cápsulas de acionamento ou os que geram faíscas. A orientação principal é seguir sempre as instruções fornecidas pelos fabricantes. Em geral, esses fabricantes disponibilizam modelos específicos de equipamentos de acionamento adequados para diversas aplicações. O uso correto desses equipamentos é fundamental para garantir a segurança e a eficácia do processo de iniciação.

7.8.4 Sistema remoto de iniciação

Uma alternativa a linha silenciosa e uma evolução do sistema não elétrico são os sistemas remotos de acionamento via rádio. Esses sistemas visam proporcionar a iniciação a distância sem a necessidade do custoso uso de linhas silenciosas de iniciação.

www.blastingtreinamentos.com

Os equipamentos de acionamento remoto funcionam de maneira similar aos dispositivos utilizados em sistemas eletrônicos. Um equipamento de acionamento próximo à detonação é conectado ao detonador de iniciação e é ativado por um equipamento remoto, conhecido como controlador. O controlador envia um sinal via ondas de rádio para acionar o equipamento próximo à detonação.



Esses sistemas são uma alternativa viável para operações que fazem uso exclusivo de detonadores não elétricos. Embora o investimento inicial seja maior, a economia proporcionada pela eliminação do uso das linhas silenciosas de iniciação ao longo das detonações pode ser compensadora. Modelos adequados tanto para detonações a céu aberto quanto para detonações subterrâneas estão disponíveis. Recomenda-se realizar testes de comunicação de sinal e seguir as orientações dos fabricantes.

Apesar das vantagens, esses sistemas remotos não são amplamente adotados devido a diversos motivos, com destaque para os custos envolvidos e a baixa disponibilidade de opções e assistência técnica. Além disso, a utilização do cordel detonante para interligações substitui, em alguns casos, os retardos de conexão não elétricos. A migração direta para detonadores eletrônicos também foi uma escolha para muitas operações, uma vez que esses sistemas remotos foram desenvolvidos quase simultaneamente aos detonadores eletrônicos.

7.9 Detonador Eletrônico

O detonador eletrônico, desenvolvido ao longo das últimas décadas por diversos fabricantes, se destaca como o acessório mais contemporâneo e progressista em uso, passando por atualizações constantes e incorporando as mais recentes tecnologias de detonação remota e sem fio.

www.blastingtreinamentos.com

A peculiaridade dos detonadores eletrônicos reside na sua arquitetura, que se assemelha aos detonadores convencionais em sua forma externa. No entanto, a diferença reside na substituição dos elementos de retardos pirotécnicos por um circuito eletrônico e um microchip, conferindo um grau de controle muito mais refinado sobre os acionamentos e os intervalos de tempo entre eles.



O processo de acionamento dos detonadores eletrônicos é governado por um circuito eletrônico de temporização, instalado discretamente dentro da cápsula do detonador. Quando esse circuito recebe um impulso elétrico codificado, uma característica de suma importância, ele executa o processamento da informação e canaliza a energia em direção a um capacitor. Esse capacitor, por sua vez, aguarda o comando do circuito para liberar a energia acumulada em direção à ponte de acionamento.

Um dos aspectos mais marcantes desses detonadores é a ênfase na segurança durante o seu uso. A precisão proporcionada pelo controle eletrônico dos acionamentos e dos intervalos de tempo resulta em vantagens inegáveis, mesmo que o custo seja mais elevado em comparação com os sistemas tradicionais. Essas vantagens incluem a redução de riscos associados a erros humanos e uma considerável melhoria na precisão das detonações.

A utilização de detonadores eletrônicos está vinculada ao uso de equipamentos específicos para sua programação e detonação. Esses equipamentos são adaptados ao modelo exato do detonador



eletrônico. Os fabricantes normalmente oferecem diversos modelos, cada um com seu próprio conjunto de equipamentos específicos. No entanto, esses equipamentos são conhecidos por sua interface amigável e versatilidade, o

www.blastingtreinamentos.com

que facilita consideravelmente as operações diárias, mesmo em contextos complexos.

Para conectar os detonadores eletrônicos, são utilizados cabos especialmente designados, semelhantes às espoletas elétricas. Esses cabos geralmente são fornecidos com os detonadores ou podem ser adquiridos separadamente, dependendo do fabricante.

Comparativamente aos sistemas tradicionais, os detonadores eletrônicos têm um custo mais elevado. No entanto, os benefícios têm justificado sua adoção. O aumento do consumo ao longo dos anos contribuiu para a redução gradual desses custos. Em projetos de grande escala, como obras civis ou mineração, o custo adicional dos detonadores eletrônicos é facilmente absorvido. Com diâmetros de perfuração substanciais e grandes volumes de explosivos, o impacto dos acessórios no custo por unidade de rocha fragmentada também diminui consideravelmente.

Além disso, em operações complexas que requerem altos padrões de segurança, os detonadores eletrônicos frequentemente se tornam a única alternativa viável.

Detonadores eletrônicos têm gradualmente ganhado destaque nos últimos anos como uma alternativa para otimizar o desempenho geral das detonações. Empresas que buscam alcançar níveis elevados de produção e manter padrões rigorosos de qualidade e segurança têm encontrado nos detonadores eletrônicos uma opção viável. Essa tendência também se aplica a operações situadas em ambientes urbanos, onde a minimização dos impactos ambientais é crucial.



Como mencionado previamente, o desempenho das detonações tem repercussões diretas em todo o processo, desde o carregamento e transporte do material até seu processamento. Além disso, impacta a saúde, segurança e o meio ambiente. Esse efeito é ainda mais pronunciado em áreas urbanas, onde a atenção às precauções deve ser redobrada. Nesse sentido, é fundamental manter um rigoroso controle de qualidade durante todo o processo de detonação.

www.blastingtreinamentos.com

Para atender a essa demanda por qualidade, produção e segurança, o sistema eletrônico tem se mostrado a escolha mais indicada. Sua precisão e níveis avançados de segurança tornaram-se aliados essenciais para operações que buscam resultados consistentes e precisos. Esse sistema é especialmente adequado para operações complexas ou sensíveis, independentemente de serem realizadas a céu aberto ou no subsolo, e que exigem altos níveis de desempenho.

Em suma, a crescente adoção de detonadores eletrônicos reflete seu papel crucial em melhorar as operações de detonação. Eles oferecem uma solução confiável para empresas que buscam manter altos padrões de produção, qualidade e segurança, além de atender às demandas de ambientes urbanos sensíveis. Com a capacidade de aprimorar o desempenho e garantir resultados consistentes, os detonadores eletrônicos têm se estabelecido como uma escolha valiosa em operações onde a precisão e a eficácia são primordiais.

Atualmente, uma variedade de detonadores eletrônicos está disponível, embora a maioria apresente níveis similares de qualidade, segurança e precisão. As pequenas diferenças entre eles tendem a ter um impacto mínimo no processo de detonação. Assim, a escolha do detonador costuma estar vinculada ao que nosso fornecedor padrão oferece, bem como ao suporte que eles disponibilizam. Diferentemente de outros acessórios, a operação de detonadores eletrônicos requer treinamento específico e apoio para manutenção e atualização dos equipamentos.

Embora possa parecer uma parte rotineira, um treinamento adequado e atualizações constantes são vitais para garantir um desempenho eficaz ao utilizar detonadores eletrônicos. A qualidade dos equipamentos e a execução precisa de manutenções e atualizações são cruciais para assegurar que eles estejam prontos quando necessários. É verdadeiramente frustrante quando o sistema apresenta erros desconhecidos pela equipe ou quando um equipamento falha sem uma substituição imediata disponível. Portanto, a escolha do fornecedor adequado é essencial, mesmo que sua concepção não seja a mais moderna, pois isso pode evitar problemas futuros.

Indiscutivelmente, os detonadores eletrônicos oferecem diversas oportunidades para melhorias de produtividade, níveis elevados de segurança, flexibilidade de design e outros benefícios, dependendo de cada operação. No entanto, nas mãos de indivíduos não treinados, eles podem

www.blastingtreinamentos.com

gerar frustração e atrasos. O treinamento e a capacitação da equipe são de extrema importância para aproveitar plenamente os benefícios potenciais dos detonadores.

Como é o caso com qualquer nova tecnologia, os sistemas eletrônicos são mais sensíveis aos detalhes em comparação com outros acessórios. Isso pode ser uma vantagem significativa para evitar problemas, mas também pode se tornar um obstáculo para aqueles que não têm familiaridade com o sistema.

A chave fundamental para um desempenho bem-sucedido dos detonadores eletrônicos repousa nas mãos dos usuários do sistema. Desde aqueles que projetam o plano de fogo e devem explorar os recursos do sistema, até aqueles que executam a aplicação final do produto e necessitam de treinamento não apenas em programação, mas também para realizar os ajustes e correções necessários.

7.9.1 Conjunto de equipamentos

Para empregar detonadores eletrônicos, é necessário dispor de um conjunto específico de equipamentos, variando de acordo com o fabricante e o modelo dos detonadores em uso. De maneira geral, o sistema pode englobar até seis elementos distintos:

- Detonador
- Cabos de interligação
- Dispositivo de programação
- Equipamento de teste de integridade e circuito
- Controlador
- Chave de segurança



O detonador propriamente dito é essencial, juntamente com os cabos que servirão para conectar todos os detonadores aos equipamentos. Um dispositivo de programação também faz parte do sistema, permitindo a configuração precisa dos detonadores. Adicionalmente, um equipamento separado para testes específicos pode ser empregado para assegurar a integridade dos cabos de ligação e do circuito. O controlador, por sua vez, é responsável pelo acionamento final dos detonadores, enquanto a maioria dos

www.blastingtreinamentos.com

sistemas inclui uma chave de segurança, garantindo que a iniciação ocorra somente sob controle autorizado.

Além desses componentes, alguns sistemas podem incorporar um software dedicado para a concepção de projetos de detonação. Esses softwares frequentemente possibilitam a criação de desenhos, simulações, análises e relatórios, e alguns até permitem ajustes no sequenciamento sem a necessidade de reprogramar cada detonador individualmente.

Vale destacar que nem todos os sistemas de detonadores eletrônicos contam com todos esses elementos. Em alguns casos, pode haver otimização e a fusão de dois equipamentos em um único dispositivo. Além disso, existem sistemas que não incluem softwares próprio e, nos desenvolvimentos mais recentes, tem-se explorado a eliminação dos cabos por meio da aplicação de tecnologia wireless.

7.9.1.1 Detonador

Os detonadores eletrônicos desempenham um papel fundamental como elementos centrais do sistema, embora sua operação esteja intrinsecamente conectada a outros equipamentos. Dessa forma, cada um dos itens de nossa lista possui um papel crucial e não pode ser considerado dispensável. Apesar da variedade de fabricantes e modelos de detonadores disponíveis, muitos compartilham características semelhantes, abrangendo desde funções básicas até formatos:

- Metragens de cabo variáveis e conectores de fácil clipagem são comuns em detonadores.
- Etiquetas que fornecem informações relevantes para cada detonador.

www.blastingtreinamentos.com

- Identificação única (ID) atribuída a cada detonador simplifica o rastreamento e contribui para a redução da diversidade de acessórios em estoque.
- A interconexão dos detonadores é realizada através de cabos específicos.
- Algumas fabricantes oferecem opções de cabos normais, reforçados e extra reforçados.
- Muitos detonadores possibilitam comunicação bidirecional, enviando informações sobre integridade e verificações.
- Alguns detonadores permitem programação precisa em intervalos de 0,1 ms a 30.000 ms, com precisão superior a 0,1%.
- A diminuição do tempo de programação acelera a liberação da área após a detonação.
- As cápsulas dos detonadores são reforçadas para resistir a maiores pressões, reduzindo a possibilidade de falhas devido a pressões dinâmicas no furo.
- A maioria dos detonadores possui elementos de segurança que dissipam correntes anômalas.
- Autodiagnósticos do circuito e respostas rápidas aos equipamentos permitem avaliações constantes dos circuitos.
- Flexibilidade excepcional na programação e reprogramação individual dos detonadores.
- Controle preciso da energia armazenada na detonação, liberada somente por meio de comando codificado no tempo designado.
- Resposta exclusiva aos equipamentos do mesmo modelo.

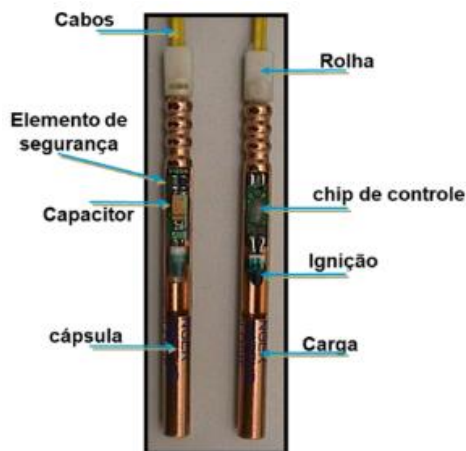


Os detonadores eletrônicos podem apresentar comprimentos variáveis de cabo, alguns dos quais podem ser personalizados sob demanda. Além disso, certos fabricantes oferecem até três opções de cabeamento, incluindo cabo normal, reforçado e extra reforçado, para se adequar às características operacionais.

Equipados com conectores de fácil clipagem, os detonadores também contam com etiquetas de identificação que fornecem informações gerais e códigos únicos para cada detonador, simplificando seu rastreamento e garantindo que

www.blastingtreinamentos.com

um detonador não receba múltiplas programações. Apesar do avanço em tecnologias wireless, a maioria dos detonadores é conectada por cabos específicos, que desempenham um papel crucial na comunicação e transmissão de energia. A qualidade e resistência desses cabos são fundamentais para a eficiência do sistema, visto que já ocorreram casos de cabos frágeis prejudicarem a comunicação.



Uma vantagem do detonador eletrônico é a simplificação do controle de inventário, uma vez que ele é padronizado, ao contrário dos demais detonadores, que exigem gestão de diferentes tempos. A maioria dos detonadores eletrônicos oferece comunicação bidirecional, transmitindo informações sobre sua integridade e realizando checagens.

Atualmente, há disponibilidade de detonadores com altíssima precisão, capazes de operar em frações de milissegundos e variando de 0,1 milissegundos a 30.000 milissegundos, com uma precisão superior a 0,1%.

Outro avanço significativo é a redução do tempo necessário para programar o sistema para a detonação. Enquanto sistemas antigos levavam de 5 a 20 minutos, hoje temos sistemas que operam em questão de segundos a poucos minutos, dependendo do número de detonadores conectados, agilizando a detonação e a liberação das áreas isoladas. As cápsulas dos detonadores estão cada vez mais resistentes e algumas vêm inclusive com preenchimento interno dos espaços vazios, o que confere maior resistência a pressões externas. A maioria dos detonadores também possui vários elementos de segurança em seu circuito, que realizam a dissipação de correntes estranhas, autodiagnósticos e enviam respostas rápidas aos equipamentos, permitindo avaliações constantes da integridade do circuito. Além disso, apresentam excelente controle da energia armazenada para a detonação, liberando-a somente através de comandos codificados. Os detonadores respondem exclusivamente aos equipamentos do mesmo modelo, mesmo que sejam do mesmo fabricante, pois modelos diferentes correspondem a equipamentos

www.blastingtreinamentos.com

específicos. A flexibilidade é um ponto forte dos detonadores eletrônicos, permitindo a programação de diversas formas, bem como reprogramações, inclusões e alterações rápidas nos tempos. Muitos deles possibilitam essas alterações nos equipamentos, sem a necessidade de retornar a cada furo individualmente, ou através do software, permitindo análises e simulações das alterações propostas.

7.9.1.2 Programador

O sistema eletrônico requer um equipamento programador, responsável por realizar a programação dos detonadores. Este procedimento envolve a atribuição de tempos de retardo, bem como o armazenamento das informações de identificação e integridade dos detonadores.

Em alguns modelos de sistemas, podem existir equipamentos específicos destinados a testes rápidos de integridade da rede e de comunicação. Entretanto, na maioria dos sistemas, essas funcionalidades já estão incorporadas no próprio equipamento de programação. Assim, durante a programação dos detonadores, é possível conduzir uma série de testes que fornecem informações cruciais sobre o estado e a qualidade da comunicação. Esta abordagem é fundamental para antecipar problemas potenciais ou corrigi-los imediatamente.



A maioria dos programadores atualmente oferece alta flexibilidade, permitindo diversas formas de programação dos detonadores. Isso abrange desde a programação manual e individual de cada detonador até a programação automática, que agiliza significativamente o processo. Adicionalmente, muitos programadores oferecem testes automáticos que avaliam níveis de fuga de corrente e problemas no circuito. Estes dispositivos, frequentemente do tamanho de um telefone celular, são intuitivos, fornecendo orientações na tela e, em alguns casos, até sinais sonoros para facilitar a operação.

As funções principais de um programador incluem:

www.blastingtreinamentos.com

- Identificação dos detonadores, teste de integridade e armazenamento de informações;
- Atribuição dos tempos de retardo e sequência;
- Armazenamento das informações relacionadas aos detonadores;
- Teste do circuito e da comunicação com os detonadores.

Os programadores têm a capacidade de identificar, testar e armazenar as informações dos detonadores. Eles também são responsáveis por atribuir os tempos de retardo a cada detonador, mantendo esses dados armazenados. Além disso, os programadores conduzem testes para verificar a integridade do circuito e os níveis de comunicação no sistema. Posteriormente, fornecem todas essas informações ao controlador.

Na maioria dos sistemas, os programadores não enviam informações diretamente aos detonadores. Em vez disso, eles realizam testes e armazenam as informações internamente. A programação dos tempos de retardo é mantida no programador, que, em seguida, transmite essas informações para os controladores. Durante o processo de detonação, os controladores estabelecem a comunicação com os detonadores, transmitindo as informações necessárias e a energia requerida para a execução da detonação.

Alguns programadores operam sem a necessidade de contato direto com os detonadores. Eles executam a leitura das informações através das etiquetas, assemelhando-se a scanners de supermercados, identificando e armazenando os dados pertinentes. Outros programadores, mais abrangentes em suas funcionalidades, estabelecem conexão direta com os detonadores por meio de conectores ou cabos de interligação. Além de identificar e armazenar informações, esses programadores conduzem uma série de testes para assegurar o perfeito funcionamento dos detonadores.



Através desses testes, é possível identificar diversas anomalias potenciais, como erros de comunicação, presença de detonadores intrusos ou ausentes no sistema, fugas de corrente e outros. Os resultados desses testes costumam

www.blastingtreinamentos.com

ser apresentados na tela do programador, indicando o tipo específico de erro, o que permite a adoção das medidas adequadas.

A segurança dos detonadores eletrônicos é substancialmente reforçada pelo fato de que os programadores operam com uma voltagem insuficiente para provocar a detonação dos detonadores. Dessa forma, a comunicação direta ocorre sem o risco de acionamentos acidentais.

Outro aspecto relevante é a capacidade da maioria dos sistemas de suportar múltiplos programadores. Isso traz diversos benefícios, como a flexibilidade de utilizar um maior número de detonadores, a divisão do circuito em segmentos distintos, além de simplificar as operações. Essa funcionalidade é particularmente valiosa, influenciando diretamente tanto o sistema em si quanto a dinâmica operacional.

Certos programadores podem ser acompanhados por acessórios que agilizam a conexão e comunicação com os detonadores, enquanto outros se conectam diretamente através de um cabo de interligação. É relevante ressaltar a importância de um controle eficaz do plano de fogo e o registro das informações durante a programação dos detonadores. Esse controle possibilita aos responsáveis por detonações identificarem rapidamente qualquer anomalia ou erro que ocorra nos testes. Portanto, é recomendável que quem esteja realizando a programação mantenha uma cópia do plano de fogo e registre informações como números de programação, detonadores com anomalias detectadas, localização de emendas e conexões nos cabos, e outros aspectos relevantes da operação. Isso permite uma solução rápida e eficaz caso ocorra um dano ou mensagem de erro.

A maioria dos programadores também permite visualizar informações armazenadas diretamente em sua tela, incluindo os tempos de retardo atribuídos a cada detonador. Dessa forma, é possível realizar ajustes rápidos nos retardos, excluir ou substituir detonadores conforme necessário.

Quando o sistema possui um software capaz de processar as informações dos equipamentos, é possível transferir rapidamente os dados do programador para um computador, analisar a programação realizada e efetuar ajustes no software. As informações corrigidas ou alteradas podem então ser reintroduzidas no programador, que automaticamente reprogramará os detonadores, eliminando a necessidade de reprogramar individualmente cada um.

www.blastingtreinamentos.com

Outro ponto de interesse é que a maioria dos equipamentos emite relatórios detalhados ao final do processo. Esses relatórios contêm informações sobre os detonadores, a programação realizada e quaisquer erros identificados pelo sistema. Essa funcionalidade permite verificar se a execução seguiu conforme o planejado ou se ocorreram erros de programação.

7.9.1.3 Controlador

Os controladores, também conhecidos como blasters ou acionadores, são dispositivos que desempenham um papel crucial ao realizar a programação final e transmitir os comandos essenciais, bem como a energia necessária para efetuar a detonação dos detonadores eletrônicos.

De maneira semelhante aos programadores, os controladores são projetados de forma específica para se adequar a cada modelo de detonador. Eles podem variar em termos de tamanho, formato, funcionalidades e capacidades, dependendo das especificações do modelo ao qual se destinam.

Em geral, os controladores são fornecidos juntamente com uma chave de segurança, que deve ser utilizada para habilitar o envio dos comandos de programação e acionamento aos detonadores. Essa chave, normalmente sob a guarda do responsável pela detonação, assegura que apenas a pessoa autorizada possa dar início ao processo de detonação quando estiver seguro para fazê-lo.

Normalmente os controladores desempenham um papel ativo somente no momento da detonação, pois possuem a energia necessária para ativar os detonadores. Assim, sua utilização ocorre quando todos os detonadores já foram programados, estão devidamente conectados e a autorização para a detonação foi concedida.

Antes de concretizar a detonação, os controladores conduzem uma série de testes abrangentes, aplicando níveis adequados de energia para ativar os detonadores. Esses testes minuciosos têm como objetivo identificar possíveis anomalias, erros, fugas de corrente ou qualquer outro fator que possa comprometer a detonação segura e eficaz.



www.blastingtreinamentos.com

Após a verificação de que tudo está em ordem, os controladores transmitem as informações programadas para os detonadores. Além disso, fornecem a energia necessária para carregar os capacitores presentes nos detonadores, além de emitirem o comando criptografado para a detonação.

No momento crucial, o controlador emite o comando de acionamento da detonação. Quando os detonadores recebem esse comando, iniciam a contagem regressiva do tempo programado e, no instante preciso, liberam a energia armazenada em seus capacitores, resultando na detonação de forma precisa e coordenada.

O processo de conexão entre o circuito de detonadores e os programadores frequentemente se realiza através de cabos. Estes, por sua vez, estabelecem a interconexão com os controladores utilizando a mesma abordagem. Entretanto, é importante ressaltar a presença de soluções mais modernas que habilitam a comunicação sem fio, normalmente via rádio frequência, entre os programadores e os controladores. Essa evolução tecnológica suprime a necessidade de cabos extensos para ligar o controlador a um ponto seguro. Consequentemente, o programador pode estar fisicamente mais próximo da área de detonação, estabelecendo a comunicação por meio de transmissão de sinais sem fio.

Os controladores dotados de eficiência avançada operam em regime de realização contínua de testes e diagnósticos ao longo de todo o processo de detonação. Mesmo após a conclusão do processo de programação, quando o controlador se encontra em espera pelo comando de detonação, ele mantém a vigilância ativa. Caso venham a surgir falhas ou danos no sistema antes do acionamento, o controlador reage prontamente, emitindo alertas visuais no visor e, possivelmente, sinais sonoros. Essa característica permite a interrupção da detonação a fim de efetuar avaliações precisas e imediatas.

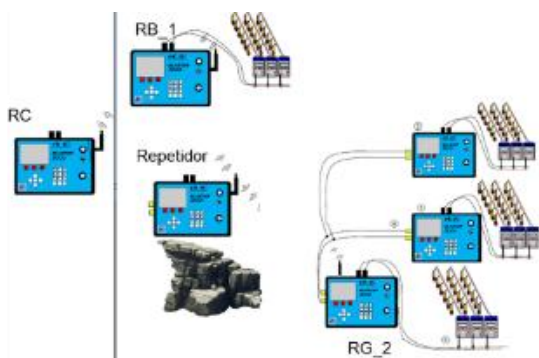
Em paralelo aos programadores, os controladores fornecem uma série de indicações visuais e orientações, seja por meio do visor ou por alertas sonoros. Essa abordagem simplifica significativamente tanto o processo de programação quanto a avaliação do status de cada etapa do procedimento.

Um aspecto adicional relevante reside na capacidade dos controladores de gerar relatórios minuciosos. Alguns desses relatórios podem ser acessados diretamente na tela do equipamento. Eles oferecem insights detalhados acerca do processo de detonação, abrangendo informações sobre os testes

www.blastingtreinamentos.com

realizados, anomalias identificadas e outros eventos pertinentes. Tais relatórios desempenham um papel crucial ao possibilitar a rápida detecção de potenciais problemas ou ao embasar decisões informadas sobre a continuidade da detonação com um nível superior de segurança.

É importante destacar que a capacidade de interligação entre os equipamentos em sistemas eletrônicos é uma característica fundamental. Essa capacidade não apenas possibilita a realização de detonações em maior escala, mas também oferece diversas configurações que podem se mostrar altamente vantajosas em determinados cenários.



Dentre as possibilidades, alguns controladores podem ser configurados como "escravos", desempenhando o papel de repetidores de sinal. Essa abordagem amplia a flexibilidade do sistema, seja para detonações cabeadas ou sem fio, reduzindo a necessidade de possuir múltiplos tipos de controladores. Consequentemente, uma série de arranjos pode ser implementada, como é ilustrado na figura.

A simplicidade de uma controladora conectada via cabo ao programador é uma opção viável. Por outro lado, a rede pode ser estendida, interligando diversos equipamentos, ou mesmo o uso de um controlador para acionar dispositivos por meio da comunicação sem fio pode ser adotado. Caso a qualidade do sinal de comunicação se mostre frágil em determinada área, a solução pode ser tão direta quanto eficaz: o emprego de um controlador como repetidor de sinal, ampliando a área de cobertura.

Essa flexibilidade de configuração é intrinsecamente ligada ao modelo do sistema eletrônico e aos recursos que o acompanham. Hoje em dia, a grande maioria dos sistemas oferece uma gama de funcionalidades semelhantes, sendo que alguns modelos apresentam atributos mais específicos, adaptados a necessidades particulares. Portanto, ao enfrentar situações específicas, a avaliação cuidadosa dos modelos disponíveis é crucial, de modo a encontrar aquele que melhor se alinha às necessidades da operação em questão.

7.9.1.4 Software

Muitos sistemas dispõem de um software dedicado exclusivamente para o planejamento e execução das detonações. A presença desses softwares não apenas viabiliza o desenvolvimento dos planos de detonação, mas também desempenha um papel fundamental ao facilitar análises aprofundadas, a geração de relatórios detalhados e ajustes rápidos no sequenciamento da detonação, conforme a necessidade.



Particularmente, alguns softwares estão integrados com os detonadores eletrônicos, proporcionando a funcionalidade de programação automática dos tempos de detonação. Essa característica desempenha um papel significativo em simplificar o processo de configuração dos detonadores, reduzindo a possibilidade de erros resultantes de digitações incorretas nos tempos de detonação.

Adicionalmente, essas ferramentas possuem a capacidade de realizar análises e simulações extremamente detalhadas. Ao empregar essas funcionalidades, é possível avaliar minuciosamente o sequenciamento da detonação, prever a direção de deslocamento dos materiais resultantes e realizar ajustes instantâneos para examinar as consequências dessas alterações. Esse recurso não apenas proporciona uma perspectiva antecipada dos resultados esperados, mas também permite uma comparação precisa entre diferentes cenários de detonação.

Um aspecto que merece destaque é que muitos desses softwares são capazes de receber informações provenientes de outras ferramentas de topografia ou desenho. Tais dados podem incluir coordenadas dos furos de detonação ou limites da área de trabalho. A integração dessas informações auxilia substancialmente na elaboração dos desenhos de detonação, além de permitir uma verificação eficiente da congruência entre o plano teórico e o resultado efetivamente executado.

A utilização de um software dedicado à detonação vai além de otimizar o processo, pois contribui de maneira decisiva para uma maior precisão e

www.blastingtreinamentos.com

eficácia em todas as etapas do procedimento. Desde a concepção detalhada dos planos de detonação até a simulação de cenários variados e a otimização dos tempos de detonação, a incorporação dessas ferramentas modernas é fundamental para garantir resultados mais precisos, eficientes e seguros em operações de mineração e obras civis. Consequentemente, o emprego desses softwares representa um avanço significativo na busca pela excelência na prática de detonações controladas.

7.9.2 Segurança do sistema eletrônico

Em consonância com as características anteriormente descritas, os sistemas de detonação eletrônica se destacam como um dos métodos mais seguros disponíveis no mercado. Embora haja variações nos recursos entre diferentes modelos, há uma série de funcionalidades comuns e notáveis que contribuem para essa segurança inerente. Entre essas funcionalidades, destacam-se:

- **Identificação Única de Detonadores:** Cada detonador eletrônico possui uma identificação exclusiva, o que não apenas facilita o rastreamento individual de cada componente, mas também evita conflitos no sistema, garantindo que cada detonador seja registrado apenas uma vez. Essa característica também se revela crucial na identificação de eventuais problemas durante os testes.
- **Equipamentos Específicos para Cada Modelo:** A vinculação de equipamentos específicos a cada modelo de detonador não apenas inibe possíveis roubos, uma vez que esses dispositivos não podem ser utilizados sem os equipamentos adequados, mas também exige um treinamento aprofundado para operar cada modelo, prevenindo o uso por indivíduos não treinados.
- **Chave de Segurança e Dualidade de Voltagem:** O sistema de segurança é reforçado pela necessidade da chave de segurança para iniciar o processo de detonação. Além disso, a dualidade de voltagem impede que os programadores possuam a voltagem suficiente para energizar as espoletas, evitando acionamentos acidentais.
- **Codificação de Ativação e Controle do Blaster:** A ativação dos detonadores requer códigos de ativação específicos que não podem ser gerados pelos programadores. Os controladores, ao receberem a

www.blastingtreinamentos.com

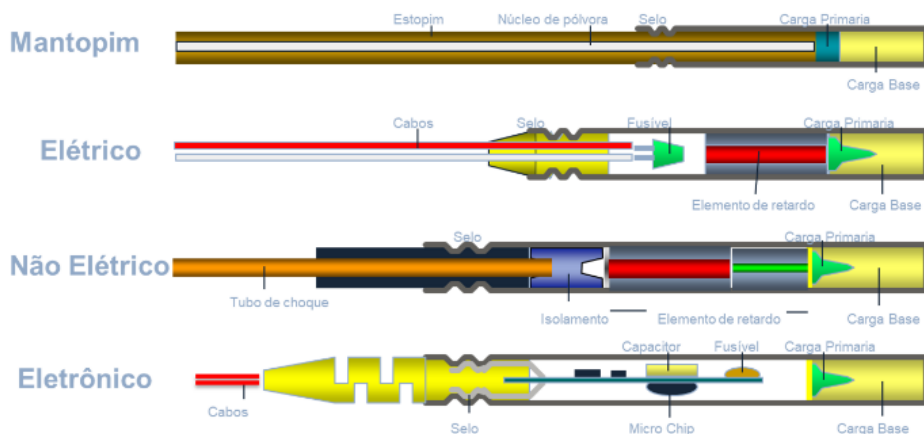
chave codificada e a confirmação do início do processo, geram a voltagem necessária para ativação.

- **Testes de Integridade e Proteções Elétricas:** Antes da detonação, os detonadores passam por testes completos para garantir seu funcionamento correto. Esses dispositivos também possuem proteções elétricas que os resguardam contra eletricidade estática, correntes parasitas, radiofrequências e sobrevoltagens.
- **Geração de Sinal de Queima Requer Três Elementos:** Para a queima dos detonadores, é necessário um conjunto de três elementos: voltagem, corrente elétrica e sinais codificados. Esses elementos somente são entregues pelo blaster a partir de um local seguro de acionamento.
- **Comunicação Bidirecional e Autotestes:** Os detonadores eletrônicos mantêm uma comunicação bidirecional com os equipamentos, respondendo aos testes e indicando seu status. Além disso, os dispositivos realizam autotestes para garantir seu perfeito funcionamento e integridade, incluindo proteções contra níveis baixos de bateria.
- **Deteção de Conexão e Uso Remoto (Wireless):** Equipamentos mais recentes têm a capacidade de detectar se os detonadores estão conectados na linha, mesmo que não estejam registrados, bem como identificar a ausência de detonadores registrados que não estão conectados ao circuito. Além disso, a possibilidade de acionamento remoto (wireless) elimina a necessidade de extensos cabos de conexão.

Em resumo, a coexistência dessas funcionalidades nos detonadores eletrônicos consolida sua reputação como uma das abordagens de detonação mais seguras e confiáveis. Embora possa haver nuances distintas entre diferentes modelos, essa série de características comuns cumpre uma função essencial em garantir que as operações de detonação ocorram de forma precisa, eficiente e segura, mantendo os mais altos padrões de segurança em atividades de mineração e construção civil.

7.9.3 Comparativo

Para melhorar nossa compreensão das diferenças entre os diversos tipos de detonadores existentes, apresentaremos uma ilustração comparativa entre eles:



1. O primeiro tipo é o **Mantopim**, que foi o pioneiro no desenvolvimento de detonadores e permanece como o mais simples dentre todos. Sua ativação ocorre por meio de um cordão de pólvora negra, que penetra no interior da cápsula e entra em contato com a carga primária de azida de chumbo. Uma vez iniciada, essa carga primária ativa a carga de base ou carga principal de pentrita.
2. O segundo tipo é o **detonador elétrico**, que hoje é menos empregado. Ele utiliza cabos elétricos para fornecer energia a uma resistência, revestida com um explosivo altamente sensível, localizado no interior da cápsula. Ao receber energia elétrica, essa resistência aquece e dá início à camada de explosivo, que por sua vez inicia o elemento de retardo. No caso de detonação instantânea, o processo ativa diretamente a carga de azida de chumbo, que posteriormente dá início à carga principal de pentrita.
3. Na sequência, temos o **detonador não elétrico**, constituído por um tubo de choque. Esse tubo possui uma camada interna de uma substância explosiva que, ao ser iniciada, libera uma onda de choque. Essa onda de choque percorre o tubo até o interior da cápsula, ativando o elemento de retardo. Similarmente à detonação instantânea mencionada anteriormente, essa ativação direta inicia a

www.blastingtreinamentos.com

carga de azida de chumbo, que, por sua vez, desencadeia a carga principal de pentrita.

4. Por fim, temos o **detonador eletrônico**, que emprega um cabeamento conectado ao interior da cápsula, ligado a um circuito que responde a comandos eletrônicos. Quando ativado, o circuito armazena energia em um capacitor, enquanto o chip incorporado controla o tempo de retardo. Ao final desse período, o chip autoriza a liberação da energia armazenada, aquecendo uma resistência revestida com uma camada de explosivo. Essa resistência aquecida dá início à detonação, que por sua vez ativa a carga de azida de chumbo, iniciando então a carga principal de pentrita.

Observamos, portanto, que os detonadores compartilham semelhanças em sua estrutura, variando essencialmente na forma de ativação e nos elementos responsáveis pela temporização ou retardo. A compreensão dessas características é fundamental para a seleção e aplicação adequada de cada tipo de detonador, visando atender aos requisitos específicos de cada cenário.

Além disso, vale a pena reforçar algumas características distintivas do detonador eletrônico que incluem:

- **Circuito em Substituição ao Elemento de Retardo:** No detonador eletrônico, um circuito assume a função desempenhada pelo elemento de retardo presente em outros tipos de detonadores.
- **Necessidade de Equipamentos Específicos:** A programação e acionamento dos detonadores eletrônicos requerem equipamentos específicos e dedicados para garantir o funcionamento adequado do sistema.
- **Comunicação Criptografada:** Além do sinal elétrico tradicional, o detonador eletrônico exige comunicação criptografada tanto para programação quanto para acionamento. Esse recurso adiciona uma camada adicional de segurança ao processo.
- **Ampla Faixa e Flexibilidade de Tempos de Retardo:** O sistema eletrônico oferece uma maior faixa e flexibilidade nos tempos de retardo, variando de 1 milissegundo até 30.000 milissegundos (30 segundos). Além disso, os modelos mais avançados podem alcançar uma precisão ainda maior, permitindo temporizações de até 0,1 milissegundos.

www.blastingtreinamentos.com

Os detonadores eletrônicos representam a culminação das tecnologias disponíveis em acessórios de detonação, atendendo de forma abrangente às diversas necessidades de um processo de desmonte eficaz. Contudo, é essencial ressaltar que seu desempenho ótimo é obtido quando empregados adequadamente, seguindo os procedimentos e diretrizes recomendadas para garantir a segurança e eficiência da operação.

7.9.4 Dispersão x Precisão

Um aspecto notável que diferencia os detonadores eletrônicos dos demais tipos é sua precisão, que se traduz em uma menor dispersão nos tempos de detonação. Isso ocorre devido ao fato de que os detonadores convencionais empregam elementos de retardo pirotécnicos, os quais naturalmente apresentam uma dispersão intrínseca. Em âmbito internacional, uma dispersão de até 5% é considerada aceitável, seja para mais ou para menos, embora existam detonadores que possam apresentar dispersões de até cerca de 10%.

Na prática, a dispersão acontece quando dois ou mais detonadores, que deveriam ser detonados simultaneamente, acabam detendo em momentos diferentes. Alguns detonam com pequenos atrasos enquanto outros detonam um pouco mais cedo, resultando em variações fracionárias nos tempos de detonação.

Quando comparamos os detonadores convencionais, cujo erro na escala pode chegar a 5%, com os detonadores eletrônicos que ostentam uma precisão de apenas 0,01%, deparamo-nos com uma diferença impressionante em termos de precisão. A precisão extremamente alta dos detonadores eletrônicos é de grande importância, visto que tempos precisos minimizam a probabilidade de detonações fora de ordem, o que poderia afetar o desempenho geral da detonação. Além disso, essa precisão proporciona uma maior flexibilidade no controle da sequência de iniciação, resultando em um processo de detonação mais otimizado e eficiente.

Uma prática comum é a realização de testes comparativos entre detonadores eletrônicos e aqueles equipados com retardo pirotécnico. Nesses testes, uma série de detonadores eletrônicos e detonadores pirotécnicos são detonados simultaneamente, visando avaliar a precisão de ambos os sistemas. Como

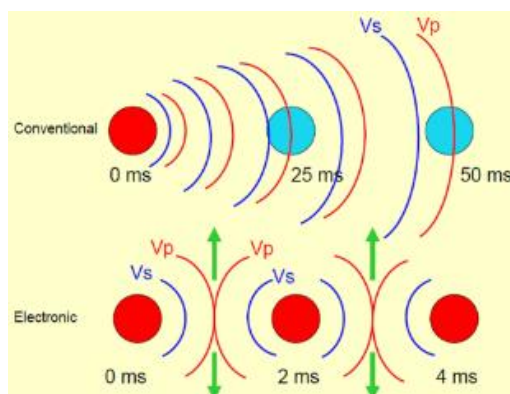
www.blastingtreinamentos.com

evidenciado pelas figuras, os detonadores eletrônicos inegavelmente demonstram uma precisão muito superior. Em contraste, os detonadores pirotécnicos demandam uma atenção especial aos tempos para evitar erros no sequenciamento devido à dispersão.



Através desses testes comparativos, é claramente demonstrado que os detonadores eletrônicos superam os convencionais em termos de precisão. Essa precisão é crucial para assegurar que a detonação ocorra conforme o planejado, evitando falhas no sequenciamento que possam prejudicar a eficácia global do processo. Portanto, a preferência por detonadores eletrônicos não apenas se baseia na comprovação da sua superioridade técnica, mas também na garantia de resultados precisos e previsíveis em operações de detonação.

A importância da precisão é de natureza fundamental, especialmente quando se trata de alcançar resultados específicos e metas em cenários particulares. A notável precisão dos detonadores eletrônicos desempenha um papel crucial na capacidade de fornecer um



controle mais apurado das vibrações resultantes das detonações. Além disso, sua flexibilidade aprimorada de sequenciamento contribui para um direcionamento mais preciso e eficaz do material expelido, permitindo um controle adequado na geração de face livre durante a detonação. Esse controle é de extrema importância para influenciar a ocorrência de overbreaks, bem como para otimizar o processo de fragmentação.

www.blastingtreinamentos.com

É pertinente destacar que diversos estudos apontam para a maior probabilidade de interação de ondas entre furos vizinhos quando se utiliza detonadores eletrônicos. Essa interação de ondas desempenha um papel direto na qualidade dos resultados de fragmentação, adicionando mais um fator à lista de benefícios trazidos por essa tecnologia.

Apesar das discussões recorrentes acerca do custo-benefício associado aos detonadores eletrônicos, é importante reconhecer que os benefícios que eles proporcionam em termos de segurança, flexibilidade e, notavelmente, nos resultados das detonações em diversos cenários, são indiscutíveis. Embora a análise de custos seja relevante em determinadas situações, é fundamental considerar também os impactos positivos que os detonadores eletrônicos podem trazer, não apenas em termos de eficiência operacional, mas também na qualidade dos resultados finais alcançados em atividades de detonação.

7.9.5 Melhorias propostas

Apesar da redução progressiva de custos ao longo do tempo em comparação com sistemas tradicionais, os sistemas eletrônicos ainda apresentam um investimento considerável. Portanto, em muitos casos, é imperativo avaliar minuciosamente as vantagens que esses sistemas podem oferecer, a fim de justificar a decisão de adotá-los.

Adicionalmente, existem inúmeras operações que possuem necessidades específicas prontamente atendidas pelos detonadores eletrônicos. Em tais cenários, esses dispositivos são empregados não apenas para otimizar resultados, mas também para solucionar problemas complexos. Nesses casos, as considerações de custo são muitas vezes relegadas a segundo plano, uma vez que a capacidade de atender de maneira direta e eficaz às necessidades operacionais imediatas justifica a adoção dos detonadores eletrônicos. Por exemplo, em operações próximas a áreas urbanas, onde o controle preciso do sequenciamento é essencial, os detonadores eletrônicos emergem como a única opção viável.

Resumidamente, convém abordar os potenciais benefícios decorrentes do uso de detonadores eletrônicos, os quais podem ser classificados em cinco perspectivas distintas:

www.blastingtreinamentos.com

- **Melhorias de Segurança:** A precisão e a confiabilidade dos detonadores eletrônicos minimizam riscos, oferecendo uma abordagem mais segura para as operações de detonação.
- **Melhorias Operacionais:** A flexibilidade de sequenciamento, a capacidade de ajuste preciso dos tempos de detonação e a comunicação bidirecional agilizam o processo, aumentando a eficiência operacional.
- **Melhorias Diretas:** A precisão dos detonadores eletrônicos impacta diretamente a qualidade da fragmentação e a redução de overbreaks, otimizando os resultados finais das detonações.
- **Melhorias Indiretas:** A minimização da dispersão de tempos de detonação contribui para um maior controle sobre a vibração e a geração de alívio, influenciando positivamente a estabilidade das operações.
- **Melhorias Globais:** A combinação desses benefícios culmina em uma abordagem global aprimorada para operações de mineração ou obras, alinhando-se com metas de eficiência, segurança e qualidade.

A avaliação criteriosa desses pontos de vista permite uma compreensão abrangente das vantagens intrínsecas dos detonadores eletrônicos e auxilia na tomada de decisões informadas sobre sua adoção.

7.9.5.1 Melhorias de segurança

Quando abordamos as melhorias de segurança associadas aos detonadores eletrônicos, estamos considerando tanto a preservação da vida e saúde das pessoas que poderiam ser afetadas por eventos explosivos quanto as questões de segurança patrimonial. Embora frequentemente desafiadoras de mensurar economicamente, essas melhorias representam avanços significativos no âmbito dos acessórios utilizados em detonações.

- **Maior segurança para os trabalhadores:** A precisão e controle dos detonadores eletrônicos reduzem riscos para os operadores, minimizando a exposição a situações perigosas.
- **Menor risco de roubo:** A complexidade de uso dos detonadores eletrônicos, juntamente com a necessidade de equipamentos e treinamento

www.blastingtreinamentos.com

especializados, desencoraja roubos e uso indevido por pessoas não autorizadas.

- **Impossibilidade de uso indevido por pessoas não treinadas:** A exigência de conhecimento técnico e treinamento para operar os detonadores eletrônicos limita o risco de acidentes causados por manuseio inadequado.
- **Maior controle ambiental (Vibrações e ruído):** A precisão dos detonadores eletrônicos contribui para a redução de impactos ambientais, como vibrações e ruído, resultando em operações mais sustentáveis.
- **Utilização em desmontes controlados (em áreas urbanas e próximas a estruturas):** A capacidade de sequenciamento preciso e controle dos detonadores eletrônicos torna sua aplicação segura em ambientes urbanos e próximos a estruturas sensíveis.
- **Centrais de iniciação remota:** A opção de iniciação remota por meio dos detonadores eletrônicos proporciona uma abordagem segura para áreas de difícil acesso ou ambientes hostis, assim como elimina a necessidade da presença próximo a detonação para o acionamento.
- **Maior segurança em descargas atmosféricas:** A eliminação da exposição de explosivos em superfície permite minimizar os riscos em casos de descargas atmosféricas.
- **Possibilidade de identificação de falhas, correções e monitoramento:** A capacidade de identificar falhas antes da detonação, corrigi-las e monitorar o sistema em tempo real contribui para operações mais seguras e eficientes.
- **Maior segurança em furos falhados:** A detecção de furos falhados e a possibilidade de correção minimizam situações perigosas ao diminuir a exposição de explosivos a condições adversas.
- **Eliminação de explosivo exposto na superfície da bancada:** A eliminação da presença de explosivos expostos na superfície da bancada reduz expressivamente o risco de acionamentos acidentais durante a operação de carregamento.

Embora as melhorias de segurança oferecidas pelos detonadores eletrônicos sejam evidentes, é notório que esse é um aspecto desafiador de mensurar do ponto de vista econômico. Como resultado, essas melhorias frequentemente

www.blastingtreinamentos.com

desempenham um papel de complementaridade nas decisões de adoção, sendo consideradas como benefícios qualitativos que enriquecem o panorama geral da utilização desses dispositivos. No entanto, os benefícios para a saúde, segurança e bem-estar dos envolvidos, assim como a proteção de patrimônio, permanecem indiscutíveis.

7.9.5.2 Melhorias operacionais

As melhorias operacionais, que englobam os aspectos que impactam as atividades relacionadas ao processo de detonação, desde o planejamento até a finalização e liberação da área após a detonação. Assim como acontece com as melhorias de segurança, mensurar os benefícios econômicos dessas melhorias operacionais pode ser desafiador, visto que muitos dos ganhos são qualitativos e podem ser difíceis de quantificar diretamente:

- **Menos tipos de acessórios necessários:** A uniformidade dos detonadores eletrônicos, comparados com sistemas tradicionais, resulta em uma redução da variedade de acessórios, simplificando o controle e a logística.
- **Facilidade no controle de inventário:** A padronização dos detonadores eletrônicos facilita o gerenciamento de inventário, reduzindo a complexidade e possíveis erros associados à gestão de diversos tipos de acessórios.
- **Maior agilidade nas atividades de carregamento, amarração e detonação:** A precisão e facilidade de uso dos detonadores eletrônicos agilizam tarefas como o carregamento dos furos, o processo de amarração e, consequentemente, a detonação.
- **Menos tempo de mina parada para detonação:** A eficiência proporcionada pelos detonadores eletrônicos reduz o tempo em que a mina precisa ficar parada para a execução das detonações, assim como para a conferência pós detonação, contribuindo para um fluxo contínuo de operações.
- **Maior facilidade na realização de desmontes complexos:** A flexibilidade dos detonadores eletrônicos permite a execução de desmontes mais complexos, como em áreas urbanas ou próximas a estruturas sensíveis, com maior segurança e controle.

www.blastingtreinamentos.com

- **Maior facilidade na realização de detonações massivas e maior número de fogos:** Os detonadores eletrônicos possibilitam a execução de detonações em grande escala, permitindo um número maior de fogos com precisão e controle.
- **Possibilidade do uso de software para realização de desenhos e programação automática:** A utilização de software especializado agiliza e automatiza o processo de desenho, programação e relatórios, minimizando erros operacionais e otimizando o tempo.

As melhorias operacionais, assim como as de segurança, têm um impacto considerável, porém quantificar esses impactos em termos econômicos pode ser complexo. O fato de reduzir a diversidade de acessórios e simplificar processos, como o controle de estoque, por exemplo, traz benefícios tangíveis, mas que podem não ser imediatamente traduzíveis em números. Assim, as melhorias operacionais devem ser avaliadas como pontos qualitativos relevantes na tomada de decisão, embora possam não ser determinantes sob uma perspectiva puramente econômica.

Portanto, os detonadores eletrônicos têm um impacto positivo abrangente em diversas etapas do processo de detonação, desde o gerenciamento de materiais até a otimização de operações em campo. Cada uma dessas melhorias, dependendo da operação específica, pode ter um peso variável na tomada de decisão, reforçando a contribuição substancial desses dispositivos para a eficiência geral.

7.9.5.3 Melhorias diretas

As melhorias diretas que os detonadores eletrônicos proporcionam estão intrinsecamente ligadas aos custos e aos resultados das atividades de perfuração e desmonte de rochas. Uma característica distintiva é que essas melhorias são mais facilmente mensuráveis economicamente, uma vez que estão diretamente relacionadas aos principais indicadores de desempenho que devem ser controlados em detonações:

- **Maior controle da detonação (tempos, sequenciamento, etc) tende a melhorar a fragmentação:** A precisão dos detonadores eletrônicos possibilita um controle mais apurado dos tempos de detonação e do sequenciamento

www.blastingtreinamentos.com

dos fogos, o que se traduz em uma melhoria na fragmentação das rochas após a detonação.

- **Possibilidade de expansão ou readequação das malhas (redução de custos de perfuração):** Com a flexibilidade proporcionada pelos detonadores eletrônicos, é possível readequar as malhas de perfuração, otimizando o uso de explosivos e reduzindo custos.
- **Melhorias no controle de saída dos fogos de desenvolvimento impactam em um melhor avanço (menor ciclo):** A precisão dos detonadores eletrônicos permite um controle mais preciso da saída dos fogos de desenvolvimento, resultando em um avanço mais eficiente e redução do ciclo de perfuração e desmonte.
- **Redução de blocos e desmontes secundários:** A precisão dos tempos de detonação dos detonadores eletrônicos contribui para reduzir blocos não desmontados e desmontes secundários, otimizando a produtividade e minimizando custos.
- **Com a maior flexibilidade e precisão é possível a aplicação de forma mais eficiente das técnicas avançadas de desmonte (ex.: detonações de dupla camada):** A precisão e flexibilidade dos detonadores eletrônicos permite a aplicação mais eficaz de técnicas avançadas de desmonte, como as detonações de dupla camada, resultando em maior eficiência operacional.
- **Facilidade na abertura de chaminés e detonações de leques longos:** A precisão na detonação de furos de desenvolvimento permite uma abertura mais eficiente de chaminés e a realização de detonações de leques longos com maior controle e precisão.

Numerosos estudos e testes têm demonstrado diversas melhorias diretas obtidas com o uso correto dos detonadores eletrônicos. Essas melhorias abrangem uma ampla gama de resultados, desde uma melhoria na fragmentação das rochas até a otimização de técnicas avançadas de desmonte. No entanto, é essencial considerar que, apesar das melhorias trazidas pelos detonadores eletrônicos, eles não resolvem todos os desafios. Certos problemas de comportamento podem persistir, impactando diretamente no processo de detonação. Portanto, para avaliar uma possível implantação dos detonadores eletrônicos, é fundamental padronizar as operações, realizar testes em ambientes controlados para resultados válidos

www.blastingtreinamentos.com

e manter os padrões estabelecidos, garantindo assim que as melhorias sejam efetivamente aproveitadas e que os ganhos não se percam devido a comportamentos inadequados.

7.9.5.4 Melhorias indiretas

Passamos agora para as melhorias indiretas, que se referem a aprimoramentos que, embora não afetem diretamente o processo de desmonte de rochas, proporcionam melhorias nas operações intimamente correlacionadas:

- **Maior flexibilidade permite realizar controles de lançamento, formação de pilha e direcionamento da detonação:** A flexibilidade dos detonadores eletrônicos possibilita um controle mais preciso do lançamento do material durante a detonação. Isso permite direcionar o material de forma a evitar obstruções de rampas e acessos, além de adequar o formato da pilha resultante.
- **Melhor controle da parede remanescente e sobre quebras (overbreaks), reduzindo custos com tratamento, controle geotécnicos e inclusive riscos de desmoronamento de taludes:** A precisão dos detonadores eletrônicos permite um controle mais eficiente da parede remanescente e da quebra excessiva, reduzindo a necessidade de tratamentos adicionais, monitoramento geotécnico e minimizando riscos de instabilidades nos taludes.
- **Maior flexibilidade de temporização permite a utilização de técnicas para separação de material e controle de diluição:** A flexibilidade nos tempos de detonação dos detonadores eletrônicos possibilita a aplicação de técnicas específicas para separação de material e controle de diluição, resultando em um uso mais eficiente dos recursos e na redução de custos operacionais.

Ao controlarmos o lançamento do material de forma a não interromper acessos, aplicarmos técnicas de separação e controle de diluição, e preservarmos a rocha remanescente por meio de um alívio adequado, estamos impactando diretamente operações de contenção da rocha, escavação e transporte, planejamento e diversas outras atividades. A utilização precisa e flexível dos detonadores eletrônicos otimiza essas operações, permitindo que elas ocorram sem interrupções, de maneira mais eficiente e, por vezes, até mais otimizada.

www.blastingtreinamentos.com

Portanto, ao aproveitarmos a precisão e a flexibilidade oferecidas pelos detonadores eletrônicos, conseguimos aprimorar uma série de operações que estão intimamente ligadas ao processo de desmonte de rochas. Isso demonstra como essas melhorias indiretas podem ter um impacto significativo e contribuir para a eficiência geral das operações.

7.9.5.5 Melhorias globais

Para completar nossa análise, chegamos às melhorias globais, que são aquelas que se desdobram como consequência das aprimorações realizadas no processo de desmonte e que afetam etapas subsequentes da cadeia de produção. Essas melhorias são frequentemente conhecidas como "Mine-To-Mill" ou "Mine-To-Plant", ou seja, buscam otimizar o desmonte para gerar benefícios nas etapas posteriores.

Nas melhorias globais, os detonadores eletrônicos não atuam como artistas individuais, mas sim como parte integrante de técnicas de detonação e elementos como explosivos mais energéticos. No entanto, eles desempenham um papel fundamental na maioria das técnicas aplicadas, muitas das quais seriam impossíveis sem a utilização dos detonadores eletrônicos:

- **Melhor aproveitamento de técnicas avançadas de desmonte para otimização do custo global da mina:** Os detonadores eletrônicos desempenham um papel crucial no uso eficiente de técnicas avançadas de desmonte, contribuindo para otimizar os custos globais da operação mineira.
- **A geração de colisão de ondas entre os furos aumenta o micro fraturamento, facilitando e aumentando a produtividade das etapas de britagem e moagem:** Os detonadores eletrônicos permitem a geração controlada de colisões de ondas entre os furos, resultando em maior micro fraturamento da rocha. Isso, por sua vez, melhora a eficácia das etapas de britagem e moagem, aumentando a produtividade do processo.
- **Melhor controle da fragmentação e lançamento do material impactam diretamente nas operações de carregamento e transporte:** A precisão no controle da fragmentação e no lançamento do material proveniente da detonação tem um impacto direto nas operações de carregamento e transporte, melhorando a eficiência dessas etapas.

www.blastingtreinamentos.com

Essas melhorias globais influenciam a fragmentação da rocha, a formação das pilhas de material, a redução de blocos, a criação de microfaturas na rocha, o acabamento das superfícies das detonações e vários outros aspectos que afetam o desempenho dos equipamentos de carga e transporte, a estabilidade da rocha remanescente e o processamento do material.

Normalmente, essas melhorias globais só podem ser quantificadas quando existe um estudo integrado de otimização entre as diferentes áreas. Esse estudo permite avaliar o desempenho de todo o processo, medir as melhorias reais alcançadas por meio das otimizações realizadas no processo de detonação e, assim, verificar os impactos positivos nas etapas subsequentes da produção. Isso ressalta o caráter interconectado e integrado das operações mineiras e como as melhorias em uma etapa podem repercutir em benefícios em toda a cadeia produtiva.

7.9.6 Operacional

Agora que nos familiarizamos com os detonadores eletrônicos e discutimos os diversos benefícios que eles podem proporcionar, é essencial abordar uma série de particularidades do sistema eletrônico. Assim como qualquer tecnologia, é crucial empregar o sistema corretamente, sempre considerando sua constante evolução à medida que novas descobertas são feitas.

A revisão destes tópicos é fundamental, pois eles muitas vezes são aspectos comuns, mas que não recebem tanta atenção nos treinamentos focados na utilização específica de cada modelo de detonador eletrônico. Abaixo, destacamos os 7 principais temas que exercem um impacto significativo sobre os detonadores eletrônicos:

- **Pressão dinâmica:** O ambiente de detonação está sujeito a pressões dinâmicas intensas. É necessário entender como essas pressões podem afetar os detonadores eletrônicos e tomar medidas para garantir sua operação segura e eficaz mesmo sob essas condições desafiadoras.
- **Danos aos cabos:** Os cabos que conectam os detonadores eletrônicos podem estar sujeitos a danos durante o manuseio, transporte ou operação. A integridade desses cabos é crucial para a correta sincronização e acionamento dos detonadores, portanto, é importante adotar práticas de manejo cuidadosas.

www.blastingtreinamentos.com

- **Falta de backup:** A dependência total dos detonadores eletrônicos pode ser arriscada. É importante ter planos de contingência e soluções alternativas caso ocorram problemas com os detonadores ou com os sistemas de controle eletrônico.
- **Atualizações:** Os detonadores eletrônicos estão em constante evolução. É vital estar atualizado com as últimas versões de software e hardware, uma vez que atualizações podem trazer melhorias de desempenho, segurança e funcionalidade.
- **Detonadores “intrusos”:** Em operações onde o controle não é efetivo, pode ocorrer a presença de detonadores que não foram programados e estão conectados ao circuito.
- **Mensagens de erros:** Compreender e interpretar corretamente as mensagens de erro emitidas pelos sistemas de controle dos detonadores eletrônicos é fundamental para diagnosticar e resolver problemas de maneira eficaz.
- **Revisão pré-início e protocolo:** Antes de iniciar qualquer detonação, é essencial realizar revisões detalhadas de todos os componentes, equipamentos e sistemas envolvidos.

Esses temas críticos desempenham um papel crucial na utilização eficiente e segura dos detonadores eletrônicos. Ao abordar essas particularidades e garantir um entendimento aprofundado de como elas podem afetar a operação, é possível maximizar os benefícios oferecidos por essa tecnologia avançada, garantindo resultados seguros e consistentes em atividades de desmonte e detonação.

7.9.6.1 Pressão dinâmica

No uso de detonadores eletrônicos é essencial aprofundar nossa compreensão sobre o conceito da pressão dinâmica. A pressão dinâmica se refere à força exercida por um furo ao detonar nos furos vizinhos, e sua intensidade é determinada por uma série de fatores, como a proximidade entre os furos, as características da rocha, a presença de água, o tamanho da carga explosiva, o tempo de retardo entre os furos e outros elementos que podem influenciar no aumento da pressão.



Vale destacar que a pressão dinâmica é inevitável e ocorre naturalmente durante as detonações. O foco reside em garantir que essa pressão não exceda os limites suportados pelos explosivos e acessórios utilizados. É nesse ponto que os detonadores eletrônicos entram em jogo, pois eles tendem a apresentar menor resistência às pressões. Isso ocorre geralmente devido aos vazios presentes em seu interior e à maior fragilidade dos componentes eletrônicos.

Portanto, é mais frequente observarmos eventos de pressão dinâmica quando detonadores eletrônicos estão em uso, não porque a pressão aumenta significativamente, mas sim porque esses detonadores têm uma tolerância menor a pressões excessivas. Isso pode levar à ocorrência de problemas que não eram previamente identificados quando se usavam outros tipos de detonadores mais resistentes.

É de extrema importância consultar o fornecedor dos detonadores eletrônicos para entender os limites de pressão suportados por seus produtos específicos e obter orientações sobre as medidas recomendadas para prevenir eventos de pressão dinâmica. Realizar essa comunicação com o fornecedor é uma maneira eficaz de evitar possíveis contratempos e garantir o uso seguro e adequado dos detonadores eletrônicos.

Além disso, existe um teste que pode ser conduzido para determinar a distância mínima necessária entre os furos, a fim de evitar danos causados pela pressão dinâmica. Esse teste envolve a medição das pressões em

www.blastingtreinamentos.com

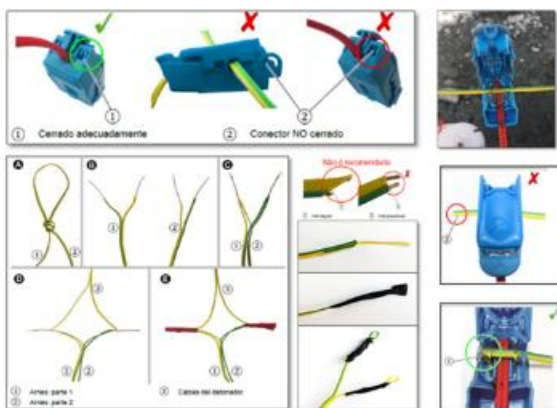
diferentes pontos e a análise para identificar qual é a distância limite para evitar interações prejudiciais. A partir desse teste, é possível estabelecer uma regra de distância mínima entre os furos. Caso existam furos mais próximos do que essa distância mínima, é necessário detoná-los simultaneamente para evitar que a pressão gerada por um furo afete negativamente o outro.

A compreensão aprofundada da pressão dinâmica e a adoção de medidas preventivas são fundamentais para garantir a segurança, eficácia e eficiência das operações de detonação em ambientes de mineração e obras civis.

7.9.6.2 Danos aos cabos

É fundamental estarmos atentos aos possíveis danos aos cabos e conexões ao utilizarmos detonadores eletrônicos. Diferentemente dos detonadores elétricos, que apenas transmitem energia, os detonadores eletrônicos requerem comunicação clara e contínua para operar corretamente.

Normalmente, os detonadores eletrônicos são fornecidos com cabos padrão, adequados para a maioria das operações. No entanto, existe a opção de utilizar cabos reforçados ou até mesmo cabos extra reforçados, especialmente em situações operacionais mais críticas.



Vale ressaltar que, muitas vezes, não é necessário um dano significativo ou rompimento completo do cabo para que problemas de comunicação surjam nos detonadores eletrônicos. Até mesmo pequenos amassados ou pequenas quebras internas no cabo podem causar distúrbios no sistema de comunicação.

Conexões mal feitas e danos nos cabos são as principais fontes de problemas ao utilizar detonadores eletrônicos. Assim, é essencial adotar boas práticas de manuseio, revisar regularmente todas as conexões e avaliar quaisquer eventos que possam representar riscos de danos aos cabos.

www.blastingtreinamentos.com

É uma boa prática realizar a revisão das conexões e dos cabos como parte de um protocolo operacional organizado. Em operações mais complexas, é altamente recomendável a utilização de cabos reforçados. Embora possam ser mais dispendiosos, esses cabos proporcionam uma camada extra de segurança, mitigando potenciais riscos de falha de comunicação.

É importante abordar as críticas que frequentemente são direcionadas aos detonadores eletrônicos, alegando que eles são delicados e propensos a erros. Na verdade, quanto mais erros desse tipo o sistema apresentar, melhor será. Esses erros servem como um lembrete de que práticas operacionais podem precisar ser aprimoradas. Identificar problemas antecipadamente e corrigi-los é mais vantajoso do que descobrir furos falhados após o evento. Outros sistemas também possuem limitações, a diferença é que muitas vezes não temos consciência dos problemas até que eles se manifestem. Portanto, a transparência dos erros nos detonadores eletrônicos é, na verdade, um benefício que possibilita melhorias contínuas em nossa operação.

É comum que, por não serem dispositivos explosivos, os cabos dos detonadores eletrônicos sejam tratados de forma menos cuidadosa. Pode ocorrer de pessoas pisarem nos cabos inadvertidamente, ou em ambientes com água, os cabos serem submersos, prejudicando a integridade do sistema de comunicação. Danos aos cabos também podem ocorrer durante o processo de tamponamento, quando os cabos não são manuseados de maneira adequada. Em muitos casos, os cabos são colocados em locais inadequados, resultando em danos.



Reconhecemos que essas situações podem surgir devido à pressa ou falta de atenção, mas é vital que busquemos alternativas e estratégias para garantir a integridade dos cabos. Avaliar com atenção as práticas operacionais e implementar medidas que protejam os cabos de danos acidentais é essencial

www.blastingtreinamentos.com

para assegurar a comunicação eficaz dos detonadores eletrônicos e, conseqüentemente, o sucesso das operações. Ao evitar esses tipos de danos, estaremos contribuindo para a eficiência e segurança das detonações, minimizando a ocorrência de interrupções indesejadas ou problemas de comunicação que possam afetar o processo.

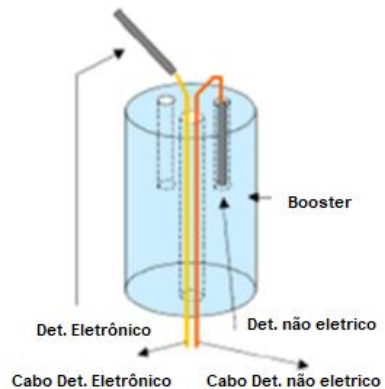
7.9.6.3 Backup

Outra consideração relevante associada aos detonadores eletrônicos é a recomendação de implementar o uso de backups. Essa técnica envolve a inserção de um detonador adicional no furo, de forma que, caso o detonador principal falhe, haja um substituto disponível para assegurar o sucesso da detonação.

Muitas críticas têm surgido em relação ao emprego de backups, muitas vezes centradas nos custos adicionais associados e na percepção de que esse requisito não é necessário nos detonadores convencionais. Como resultado, algumas operações optam por não adotar a prática de utilizar detonadores de backup.

É evidente que a decisão de empregar backups precisa ser baseada na avaliação das condições da operação, considerando os custos envolvidos, o histórico de falhas e, principalmente, as práticas operacionais vigentes. É importante reconhecer que existem cenários nos quais a probabilidade de falha de um detonador é extremamente baixa. No entanto, é crucial estar alerta a esse aspecto, já que muitas operações familiarizadas com sistemas tradicionais, nos quais não é possível identificar falhas de maneira tão precisa, também tendem a adotar a ilusão de que essas falhas não ocorrem.

Aqui, atrevemo-nos a afirmar que a maioria das operações possivelmente já enfrentou ou ainda enfrenta falhas de forma regular, embora essas falhas possam passar despercebidas durante o processo. Essas operações podem ter tido a sorte de nunca terem enfrentado um acidente resultante dessas falhas. De fato, testemunhamos várias situações em que operações acreditavam que



www.blastingtreinamentos.com

não havia falhas, somente para serem surpreendidas posteriormente por incidentes e acidentes decorrentes dessa negligência.

Por essas razões, é imperativo salientar a importância da prática de usar backups, principalmente para a maioria das operações. Enquanto a ignorância sobre a existência de um problema pode ser perigosa, estar ciente do problema e não poder fazer nada a respeito é uma situação ainda mais delicada. Assim, promover a utilização de backups é uma abordagem altamente recomendada para mitigar o risco de falhas e garantir a segurança e eficácia das operações de detonação, e isso é importante em todos os cenários e não somente na utilização de detonadores eletrônicos.

7.9.6.4 Atualizações

As atualizações representam um aspecto comum em qualquer sistema eletrônico, incluindo os detonadores eletrônicos. Assim como vemos em nossos dispositivos móveis, como smartphones, onde constantemente recebemos atualizações de sistema operacional e aplicativos, os detonadores eletrônicos também passam por atualizações ao longo do tempo. Essas atualizações têm a finalidade de corrigir problemas, aprimorar funcionalidades existentes ou introduzir novas capacidades.

É verdade que a frequência de atualizações para detonadores eletrônicos é significativamente menor em comparação a dispositivos como smartphones. No entanto, é crucial estar atento a esse aspecto, pois os fabricantes eventualmente precisarão realizar atualizações nos equipamentos e softwares associados. Em algumas operações, os próprios fabricantes podem conduzir as atualizações, enquanto em outras, a equipe local será responsável por executar o processo, muitas vezes com orientações passo a passo fornecidas pelo fabricante. Alguns dos erros mais comuns associados a essas situações incluem:

- Não compreender as mudanças introduzidas pela atualização e o impacto que elas podem ter.
- Não atualizar todos os equipamentos envolvidos no processo.
- Falha em comunicar toda a equipe sobre as alterações trazidas pela atualização.

www.blastingtreinamentos.com

- Continuar utilizando práticas específicas que podem não ser mais recomendadas após a atualização.
- Enfrentar problemas de tradução, como termos mal traduzidos ou atualizações disponíveis apenas em determinados idiomas.

Dentro deste contexto, duas situações distintas surgem. A primeira diz respeito às atualizações realizadas pelos fabricantes em resposta à identificação de problemas. Se não implementarmos essas atualizações, podemos estar sujeitos a enfrentar problemas em nossas detonações. Portanto, é crucial manter um canal de comunicação com os fabricantes para garantir que as atualizações e manutenções periódicas sejam realizadas de maneira oportuna.

A segunda situação envolve atualizações que podem afetar diretamente nossas operações. Muitas vezes, desconhecemos as mudanças realizadas nas atualizações e isso pode impactar o uso diário dos equipamentos. Mudanças em funcionalidades, requisitos ou procedimentos podem ocorrer, tornando-se essenciais para nossa operação ou invalidando práticas anteriores. Portanto, acompanhar de perto as atualizações e avaliar seus possíveis impactos é uma etapa fundamental.

Além disso, é importante evitar erros comuns, como atualizar apenas alguns equipamentos e gerar incompatibilidade com os equipamentos não atualizados, deixar de comunicar toda a equipe sobre as atualizações ou continuar utilizando práticas que se tornaram desaconselháveis após a atualização. Realizar as atualizações é necessário, mas antes disso, uma avaliação detalhada dos possíveis impactos é crucial para antecipar soluções e evitar surpresas indesejadas no processo operacional.

7.9.6.5 Detonadores intrusos

Uma situação que ocorre frequentemente no contexto dos detonadores eletrônicos é a presença de detonadores intrusos. Esses detonadores são aqueles que foram conectados ao circuito de detonação, mas não foram devidamente registrados pelo equipamento programador. Essa situação pode ocorrer quando alguém tenta auxiliar no processo e conecta um detonador sem seguir os procedimentos adequados. Isso é particularmente comum em operações de grande escala e complexidade, onde diversas pessoas estão envolvidas no processo de detonação.

www.blastingtreinamentos.com

É fundamental exercer atenção diante dessa possibilidade, já que os sistemas de detonadores eletrônicos podem reagir de maneiras diferentes em relação a detonadores intrusos. Alguns sistemas podem não detectar a presença desses detonadores extras conectados. Em outros casos, é necessário habilitar uma função específica no sistema para identificá-los e decidir como lidar com eles. Em algumas situações, esses detonadores não programados podem ser considerados e detonados como o último na sequência. Portanto, é de extrema importância compreender como o sistema utilizado em uma operação específica opera e saber qual é o procedimento adequado para lidar com detonadores intrusos.

A presença de detonadores intrusos traz consigo riscos significativos, como a possibilidade de falhas nos furos, erros no sequenciamento da detonação e consequentemente, riscos para a segurança dos envolvidos. Além disso, esses intrusos podem comprometer o desempenho da detonação, gerar altas vibrações, ocasionar ultralanchamentos indesejados e causar diversos outros impactos indesejados que devem ser evitados a todo custo.

Nesse sentido, a adoção de procedimentos sólidos e a prática de boas práticas operacionais são fundamentais para lidar de maneira eficaz com detonadores intrusos. Diante dessa situação, é possível que os detonadores não sejam detectados e permaneçam inadvertidamente no circuito, seguindo o cronograma do sistema. Por outro lado, é importante identificá-los e programá-los corretamente para garantir uma detonação segura e eficaz, minimizando os riscos associados a essa situação potencialmente perigosa.

7.9.6.6 Mensagens de erros

A utilização de detonadores eletrônicos pode trazer desafios significativos quando se trata de compreender as mensagens de erro possíveis que os equipamentos podem apresentar e, mais importante ainda, saber como abordar e resolver esses erros. Cada sistema de detonadores eletrônicos estabelecerá um conjunto de mensagens de erro padrões que são exibidas nos visores dos equipamentos. Essas mensagens geralmente surgem quando o sistema detecta alguma anomalia durante os testes ou a operação. Por exemplo, podem surgir mensagens que indicam que um dos detonadores não está respondendo, que há uma fuga de energia excessiva em determinado

www.blastingtreinamentos.com

ponto, que a bateria do dispositivo está com carga baixa, além de diversas outras situações possíveis que podem ocorrer ao longo do processo.

Cada modelo de detonador eletrônico pode ter suas próprias mensagens de erro padrões e, mesmo que algumas mensagens sejam iguais entre diferentes modelos, o significado dessas mensagens pode variar de acordo com o contexto. Portanto, é essencial adquirir um profundo conhecimento sobre o modelo de detonador eletrônico que está sendo utilizado. É fundamental entender quais são as mensagens de erro padrões desse modelo, compreender o que cada mensagem indica e estar ciente das opções disponíveis para corrigir esses erros caso eles ocorram.

Além disso, é crucial ter um entendimento detalhado do funcionamento do sistema como um todo. Esse sistema é composto não apenas pelos próprios detonadores eletrônicos, mas também pelos cabos e outros equipamentos. É possível que erros ocorram em diferentes componentes ou nas interações entre eles. Portanto, a capacidade de identificar a origem do erro é essencial para solucioná-lo de maneira eficaz e evitar interrupções indesejadas no processo de detonação.

Dominar as mensagens de erro e a resolução de problemas relacionados a elas é um aspecto crítico da operação segura e eficaz de detonadores eletrônicos. Ao conhecer as mensagens de erro específicas do modelo em uso, sua interpretação e as ações corretivas associadas, é possível minimizar os riscos, garantir a integridade da detonação e otimizar a produtividade operacional.

7.9.6.7 Revisão pré início e protocolo

A revisão prévia e a implementação de um protocolo são aspectos críticos que muitas operações negligenciam e que podem causar consideráveis problemas. Com frequência, essa negligência decorre da pressa ou da falta de um procedimento padrão estabelecido. No entanto, ao contrário de outros acessórios, realizar uma revisão minuciosa de todos os elementos do sistema antes de cada utilização é de extrema importância.

Em comparação com acessórios convencionais, a natureza específica dos detonadores eletrônicos exige uma atenção cuidadosa. É necessário avaliar as baterias dos equipamentos, verificar as quantidades disponíveis, analisar suas condições, garantir a presença das ferramentas de suporte necessárias e

www.blastingtreinamentos.com

verificar qualquer outro item que faça parte da operação. Essa prática não apenas poupa tempo ao evitar esquecimentos de itens cruciais, mas também assegura que todas as preparações estejam em ordem para a execução da detonação.

Recomenda-se fortemente a adoção de um checklist detalhado que abranja todos os equipamentos e itens essenciais. Esse checklist deve ser revisado rigorosamente no início de cada operação ou turno. Além disso, é valioso estabelecer um protocolo padronizado de controle para a aplicação dos detonadores eletrônicos. Esse protocolo deve ser seguido em cada detonação e ser transmitido para a equipe ou turno subsequente que trabalhará na mesma área. Essa abordagem previne problemas derivados de falhas de comunicação e garante uma aplicação uniforme e consistente dos procedimentos.

Em resumo, a revisão prévia detalhada e a implementação de um protocolo rigoroso são etapas cruciais que não devem ser subestimadas. Elas ajudam a evitar erros, otimizar a eficiência e contribuir para um ambiente operacional seguro e confiável ao utilizar detonadores eletrônicos.

Aqui apresentamos uma lista de boas práticas essenciais para a utilização eficiente e segura dos detonadores eletrônicos. Por favor, revise essa lista, pois não vamos reproduzi-la aqui para evitar redundâncias. Algumas das boas práticas a serem consideradas incluem:

- Sempre utilizar um mapa ou croqui que apresente os tempos planejados.
- Marcar o detonador após o escaneamento, indicando seu tempo e sequência no plano.
- Padronizar a conexão dos cabos nos conectores.
- Verificar a conexão sempre novamente antes da detonação.
- Deixar uma folga no cabo de detonação para evitar danos ao equipamento durante o processo.
- Utilizar métodos confiáveis de emendas e isolar as emendas para reduzir a tração nos cabos.
- Dispor de tempo adequado para testes e correções antes da detonação.

No mapa ou croqui utilizado, é importante incluir as seguintes informações:

www.blastingtreinamentos.com

- Métodos de identificação da localização de cada furo na malha.
- Identificação dos detonadores dentro de cada furo, especialmente quando há mais de um.
- Tempos de retardo definidos.
- Sequência de amarração, conexão e programação dos detonadores.
- Localização das emendas nos cabos.
- Qualquer anormalidade notada, como áreas com alta fuga de corrente.
- Selecionar uma sequência de amarração que facilite a visualização e identificação de problemas.

É crucial ressaltar que quanto mais controles forem implementados, mais facilmente será possível resolver quaisquer problemas que surjam durante o processo. Ter conhecimento da localização específica dos detonadores, por exemplo, pode agilizar a identificação de um detonador com falha. Além disso, saber onde estão as conexões pode indicar a origem de problemas de comunicação.

Os detonadores eletrônicos, como toda tecnologia, requerem a adoção de práticas padronizadas. Embora não sejam "inteligência artificial" no sentido de uma IA avançada, segui-los de maneira consistente nos ajuda a aproveitar ao máximo seus benefícios e evitar problemas decorrentes da falta de padronização.

7.9.7 Novas tecnologias

Para encerrar esse tópico, é fundamental abordarmos as novas tecnologias que estão emergindo no campo do desmonte de rochas. Após a consolidação dos detonadores eletrônicos, que já estão em desenvolvimento há cerca de 40 anos, sendo os últimos 10 anos marcados por avanços significativos, o foco agora está em aprimorar ainda mais a segurança, potência e precisão dos explosivos. Além disso, os acessórios estão evoluindo para se tornarem mais versáteis e flexíveis.

Nos últimos anos, os estudos voltados para os explosivos continuaram a priorizar a segurança, porém, um ponto de destaque tem sido o desenvolvimento de explosivos com maior energia, capazes de gerar resultados impactantes, especialmente em cenários de rochas duras, com

www.blastingtreinamentos.com

ênfase na fragmentação e produção de partículas finas. Vários fabricantes e fornecedores estão oferecendo explosivos mais energéticos para atender a essas demandas.

No âmbito dos acessórios, além da segurança, a atenção está voltada para a flexibilidade e confiabilidade. Estudos contínuos buscam aprimorar os detonadores eletrônicos para permitir uma aplicação mais rápida e abranger diversos cenários. Um dos avanços mais recentes é a introdução de sistemas de detonação eletrônicos sem fio, que buscam trazer agilidade, segurança e flexibilidade operacional. No entanto, embora algumas operações já estejam adotando essa tecnologia, ela ainda é relativamente nova e requer testes abrangentes e refinamentos contínuos.

Embora este capítulo se concentre em acessórios, é importante destacar outra área que também está evoluindo no campo do desmonte de rochas: os equipamentos de carregamento. Eles estão se tornando cada vez mais versáteis, produtivos e seguros. Atualmente, há uma variedade de equipamentos adaptáveis a diferentes cenários e tipos de explosivos. Além disso, estão sendo desenvolvidos equipamentos que combinam perfuração e carregamento, visando otimizar as operações e aumentar a segurança. Por outro lado, há um crescente desenvolvimento de equipamentos operados remotamente, com o objetivo de minimizar a exposição de pessoas a situações de risco relacionadas à manipulação de explosivos.

É altamente provável que, nos próximos 10 anos, testemunharemos um avanço marcante na indústria de desmonte de rochas. Equipamentos mais modernos, acessórios mais flexíveis e precisos, além de explosivos mais seguros e potentes, irão moldar a próxima era dessa área. Sem dúvida, será uma jornada empolgante acompanhar e participar de todos esses desenvolvimentos.

A cada estágio de sua evolução, os detonadores eletrônicos têm proporcionado níveis sem precedentes de controle no desmonte de rochas, notadamente devido à sua precisão, flexibilidade e características de segurança. Esses avanços os tornaram mais robustos e confiáveis ao longo do tempo, e, portanto, seu uso já não é mais uma novidade expressiva. Consequentemente, sua adoção continua crescendo à medida que os benefícios que oferecem justificam seu custo relativamente mais elevado.

www.blastingtreinamentos.com

Além das melhorias nos componentes físicos, os softwares também têm evoluído, introduzindo ferramentas de análise e simulação que possibilitam a elaboração de projetos mais abrangentes de maneira mais ágil. Embora os adeptos da geração anterior possam considerar isso apenas como adições superficiais, na realidade, tais ferramentas contribuem para uma organização mais eficaz e auxiliam na formulação de procedimentos cruciais para o controle do processo.

No passado, prever os resultados de uma detonação demandava anos de experiência. Atualmente, os softwares permitem a análise de diversos cenários, dando aos profissionais uma sensação de estar dentro de um ambiente de jogo virtual. Deixando opiniões pessoais de lado, é evidente que o desenvolvimento contínuo dos detonadores eletrônicos, especialmente em relação às tecnologias sem fio, tem o potencial de otimizar as operações, elevar o nível de segurança e ampliar as possibilidades técnicas.

Em suma, a marcha da tecnologia não cessa, e a busca por mais segurança, flexibilidade e precisão persiste. Essas evoluções têm sido consistentes ao longo dos anos e esperamos que continuem nessa trajetória. Considerando a aceleração em todos os aspectos, inclusive o tempo, é provável que nos próximos anos testemunhemos avanços significativos no campo do desmonte de rochas. Participar dessa jornada será, sem dúvida, uma experiência emocionante.

7.9.7.1 Detonadores Wireless

A próxima etapa na evolução dos sistemas de detonadores eletrônicos é representada pelos detonadores sem fio, também conhecidos pelo termo em inglês "Detonadores wireless". Essa nova abordagem pode ser considerada uma extensão dos detonadores eletrônicos tradicionais, visto que compartilha os mesmos princípios e tecnologias. Em muitos casos, o próprio detonador permanece praticamente inalterado, com a diferença de que os sistemas de fios e conexões diretas são substituídos por comunicação sem fio.

Dentro do mercado, já existem várias opções viáveis, algumas das quais estão disponíveis para uso, enquanto outras ainda estão em fase de testes e tentam ganhar espaço. Apesar de as tecnologias ou princípios subjacentes não terem sofrido mudanças significativas, podemos dividir esses sistemas sem fio em dois tipos principais.

www.blastingtreinamentos.com

É fundamental não confundir os detonadores sem fio com os sistemas de iniciação sem fios, também conhecidos como acionamento remoto. Nesse último caso, os detonadores eletrônicos tradicionais continuam sendo utilizados, porém, em vez de estarem conectados por fios a um equipamento de iniciação próximo ao local de desmonte, eles são ativados por um dispositivo remoto por meio de comandos de rádio frequência. Esse tipo de abordagem elimina a necessidade de estender cabos de conexão por longas distâncias até um ponto seguro para realizar o acionamento.

Essa diferenciação é importante porque o sistema de acionamento remoto está disponível inclusive para os detonadores pirotécnicos e apesar da tecnologia também está presente nos detonadores sem fio, esse acionamento remoto não é o que caracteriza essa nova tecnologia.

Dentro do âmbito da detonação sem fio, atualmente existem duas tecnologias principais em desenvolvimento por diversos fabricantes. Uma delas envolve a eliminação apenas dos cabos de conexão entre os detonadores, incorporando um dispositivo/antena externo conectado ao detonador interno do furo por meio de seu cabo. Por outro lado, temos sistemas totalmente sem cabos, nos quais o dispositivo de comunicação é conectado diretamente ao detonador dentro do furo, eliminando tanto os cabos dos detonadores quanto os cabos de conexão.

Essa tecnologia permite a comunicação sem a necessidade de cabos físicos nos furos ou fios de conexão externos. Essa comunicação ocorre através de transmissões magnéticas codificadas que se propagam pela rocha. Sendo bem semelhante à usada para se comunicar com submarinos debaixo d'água e em sistemas de dispositivos de emergência pessoal usados na mineração subterrânea.

Geralmente, os iniciadores são programados com informações de identificação e tempo de retardo pouco antes de serem carregados no furo. Esses dados são armazenados tanto no programador quanto no detonador. Após o carregamento, o iniciador entra em modo de espera, aguardando um sinal de ativação. Quando há uma detonação, um sinal de ativação é enviado para todos os iniciadores. Eles são então sincronizados e, se fazem parte do grupo a ser detonado, entram no modo ativo. O comando de detonação é enviado por meio de um segundo sinal exclusivo, proporcionando um passo adicional de segurança ao sistema.

www.blastingtreinamentos.com

Inicialmente essa tecnologia não visava substituir de imediato os sistemas de iniciação convencionais, mas sim complementá-los para lidar com os desafios específicos da indústria. Isso principalmente por ser uma tecnologia nova e em desenvolvimento, tendo muitos pontos de melhoria e de testes a serem realizados. O primeiro conceito visava aplicações subterrâneas, mas já existem diversas aplicações em outros cenários, visando expandi-la também para operações de superfície.

O objetivo principal do sistema de iniciação sem fio é melhorar a eficiência operacional, permitindo um ciclo de detonação mais curto e potencialmente aumentando a quantidade de minério extraído. Além disso, visa reduzir o número de falhas de detonação, o que pode levar a ganhos significativos em produtividade e segurança.

Cada modelo, de acordo com seu fabricante, terá suas características distintas. No entanto, eles geralmente consistem em três componentes unidos dentro do furo - o booster, o detonador e o dispositivo de comunicação - juntamente com o equipamento usado para programar e iniciar os detonadores em um estágio posterior.



O potencial de aplicação dessa nova tecnologia é amplo, abrangendo tanto operações a céu aberto quanto subterrâneas. Ela está até mesmo abrindo possibilidades para novos métodos de mineração, permitindo uma recuperação de minério aprimorada em áreas que antes eram consideradas muito perigosas para operar. Agora, é viável pré-carregar os furos e iniciar as detonações posteriormente sem expor os funcionários a situações arriscadas. Essa inovação não apenas aprimora a segurança, mas também revoluciona as estratégias operacionais e as capacidades de extração na indústria de mineração.

Dentro do contexto da detonação sem fio, existem diversas vantagens reconhecidas e validadas dos detonadores eletrônicos que continuam

www.blastingtreinamentos.com

presentes nesse novo sistema. No entanto, gostaríamos de destacar alguns pontos chaves dessa tecnologia:

- Um aspecto chave dessa nova tecnologia é a ampliação da ausência de explosivos em superfície, já um ponto forte dos detonadores eletrônicos, com a eliminação dos cabos de conexão, pois com isso o risco de danos ao acessório e o risco de furo falhado devido a danos no cabo são ainda mais reduzidos. Isso inclui situações como tamponamento, deslizamento de material do furo ou a própria manipulação dos fios. A eliminação do risco de interação entre equipamentos e cabos durante as atividades de carregamento e preparação da detonação, bem como evitar que pessoas pisem ou tropecem nos cabos, torna esse sistema ainda mais seguro.
- Um benefício adicional, especialmente relevante em operações a céu aberto maiores, é a eliminação da necessidade de um auxiliar no tamponamento. Essa função é normalmente responsável por proteger os cabos. Com a nova tecnologia, o risco de interações entre pessoas e equipamentos, assim como a exposição à poeira e a necessidade de cuidados extras com os cabos, é reduzido.
- A ausência de explosivos e cabos fora do furo também aumenta a segurança de deixar furos carregados por vários dias, mesmo que não estejam tamponados. O risco de danos ao material e até mesmo tentativas de roubo de material dos furos, um ponto de atenção em operações com menos controles, é menor.
- A falta de cabos em superfície também permite a criação de áreas de manobras em operações a céu aberto. Algumas operações estão testando a segurança de deixar áreas carregadas e criar acessos temporários enquanto as detonações parciais da área são realizadas.
- Do ponto de vista operacional e ganho de tempo, a eliminação da necessidade de conectar os cabos e programar os detonadores enquanto se carrega otimiza etapas do processo, aumentando a produtividade.
- Um benefício muito relevante em operações subterrâneas e que está ganhando espaço em minerações a céu aberto é a possibilidade de carregar vários painéis e detoná-los em momentos diferentes. Isso agiliza o processo de preparo e permite lavras por etapas, minimizando riscos para as pessoas. Contudo, é importante manter um espaçamento seguro entre os painéis para evitar danos por

www.blastingtreinamentos.com

pressão dinâmica nos furos que ficaram carregados para as próximas detonações.

- A detonação em múltiplas camadas, com diversos decks de carregamento em um mesmo furo detonados separadamente, é comum em chaminés subterrâneas ou em técnicas de alta energia ou controle de impacto em minerações a céu aberto. Essa abordagem também requer precauções de segurança para lidar com o risco de pressão dinâmica.
- A possibilidade de deixar áreas carregadas e detoná-las posteriormente está impulsionando o desenvolvimento de várias novas técnicas de lavra em minerações subterrâneas. Isso aumenta as possibilidades de recuperação de pilares e áreas, assim como permite um maior controle de diluição, detonando diferentes teores em etapas distintas e aumentando a seletividade da lavra.
- Além de possibilitar lavras remotas em áreas de alto risco, essa tecnologia também impulsiona a robotização e automação do processo de perfuração e desmonte. A ausência de cabos permite uma manipulação mais flexível dos acessórios para carregamentos automáticos.
- Outro ponto relevante para justificar o uso de detonadores sem fio é a menor exposição (ausência de cabos em superfície) a possíveis acionamentos acidentais por descargas atmosféricas. Embora seja um tópico controverso, uma menor exposição inevitavelmente resulta em menores riscos, sendo um aspecto fundamental para operações a céu aberto.

Apesar das vantagens notáveis e dos benefícios já mencionados dos detonadores sem fio, há ainda algumas incertezas e preocupações associadas a essa nova tecnologia. É importante que ela ganhe seu espaço e se consolide para substituir de forma consistente os detonadores eletrônicos convencionais, que já estão firmemente substituindo os pirotécnicos. Abaixo, destacamos algumas das preocupações que cercam esse sistema sem fio:

- Uma das principais preocupações é a ausência de uma comunicação constante de duas vias. Isso se refere à capacidade do "detonador" de enviar informações sobre seu status (comunicação, nível de bateria, integridade do sistema, etc.) após ser aplicado. Os sistemas completamente sem fios disponíveis atualmente realizam apenas a

comunicação de duas vias por contato direto. Uma vez que o detonador é inserido no furo, não é possível mais obter informações a seu respeito. Isso traz de volta preocupações semelhantes aos sistemas convencionais, onde não temos uma confirmação completa da detonação, podendo resultar em furos falhados não detectados. Essa é provavelmente a maior preocupação associada a essa nova tecnologia e o ponto que tem desacelerado seu avanço. Os fabricantes precisam abordar essa questão com seriedade, pois ela será crucial para a validação e aceitação dessa tecnologia.

- A ausência de comunicação de duas vias requer a realização de testes de sinal e o mapeamento das áreas de influência das antenas de acionamento em todas as detonações. Isso é essencial para garantir cobertura adequada no momento da detonação e aumentar a confiabilidade do sistema. Em algumas situações, é necessário perfurar os furos antecipadamente, especialmente os das extremidades, para que os testes possam ser conduzidos de maneira minuciosa. Isso é relevante porque o carregamento só pode prosseguir se a qualidade do sinal estiver dentro dos parâmetros adequados. Caso contrário, o posicionamento da antena deve ser reavaliado, considerando a distância até o local do desmonte e a possibilidade de interferências.
- Outra preocupação diz respeito à capacidade das baterias, que normalmente duram de 1 a 2 meses. Isso atende a maioria das operações, mas não há uma maneira de garantir ou comprovar seu funcionamento correto antes da detonação, especialmente após vários dias dentro do furo. A maioria dos sistemas realiza um teste do status da bateria antes do carregamento, fornecendo uma previsão inicial de sua duração, mas a confiabilidade dessa informação ao longo do tempo pode variar.
- Uma prática comum na utilização de detonadores eletrônicos é a aplicação de detonadores backup, que entram em ação na ausência de comunicação com os detonadores principais. No entanto, com o sistema sem fio, essa prática é limitada, restringindo-se à utilização de mais de uma unidade do mesmo sistema.
- Por fim, é importante mencionar o custo. Como toda nova tecnologia, os detonadores sem fio demandam investimentos significativos e

www.blastingtreinamentos.com

levará um tempo para se tornarem economicamente viáveis para a maioria das operações.

Assim como qualquer nova tecnologia, os detonadores sem fio ainda precisam ser amplamente testados e validados em diversos cenários de aplicação. Isso certamente levantará várias outras preocupações, mas também abrirá novas possibilidades de benefícios com seu uso.

Os detonadores eletrônicos representam um marco significativo na evolução da tecnologia de desmonte de rochas. Ao longo das últimas décadas, eles têm revolucionado a indústria de mineração e obras civis, oferecendo uma série de vantagens e benefícios que impactam positivamente a eficiência, segurança e precisão das detonações. Assim que essas evoluções já são esperadas com grandes expectativas, e por isso para supera-las os sistemas sem fio ainda tem um árduo trabalho pela frente.

À medida que olhamos para o futuro, fica claro que as inovações não param por aqui. As tecnologias estão avançando rapidamente, impulsionando uma nova era de desmonte de rochas mais seguro, eficiente e preciso. A combinação de detonadores eletrônicos aprimorados, software avançado de análise e simulação, além das possibilidades trazidas pelos detonadores sem fio, promete transformar ainda mais a indústria de mineração e construção civil.

Em suma, os detonadores eletrônicos são muito mais do que uma ferramenta; são a representação de um progresso constante em busca de métodos de desmonte mais seguros, eficazes e sustentáveis. O domínio dessas tecnologias é essencial para o sucesso das operações de mineração e obras civis, e a contínua pesquisa e desenvolvimento nessa área são fundamentais para enfrentar os desafios e as demandas do futuro.

7.10 Reforçadores

Prosseguindo com o nosso estudo sobre explosivos e suas aplicações, chegamos a um tópico crucial: os reforçadores. À medida que a tecnologia de explosivos evoluiu, uma tendência clara emergiu: embora os explosivos modernos sejam mais seguros de manusear,



www.blastingtreinamentos.com

eles também se tornaram mais insensíveis, demandando mais energia para a iniciação efetiva. Isso trouxe à tona a necessidade dos reforçadores, um elemento essencial para assegurar o sucesso de detonações eficazes.

Reforçadores, em suma, são cargas explosivas de alta potência projetadas para ampliar a energia de iniciação de explosivos de baixa sensibilidade, como o caso do ANFO, emulsões e outros. O mais notório e amplamente utilizado tipo de reforçador é o conhecido como "boosters". O papel desses reforçadores é crucial, pois eles têm a responsabilidade única de intensificar a energia de iniciação, impactando diretamente no desempenho geral do explosivo e, consequentemente, na eficácia da detonação. Essa amplificação de energia é de extrema importância, já que o processo de detonação exige uma quantidade precisa de energia para iniciar e sustentar a reação explosiva até sua conclusão.

Vale destacar que há uma diferença entre iniciar um explosivo e iniciar com máxima potência. Por exemplo, muitas emulsões podem ser iniciadas por detonadores, porém, levariam um tempo para alcançar a velocidade ideal de detonação. A inserção de um booster, além do detonador, acelera esse processo, permitindo que a emulsão atinja sua velocidade máxima mais rapidamente, resultando em uma fragmentação mais eficaz da rocha. Assim, o papel do booster vai além de iniciar explosivos insensíveis; ele age como um potencializador, garantindo que o explosivo comece com máxima intensidade.

Além disso, a preocupação não está apenas em iniciar a reação com alta performance, mas também em mantê-la constante até o final. Por exemplo, é recomendado usar um booster a cada 10 metros de carga explosiva para assegurar que a detonação mantenha sua velocidade ao longo de todo o comprimento da carga. À medida que a detonação avança, é comum observar uma diminuição na velocidade dos explosivos. Nesse cenário, os boosters atuam como um impulso adicional, preservando a velocidade e o desempenho da detonação, semelhante aos turbos em carros de corrida, que são acionados para manter o máximo desempenho.

Em resumo, os reforçadores, especialmente os boosters, desempenham um papel crucial na eficácia das detonações. Eles proporcionam a energia necessária para iniciar e sustentar a reação explosiva, otimizando a fragmentação da rocha e garantindo a eficácia do processo de desmonte. A consideração meticulosa da aplicação de reforçadores é fundamental para o

www.blastingtreinamentos.com

sucesso das operações de mineração e obras civis, pois eles permitem uma detonação precisa e controlada, resultando em uma produtividade mais eficiente e segura.

7.10.1 Booster

Embora possamos recorrer a outros acessórios ou até mesmo a explosivos convencionais como reforçadores, como é o caso do cordel detonante e dos encartuchados, é nos boosters que encontramos o principal efeito amplificador de energia, desenvolvido exclusivamente para essa finalidade.

A seleção adequada de um reforçador é de suma importância para garantir a consistente propagação da onda de choque ao longo da carga explosiva, assegurando sua detonação contínua e otimizada. Para esse propósito, é essencial escolher um reforçador que possua maior potência do que o explosivo a ser iniciado. Dessa forma, o reforçador proporciona um "empurrão" mais substancial do que o necessário, permitindo que o explosivo inicie na sua máxima potência desde o início.

Frequentemente, gosto de fazer uma analogia entre reforçadores e carros. Uma medida comum para carros, especialmente esportivos, é o tempo que levam para acelerar até atingir 100 quilômetros por hora. Um carro esportivo com motor potente alcança essa velocidade em poucos segundos, enquanto um carro familiar pode levar mais tempo para atingir a mesma marca. De maneira similar, quando iniciamos explosivos, buscamos que eles alcancem sua "velocidade máxima" o mais rápido possível. Aqui é onde entra o papel do reforçador, que fornece a potência inicial necessária para uma detonação vigorosa e eficaz.

Considerando esse cenário, os boosters são projetados para serem os explosivos mais potentes disponíveis. Essa potência é crucial para iniciar explosivos de baixa sensibilidade e permitir que eles alcancem rapidamente sua potência máxima. A composição dos boosters envolve uma mistura de pentrita e TNT, o que lhes confere estabilidade e alta potência explosiva. Com

www.blastingtreinamentos.com

uma pressão de detonação elevada e uma velocidade que pode chegar a cerca de 7500 metros por segundo, os boosters são verdadeiras fontes de energia.

Fisicamente, os boosters são acomodados em corpos de plástico ou papelão, que possuem um ou dois furos ao longo de sua altura para possibilitar a conexão com detonadores ou cordéis detonantes. Esses elementos são responsáveis por iniciar o processo explosivo no interior do booster.

Vale mencionar que há diversos estudos que apontam a influência do formato do booster na geração de maior pressão de detonação, o que, por consequência, pode contribuir para uma iniciação mais eficaz dos explosivos. Contudo, é importante ressaltar que essa questão não é totalmente consensual. Independentemente do formato, durante a aplicação, a prioridade reside em posicionar o booster de maneira que ele envolva completamente a carga explosiva a ser iniciada. Isso garante que toda a sua potência seja direcionada ao explosivo, otimizando o processo. Além disso, é crucial dimensionar o peso do booster de acordo com o tipo de explosivo e o diâmetro do furo, seguindo as recomendações do fabricante para garantir a eficácia da detonação.



Uma variedade de formatos de boosters está disponível, incluindo cilíndricos, cônicos, esféricos, entre outros. No entanto, o formato mais comum é o cilíndrico, amplamente empregado em desmontes de rocha. Os fabricantes oferecem desde boosters menores, a partir de 20 gramas, para furos de diâmetro reduzido, assim como boosters maiores, de 1 a 1,5 quilos, destinados a furos de maior diâmetro e com cargas explosivas substanciais, inclusive alguns podem ser fabricados sobre demanda.

Como já mencionado, a escolha do booster adequado frequentemente envolve consultar o fornecedor de explosivos, que pode indicar a forma mais apropriada de iniciação para o explosivo em questão. Vale ressaltar que o tamanho do booster é influenciado não somente pelo tipo de explosivo, mas também pelo diâmetro do furo, confinamento e outras condições específicas de aplicação.

Outro aspecto relevante é a realização de testes de Velocidade de Detonação (VOD) para avaliar a performance dos boosters. Esse processo envolve o uso

www.blastingtreinamentos.com

de boosters de diferentes tamanhos e a avaliação do tempo necessário para o explosivo atingir sua máxima velocidade de detonação, bem como a velocidade máxima alcançada. Incrementar gradativamente o tamanho do booster nos testes até que os resultados se estabilizem pode fornecer insights valiosos. No entanto, é importante salientar que vários fatores podem influenciar tanto a velocidade quanto a iniciação do explosivo. Como resultado, recomenda-se a repetição dos testes e uma monitorização cuidadosa das condições para garantir resultados precisos e confiáveis.

Os boosters desempenham um papel crucial nas operações de iniciação de explosivos, uma vez que otimizam as combinações de massa explosiva, forma geométrica e formulação do explosivo, resultando em um desempenho máximo. Através dessa otimização, os boosters são capazes de extrair o rendimento máximo da energia termoquímica do explosivo a ser iniciado. Esse processo leva o explosivo a atingir sua velocidade estabilizada de detonação (VOD) o mais próximo possível do ponto de iniciação, resultando em uma pressão de detonação mais elevada.

A taxa de energia gerada por essa combinação de alta VOD e alta energia, em relação ao tempo de detonação transferido pelo booster ao explosivo a ser iniciado, demonstra uma eficiência notável. Esse processo permite a transferência de níveis substanciais de energia em intervalos de tempo extremamente curtos, culminando em uma potência explosiva elevada.

Alguns especialistas defendem que a forma cônica do booster otimiza ainda mais essa transferência de energia. Isso ocorre devido ao fato de que a geometria cônica direciona a energia ao longo do eixo longitudinal da carga explosiva a ser iniciada, gerando uma eficiência superior em comparação com outros reforçadores de massa similar.

Nesse contexto, os boosters desempenham um papel fundamental para garantir a iniciação eficaz de explosivos de baixa sensibilidade, assegurando que eles alcancem sua máxima potência com rapidez e eficiência. Por meio da seleção criteriosa do booster mais adequado, levando em conta as características do explosivo e das condições de detonação, é possível maximizar o desempenho de todo o processo de detonação.

Um método amplamente utilizado para avaliar a potência de explosivos, como mencionado anteriormente, é o teste da placa. Nesse teste, uma carga

www.blastingtreinamentos.com

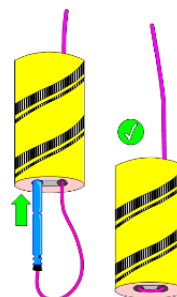
explosiva é detonada sobre uma chapa de aço com 1 centímetro de espessura, permitindo a avaliação dos danos causados pelo explosivo na placa.



No caso específico dos boosters, espera-se que eles sejam capazes de perfurar a placa com um diâmetro bastante próximo ao do próprio booster. Esse resultado é viabilizado devido à alta velocidade e pressão de detonação dos boosters, que permitem uma eficiente transferência de energia na região de contato entre o booster e a placa. Esse tipo de teste é usualmente aplicado nas fabricas para determinar a capacidade do booster em transferir energia de forma concentrada e impactante, reforçando sua função essencial no processo de iniciação de explosivos de baixa sensibilidade.

7.10.2 Escorva

Um conceito operacional intrinsecamente ligado aos reforçadores é o conceito de escorva. A escorva é composta pelo conjunto de acessórios que será utilizado para a iniciação dos explosivos. Um exemplo paradigmático é a combinação de um detonador e um booster. Nesse cenário, o detonador proporciona o estímulo inicial, enquanto o booster amplifica a energia, assegurando a correta iniciação do explosivo.



Existem dois tipos de escorva: a escorva simples e a escorva composta (ou completa). A escorva simples ocorre quando apenas o detonador ou o cordel detonante inicia diretamente o explosivo. Em contrapartida, a escorva composta envolve a utilização conjunta de um iniciador e um reforçador, proporcionando uma iniciação mais potente e eficiente.

O arranjo mais frequente e altamente recomendado para a iniciação de explosivos em desmontes de rocha consiste na combinação de um detonador e um booster. Essa configuração é amplamente empregada devido à sua eficácia. Vale ressaltar que, com exceção dos explosivos encartuchados, a

www.blastingtreinamentos.com

utilização do conjunto iniciador e booster é a abordagem preferencial, uma vez que nos explosivos encartuchados geralmente inicia-se o primeiro cartucho com um iniciador, e devido ao empacotamento, o contato completo com o booster não é garantido.

A função primordial da escorva é iniciar a carga explosiva no interior do furo, estabelecendo o contato entre o sistema de iniciação e o explosivo. Para determinar qual abordagem de escorva adotar, seguiremos a mesma diretriz fundamental de consultar o fornecedor do explosivo para obter recomendações específicas para a iniciação adequada.

Diversos fatores desempenham um papel crucial na aplicação da escorva para iniciar a carga explosiva:

1. **Recomendação do Fabricante:** Identificar o mínimo recomendado ou ideal pelo fabricante para a escorva.
2. **Tipo de Escorva:** Escolher entre a escorva simples (apenas iniciador) ou a escorva composta (iniciador e reforçador).
3. **Tipo/Formato do Reforçador:** Avaliar qual tipo de reforçador é indicado, considerando formatos como cilíndricos, cônicos, esféricos, entre outros.
4. **Tamanho do Reforçador:** Determinar o tamanho apropriado do reforçador, alinhado com as especificações do explosivo e do furo.
5. **Localização da Escorva:** Decidir onde exatamente a escorva será posicionada dentro do furo.

Nesse contexto, entram em jogo diversos outros tópicos, como a seleção do sistema de iniciação a ser utilizado. Embora isso possa impactar a dinâmica do desmonte, geralmente não altera o processo de escorva nem a seleção dos boosters. Uma exceção a ser mencionada é a utilização de cordel detonante, onde recomenda-se o cordel "NP 10" para a iniciação dos boosters ou mesmo de encartuchados.

Vale ressaltar que seguir as recomendações dos fabricantes é fundamental, mas é importante entender que o mínimo necessário para iniciação nem sempre proporciona o melhor desempenho. Alguns explosivos podem ser iniciados diretamente com detonadores, porém essa abordagem não garante o rendimento máximo do explosivo. Portanto, é crucial interpretar as recomendações do fabricante e adaptá-las conforme as necessidades,

www.blastingtreinamentos.com

podendo até mesmo buscar esclarecimentos adicionais para otimizar o processo.

Uma observação relevante sobre as recomendações dos fabricantes é que muitos deles, além de fornecer produtos a uma ampla gama de clientes com diferentes cenários, também realizam serviços de desmonte de rochas para várias outras empresas. Isso lhes confere um acesso considerável a informações e cenários diversos, permitindo que ofereçam orientações precisas e contextualizadas. Ademais, esses fabricantes frequentemente conduzem testes e validações de produtos, tornando-se a fonte mais confiável para afirmar as recomendações de uso dos seus produtos.

Dentro do contexto das escorvas, surge uma série de recomendações valiosas para prevenir problemas frequentemente enfrentados. No entanto, em meio à discussão sobre as escorvas, é crucial abordar um tema de extrema importância: a garantia da posição correta das mesmas.

Durante o processo de carregamento, especialmente em furos mais profundos e de maior diâmetro, mas também em cenários de dimensões menores, é comum que a escorva acabe sendo deslocada da sua posição original à medida que inserimos a carga explosiva no furo. Para mitigar esse desafio, diversas práticas foram desenvolvidas. Uma abordagem notável, simples e eficaz envolve o uso de uma cordinha e uma pedra. Nesse método, uma pedra ou objeto pesado é amarrado como âncora a uma das extremidades da cordinha, enquanto a outra ponta é presa ao booster. Isso é conhecido como "ancorar a escorva".

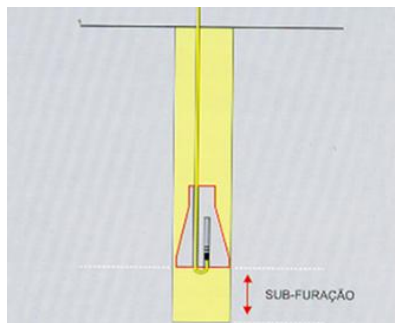
A simplicidade dessa técnica contrasta com sua importância em garantir a iniciação na posição desejada. Essa abordagem ilustra que, além de escolher a escorva correta, é vital compreender como usá-la e onde ela está posicionada. Da mesma forma, dominar a utilização do produto, mesmo sem possuir a escolha ideal, também pode levar a complicações.

Isso ressalta a necessidade constante de conhecer profundamente os produtos e, ainda mais crucialmente, de compreender como empregá-los eficazmente. É importante ter em mente que escolher o booster mais adequado é apenas um passo inicial. É crucial entender a função do booster, sua operação e como podemos otimizá-lo para obter resultados superiores na detonação.

www.blastingtreinamentos.com

Mesmo que o booster possa parecer um componente simples, sua participação é vital no processo de iniciação do explosivo. A iniciação inadequada pode resultar na perda de uma parcela substancial da energia explosiva. Entretanto, não é somente o booster que faz a diferença. São todos os elementos do processo, desde a qualidade da carga explosiva até as condições da sua aplicação, o dimensionamento da escorva, o ambiente, o tipo de rocha, o confinamento e uma gama de outros fatores que coletivamente impactam a performance da iniciação.

Um aspecto fundamental na aplicação dos boosters é a recomendação de nunca posicionar o booster diretamente no fundo do furo. De fato, é aconselhável manter uma pequena distância entre o booster e o fundo do furo, com o intuito de evitar danos ao detonador. Especialmente quando empregamos a técnica de subfuração, é crucial assegurar que o booster seja posicionado na linha do corte, garantindo assim uma concentração mais intensa de energia nesse ponto específico.



Em relação à iniciação dos boosters, é imperativo utilizá-los com detonadores ou com o cordel detonante "NP10". Embora algumas operações tenham adotado a prática de utilizar cordéis de menor gramatura, como o "NP 5" ou mesmo o "NP 3", enrolando-os algumas vezes extras para garantir uma maior quantidade de energia, isso não é uma recomendação respaldada pelos fabricantes. Em certos casos, essa abordagem pode comprometer a iniciação de forma inadequada.

Assim como qualquer componente explosivo ou acessório, é vital evitar o uso de boosters danificados. Uma situação comum é quando um dos furos do booster está ligeiramente obstruído. Nesse cenário, é absolutamente desaconselhável forçar a entrada do detonador. Caso o detonador não entre livremente, o booster deve ser descartado, e um novo deve ser utilizado em seu lugar. Forçar a inserção de detonadores representa um risco considerável, ainda mais em boosters que possuem alta potência explosiva.

Por último, é crucial garantir que a escorva esteja imersa na massa explosiva. O objetivo é que o explosivo envolva completamente o booster, e isso deve

www.blastingtreinamentos.com

ser realizado com explosivos de qualidade. Portanto, é essencial tomar precauções para evitar que o booster seja colocado em um ambiente contendo água ou impurezas no fundo do furo. O processo de iniciação depende da integridade e eficácia de todos os elementos, e a correta aplicação dos boosters desempenha um papel crucial nesse cenário.

Em conclusão, os boosters se estabelecem como elementos de vital importância na iniciativa de explosivos, proporcionando uma potência adicional que otimiza a detonação e maximiza os resultados desejados. Os boosters representam um elo essencial na cadeia de eventos que culmina na detonação de explosivos, contribuindo para que esses materiais atinjam sua potência máxima e alcancem os resultados desejados em operações de desmonte de rochas. A compreensão profunda da função e aplicação dos boosters é fundamental para a excelência no campo da engenharia de explosivos, bem como para garantir a segurança e eficácia nas operações de mineração e obras civis.

7.11 Acessórios especiais

No contexto dos acessórios, assim como nos explosivos propriamente ditos, também encontramos soluções desenvolvidas de maneira especializada para atender necessidades específicas. Dentre essas soluções, destacam-se os detonadores, que podem ser concebidos com características especiais para atuar de maneira segura e eficaz em cenários particulares.



Trazemos à luz alguns exemplos de detonadores especiais, que têm aplicações específicas. Estes modelos são concebidos com atributos distintos, permitindo enfrentar situações particulares que exigem soluções personalizadas:

- **Detonadores para Desmonte Subaquático:** Projetados para operações subaquáticas, esses detonadores apresentam características notáveis, como resistência elevada à pressão hidrostática e uma notável impermeabilidade. Embora as normas internacionais ainda não tenham alcançado uma padronização completa, estima-se que tais detonadores devam resistir a pressões de até 150 metros abaixo d'água durante períodos de 24 a 72 horas.

www.blastingtreinamentos.com

- **Detonadores Permissíveis (à Prova de Fogo):** Desenvolvidos para ambientes onde há risco de atmosferas inflamáveis, como minas de carvão ou locais com presença de gases inflamáveis. Esses detonadores são tipicamente insensíveis e à prova d'água, com cápsulas de cobre ou latão (uma vez que partículas quentes de alumínio poderiam causar ignição).
- **Detonadores Sísmicos (Sismográficos):** Especialmente fabricados para aplicações em prospecção sismográfica com explosivos. Sua característica predominante é a regularidade extrema no tempo de detonação, particularmente curto – cerca de 0,001 milissegundos em comparação com o 1 milissegundo dos detonadores instantâneos convencionais. Essa precisão é vital para evitar interferências e obter resolução aprimorada em sismogramas.

Além desses, inúmeros outros exemplos ilustram a diversidade de soluções específicas que podem ser encontradas no mercado. Detonadores desenvolvidos para furos extremamente profundos, para retardos prolongados, para reações químicas específicas e outras situações pontuais demonstram a capacidade de adaptação dos acessórios às necessidades variadas.

É importante ressaltar que, dadas as especificidades desses acessórios especializados, muitos deles são fabricados e desenvolvidos mediante encomenda. Consequentemente, essas soluções podem envolver custos mais elevados e prazos de entrega mais longos do que os acessórios mais padronizados. No entanto, a capacidade de adaptar os acessórios para responder a necessidades específicas é uma faceta crucial da engenharia dos explosivos, garantindo a eficácia, segurança e precisão nas operações.

Conclusão

Neste capítulo, consolidamos nossa abrangente exploração do mundo dos acessórios utilizados no desmonte de rochas. Ao analisar os diversos tópicos que compõem este capítulo, desde a classificação dos sistemas de iniciação até a análise detalhada dos boosters, conseguimos pintar um retrato completo da vital importância desses componentes.

www.blastingtreinamentos.com

Cada um dos tópicos discutidos contribui para a narrativa que enfatiza como os acessórios são o cerne da eficiência e segurança nas operações de desmonte. Eles não devem ser considerados simples componentes secundários; pelo contrário, são os elementos cruciais que garantem o funcionamento harmonioso da máquina de detonação, produzindo resultados previsíveis e controlados. Assim, a relevância dos acessórios transcende sua natureza complementar, elevando-os ao patamar de elementos vitais na engenharia contemporânea de desmonte.

A análise cuidadosa da classificação dos sistemas de iniciação nos levou a explorar a diversidade e funcionalidades de cada componente, ilustrando a vasta gama de opções disponíveis para a engenharia moderna. Ao adentrar no universo dos detonadores elétricos e não-elétricos, destacamos a importância da sincronização e do controle preciso no momento das detonações, ressaltando que esses acessórios não são simples catalisadores, mas sim maestros das detonações. O cordel detonante também se revelou como uma ferramenta versátil, capaz de desempenhar vários papéis, desde a iniciação direta até o controle do sequenciamento em detonações sequenciais.

Em um cenário onde a evolução tecnológica é constante, a introdução dos detonadores eletrônicos marcou um progresso significativo. No entanto, a busca incessante por aprimoramento e segurança continua, e agora, com a chegada dos detonadores wireless, um novo horizonte se abre na automação e eficiência das operações. Essa inovação não só promete detonações mais precisas e seguras, mas também abre portas para novas técnicas e abordagens, transformando o desmonte de rochas em um campo fértil para a aplicação das últimas tendências tecnológicas. A convergência entre a engenharia de explosivos e as soluções wireless está redefinindo a maneira como encaramos a detonação, pavimentando o caminho para uma engenharia de desmonte mais ágil, controlada e adaptável.

Para ambientes desafiadores, como operações subaquáticas, locais inflamáveis e situações sísmicas, os acessórios especializados desempenham papéis de destaque, adaptando-se às necessidades singulares de cada contexto. Esses acessórios customizados garantem que, mesmo nos

www.blastingtreinamentos.com

ambientes mais extremos, a engenharia de desmonte se mantenha precisa e segura.

Por fim, nossa exploração detalhada dos boosters enfatiza seu valor inestimável como reforçadores da iniciação. Eles amplificam a potência dos explosivos, permitindo que atinjam sua velocidade máxima de detonação, resultando em fragmentação eficiente. A aplicação criteriosa dos boosters é crucial, desde a seleção até a inserção estratégica na massa explosiva.

Este capítulo nos deixa com a clara compreensão de que os acessórios são mais do que meros componentes; são os maestros que regem a coreografia das detonações. Seu papel é determinante na fragmentação controlada das rochas, na segurança dos trabalhadores e na mitigação dos impactos ambientais. A definição dos acessórios iniciadores como uma sinergia de produtos e tecnologias que instigam as cargas explosivas de forma confiável, no momento preciso e na sequência correta, ressalta sua importância vital. Eles são os elos críticos entre a teoria e a prática, a engenharia e a execução. São responsáveis por transformar a energia potencial contida nos explosivos em ação controlada, moldando assim o cenário das operações de desmonte de rochas.

Em última análise, a complexidade do desmonte de rochas e a busca incessante por precisão e segurança tornam os acessórios elementos centrais e inegociáveis. São os pilares sobre os quais repousa a excelência na engenharia de explosivos, influenciando direta e indiretamente os resultados das detonações. Portanto, cada detonação é uma manifestação do meticuloso equilíbrio entre a escolha, aplicação e sincronização dos acessórios, culminando na transformação das formações rochosas e no progresso das atividades de mineração e obras civis. Compreender a complexidade e importância dos acessórios é um passo essencial para dominar as nuances do desmonte de rochas, direcionando assim o futuro da engenharia nesse campo crucial para o desenvolvimento da sociedade.

Capítulo 8: Seleção dos explosivos e acessórios

Introdução

Nossa jornada pelo mundo do desmonte de rochas nos conduziu através das minúcias técnicas e dos fundamentos que permeiam essa disciplina essencial. Desde a compreensão dos explosivos e suas propriedades únicas até a exploração dos acessórios que coordenam o processo de detonação, nosso conhecimento tem crescido de maneira sólida. Neste capítulo, concluiremos essa jornada abordando um dos estágios mais cruciais em qualquer operação de desmonte: a criteriosa seleção de explosivos e acessórios.

O conhecimento que iremos adquirir é uma mescla cuidadosamente equilibrada de conceitos essenciais e critérios práticos que moldam essa escolha estratégica. Este é um marco em nossa jornada, onde as bases que estabelecemos até agora se entrelaçam com a técnica e a bagagem histórica que acumulamos.

A seleção dos explosivos que provocarão a fragmentação das rochas e dos acessórios que coordenarão essa transformação é mais do que uma mera tarefa técnica; é uma arte que combina conhecimento, experiência e estratégia. Cada escolha que fazemos influenciará não apenas a eficácia da detonação, mas também a segurança dos trabalhadores, a otimização da produção e o impacto ambiental.

Neste capítulo, aprofundaremos as considerações e os processos envolvidos na seleção dos explosivos, escorvas e sistemas de iniciação. Exploraremos as variáveis que devem ser levadas em consideração para determinar quais explosivos são mais adequados para cada cenário específico, bem como as nuances que definem a escolha das escorvas e sistemas de iniciação ideais. Além disso, abordaremos algumas das novas tecnologias e pesquisas que estão moldando o futuro dos explosivos e acessórios, abrindo caminho para operações mais eficientes, seguras e inovadoras.

Para contextualizar, a seleção dos explosivos e acessórios é o primeiro passo no processo de desmonte de rochas. O princípio fundamental é claro: a detonação deve ser eficiente, segura e proporcionar resultados satisfatórios, sempre considerando a otimização dos custos. Além dessa diretriz fundamental, um entendimento completo dos aspectos técnicos e práticos é

www.blastingtreinamentos.com

vital. Nossas escolhas não afetam apenas o momento da detonação, mas também têm repercussões em toda a operação.

É importante lembrar que o uso de explosivos é altamente regulamentado em praticamente todos os países. Leis e regulamentos estabelecem o caminho da segurança, destacando a necessidade de priorizar a integridade de todos os envolvidos e afetados pelo processo. Um ponto de partida incontestável é que a escolha dos explosivos e acessórios deve estar intrinsicamente ligada à garantia da segurança, tanto por imperativos legais quanto pela ética de nossa profissão.

Outro aspecto crucial a ser compreendido é que, embora existam fatores teóricos relevantes na escolha de explosivos e acessórios, a realidade operacional impõe suas limitações. Na análise prática, três fatores principais se destacam como guias dessa escolha: considerações comerciais, restrições contratuais e particularidades operacionais. Identificar o fornecedor de explosivos, compreender os produtos disponíveis sob contrato e alinhar a escolha aos procedimentos operacionais são considerações que convergem nesse processo.

Enquanto exploramos esse tema complexo, é importante ressaltar que, apesar das restrições inerentes à prática, nossa missão é revelar os critérios essenciais que moldam a seleção de explosivos. Nosso compromisso continua a ser o de compreender os princípios técnicos, operacionais e regulatórios que influenciam essa escolha. Por meio desse entendimento, estaremos capacitados a tomar decisões informadas, aplicando nosso conhecimento acumulado para moldar uma escolha que, dentro das circunstâncias, otimize os resultados desejados.

Ao final deste capítulo, teremos não apenas concluído nossa jornada pelo universo dos explosivos e acessórios utilizados atualmente no desmonte de rochas, mas também estaremos equipados com um conhecimento sólido e uma compreensão abrangente da importância da seleção criteriosa dos produtos que utilizaremos. Convidamos você a embarcar conosco nesta última etapa, onde as decisões estratégicas se encontram entre a ciência e a prática, moldando o presente e o futuro do desmonte de rochas.

8.1 Princípios gerais da seleção de explosivos e acessórios

Com a compreensão inicial sobre a importância da escolha criteriosa de explosivos e acessórios, é essencial delinear os seis princípios gerais que constituem os pilares dessa seleção estratégica. Cada um desses princípios é uma peça crítica no quebra-cabeça da decisão, moldando nossas opções e direcionando nossos passos em direção a uma detonação bem-sucedida e eficiente.

1. **Disponibilidade e Suporte dos Fornecedores:** Um ponto crucial que influencia nossa escolha é a gama de opções oferecidas pelos fornecedores locais. Algumas operações podem desfrutar de um leque amplo de escolhas, enquanto outras, em locais mais remotos, podem se deparar com limitações de oferta e suporte. A análise dessa disponibilidade é o ponto de partida, evitando considerar produtos que não estejam acessíveis.
2. **Segurança na Aplicação e Detonação:** A segurança é a espinha dorsal de toda operação, e a escolha dos explosivos não é exceção. Avaliar o nível de controle e qualidade das práticas operacionais é fundamental para determinar quais explosivos se alinham melhor com os padrões de segurança. Operações com padrões elevados têm flexibilidade mais ampla, enquanto aquelas com níveis inferiores de segurança devem priorizar produtos mais seguros.
3. **Necessidades Técnicas:** Cada operação possui necessidades técnicas específicas, derivadas dos requisitos particulares de controle, resultados almejados e limites pré-definidos. Essas necessidades direcionam as opções de escolha, formando uma ponte entre os objetivos operacionais e os explosivos ideais para alcançá-los.
4. **Questões Operacionais:** A escala e as características operacionais são determinantes na seleção de produtos. Operações menores podem optar por explosivos com aplicação manual, enquanto as de maior porte, devido à demanda de produção, podem se restringir a produtos bombeáveis. A eficiência e a praticidade operacional são fatores-chave aqui.
5. **Resultados Esperados:** As metas e os objetivos específicos de cada detonação moldam a escolha dos explosivos. Parâmetros de fragmentação, lançamento e outros critérios de desempenho

www.blastingtreinamentos.com

direcionam a seleção, garantindo que os resultados desejados sejam alcançados de maneira consistente.

6. **Custos:** Embora almejemos a melhor performance, o equilíbrio financeiro é inegavelmente relevante. O fator custo desempenha um papel crucial, variando em sua influência de operação para operação. Algumas vezes, os custos serão determinantes, enquanto em outras situações, o valor global dos benefícios terá peso maior.

A compreensão profunda desses princípios proporciona o alicerce necessário para uma escolha informada e eficaz de explosivos e acessórios. Cada um desses fatores interage de maneira única, convergindo para moldar uma solução que seja otimizada para a operação específica em questão.

Em um cenário ideal, a seleção de explosivos e acessórios para cada detonação seria guiada por uma análise minuciosa de todas as informações e variáveis relacionadas à operação. Essa análise abrangente começaria com o estudo das propriedades da rocha a ser fragmentada e se estenderia até os parâmetros operacionais que regem a aplicação e execução dos produtos na detonação. Portanto, a premissa é clara: quanto mais abrangente e precisa for a informação coletada, mais precisa será a escolha do conjunto explosivo.

No entanto, compreender as necessidades e particularidades da detonação em questão não é suficiente. É igualmente essencial possuir um profundo conhecimento das características dos explosivos e acessórios disponíveis para seleção. Nesse contexto, os fabricantes e fornecedores se destacam como a principal fonte de informação. O exame minucioso das informações fornecidas por esses atores torna-se imperativo, embora haja um ponto crucial a ser considerado: a variação nos parâmetros de caracterização empregados por diferentes fabricantes. A comparação entre produtos de origens distintas requer uma avaliação criteriosa da compatibilidade das informações disponíveis.

Um aspecto que merece uma atenção especial é a relação intrínseca entre os produtos escolhidos e as técnicas operacionais empregadas. A harmonização entre as características dos explosivos e acessórios e a abordagem prática é de suma importância. Por exemplo, selecionar explosivos de alta energia e aplicá-los com práticas operacionais inadequadas contradiz o propósito da seleção, resultando em resultados não ideais e desperdício de recursos. A

www.blastingtreinamentos.com

sinergia entre o produto e a prática é um elo indissociável que deve ser cuidadosamente forjado.

Portanto, a escolha inteligente de explosivos e acessórios vai além da mera análise de características técnicas. É uma combinação habilidosa de informações que abrange desde as nuances geológicas até as técnicas operacionais, com os fabricantes atuando como fontes de informações cruciais. A percepção da interdependência entre todos esses elementos é a chave para otimizar a detonação, alcançar resultados excepcionais e, acima de tudo, assegurar um ambiente de trabalho seguro e produtivo. Nos próximos segmentos, exploraremos em detalhes os critérios específicos e os procedimentos que norteiam a seleção de explosivos, transformando a complexidade desse processo em uma oportunidade de aperfeiçoamento contínuo.

Considerando tudo isso, para termos uma melhor compreensão de um processo padrão de seleção dos explosivos e acessórios, optamos por dividi-lo em três etapas fundamentais, cada qual desempenhando um papel vital na operação global da detonação. Essa abordagem modular permite um entendimento mais claro e um enfoque detalhado em cada estágio. As três etapas são:

1. **Seleção do Explosivo:** O primeiro passo é a escolha criteriosa do explosivo principal, aquele encarregado de executar a tarefa primordial de fragmentar a rocha. Esta fase constitui o alicerce sobre o qual se construirá toda a operação.
2. **Seleção da Escorva:** Na segunda etapa, transitaremos para a seleção da escorva, compreendendo o conjunto detonador e reforçador. Este conjunto é responsável por uma iniciação precisa do explosivo principal. A análise nessa etapa abraça a compatibilidade entre a escorva escolhida e o explosivo, considerando também as condições de aplicação.
3. **Seleção do Sistema de Iniciação:** A terceira etapa engloba a seleção do sistema de iniciação, que interliga os diversos furos da detonação e executa o sequenciamento necessário. Nesse estágio, delinearemos as escolhas e os benefícios dos sistemas de iniciação disponíveis, levando em consideração a natureza das escorvas selecionadas e a operação como um todo.

www.blastingtreinamentos.com

É essencial reconhecer que a sequência proposta reflete a lógica intrínseca do processo de seleção. O explosivo principal, em sua natureza fundamental, é o elemento que conduzirá a fragmentação da rocha de acordo com os objetivos preestabelecidos. A escolha do explosivo se integra aos objetivos e requisitos da operação, estabelecendo a base da seleção.

Uma vez que o explosivo é selecionado, a jornada nos direciona para a escolha da escorva apropriada, uma que esteja alinhada tanto ao explosivo quanto às circunstâncias da aplicação. A variedade de escorvas compatíveis é examinada minuciosamente à luz das necessidades operacionais.

Por fim, já com a escorva definida, o foco se volta para a seleção do sistema de iniciação. Este estágio finaliza o quebra-cabeças da seleção, garantindo que a conexão entre os furos de detonação seja eficaz e que o sequenciamento ocorra de forma precisa.

Portanto, aprofundar-se nesse processo desafia apenas a superfície do conhecimento que sustenta a seleção de explosivos e acessórios. Cada etapa é uma peça crucial desse intrincado quebra-cabeça, e compreendê-las não só garante uma detonação bem-sucedida, mas também otimiza os resultados gerais da operação.

8.2 Seleção dos explosivos

No centro da seleção dos explosivos e acessórios que darão vida à nossa detonação, surge o primeiro passo: a escolha do explosivo principal. Esse componente-chave, encarregado de fragmentar a rocha de acordo com nossos objetivos, guia nossas decisões subsequentes. O explosivo principal não apenas assegura o sucesso da detonação, mas também determina quais acessórios são necessários para sua aplicação nas condições pré-determinadas.



A seleção do explosivo principal é uma exploração minuciosa de todas as opções disponíveis e suas características. Esta etapa exige uma análise detalhada, com o intuito de encontrar o explosivo que melhor se adequa às nossas necessidades. Além disso, precisamos ter em mente que as escolhas de acessórios, tanto para a escorva quanto para a interligação dos furos, estão

www.blastingtreinamentos.com

diretamente ligadas ao explosivo principal. Elas são restritas aos acessórios compatíveis com o explosivo escolhido e com as condições operacionais.

O explosivo que selecionamos é o alicerce sobre o qual nossa detonação é construída, materializando nossas metas e requisitos. No entanto, não devemos subestimar a importância dos acessórios. Embora sejam influenciados pelo tipo de explosivo, esses acessórios desempenham um papel fundamental na aplicação precisa do explosivo e na otimização do desempenho geral da detonação.

Frequentemente, na prática cotidiana, nossas escolhas não são tão amplas quanto gostaríamos. Fatores como contratos exclusivos com fornecedores, número limitado de fornecedores na região, condições operacionais e custos podem delinear nossas opções. Apesar dessas limitações, ainda temos possibilidades. É crucial compreendê-las bem, a fim de aproveitar ao máximo nossas opções restritas.

A atenção é um requisito constante, pois, em muitos dos casos, as decisões finais sobre explosivos e acessórios são tomadas durante os períodos de renovação de contrato. São momentos ideais para avaliar as condições contratuais, considerar a possibilidade de mudança de fornecedor e, conseqüentemente, expandir ou variar as opções de explosivos e acessórios disponíveis para o próximo contrato.

Enquanto para obras pontuais essa análise pode não ter um grande impacto, em operações maiores e duradouras, como minerações de longo prazo, essas decisões ocorrem em intervalos mais espaçados, a cada três ou cinco anos, dependendo da duração do contrato. A escolha não apenas influencia o presente, mas também molda o futuro das operações, determinando a eficácia e os resultados das detonações futuras.

Como já comentado, em um cenário ideal, a seleção do explosivo adequado é norteada por uma série de critérios a serem minuciosamente analisados. Contudo, na prática, alguns parâmetros assumem um papel mais decisivo, limitando nossas escolhas ou, em certas circunstâncias, até mesmo ditando qual produto deve ser empregado para atender a essas limitações. Exemplos incluem:

- **Condições Especiais:** Situações como atmosferas explosivas, rochas reativas, terrenos quentes e furos profundos podem demandar

www.blastingtreinamentos.com

explosivos específicos que atendam a essas condições. Nesses casos, a escolha do explosivo será influenciada diretamente pela necessidade de atender a essas especificações, independentemente de quaisquer outros critérios.

- **Características dos Equipamentos:** As particularidades dos equipamentos usados na aplicação dos explosivos podem desempenhar um papel fundamental na seleção do explosivo mais apropriado. O explosivo escolhido deve ser compatível com as características técnicas e operacionais dos equipamentos.
- **Características da Rocha:** A natureza da rocha em questão também exerce sua influência. Diferentes explosivos podem ser mais eficazes em rochas específicas, considerando fatores como dureza, porosidade e estrutura geológica.
- **Limitações Físicas e Operacionais:** Limitações físicas, como espaço restrito, e limitações operacionais, como a necessidade de precisão em locais sensíveis, podem moldar nossas escolhas de explosivos.
- **Presença de Água:** A presença de água no local da detonação é outro fator crucial. Explosivos à prova d'água podem ser indispensáveis em situações onde a água está presente, garantindo a eficácia da detonação.

Esses são apenas alguns exemplos das condições e parâmetros que podem restringir ou influenciar nossas escolhas ao selecionar o explosivo apropriado. Portanto, o primeiro passo na escolha de explosivos é sempre avaliar se quaisquer dessas condições ou parâmetros estão presentes, antes de prosseguir para avaliar outros critérios. A compreensão dessas variáveis é essencial para tomar decisões informadas e eficazes na seleção de explosivos.

Na realidade operacional, quando entramos em uma operação em andamento, frequentemente já temos um explosivo padrão à disposição ou, no caso de uma nova operação, recomendações de consultoria sobre qual explosivo utilizar. Em muitos casos, nossa escolha consiste em analisar se uma mudança de explosivo é necessária, em vez de determinar o explosivo inicial para uma nova operação.

Portanto, o primeiro passo crucial é realizar uma análise minuciosa do explosivo atual, avaliar seu desempenho em relação às nossas necessidades e identificar áreas onde resultados mais satisfatórios são desejados. Essas

www.blastingtreinamentos.com

informações são fundamentais para definir os objetivos da escolha e comparar as opções disponíveis de acordo com o cenário atual.

Seja escolhendo um explosivo para uma nova operação ou considerando a substituição do explosivo atual, uma série de critérios teóricos e práticos devem ser avaliados para selecionar os explosivos que melhor se adequem às nossas necessidades. Aqui estão os principais critérios que merecem análise:

- **Condições Especiais:** Situações especiais, como a presença de atmosferas explosivas ou rochas reativas, devem ser atendidas por explosivos específicos.
- **Disponibilidade e Flexibilidade:** A disponibilidade dos explosivos no mercado e a flexibilidade para atender às variações operacionais são pontos de destaque.
- **Resultados:** Os resultados desejados são sempre um guia inicial para desenhar o caminho até eles.
- **Custos:** O impacto financeiro da escolha do explosivo deve ser ponderado em relação aos benefícios.
- **Tipo de Desmonte:** O tipo de desmonte a ser realizado influencia a escolha do explosivo.
- **Tamanho da Detonação:** A dimensão da detonação e o volume de rocha a ser fragmentado são fatores importantes.
- **Tempo de Permanência:** As características perecíveis dos explosivos devem ser avaliadas e comparadas as condições operacionais.
- **Propriedades da Rocha:** A composição e características da rocha afetam a escolha do explosivo.
- **Energia:** A energia liberada pelo explosivo afeta sua capacidade de fragmentação.
- **Presença de Água:** Explosivos à prova d'água podem ser essenciais se houver água no local.
- **Características do Furo:** O diâmetro, profundidade e configuração dos furos influenciam a escolha.
- **Questões Operacionais:** Considerações práticas sobre aplicação e logística desempenham um papel relevante.
- **Mão de Obra Disponível:** A expertise da equipe em lidar com determinado explosivo é importante.
- **Condições Ambientais:** Fatores ambientais devem ser levados em conta.

www.blastingtreinamentos.com

- **Compatibilidade de Produto:** Explosivos e acessórios devem ser compatíveis.
- **Desempenho em Condições Semelhantes:** Avaliar como o explosivo se comportou em operações semelhantes.

Ao analisar e ponderar esses critérios, podemos tomar decisões informadas sobre qual explosivo escolher. A compreensão holística de todas essas variáveis contribui para otimizar a escolha do explosivo e, conseqüentemente, o sucesso da detonação.

8.2.1 Condições Especiais

No contexto da seleção de explosivos, como destacado anteriormente, certas condições especiais desempenham um papel determinante na escolha do explosivo mais adequado. Esse é o ponto inicial que devemos considerar ao analisar as opções de explosivos disponíveis.

Essas condições especiais podem abranger diversos aspectos, incluindo considerações técnicas, operacionais e de segurança. Elas podem surgir como restrições ou limitações que influenciam nossa escolha. Por exemplo, temos as condições que requerem explosivos de características específicas, das quais já abordamos anteriormente. Os exemplos principais incluem a necessidade de explosivos em ambientes com atmosfera explosiva, em rochas reativas, em terrenos sujeitos a altas temperaturas ou em furos de grande profundidade.

Além desses cenários mais particulares, também existem outras condições mais comuns que também moldam nossa escolha de explosivo, como:

- Consideremos o caso de uma rocha extremamente fraturada: Nesse cenário, a utilização de explosivos encartuchados ou menos fluidos pode ser necessária para reduzir a migração do explosivo pelas fraturas da rocha. Isso ilustra como a composição da rocha pode impor restrições específicas em relação ao explosivo mais adequado.
- Outra situação envolve áreas urbanas próximas à operação: Nesse contexto, pode haver limitações na quantidade de explosivos que podem ser usados, o que, por sua vez, pode restringir o diâmetro dos furos. Como resultado, a escolha de um explosivo que seja eficaz em diâmetros menores se torna relevante. Ou ainda a necessidade de

www.blastingtreinamentos.com

utilizar explosivos de baixa densidade ou mesmo que possuam pouca energia de choque.

Resumidamente, o primeiro passo crucial na seleção de explosivos é identificar a presença de condições especiais ou fatores limitantes. A partir dessa identificação, podemos então prosseguir para a análise dos demais critérios que influenciam a escolha do explosivo ideal. Reconhecer e compreender essas condições especiais é fundamental para tomar decisões informadas e estratégicas, garantindo a eficiência e segurança das detonações.

8.2.2 Disponibilidade e Flexibilidade

Após a análise das limitações que impactam a escolha de explosivos, o próximo passo crucial é avaliar a disponibilidade dos explosivos e sua flexibilidade de aplicação. Esse aspecto pode ter diferentes relevâncias dependendo das circunstâncias da operação.

Para algumas operações bem localizadas e com fornecedores confiáveis, a disponibilidade de explosivos pode ser um fator não problemático. No entanto, em cenários mais complexos, como operações remotas ou áreas com número limitado de fornecedores, a escolha dos explosivos disponíveis pode se tornar mais restrita.

Uma consideração especial envolve explosivos aplicados mecanicamente, como os explosivos blendados. A aplicação desses explosivos pode não ser economicamente viável para operações menores ou em condições que não permitam o uso eficiente dos equipamentos. Por exemplo, terrenos de difícil acesso ou túneis estreitos podem criar limitações para a aplicação de explosivos blendados.

A disponibilidade dos explosivos é uma consideração crucial, uma vez que não adianta considerar explosivos que não estão prontamente acessíveis para a operação em questão.

Além da disponibilidade, a flexibilidade desempenha um papel essencial. As operações frequentemente enfrentam cenários e condições variadas que podem exigir explosivos diferentes. Ter a capacidade de escolha flexível é uma necessidade constante para muitas operações.

www.blastingtreinamentos.com

Algumas operações podem demandar apenas um tipo de explosivo. No entanto, outras podem precisar de dois ou até três tipos distintos, dependendo das particularidades das detonações. Como por exemplo um explosivo mais energético para o minério e um de baixa densidade para o estéril, ou mesmo para detonações de aproximação em taludes ou em áreas próximas a estruturas ou comunidade. Uma alternativa que muitas vezes pode ser interessante são os produtos blendados, que em muitos cenários podem oferecer uma abordagem altamente flexível, permitindo a combinação de diferentes explosivos em proporções específicas para atender a diferentes necessidades.

Atualmente, equipamentos de aplicação avançados estão disponíveis para a produção de diferentes tipos de explosivos e blends. Esses equipamentos não apenas possuem tanques de emulsão e nitrato de amônio, mas também compartimentos separados para componentes como alumínio, produtos de baixa densidade e aditivos especiais. Isso permite uma adaptação mais precisa às características de cada detonação.

Em resumo, a análise da disponibilidade e flexibilidade dos explosivos é fundamental para garantir que as escolhas se alinhem com as condições operacionais específicas e as necessidades variadas das detonações.

8.2.3 Resultados

Após a análise das condições especiais, restrições e disponibilidade dos explosivos, a atenção se volta para um ponto crucial na determinação do explosivo adequado: as necessidades e objetivos a serem alcançados. Trata-se dos resultados desejados, sejam eles relacionados à fragmentação ou a outras necessidades específicas.

Como mencionado anteriormente, os objetivos e necessidades servem como ponto de partida para definir parâmetros em qualquer detonação, especialmente quando não há limitações restritivas. Além de influenciar a escolha do explosivo, os objetivos também moldam o planejamento da detonação, as práticas operacionais e as técnicas empregadas.

A busca por resultados específicos ou a maximização do desempenho em pontos determinados direcionam não apenas a seleção do explosivo, mas também todo o processo de planejamento da detonação. Por exemplo, a

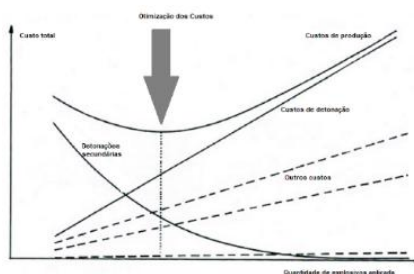
necessidade de obter uma fragmentação mais eficiente pode exigir o uso de explosivos com maior energia. Para alcançar maiores lançamentos, explosivos mais gasosos podem ser necessários. Quando a precisão no controle da parede é fundamental, explosivos especiais ou de menor densidade podem se mostrar ideais. Em cada caso, as necessidades específicas ditam o tipo de explosivo mais apropriado para atender aos resultados desejados.

No entanto, é importante reconhecer que nem sempre os objetivos são compatíveis. Em situações em que múltiplas necessidades coexistem, análises mais detalhadas podem ser necessárias para selecionar explosivos equilibrados. A flexibilidade dos explosivos disponíveis para uso também é essencial, especialmente em operações de grande escala e complexidade, onde as variáveis operacionais estão em constante mudança ou as características das rochas podem variar significativamente.

Em resumo, a consideração dos resultados desejados é uma etapa primordial na escolha de explosivos. Esses resultados moldam a seleção do explosivo e influenciam todo o planejamento da detonação, garantindo que os objetivos sejam alcançados de maneira eficaz e eficiente, dentro das complexas realidades operacionais.

8.2.4 Custos

Outro aspecto de alta relevância que merece destaque é a avaliação dos custos associados à escolha dos explosivos, um ponto crucial que deve ser cuidadosamente ponderado com as características e demandas específicas de cada operação. Nesse contexto, é crucial adotar uma abordagem abrangente ao avaliar os custos, levando em consideração tanto os aspectos unitários quanto o custo total, e realizando comparações detalhadas dos resultados obtidos com cada opção.



É fundamental ressaltar que, ao analisar os custos, é imperativo ir além da mera avaliação do preço unitário. Um enfoque mais abrangente requer a compreensão dos custos totais envolvidos, juntamente com a análise

www.blastingtreinamentos.com

comparativa dos resultados alcançados em cada cenário. Essa abordagem mais completa permite uma visão mais precisa dos impactos financeiros relacionados à escolha do explosivo.

Ao avaliar os custos, é essencial adotar duas perspectivas principais. Primeiramente, os custos devem ser considerados em relação à energia disponibilizada por cada explosivo. É uma observação comum que explosivos mais econômicos tendem a fornecer menos energia ou podem apresentar limitações, como é o caso do ANFO, que, apesar de ser uma opção de baixo custo, não é viável em ambientes com presença de água e possui uma energia de choque comparativamente inferior.

Segundo, é crucial examinar os resultados que cada explosivo pode proporcionar. Como é amplamente reconhecido, os resultados da detonação exercem influência direta em outras atividades subsequentes. Por exemplo, a escolha de um explosivo com baixo desempenho pode acarretar custos maiores em perfuração, carregamento, transporte e processamento subsequente. Em contraste, explosivos que, apesar de possuírem um custo inicial mais elevado, oferecem resultados superiores, podem resultar em custos globais significativamente mais baixos.

É evidente, portanto, que a questão do custo não pode ser subestimada. No entanto, a abordagem para analisar os custos deve ser abrangente e considerar diversos critérios. A análise deve ser conduzida de maneira completa, permitindo que os custos não se tornem um fator limitante na escolha dos explosivos, mas, em vez disso, sejam considerados uma oportunidade de investimento para alcançar resultados mais expressivos e eficientes.

Em muitas ocasiões, é de extrema importância realizar comparações práticas ao avaliar os custos, optando por analisar o custo por unidade de energia em vez do custo por quilograma de explosivo. Além disso, sempre que viável, a realização de testes comparativos ou a busca por referências em outras operações podem ser estratégias valiosas para avaliar os resultados entregues por cada uma das opções de explosivos em análise.

É crucial lembrar que o desempenho da detonação não se baseia unicamente na performance do explosivo em si, mas sim em todos os fatores que compõem o plano de detonação. Assim, empregar um explosivo de alta qualidade de forma inadequada equivaleria a desperdiçar sua energia

potencial. Além de avaliar a relação custo-benefício do explosivo, é imperativo considerar as demais condições técnicas e operacionais para determinar a nossa capacidade de aproveitar plenamente as características do explosivo escolhido. É o exemplo clássico, onde não adianta investir em um carro de corrida caro se não temos uma pista para competir. Em suma, a análise dos custos relacionados à detonação deve incorporar uma abordagem abrangente e não se limitar apenas aos custos diretos do explosivo, a fim de garantir um uso eficaz e proveitoso dos recursos investidos.

8.2.5 Tipo de desmonte

É uma conclusão lógica e, em alguns contextos, pode até ser considerada uma condição especial. No entanto, é fundamental realizar uma avaliação minuciosa do tipo de detonação que estamos planejando executar. Isso se deve ao fato de que certos tipos específicos de detonação podem exigir o uso de explosivos igualmente específicos.

Um exemplo concreto disso é a diferença fundamental entre as detonações em operações a céu aberto e subterrâneas. Essas duas



categorias frequentemente apresentam cenários e condições significativamente distintas, justificando assim a existência de explosivos desenvolvidos especialmente para atender às demandas de cada uma delas. Por exemplo, pode ser formulada uma emulsão exclusiva para detonações subterrâneas em operações de produção, otimizada para ser aplicada em furos estreitos e profundos, com aderência exemplar. Embora teoricamente esse explosivo possa ser usado em detonações a céu aberto, suas características primárias não seriam aproveitadas nesse contexto.

Portanto, cada variação de detonação pode exigir um explosivo específico ou que possua atributos que proporcionem um desempenho superior dentro desse cenário particular. Às vezes, os explosivos formulados exclusivamente para um tipo específico de detonação podem superar em desempenho as alternativas mais genéricas. No entanto, é importante observar que, em geral, esses produtos direcionados tendem a ter um custo mais elevado. Um exemplo disso é a classe de explosivos desenvolvida para detonações de pré-

www.blastingtreinamentos.com

corde ou finalidades esculturais, cujo custo superior é justificado pela excelência dos resultados obtidos nesse tipo específico de detonação.

8.2.6 Tamanho da detonação

Um parâmetro operacional de significativa influência na escolha do explosivo a ser empregado é o tamanho ou volume da detonação a ser realizada. Essa consideração está intimamente ligada aos recursos disponíveis e ao tempo alocado para a preparação e execução do processo de detonação.

De maneira geral, em detonações de menor porte, é apropriado empregar explosivos que possam ser aplicados manualmente ou por meio de dispositivos de aplicação pneumática. Esses explosivos são adequados para atender à gama diversificada de operações de menor escala. Por outro lado, em detonações de envergadura maior, o uso de equipamentos destinados à aplicação de explosivos bombeados ou derramados se revela mais ideal. Esses equipamentos proporcionam uma taxa de produção elevada e, devido à maior quantidade de explosivo a ser utilizado, tendem a ser mais econômicos em termos de custos.

Portanto, o tamanho da detonação é um critério crucial ao selecionar o tipo de explosivo a ser empregado. A escolha entre explosivos aplicados manualmente, especialmente em operações de menor porte, e explosivos aplicados por equipamentos de alta capacidade, voltados para operações de grande magnitude, é determinante para atingir os objetivos operacionais com eficiência e eficácia.

8.2.7 Tempo de permanência

Outra característica operacional de notável importância é o tempo durante o qual os explosivos permanecem nos furos antes da detonação. É fundamental lembrar que, para garantir um desempenho ótimo na detonação, os explosivos devem ser mantidos em condições ideais. É válido destacar que os

www.blastingtreinamentos.com

explosivos podem sofrer deterioração com o passar do tempo ou devido a variações nas condições às quais estão submetidos.

Como é amplamente conhecido, todos os explosivos possuem uma data de validade, que determina o período em que podem ser utilizados quando armazenados nas condições apropriadas. No entanto, além dessa validade, após a aplicação dos explosivos, é crucial avaliar o período de tempo até a detonação, conhecido como "sleep time". Este período é diretamente influenciado pelas condições ambientais a que o explosivo está exposto.



Uma comparação apropriada pode ser feita com produtos perecíveis ou conservas, que, quando não abertos e mantidos em suas embalagens originais, podem durar meses ou anos. No entanto, após a abertura e exposição às condições ambientais, sua validade se reduz a alguns dias.

Geralmente, as informações sobre o tempo de permanência dos explosivos são fornecidas nas fichas técnicas dos produtos. Além disso, é viável obter essa informação diretamente dos fabricantes. Esses períodos podem variar consideravelmente, indo desde a recomendação de detonação imediata, como no caso do ANFO, que é sensível à umidade e à temperatura, até explosivos que podem ser utilizados após vários meses, como é o caso dos explosivos encartuchados.

É fundamental manter vigilância sobre as condições de permanência, pois elas podem ser alteradas sob circunstâncias adversas. Em situações críticas, é essencial recorrer aos fabricantes para consulta ou considerar o uso de produtos especialmente desenvolvidos para enfrentar uma variedade de condições e prolongados períodos de permanência.

8.2.8 Propriedades da rocha

Após avaliar os fatores limitantes, condições técnicas e operacionais, é necessário concentrar-se em características mais específicas da detonação a

www.blastingtreinamentos.com

ser realizada, e uma das mais significativas é, sem dúvida, as propriedades da rocha em questão.

Cada tipo de explosivo pode gerar resultados distintos em diferentes tipos de rocha, especialmente levando em consideração as propriedades geomecânicas do maciço rochoso. A atenção às características e estruturas da rocha é crucial, pois esses fatores têm um impacto direto em todos os parâmetros do plano de fogo, incluindo o tipo e a quantidade de explosivos que serão empregados.

Portanto, é primordial possuir um conhecimento substancial sobre o maciço rochoso. Esse conhecimento não apenas é essencial para selecionar os explosivos adequados, mas também para alcançar resultados satisfatórios. Esse aspecto adquire ainda mais importância em operações de grande escala, especialmente em minerações que envolvem o processamento de rochas. Nesses casos, os resultados da detonação exercem influência sobre um número ainda maior de etapas subsequentes.

Na prática, em pequenas detonações onde o objetivo principal é a remoção de material, uma avaliação visual razoável das características da rocha pode ser suficiente para escolher o explosivo adequado. No entanto, em operações mais complexas, é imperativo ter um entendimento profundo das propriedades da rocha, especialmente em relação às rochas mais duras. Essas rochas frequentemente demandam explosivos de maior potência, capazes de garantir um desempenho otimizado.

Ao considerar de maneira simplificada, a fim de obter uma compreensão abrangente dos cenários gerais, podemos categorizar as rochas em quatro grupos principais:

- **Rochas Maciças e Resistentes:** Este grupo abrange rochas duras e compactas. Para essas, os explosivos com alta densidade e velocidade de detonação (VOD) são recomendados. A maior pressão de detonação gerada por esses explosivos resulta em fraturas mais extensas durante o processo de fragmentação.
- **Rochas Muito Fraturadas:** Nesse caso, as rochas possuem fraturas significativas que causam perda de energia e migração de gases. Explosivos que geram um alto volume de gases são preferíveis, pois esses gases preenchem as fraturas e as expandem antes de serem liberados na atmosfera. Dada a dispersão das ondas de choque pelas

fraturas existentes, os gases mantêm sua eficácia, permitindo um trabalho mais eficaz antes de serem dispersos. Também explosivos menos fluidos, impedindo que eles migrem pelas fraturas, podem ter melhor desempenho.

- **Rochas Porosas ou macias:** Este grupo engloba rochas elásticas e absorventes de energia de choque. Nesse contexto, explosivos de baixa densidade e velocidade de detonação são preferidos. Eles possibilitam uma expansão gasosa prolongada, permitindo maior dilatação e liberação do material. Essa abordagem é necessária para superar a amortização característica dessas rochas.
- **Rochas com Blocos ou Variações de Camadas:** Em situações de rochas com estrutura em blocos ou camadas preexistentes, a seleção do explosivo tem menor impacto no resultado final. Nesses casos, os parâmetros geométricos do plano de fogo, como a distribuição dos explosivos ao longo da rocha, têm maior influência. A escolha do explosivo se baseia nas características de dureza da rocha, e o foco recai mais nos detalhes do plano de fogo.

Portanto, a escolha do explosivo depende do conhecimento profundo das propriedades da rocha envolvida na detonação. Essa compreensão orienta a seleção dos explosivos mais adequados para otimizar a fragmentação e os resultados desejados, levando em conta as características específicas do cenário geológico.

8.2.9 Energia

A energia dos explosivos é um critério desafiador de comparar com precisão entre diferentes explosivos. Isso ocorre por várias razões: primeiro, a quantidade exata de energia necessária para fragmentar a rocha conforme as especificações desejadas não pode ser determinada com certeza; segundo, os fabricantes podem usar métodos variados para calcular a energia de seus explosivos, o que torna a comparação entre explosivos distintos menos direta. Além disso, é complicado avaliar o quanto da energia disponível em um explosivo será realmente útil durante o processo de fragmentação, bem como se poderemos aproveitar a mesma quantidade de energia de explosivos diferentes ou em condições diferentes.

www.blastingtreinamentos.com

Como já vimos, de forma bem simples a energia dos explosivos geralmente é dividida em duas categorias: energia de choque e energia gasosa. No entanto, é difícil determinar com precisão a quantidade de cada uma dessas energias e a proporção necessária para alcançar um desempenho de detonação ideal.

Apesar das incertezas e da falta de informações práticas para orientar as escolhas, a energia dos explosivos é mais relevante do que a razão de carga em detonações, especialmente em rochas duras. Portanto, na teoria, a energia deveria ser o principal fator para comparação entre explosivos. Entretanto, na prática, essa comparação não é simples e pode ser complexa devido à falta de disponibilidade e padronização de informações sobre energia em diferentes fornecedores.

A experiência prática e a realização de testes assumem um papel crucial na comparação e seleção de explosivos. A realização de testes que simulem as condições reais de detonação e a avaliação dos resultados obtidos podem oferecer insights valiosos para a escolha do explosivo mais adequado. Dessa forma, embora a comparação de energia entre explosivos seja desafiadora, a realização de testes específicos pode fornecer uma base sólida para tomar decisões embasadas na escolha de explosivos.

Na prática, a comparação de energia entre explosivos é mais frequentemente feita entre produtos do mesmo fabricante. Isso se deve ao entendimento de que o fabricante adotará critérios similares para todos os seus explosivos. No entanto, ao analisar explosivos de diferentes fornecedores, a energia informada por eles é utilizada como uma referência. Nessas situações, a comparação tende a se concentrar em outras características, como a Velocidade de Detonação (VOD), densidade e outras propriedades. Isso muitas vezes é realizado por meio de testes e pela comparação dos resultados obtidos.

Em operações que envolvem variações de condições e tipos de rocha, pode ser necessário ajustar o fator de energia para cada configuração específica de detonação. No entanto, na prática, nem sempre temos uma ampla variedade de explosivos disponíveis para essa adaptação. Nesse contexto, a flexibilidade das características do explosivo se torna crucial. Explosivos blendados, que oferecem variações de densidade e composição, podem ser uma vantagem significativa a ser considerada. Eles permitem uma maior flexibilidade nas

www.blastingtreinamentos.com

configurações de detonação, possibilitando a adaptação a diferentes cenários operacionais.

Quando a flexibilidade dos explosivos não é viável, é fundamental escolher um explosivo que atenda às condições mais desafiadoras ou que tenha um impacto maior nos resultados gerais da operação. Essa abordagem visa garantir o melhor desempenho global possível, mesmo nas situações mais adversas. Portanto, ao lidar com a complexidade da comparação de energia entre explosivos, é importante considerar estratégias que permitam avaliações mais precisas e informadas para cada cenário operacional específico.

8.2.10 Presença de água

Um aspecto prático que merece atenção é a presença de água durante a detonação, especialmente quando consideramos a utilização de explosivos com baixa resistência ou nenhuma resistência à água, como o ANFO e seus derivados. É fundamental reconhecer que a presença de água não é uma constante na maioria das operações, podendo ocorrer apenas em determinados períodos do ano ou em áreas específicas. O foco deve estar em como lidar com essa situação quando a água está presente.

Essa análise ganha relevância porque, embora o ANFO e seus derivados sejam alternativas de baixo custo que podem apresentar bons resultados, especialmente em rochas mais brandas e fraturadas, eles tendem a ser completamente dessensibilizados na presença de água. Portanto, é crucial avaliar a probabilidade da presença de água, o impacto que isso pode ter e as alternativas disponíveis para enfrentar essa situação. Isso pode envolver a consideração de explosivos resistentes à água ou a implementação de técnicas que permitam o uso de explosivos não resistentes à água quando necessário.

Quando a água é um fator predominante, pode ser mais vantajoso optar por explosivos que sejam intrinsecamente resistentes à água, uma vez que a utilização limitada de um explosivo pode não justificar sua presença. A situação torna-se mais complexa quando a água está em movimento, o que é comum em operações subterrâneas. Além do impacto da própria água, seu movimento e força podem criar desafios adicionais. Isso é particularmente evidente em rochas muito fraturadas, onde a água pode transportar os

www.blastingtreinamentos.com

explosivos pelas fraturas. Em detonações subterrâneas com furos ascendentes, a presença de água dificulta a retenção dos explosivos nos furos.

Nesse contexto, além de selecionar os explosivos adequados, é necessário considerar as técnicas de aplicação que serão utilizadas. Existem abordagens eficazes, como o desaguamento ou o revestimento interno dos furos com camisas plásticas. Essas técnicas podem ser especialmente eficazes em cenários mais simples, permitindo em alguns casos a utilização de explosivos não resistentes à água. Portanto, ao enfrentar a presença de água durante a detonação, é essencial adotar uma abordagem holística que considere tanto a escolha dos explosivos quanto as estratégias de aplicação que melhor se adequem às condições específicas de cada operação.

8.2.11 Características do furo

Outro aspecto crucial na seleção de explosivos é considerar as características padrão dos furos que serão utilizados na detonação, com foco especial nos diâmetros e profundidades máximas.

Diâmetro dos Furos:

- É essencial estar atento ao diâmetro crítico de cada explosivo. Em operações onde múltiplos diâmetros são utilizados, é altamente recomendado que todos os explosivos atendam ao menor diâmetro possível. Isso evita a possibilidade de utilizar o explosivo inadequado por engano em um diâmetro específico.
- As implicações do diâmetro são variadas e afetam a velocidade de detonação. Diâmetros maiores resultam em velocidades de detonação maiores, enquanto diâmetros menores requerem explosivos mais sensíveis. Além disso, as características de aplicação também desempenham um papel. Por exemplo, quando aplicamos ANFO de forma pneumática, diâmetros menores são viáveis devido ao maior confinamento. Por outro lado, o ANFO derramado apresenta menor confinamento, exigindo um diâmetro crítico maior.

Profundidade dos Furos:

- A profundidade dos furos também influencia a escolha de explosivos. Furos muito profundos podem demandar explosivos especiais.

Recomenda-se prestar atenção às práticas de iniciação, sugerindo uma escorva a cada 10 metros de carga explosiva. Quanto mais profundo o furo, mais aconselhável é usar escorvas mais potentes para manter a VOD máxima do explosivo ao longo da coluna explosiva.

- É importante considerar os explosivos gaseificados quimicamente, especialmente em furos profundos. A variação de densidades ao longo do furo pode resultar em uma alta densidade na parte inferior do furo, diminuindo a sensibilidade do explosivo à iniciação.

Portanto, a análise criteriosa do diâmetro e profundidade dos furos é essencial para escolher explosivos que garantam uma detonação eficaz e segura. Compreender as complexas interações entre diâmetro, confinamento, velocidade de detonação e sensibilidade é vital para tomar decisões informadas e otimizar o desempenho da detonação.

8.2.12 Questões operacionais

É crucial enfatizar que o planejamento e a execução da detonação têm um impacto significativo no resultado final. Portanto, não devemos negligenciar as questões operacionais ao escolher os explosivos a serem utilizados.

A necessidade de aplicar explosivos por meio de técnicas manuais ou mecanizadas já indica a categoria de explosivo que será utilizada. A escolha deve levar em conta as características dessas técnicas para garantir uma aplicação eficaz e segura.

A qualidade da operação de carregamento e preparo da detonação influencia diretamente no desempenho dos explosivos. Qualquer tentativa de obter melhores resultados deve começar garantindo que as práticas operacionais sejam aprimoradas e que a aplicação do explosivo seja de alta qualidade. É importante notar que a transição de produtos prontos, como cartuchos, para explosivos bombeados pode apresentar desafios. A qualidade da aplicação se torna ainda mais crucial nesse cenário.

Antes de considerar a mudança de explosivos, é imperativo garantir que a qualidade operacional seja suficiente para maximizar o desempenho do explosivo atual, pois apenas assim é possível fazer uma comparação coerente de resultados. A melhoria da qualidade operacional é um pré-requisito para

www.blastingtreinamentos.com

obter resultados superiores ao realizar mudanças no tipo de explosivo utilizado.

A segurança na operação é outro fator determinante na escolha dos explosivos. A avaliação do nível de segurança existente na operação e a seleção do explosivo mais adequado para prevenir eventos indesejados são de extrema importância. A segurança dos trabalhadores e da operação como um todo deve ser uma consideração primordial.

Portanto, ao selecionar explosivos, é fundamental avaliar a adequação das técnicas de aplicação, melhorar a qualidade operacional, garantir a segurança da operação e assegurar que a transição para novos explosivos seja feita de maneira eficiente e segura. Somente com uma abordagem abrangente, que leve em conta todas essas questões operacionais, é possível otimizar os resultados da detonação.

8.2.13 Mão de obra disponível

Um aspecto muitas vezes subestimado, mas de grande importância, é a qualidade e habilidade da mão de obra disponível na operação. Esta consideração deve ser avaliada em conjunto com as questões operacionais, uma vez que a competência da equipe envolvida na aplicação dos explosivos desempenha um papel crucial no sucesso da detonação.

Em várias operações, especialmente em locais remotos, a disponibilidade de mão de obra capacitada para a aplicação de explosivos pode ser escassa. Alguns tipos de explosivos exigem critérios e avaliações específicas durante a aplicação, tornando essencial ter pessoal qualificado para garantir um desempenho adequado. Sem uma equipe treinada, os resultados do explosivo podem ser prejudicados.

A qualidade da mão de obra é particularmente importante para explosivos que requerem procedimentos de aplicação detalhados. Um exemplo é a utilização de emulsão bombeada. A aplicação bem-sucedida desse tipo de explosivo exige rigorosos controles de qualidade, tanto em relação ao produto em si quanto às condições de aplicação. Ajustes frequentemente são necessários para otimizar o desempenho. Nesse contexto, é fundamental que os operadores que aplicam o explosivo tenham um treinamento adequado para realizar esses ajustes de maneira precisa e eficiente.

www.blastingtreinamentos.com

Para garantir a eficácia dos explosivos, é fundamental contar com uma equipe que compreenda os procedimentos de aplicação e possa realizar os ajustes necessários. Caso contrário, os melhores explosivos podem não atingir seu potencial máximo devido à falta de competência da equipe. Portanto, investir na capacitação da mão de obra é uma estratégia inteligente para garantir o sucesso das detonações.

Além do treinamento inicial, é importante oferecer treinamento contínuo à equipe de aplicação de explosivos. Isso permitirá que eles se mantenham atualizados com as melhores práticas e possam lidar com possíveis desafios que possam surgir durante as operações.

Em suma, a qualidade e habilidade da mão de obra disponível desempenham um papel crucial na seleção e aplicação de explosivos. Garantir que a equipe seja treinada e capacitada para lidar com os procedimentos específicos de aplicação de diferentes tipos de explosivos é essencial para alcançar resultados consistentes e bem-sucedidos nas detonações.

8.2.14 Compatibilidade de produto

Além das considerações operacionais e da qualidade da mão de obra, a compatibilidade entre os produtos e as técnicas utilizadas é um fator crucial a ser avaliado ao selecionar os explosivos para uma detonação. A evolução dos explosivos energéticos e acessórios, como os detonadores sem fio, oferece oportunidades interessantes, mas é essencial entender a necessidade e avaliar a viabilidade e compatibilidade desses produtos com a operação.

A escolha de explosivos mais energéticos ou acessórios inovadores deve ser baseada em uma avaliação cuidadosa da necessidade real e dos possíveis benefícios. A compatibilidade entre esses produtos e os demais elementos da detonação devem ser considerada, garantindo que o investimento extra em produtos mais avançados se traduza em melhores resultados.

A utilização de explosivos mais energéticos pode ser vantajosa, mas é fundamental garantir que todas as condições necessárias estejam em vigor para maximizar seu aproveitamento. Isso inclui avaliar se a operação oferece as condições adequadas para a utilização eficaz desses explosivos, incluindo os acessórios necessários para a iniciação e detonação.

www.blastingtreinamentos.com

É importante avaliar a compatibilidade entre os explosivos e os acessórios utilizados na detonação. Por exemplo, se uma operação utiliza cordel detonante ou detonadores eletrônicos, é necessário garantir que esses acessórios sejam adequados para a iniciação do explosivo escolhido e que a sua performance não seja comprometida.

A avaliação de compatibilidade deve considerar o contexto geral da operação. Por exemplo, trocar para explosivos mais energéticos pode não fazer sentido se os acessórios de iniciação utilizados não forem compatíveis com esses explosivos. É necessário garantir que todas as partes do sistema estejam alinhadas e se complementem.

A compatibilidade entre produtos e técnicas é um fator crítico para o sucesso das detonações. Avaliar a compatibilidade não se limita apenas aos produtos em si, mas também envolve uma análise abrangente das técnicas de iniciação, acessórios e condições operacionais. Essa abordagem holística é fundamental para garantir que os explosivos selecionados possam ser aproveitados ao máximo e contribuam para resultados otimizados.

Em resumo, a escolha de explosivos deve levar em consideração não apenas suas características individuais, mas também a compatibilidade com as técnicas, acessórios e condições operacionais. Uma avaliação criteriosa ajudará a determinar se a utilização de produtos mais avançados é vantajosa para a operação e se eles podem ser efetivamente incorporados para obter os melhores resultados possíveis.

8.2.15 Condições ambientais

Além das considerações operacionais e técnicas, as condições ambientais desempenham um papel crucial na escolha dos explosivos apropriados para uma detonação segura e eficaz. As características do ambiente, incluindo riscos potenciais, influenciam a seleção dos explosivos, visando minimizar impactos à segurança, controle e prevenção de danos.

Em áreas próximas a zonas urbanas ou sensíveis, a necessidade de controle sobre as detonações é maior. A seleção dos explosivos deve levar em conta a capacidade de minimizar impactos como flyrocks, vibrações, ondas aéreas, poeira e gases indesejados. Explosivos que ofereçam maior controle sobre esses aspectos são preferíveis nessas situações.

www.blastingtreinamentos.com

As características dos explosivos, como energia de choque e energia gasosa, têm um impacto direto sobre os efeitos ambientais. Explosivos com maior energia de choque podem gerar vibrações e ondas aéreas mais intensas. A maior energia gasosa está associada a mais levantamento de poeira, geração de gases e riscos potenciais de flyrocks. Essas considerações são essenciais para minimizar os impactos no ambiente circundante.

Explosivos produzidos em fábrica tendem a ter características mais previsíveis. Por outro lado, explosivos produzidos na própria operação podem requerer monitoramento mais rigoroso, especialmente em relação a fatores como o balanço de oxigênio, que pode influenciar a geração de gases tóxicos. Como vimos, as práticas operacionais também afetam o desempenho e os efeitos da detonação.

A necessidade de controle de cargas por retardo pode impactar a quantidade de explosivos a ser aplicada. Isso afeta a eficácia das abordagens manuais ou mecanizadas. A seleção dos explosivos deve levar em conta essa limitação e a capacidade de manter o desempenho desejado, mesmo com restrições de retardo.

A seleção de explosivos sob condições ambientais deve ser uma análise abrangente que considere tanto as características dos explosivos quanto as particularidades do ambiente em que a detonação ocorrerá. Isso inclui avaliar os riscos potenciais, os efeitos ambientais e a capacidade de controle da detonação.

A escolha dos explosivos deve priorizar a prevenção e a mitigação de impactos negativos ao ambiente e à segurança. A seleção cuidadosa dos explosivos apropriados, alinhada com o ambiente circundante e as práticas operacionais, garantirá que as detonações sejam realizadas de forma responsável, minimizando danos e riscos associados.

8.2.16 Desempenho em condições semelhantes

Ao selecionar os explosivos ideais para uma detonação, é valioso considerar o desempenho alcançado em operações com condições semelhantes. Embora essa não seja uma decisão determinante, a análise das experiências de outras operações pode servir como referência e fornecer insights úteis no processo de seleção.

www.blastingtreinamentos.com

Ao analisar operações que compartilham características semelhantes com a nossa, como tipo de rocha ou condições de aplicação, podemos obter informações práticas e contextualizadas sobre a escolha de explosivos. Embora as variáveis possam ser muitas, observar o tipo de explosivo usado, a abordagem de aplicação e os resultados obtidos pode fornecer informações valiosas.

Empresas frequentemente possuem operações parceiras ou redes de contatos que podem facilitar a troca de informações. Além disso, os próprios fornecedores de explosivos desempenham um papel importante ao conectar diferentes operações e fornecer suporte. Essas colaborações podem fornecer insights valiosos sobre a seleção de explosivos.

Registros históricos das operações, incluindo os explosivos usados e os resultados obtidos, são recursos valiosos. Infelizmente, nem todas as operações mantêm registros detalhados. A falta de registros pode resultar em repetição de testes e escolhas baseadas em informações desatualizadas, à medida que os profissionais mudam ao longo do tempo.

A análise de desempenho em condições semelhantes incentiva um aprendizado contínuo na escolha de explosivos. Com base nas experiências de outras operações e no registro histórico, é possível ajustar abordagens, evitando erros passados e aprimorando os resultados das detonações.

É importante ressaltar que cada operação é única, com variáveis específicas e contextos diferentes. A análise de experiências semelhantes deve ser feita com cuidado, considerando as nuances e particularidades de cada situação.

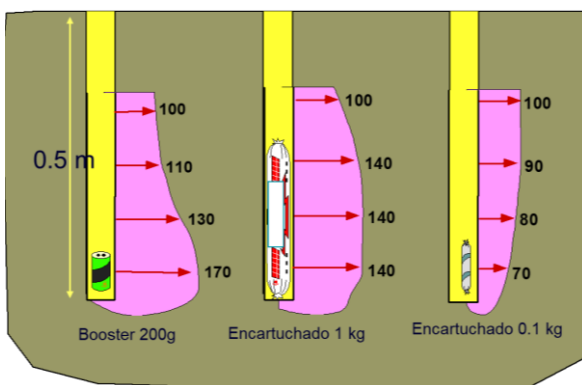
A análise do desempenho de explosivos em operações semelhantes complementa a tomada de decisão na escolha dos explosivos adequados. O aprendizado compartilhado e a análise dos resultados de outras operações podem enriquecer o processo de seleção, contribuindo para detonações mais seguras e eficazes.

8.3 Seleção da Escorva

Após escolhermos o explosivo principal a ser utilizado, o próximo passo crucial é a seleção da escorva que garantirá a iniciação desse explosivo de maneira segura e eficiente. Ao contrário da escolha do explosivo principal, que pode

ser influenciada por questões comerciais, a seleção da escorva é mais centrada na necessidade de iniciar o explosivo principal com sucesso. Geralmente, a orientação do fornecedor do explosivo serve como referência para determinar a melhor escorva a ser utilizada. Embora a seleção da escorva seja geralmente mais direta, existem situações específicas que podem influenciar essa escolha, como restrições ambientais ou urbanas que requerem a utilização de certos tipos de iniciadores, como detonadores eletrônicos ou cordéis detonantes.

A principal função da escorva é iniciar o explosivo principal de forma segura e eficiente. A escolha da escorva tem impacto direto na garantia da iniciação adequada da carga explosiva, permitindo que ela alcance sua máxima velocidade e liberação de energia desde o momento da detonação. Mesmo que todos os outros parâmetros do plano de detonação estejam otimizados e a aplicação do explosivo esteja de acordo com as recomendações, uma iniciação ineficiente pode resultar em baixo desempenho. Portanto, a escolha adequada da escorva é fundamental para maximizar a liberação de energia e o desempenho do explosivo.



A seleção da escorva para iniciar o explosivo é um passo crucial no planejamento da detonação. Garantir a escolha correta da escorva é essencial para assegurar a iniciação eficiente do explosivo principal e maximizar sua performance. Embora a orientação do fornecedor seja uma referência valiosa, a análise das condições operacionais, ambientais e técnicas também desempenha um papel importante na seleção da escorva mais adequada.

Além de otimizar o desempenho do explosivo, a escolha adequada da escorva também desempenha um papel crucial na garantia da segurança da detonação. Uma iniciação eficiente do explosivo é fundamental para prevenir furos falhados e garantir a execução segura da detonação. Nesse sentido, recomenda-se a utilização de uma escorva com potência maior do que o necessário, a fim de proporcionar uma margem de segurança. Isso é

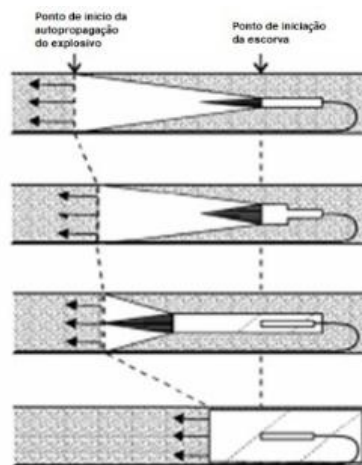
www.blastingtreinamentos.com

particularmente importante caso o explosivo principal tenha perdido parte de sua sensibilidade padrão durante a aplicação ou esteja sujeito a contaminação por água ou detritos no fundo do furo.

Fatores Principais para a Iniciação Eficiente:

- **Pressão de Detonação da Escorva:** É crucial que a pressão de detonação gerada pela escorva seja maior do que a energia de ativação do explosivo principal. Além disso, busca-se iniciar o explosivo principal com o máximo de potência possível. Em algumas situações, pode ser vantajoso optar por uma escorva completa com um reforçador adequado, mesmo que isso não seja estritamente necessário para a iniciação do explosivo.
- **Garantindo o Contato Adequado:** A escolha da escorva ideal não é o único fator importante. É fundamental garantir um bom contato entre a escorva e o explosivo no momento da iniciação. Uma aplicação adequada da escorva selecionada é essencial para assegurar a iniciação do explosivo. Qualquer dificuldade nesse processo pode exigir reforços adicionais, seja aumentando a potência da escorva ou adicionando mais escorvas para garantir a iniciação eficaz do explosivo.
- **Sensibilidade do Explosivo:** É importante lembrar que a sensibilidade do explosivo pode variar com base em suas características e condições de aplicação. Portanto, ao escolher a escorva apropriada, é essencial considerar os limites de sensibilidade do explosivo como referência.

É fundamental compreender que a escolha da escorva ou iniciação de um explosivo não terá impacto direto na liberação total de energia ou na velocidade de detonação padrão do explosivo. No entanto, a iniciação correta desempenha um papel crucial no tempo necessário para que o explosivo atinja sua performance máxima ou estabilidade. Em outras palavras, a escolha da escorva adequada afeta diretamente o tempo ou a distância que o explosivo precisa para atingir sua velocidade de detonação padrão e,



www.blastingtreinamentos.com

consequentemente, seu desempenho ótimo. Uma iniciação deficiente, por outro lado, pode resultar em um período de estabilização significativamente mais longo.

A escolha da escorva apropriada desempenha um papel fundamental na rapidez com que o explosivo atinge sua velocidade de detonação padrão e estabilidade. Enquanto uma escorva adequada permite que o explosivo alcance sua performance ótima rapidamente, uma iniciação deficiente pode resultar em um período de estabilização consideravelmente mais longo. Portanto, a escolha criteriosa da escorva não apenas afeta o desempenho do explosivo, mas também contribui para sua segurança e eficácia geral na detonação.

O diâmetro do furo é um fator crítico a ser considerado ao escolher a escorva adequada. Geralmente, quanto maior o diâmetro do furo, maior será a necessidade de utilizar uma escorva de maior tamanho e potência. Isso é fundamental para assegurar que a iniciação se propague de maneira completa e eficiente pela massa de explosivo ao redor.

A razão para essa relação está na influência do diâmetro do furo no confinamento da carga explosiva. Quanto menor for o diâmetro do furo, maior será o confinamento da carga explosiva nele contida. Consequentemente, a energia de iniciação será direcionada de forma mais intensa para a massa explosiva circundante. Além disso, a maior restrição do espaço resulta em um aumento na reflexão das ondas de choque, intensificando ainda mais a pressão de detonação.

Uma ilustração visual desse princípio é apresentada na figura ao lado. No exemplo central, é possível observar como uma escorva de tamanho reduzido encontra dificuldades para alcançar toda a massa explosiva ao seu redor. Isso não implica que o explosivo não será iniciado, mas sim que, como já mencionado anteriormente, sua iniciação ocorrerá com um desempenho inferior.



Para assegurar uma iniciação adequada do explosivo, é fundamental encontrar um equilíbrio entre a potência da escorva e seu tamanho em relação ao diâmetro do furo. Isso garantirá que a pressão de detonação gerada

www.blastingtreinamentos.com

seja suficiente para iniciar corretamente o explosivo. Portanto, ao selecionar a escorva apropriada, é crucial considerar não apenas a potência do iniciador, mas também seu tamanho relativo ao diâmetro do furo.

Esta etapa da seleção da escorva, baseada no diâmetro do furo, é mais um exemplo de como os detalhes técnicos têm um impacto significativo na eficiência e segurança do processo de detonação.

Fatores que Afetam a Eficiência da Escorva:

Ao selecionar uma escorva, é fundamental estar ciente de diversos fatores que podem impactar sua eficiência, e, por consequência, a iniciação bem-sucedida do explosivo principal. Aqui estão quatro dos principais fatores a considerar:

- **Contaminação do Explosivo:** A presença de contaminantes, como partículas estranhas ou materiais indesejados no explosivo, pode prejudicar a capacidade da escorva de transmitir efetivamente a iniciação.
- **Presença de Água no Explosivo:** A água afeta negativamente a sensibilidade do explosivo. A escorva precisa ser selecionada de forma a compensar essa diminuição na sensibilidade causada pela água.
- **Escorva sem Contato Completo:** Uma escorva inadequadamente posicionada, seja devido a obstruções materiais ou água, pode resultar em falha na iniciação, já que a transferência de energia é comprometida.
- **Insensibilização por Pressão Dinâmica:** A detonação de furos vizinhos pode gerar uma pressão dinâmica que prejudica a escorva, comprometendo sua eficácia. Em alguns casos, isso pode levar ao mau funcionamento da escorva ou até mesmo a um misfire.

Em algumas situações, a utilização de múltiplas escorvas pode ser recomendada para garantir a iniciação eficaz do explosivo principal:

- **Comprimentos de Cargas Longos:** Em cargas explosivas que excedem 10 metros de comprimento, pode ser necessário usar múltiplas escorvas para assegurar uma iniciação consistente ao longo de todo o comprimento da carga.
- **Risco de Separação de Cargas:** Quando existe o risco de separação da carga explosiva devido à movimento de rochas, contaminação ou

outras razões, a utilização de múltiplas escorvas reduz o risco de falha na detonação.

- **Explosivos Bombeados Aplicados de Forma Inadequada:** Em operações com explosivos bombeados, onde a aplicação pode ser mais complexa, o uso de múltiplas escorvas pode melhorar a iniciação em situações difíceis.
- **Utilização de Múltiplas Cargas:** Técnicas de detonação que envolvem várias cargas também requerem o uso de múltiplas escorvas, a fim de garantir uma detonação coordenada.

Em resumo, a escolha da escorva adequada e, em certos casos, a utilização de múltiplas escorvas, são aspectos cruciais para garantir a iniciação segura e eficiente do explosivo principal, minimizando riscos de falhas na detonação. Isso demonstra mais uma vez como a consideração minuciosa de detalhes técnicos é essencial no processo de detonação.

A escolha da escorva adequada é um processo que envolve uma série de considerações e fatores. Embora os fornecedores de explosivos normalmente ofereçam recomendações para as escorvas, é crucial entender os princípios subjacentes para tomar uma decisão informada. Isso permitirá avaliar se as recomendações do fornecedor são ideais para as condições específicas de cada operação.

Considerações Essenciais:

1. Princípios Básicos: Ter um entendimento dos princípios básicos da iniciação de explosivos é fundamental para compreender as recomendações do fornecedor. Isso permite verificar se a escorva sugerida atenderá às necessidades específicas de iniciação do explosivo principal.

2. Fatores de Decisão: Além das especificações técnicas, é importante considerar uma série de fatores ao selecionar a escorva:

- **Custos:** Avaliar o custo-benefício da escorva em relação aos resultados esperados.
- **Disponibilidade:** Garantir que a escorva escolhida esteja prontamente disponível.
- **Dificuldades Operacionais:** Considerar quaisquer dificuldades operacionais associadas à utilização da escorva escolhida.

www.blastingtreinamentos.com

- **Otimização de Produtos:** Explorar se há produtos alternativos que possam atender aos requisitos de iniciação sem a necessidade de escorvas adicionais. Ao considerar essas alternativas, é necessário assegurar que elas alcancem a mesma eficácia.
- **Repercussões Práticas:** Avaliar as implicações práticas da aplicação da escorva escolhida. Isso envolve entender como a escorva afetará os padrões operacionais e quais desafios práticos podem surgir.

A escolha da escorva é um equilíbrio delicado entre seguir as recomendações do fornecedor e atender às necessidades específicas da operação. Compreender os princípios subjacentes permitirá tomar decisões mais informadas. Esta abordagem assegura que a iniciação do explosivo principal seja eficaz e segura, enquanto também se considera a otimização de recursos e a minimização de custos.

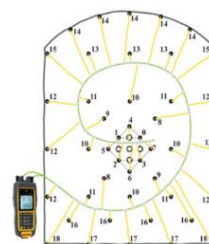
Em suma, a escolha da escorva é uma etapa crítica no processo de detonação. Ela influencia diretamente a iniciação eficaz do explosivo principal e, portanto, deve ser feita com base em um entendimento profundo das condições operacionais e dos princípios de detonação.

8.4 Seleção do sistema de iniciação

Uma vez que o explosivo e a escorva foram escolhidos, o próximo passo crucial é a seleção do sistema de iniciação. Nesse estágio, é importante compreender que a escolha do sistema de iniciação também afetará a composição da escorva. Por exemplo, ao selecionar uma escorva simples composta por um detonador, o tipo de detonador a ser usado será determinado pelo sistema de iniciação escolhido.

Outro exemplo ilustrativo é quando definimos uma escorva que requer um booster de 450 gramas para a correta iniciação do explosivo. Em seguida, precisamos decidir qual sistema de iniciação usaremos para iniciar esse booster, podendo ser um cordel detonante ou qualquer um dos detonadores disponíveis.

Portanto, a seleção da escorva está focada em determinar o tipo de acessório necessário para a iniciação adequada do



www.blastingtreinamentos.com

explosivo, enquanto a escolha do sistema de iniciação determina o iniciador a ser utilizado.

A seleção do sistema de iniciação envolve definir o iniciador a ser usado na escorva, bem como o sistema de conexão para interligar os furos. Os critérios para essa seleção são semelhantes aos usados na escolha da escorva, visando a iniciação correta, segura e sequencial dos furos.

Dependendo do sistema escolhido, a complexidade pode variar. Por exemplo:

- Sistema Elétrico/Eletrônico: Pode envolver um único componente, como o detonador, conectado por fios e equipamentos.
- Sistemas não elétricos: Podem requerer vários acessórios, como a utilização de um detonador não elétrico para iniciação da escorva, conexões com cordel detonante e retardos externos para sequenciamento.

Além disso, a escolha do sistema pode determinar a localização dos retardos, internos ou externos aos detonadores. Retardos internos implicam em cuidados específicos no carregamento dos furos, enquanto retardos externos requerem atenção à interligação entre os furos.

A seleção do sistema de iniciação é um passo crucial na preparação da detonação. O sistema escolhido define a maneira como os furos serão iniciados, conectados e sequenciados. Assim como na seleção da escorva, a escolha do sistema de iniciação exige uma análise cuidadosa das necessidades operacionais, dos objetivos de segurança e do desempenho desejado. Uma abordagem integral e estratégica garante que o sistema de iniciação seja compatível com o explosivo, a escorva e os requisitos específicos de cada operação.

De forma resumida, na etapa de seleção do sistema de iniciação, somos confrontados com cinco alternativas distintas, cada uma trazendo suas próprias características e implicações:

- 1ª e 2ª: As duas primeiras opções incluem os sistemas elétrico e eletrônico, sendo este último o mais avançado e amplamente utilizado. Esses sistemas incorporam retardos internos nos detonadores, com conexões realizadas através de cabos de interligação.

www.blastingtreinamentos.com

- 3ª e 4ª: As próximas alternativas estão ancoradas na utilização de detonadores não elétricos. Podemos escolher entre retardos internos ou externos, sendo possível conectar os furos com cordel detonante ou adotar um sistema não elétrico de conexão.
- 5ª: A última opção é a utilização do sistema com cordel detonante, onde o início do furo e as conexões são feitos através do próprio cordel detonante, podendo ser combinados com retardos externos quando necessário.

A seleção do sistema de iniciação pode ser guiada por circunstâncias específicas, como ambientes urbanos que demandam menor ruído e maior controle de vibrações. Nesses casos, os detonadores eletrônicos podem se tornar essenciais devido à precisão que oferecem.

A seleção do sistema de iniciação requer uma avaliação ponderada de diversos fatores:

- **Custos e Disponibilidade:** Considerar o orçamento disponível e a acessibilidade dos sistemas no mercado.
- **Suporte e Treinamento:** Avaliar a disponibilidade de suporte técnico e treinamento para a equipe de operações.
- **Considerações Operacionais:** Analisar as práticas operacionais necessárias para cada sistema e a adequação delas à operação, assim como o número de pessoas e níveis de qualificação adequados.
- **Fatores Técnicos:** Levar em conta os resultados desejados, exigências ambientais e técnicas específicas de cada sistema.
- **Outras Considerações:** Outros fatores específicos à operação podem impactar a escolha.

É essencial ter em mente que cada sistema demanda práticas operacionais específicas. O estabelecimento de procedimentos claros e um treinamento adequado da equipe são cruciais para assegurar o uso correto do sistema escolhido.

Além das considerações operacionais, é importante estar ciente dos requisitos técnicos que podem nortear a escolha. Dependendo dos objetivos da detonação, pode ser sensato optar pelo sistema eletrônico mais moderno para maior flexibilidade no sequenciamento.

www.blastingtreinamentos.com

Em última análise, a seleção do sistema de iniciação é uma etapa estratégica que requer uma abordagem criteriosa e abrangente. A escolha certa garantirá a iniciação precisa e segura dos explosivos, levando em conta os objetivos da operação e a busca contínua por resultados eficientes.

Ao concluirmos nossa discussão sobre a seleção do sistema de iniciação, é imperativo dar ênfase especial ao sistema eletrônico, que se destaca como o mais moderno e eficiente. Esse sistema está em constante evolução, apresentando até mesmo modelos sem fio que oferecem níveis notáveis de segurança e flexibilidade. De maneira geral, é inegável que o sistema eletrônico supera consideravelmente outras alternativas.

É importante reconhecer que a comparação entre os sistemas é desigual, dado o nível de avanço tecnológico alcançado pelo sistema eletrônico. Em termos de requisitos técnicos e segurança, ele se destaca como a escolha indiscutível. Ainda que possa representar um investimento mais substancial, as melhorias técnicas e de segurança oferecidas compensam generosamente o custo adicional.

Entretanto, mesmo com sua superioridade técnica, é vital ponderar a real necessidade operacional ao selecionar o sistema. Em contextos normais, onde não há exigências especiais, a operação pode não demandar ou utilizar plenamente os recursos dos sistemas mais avançados. Dessa forma, é recomendável avaliar cuidadosamente as demandas operacionais em relação aos custos e benefícios de qualquer sistema, buscando alinhar os objetivos com práticas operacionais seguras e eficazes.

À medida que avançamos na vanguarda da tecnologia, é essencial tomar decisões informadas e adaptáveis, tendo em mente tanto a excelência técnica quanto a adequação operacional. A seleção do sistema de iniciação é uma etapa crucial que impacta diretamente a eficácia e a segurança da detonação, e, como tal, deve ser abordada com a seriedade e consideração que merece.

8.5 Novas Tecnologias e Pesquisas em Explosivos

À medida que a indústria de mineração e construção evolui, é imperativo que também exploremos novos horizontes em busca de explosivos mais seguros, eficazes e ambientalmente responsáveis.

www.blastingtreinamentos.com

Os chamados “Explosivos Verdes” são uma categoria de explosivos desenvolvidos com o objetivo de serem mais ambientalmente sustentáveis e seguros em comparação com os explosivos tradicionais. Eles são projetados para minimizar os impactos negativos no meio ambiente e reduzir os riscos associados ao manuseio, armazenamento e transporte de explosivos. Essa busca por explosivos “verdes” está gerando uma significativa discussão na indústria explosiva, envolvendo pesquisadores, grandes empresas e governos.

O cenário da indústria de explosivos está passando por transformações profundas, impulsionadas pelo debate em torno de explosivos mais sustentáveis e eficientes. Empresas, pesquisadores e governos estão explorando a aplicabilidade de explosivos verdes, buscando produtos mais limpos após a detonação e redução do uso de nitrato de amônio. A indústria tem focado em produtos menos tóxicos, seguros durante o manuseio e produção, com processos de fabricação de baixo impacto ambiental. A eficiência energética na fabricação também está relacionada à estabilidade e desempenho do produto final.

Diversos países vêm passando por grandes mudanças regulatórias para diminuir o uso de nitrato de amônio, assim como a cada dia vem surgindo diversas restrições ambientais às minas. A busca por explosivos verdes está alinhada com iniciativas de química verde e regulamentos de sustentabilidade que vão surgindo com cada vez mais forças.

Essa integração proporciona uma visão mais completa da evolução dos explosivos na indústria, destacando a importância de explosivos mais eficientes, seguros e sustentáveis como uma resposta às preocupações ambientais e de segurança crescentes.

8.5.1 Inovações em Explosivos Energéticos

As pesquisas na área de explosivos industriais continuam progredindo, impulsionadas pela demanda por explosivos mais eficazes e seguros. Estão sendo desenvolvidos novos tipos de explosivos, com foco em duas metas principais: maximizar a energia liberada durante a detonação e minimizar a produção de resíduos e gases tóxicos. Esses explosivos mais potentes não apenas melhoram o desempenho, mas também têm o potencial de tornar os processos de desmonte de rochas mais eficientes.

Os explosivos de maior potência prometem acelerar o processo de desmonte de rochas, reduzindo o tempo necessário para concluir as operações. Além

www.blastingtreinamentos.com

disso, eles diminuem os danos secundários resultantes de detonações excessivamente prolongadas. Isso é particularmente relevante em situações onde precisão e rapidez são essenciais, como em projetos de construção e operações de mineração de alta precisão, como no caso de minas subterrâneas.

O avanço na eficiência dos explosivos está diretamente ligado à quantidade de energia liberada durante a detonação. A pesquisa busca criar explosivos que provoquem reações químicas capazes de liberar quantidades consideravelmente maiores de energia, resultando em uma quebra mais eficaz de rochas e materiais. Esse foco na energia liberada não apenas aprimora a produtividade, mas também reduz o consumo de explosivos por unidade de trabalho, tornando as operações mais econômicas e ecologicamente conscientes.

É importante que os explosivos industriais sejam suficientemente potentes para realizar suas tarefas de maneira eficaz. No entanto, esse aumento de potência pode implicar em um maior risco de acidentes. Portanto, a chave está na eficiência energética, garantindo a quantidade ideal de energia para realizar o trabalho enquanto se mantém o controle e minimiza o risco de impactos negativos.

Os pesquisadores estão explorando diversas alternativas, como por exemplo o uso de nanomateriais como uma abordagem para desenvolver explosivos mais potentes que também sejam mais seguros. Esses nanomateriais têm o potencial de melhorar a eficiência dos explosivos, representando um avanço significativo na indústria.

8.5.2 Redefinindo Matérias-Primas

A inovação na indústria de explosivos também se manifesta na busca por novas fontes de matérias-primas para sua fabricação. A tradicional dependência do nitrato de amônio como ingrediente central está sendo reavaliada, à medida que exploramos alternativas mais sustentáveis e ecologicamente amigáveis.

Os explosivos convencionais têm historicamente utilizado o nitrato de amônia como base, devido à sua abundância, mas também têm sido associados a riscos ambientais significativos. É por isso que os pesquisadores estão

www.blastingtreinamentos.com

empenhados no desenvolvimento de novas matérias-primas para a produção de explosivos. Uma abordagem inovadora envolve o uso de materiais orgânicos, como nitrocelulose e plásticos, como possíveis substitutos.

Uma alternativa notável são os explosivos emulsificados sem nitrato. Esses explosivos eliminam a dependência do nitrato de amônio, substituindo-o pelo peróxido de hidrogênio como oxidante principal. Ao contrário dos explosivos tradicionais à base de nitrato, que geram gases tóxicos de óxido nítrico (NOx) após a detonação, esses explosivos produzem água, dióxido de carbono e uma quantidade mínima de monóxido de carbono. Além disso, eles não deixam resíduos de nitrato nas rochas após a detonação, mitigando assim a contaminação ambiental.

Outra alternativa promissora é o que vem sendo chamado de "amônia verde." Esse conceito envolve a produção de amônia verde a partir de hidrogênio verde, gerado a partir de fontes de energia renovável. Essa amônia verde é então utilizada na produção de nitrato de amônio, onde adoção desse processo substituiria a produção de amônia baseada em combustíveis fósseis, resultando na redução de emissões de carbono e promovendo a descarbonização da indústria. Esse projeto desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade na indústria de mineração, reduzindo emissões e reduzindo a dependência de importações de insumos críticos.

8.5.3 Sustentabilidade em Explosivos

À medida que a conscientização ambiental ganha destaque, a indústria também está em busca de explosivos mais sustentáveis, focando em explosivos que geram menos gases tóxicos durante a detonação, reduzindo, assim, o impacto negativo sobre o meio ambiente e a saúde humana.

Os chamados explosivos "verdes" representam uma categoria de explosivos desenvolvidos com o objetivo de serem mais amigáveis ao meio ambiente e mais seguros em comparação com os explosivos tradicionais. Eles são projetados com a intenção de minimizar os impactos adversos no meio ambiente e reduzir os riscos associados ao manuseio, armazenamento e transporte de explosivos. Aqui estão algumas das características e metas dos explosivos "verdes":

- **Baixo Impacto Ambiental:** Os explosivos "verdes" são formulados de maneira a reduzir ao máximo o impacto ambiental após a detonação. Isso inclui a minimização da geração de resíduos e gases tóxicos, bem como a diminuição do potencial de contaminação do solo e da água.
- **Redução do Uso de Nitrato de Amônio:** Muitos explosivos tradicionais contêm nitrato de amônio, que pode ser perigoso e ambientalmente problemático. Os explosivos "verdes" buscam reduzir ou eliminar o uso desse componente.
- **Menos Toxicidade:** Eles são formulados para serem menos tóxicos tanto para os operadores quanto para o meio ambiente em geral, minimizando os riscos à saúde humana e à fauna.
- **Processos de Fabricação Sustentáveis:** A fabricação dos explosivos "verdes" é orientada para ser mais sustentável, considerando práticas de produção de baixo impacto ambiental.
- **Eficiência Energética:** A busca por explosivos "verdes" inclui a maximização da eficiência energética durante a detonação, fazendo o trabalho desejado com a menor quantidade possível de explosivos.
- **Regulamentações de Segurança e Sustentabilidade:** A adoção de explosivos "verdes" muitas vezes está alinhada com regulamentações governamentais mais rigorosas em relação à segurança e sustentabilidade na indústria de explosivos.

Além do desempenho aprimorado, as pesquisas buscam reduzir os impactos negativos da detonação. A geração de resíduos e gases tóxicos é uma preocupação constante em operações de desmonte de rochas. Novos explosivos estão sendo desenvolvidos para produzir menos resíduos sólidos e gases indesejáveis, diminuindo o impacto ambiental e a necessidade de medidas de mitigação. Isso não apenas atende às demandas regulatórias mais rigorosas, mas também melhora as condições de trabalho para os profissionais envolvidos.

Enquanto os explosivos tradicionais podem gerar gases tóxicos, como monóxido de carbono e gases nitrosos, os explosivos "verdes" buscam eliminar ou reduzir drasticamente a emissão desses gases, contribuindo para a preservação da qualidade do ar e para a redução do aquecimento global.

Outra abordagem inovadora é o desenvolvimento de explosivos que sejam biodegradáveis. Esses explosivos se decompõem naturalmente no meio ambiente, sem gerar gases tóxicos ou deixar resíduos prejudiciais.

www.blastingtreinamentos.com

Adicionalmente, os chamados "NoNitrateExplosives" estão sendo desenvolvidos com a principal finalidade de eliminar a formação de gases NOx após a detonação, removendo fontes de nitrato em suas fórmulas. Esta abordagem visa a redução de impactos ambientais e a melhoria da segurança no manuseio de explosivos.

Outras pesquisas mais convencionais têm se concentrado na criação de alternativas às formulações de explosivos já usuais como as emulsões e os hidrogéis, explorando a substituição do nitrato de amônio por outros oxidantes, com o objetivo de oferecer explosivos mais seguros, eficientes e ambientalmente responsáveis.

As inovações em explosivos verdes prometem transformar a indústria ao melhorar a segurança, sustentabilidade e desempenho dos produtos. No entanto, é necessário equilibrar esses avanços com os padrões de segurança e desempenho já estabelecidos na indústria.

À medida que essa busca por explosivos mais eficientes e seguros continua, o horizonte das operações de desmonte de rochas se expande. A capacidade de quebrar rochas de forma mais eficaz e com menos impacto ambiental não apenas redefine os processos industriais, mas também demonstra o compromisso contínuo da indústria em inovar em prol do progresso e da sustentabilidade.

8.6 Novas Tecnologias e Pesquisas em Acessórios

Em busca contínua de aprimorar a segurança, eficiência e precisão das operações de detonação na indústria de mineração e construção, a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e acessórios desempenham um papel fundamental. O futuro desta indústria está sendo moldado por uma série de avanços significativos:

1. **Acessórios Compactos e Comunicação Sem Fio:** A evolução dos acessórios resultou na criação de dispositivos cada vez menores e mais eficientes. Além disso, a implementação de comunicação sem fio bidirecional permite um controle e monitoramento mais eficazes das operações de detonação. Esses acessórios possibilitam ajustes remotos e em tempo real, proporcionando maior precisão e segurança durante todo o processo.

2. **Segurança Aprimorada na Manipulação e Iniciação:** A segurança é prioridade em todas as etapas da manipulação e iniciação de explosivos. Os acessórios são agora projetados com o objetivo de reduzir a sensibilidade à iniciação acidental, assegurando que a detonação ocorra apenas conforme planejado. Isso minimiza os riscos associados a furos falhados ou detonações prematuras. Além disso, estão sendo explorados iniciadores não explosivos que liberam energia concentrada para ativar a carga principal, eliminando a necessidade de explosivos sensíveis ou reforçadores. Tecnologias como lasers ou compostos químicos de liberação controlada de energia estão sendo consideradas para esse fim.
3. **Detonadores Eletrônicos de Segurança Aprimorada:** Os detonadores tradicionais baseados em componentes elétricos podem ser suscetíveis a danos mecânicos ou elétricos, apresentando riscos potenciais. O desenvolvimento de detonadores eletrônicos com maior segurança visa mitigar esses riscos. Esses dispositivos são projetados para serem mais confiáveis, resistentes a interferências eletromagnéticas e com uma menor probabilidade de falhas acidentais, o que aumenta consideravelmente a segurança das operações de detonação.
4. **Iniciadores Não Explosivos como Inovação Promissora:** No contínuo desenvolvimento de tecnologias para a detonação controlada na mineração e obras civis, a exploração de iniciadores não explosivos emerge como uma inovação altamente promissora. Esses iniciadores não convencionais têm o potencial de revolucionar a segurança, eficiência e precisão das operações de detonação, ao mesmo tempo em que reduzem a sensibilidade aos riscos associados aos explosivos tradicionais.

Além de reduzir os riscos relacionados a explosivos sensíveis, essas tecnologias podem aprimorar a eficiência das operações de detonação, minimizar o impacto ambiental e oferecer maior controle sobre o processo. No entanto, é importante ressaltar que a implementação bem-sucedida dessas tecnologias requer pesquisa aprofundada, desenvolvimento rigoroso e testes extensivos para garantir a segurança, confiabilidade e eficácia em diferentes cenários de aplicação.

www.blastingtreinamentos.com

Conclusão

Para concluir os nossos comentários nesse primeiro livro, gostaríamos de enfatizar que desde tempos antigos, a humanidade demonstrou uma curiosidade inata e uma necessidade incessante de desenvolver ferramentas capazes de liberar energia de forma controlada e benéfica. Essa busca incessante pelo entendimento e domínio da natureza conduziu à inovação dos primeiros explosivos, como a pólvora, que apesar de ser um marco que redefiniu a arte da guerra, também pavimentou o caminho para avanços tecnológicos que se estenderam por séculos.

Não podemos esquecer que à medida que a ciência e a engenharia evoluíram, os explosivos foram refinados e encontraram aplicação em diversos setores da sociedade. Na construção civil, essas substâncias viabilizaram a edificação de estruturas notáveis, como pontes, túneis e arranha-céus. No contexto da mineração, os explosivos desempenham um papel crucial no desmonte de rochas, facilitando a extração eficiente de minerais valiosos que impulsionam a economia global.

No entanto, o imenso poder conferido por essa ferramenta vem acompanhado de uma imensa responsabilidade. A manipulação e aplicação de explosivos demandam a adoção de medidas rigorosas de segurança e controle, visando a preservação da integridade dos trabalhadores, o respeito ao meio ambiente e a segurança da comunidade. Normas estritas e regulamentações rígidas são imperativos inegociáveis, destinados a prevenir acidentes e a minimizar prejuízos.

Por isso precisamos lembrar que os explosivos modernos representam o resultado de décadas de pesquisa e desenvolvimento, combinando técnicas avançadas de formulação com um profundo entendimento da física dos materiais. A busca incessante por explosivos mais seguros, eficientes e ecologicamente sustentáveis constitui um desafio constante para a indústria, que busca equilibrar o progresso com a responsabilidade ambiental.

É fundamental destacar a importância essencial de uma compreensão aprofundada dos princípios fundamentais relacionados a explosivos e acessórios, sendo este um requisito primordial para garantir a segurança e a eficácia das atividades envolvendo a manipulação dessas substâncias. A aplicação criteriosa desse conhecimento possibilita otimizar os resultados desejados, minimizando os efeitos indesejáveis e aderindo às práticas seguras

www.blastingtreinamentos.com

e ambientalmente conscientes. Por isso este livro espera ter estabelecido uma base sólida para os tópicos avançados de detonação e suas aplicações práticas, que serão discutidos nos próximos volumes.

Por isso é importante ter em mente que a maestria nas propriedades dos explosivos culmina em uma avaliação precisa das limitações e potenciais associados a cada tipo, bem como em uma compreensão adequada das diretrizes e restrições delineadas pelos fabricantes. Através dessa expertise, torna-se viável a seleção do explosivo mais pertinente para uma dada situação, maximizando a eficácia do processo e garantindo uma execução segura.

Ao ponderar sobre as vantagens e desafios inerentes a cada acessório ou explosivo, é crucial considerar o papel que desempenham em diferentes funções. A busca por detonações seguras e eficientes demanda um entendimento profundo da função e interação de cada componente. A harmonização precisa desses elementos, orientada por uma seleção criteriosa de acessórios e explosivos, é inestimável para o sucesso do desmonte, garantindo fragmentação eficaz e minimizando efeitos indesejáveis.

Por isso esperamos que este livro tenha proporcionado uma compreensão abrangente dos conceitos, práticas e inovações que impulsionam esta indústria dinâmica. Inspiramos uma busca incansável pelo conhecimento, segurança e excelência no âmbito da mineração e construção civil. Entre as principais mensagens deste livro, ressalta-se a importância da familiarização profunda com os explosivos e acessórios disponíveis, uma vez que a seleção adequada e a aplicação precisa destes elementos são cruciais para o êxito de cada operação. Maximizar a energia liberada durante o desmonte de rochas requer um domínio das propriedades dos explosivos, resultando em efeitos mais eficazes e impactos menos adversos.

Uma detonação estrategicamente planejada e habilmente executada proporciona desmontes mais eficientes e reduz o potencial de impactos ambientais e de segurança. Nesse sentido, assegurar o uso correto dos explosivos e acessórios é um componente de destaque para alcançar controle, previsibilidade e resultados desejados. Em um setor onde a segurança é primordial, a profunda compreensão dos explosivos é vital para garantir a segurança dos profissionais envolvidos e do processo em sua totalidade. O manuseio apropriado, o armazenamento seguro e a aplicação responsável dos

www.blastingtreinamentos.com

explosivos não podem ser negligenciados e devem ser priorizados em todas as fases.

Assim à medida que produtos e práticas evoluem, encorajamos a busca incessante por métodos seguros e eficientes. Manter-se atualizado sobre os produtos e tecnologias disponíveis no mercado é essencial para manter a relevância e a competitividade. A importância do conhecimento, da precisão, da segurança e da evolução constante permanece inabalável. Ao concluirmos este livro, reiteramos que a busca incessante por um setor mais seguro, eficiente e sustentável é um compromisso que não pode ser interrompido. É por meio desses esforços persistentes que a indústria continuará a prosperar e a moldar um futuro responsável e promissor.

www.blastingtreinamentos.com

Referências Bibliográficas

ALONSO, José Bernaola; GÓMEZ, Jorge Castilla; HERBERT, Juan Herrera. Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid, 2013.

ASSAKKAFF, Ibrahim. Blasting Rock. [s.l.], 2003.

AUSTIN POWDER. Austin Powder. Products. Disponível: <<https://www.austinpowder.com/unitedstates/>

home/>. Acesso em: 29 de mai. de 2023.

AUSTIN POWDER. Blaster's Guide: A Resource for the Explosives and Blasting Industry. Ohio, 2002.

BHANDARI, Sushil. Engineering Rock Blasting Operations. Brookkfield, 1997.

COSTA E SILVA, Valdir. Curso Min 112 – Operações Mineiras. Ouro Preto, 2014. (Apostila).

COSTA E SILVA, Valdir. Desmonte de rochas. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

COUCEIRO, Paulo. Princípios Energéticos dos Explosivos. Madrid, 2020.

DE LA VERGNE, Jack. Hard Rock Miner's Handbook. Alberta, 2014.

DE PONTES, Julio Cesar. Curso de Blaster. Campina Grande, 2014. (Apostila).

Department of Natural Resources, Mines and Energy. Handling Explosives in Surface Mines and Quarries. [s.l.], 2008.

DICK, Richard A.; FLETCHER, Larry R.; D'Andrea, Dennis V. Explosives and Blasting Procedures Manual. [s.l.], [s.d.].

DINO. Dino Nobel. Product Hub. Disponível em: <<https://www.dynonobel.com/south-america>>. Acesso em: 20 de abr. de 2023.

DUARTE, Claudia. Disciplina: Perfuração e Desmonte de Rochas. [s.l.], 2014.

www.blastingtreinamentos.com

DYNO NOBEL. Blasting and Explosives Quick Reference Guide. [s.l.], 2010.

ENAEX. Enaex Stronger Bonds. Nossos produtos. Disponível em: <<https://www.enaex.com/br/pt/nossos-produtos/>>. Acesso em: 25 de mar. de 2023.

FERNANDO, Huamani Vargas. Perforacion y Voladura. Peru, [s.d.].

HENNIES, Wildor Theodoro; DE SÁ WEYNE, Gastão Rúbio. Segurança na mineração e no uso de explosivos. 2.ed. [s.l.]: Fundacentro, 1986.

INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVES ENGINEERS. Blasters' Handbook. 17.ed. Ohio. [s.n.]. 1998.

JIMENO, Carlos Lopez; JIMENO, Emilio Lopez; BERMÚDEZ, Pilar García. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Madrid: Carlos Lopez Jimeno, 2003.

JOHNEX. Johnex Explosives. Products. Disponível em: <<https://johnex.com.au/products>>. Acesso em: 29 de mai. de 2023.

KOPPE, Jair Carlos. Desmonte de Rochas. Rio Grande do Sul, [s.d.].

MANUAL BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS. Docsity, 2023. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/manual-basico-de-utilizacao-de-explosivos/454838/?src=social_login>. Acesso em: 21 de ago. de 2023.

MARQUES, Ronaldo Sena; ROSSO Edegar. Explosivos, Acessórios Industriais e Tecnologia Aplicada ao Desmonte de Rochas. [s.l.], [s.d.]. (Apostila).

MAXAM. Maxam Beyond Performance. Disponível em: <<https://www.maxamcorp.com/en>>. Acesso em: 17 de abr. de 2023.

MENDES, Marcelo Lopes. Curso de Desmonte de Rochas por Explosivos – Formação de Blaster. [s.l.], [s.d.].

MINING SERVICES. Blasting Science. [s.l.], 2014.

NIEBLE, Carlos Manoel. Desmontes cuidadosos com explosivos: aspectos de engenharia e ambientais. 1.ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2017.

www.blastingtreinamentos.com

ORICA AUSTRALIA. Cursos de Detonação: Serviços Orica Baseados em Detonações. [s.l.], [s.d.].

ORICA BRASIL. Treinamento de Transporte, Segurança e Manuseio de Explosivos. [s.l.], [s.d.].

ORICA. Blasting Courses: Orica Blast Based Services. Madrid, 2017.

ORICA. Curso de Reciclagem para Blasters. Bahia, 2005.

ORICA. Curso de Blaster: curso sobre Conhecimento de Explosivos. [s.l.], [s.d.].

ORICA. Explosivos, Acessórios Industriais e Tecnologia Aplicada ao Desmonte de Rochas. [s.l.], 2002. (Apostila).

ORICA MINING SERVICES. Tecnologia de Produtos e Ações Desenvolvidas para Segurança na Utilização de Explosivos e Acessórios. [s.l.], 2013.

ORICA. Orica ©2023. Products and services. Disponível em: <<https://www.orica.com/>>. Acesso em: 05 de mar. de 2023.

PETREOS. Explosivos, Acessórios Industriais e Tecnologia Aplicada ao Desmonte de Rochas. Catalão, 2022. (Apostila).

PINHEIRO, Rinaldo. Explosivos: Conceitos Básicos, Classificação dos Explosivos, Principais Propriedades, Tipos de Explosivos e Acessórios de Detonação. [s.l.], [s.d.].

ROENICK, Carlos. Manual do Blaster: desenvolva suas habilidades. [s.l.]: 2001. (Apostila)

RUSTAN, Agne (Ed.). Rock Blasting Terms and Symbols: A Dictionary of Symbols and Terms in Rock Blasting and related areas like drilling, mining and rock mechanics. 1.ed. [s.l.]: CRC Press, 1998.

SANCHIDRIÁN, J. A.; MUÑIZ, E. Curso de Tecnología de Explosivos. Madrid, 2007.

SILVA, Dimas. Curso de Desmonte de Rochas. [s.l.], 2015.

www.blastingtreinamentos.com

THOROUGHbred DRILL AND BLAST CONSULTANTS. Practical Drill & Blast Engineer Training. Elko, 2023.

VALENÇA, Ubirajara da Silva et al. Engenharia dos Explosivos: um enfoque dual. Rio de Janeiro, 2013.

VELLONE, Daniel A. Rock Blasting Fundamentals. Salt Lake City, 2012.

Em "Comentários Práticos sobre Desmonte de Rochas com Explosivos - Volume 1", embarque em uma cativante jornada pelo intrincado mundo dos explosivos e acessórios empregados no desmonte de rochas. Este livro traz diversos comentários sobre as propriedades, práticas de uso e seleção de explosivos e acessórios, essenciais para a mineração e construção civil. O autor, procura compartilhar seus conhecimentos em um estilo claro e acessível. Abordando desde os princípios fundamentais dos explosivos até as práticas que influenciam na sua seleção, considerando diversos fatores operacionais, técnicos e econômicos. Com base em anos de experiência prática, o autor explora as características dos explosivos e acessórios baseadas em casos reais e em diversos exemplos vividos ao longo dos anos, oferecendo insights valiosos para profissionais e estudantes que desejam se desenvolver nessa área.

Ao longo deste livro, os leitores mergulharão nas nuances da detonação, entenderão a importância do conhecimento sobre os produtos utilizados para garantir a segurança e eficiência do desmonte de rochas. Se você é um profissional, um estudante curioso ou simplesmente alguém interessado nos segredos por trás dos explosivos e suas aplicações práticas, esta obra oferece uma visão completa e envolvente do universo dos explosivos e acessórios, destacando seu papel vital na sociedade moderna.

Este primeiro volume é o ponto de partida essencial para todos que desejam compreender e dominar essa complexa arte que molda o mundo, promovendo segurança, eficácia e responsabilidade em todas as operações relacionadas ao desmonte de rochas com explosivos.

