УДК 622.235:622.233

А.Е.ФРАНТОВ
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОНВЕРСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлен анализ соответствия физико-химических и взрывчатых характеристик конверсионных взрывчатых материалов требованиям горного производства. Обосновывается кондиционирование характеристик, за счет которых достигается эффективность и безопасность их применения.

In work the analysis of conformity of physical and chemical and explosive characteristics of conversion explosive materials is submitted to requirements of mountain manufacture. Air-conditioning characteristics is proved due to that, efficiency and safety of their application is reached.

При решении геотехнологических задач актуальной проблемой является изыскание эффективных методов управления энергией взрыва и обеспечение кондиций дробления, определяемых отличиями в технологиях, процессах и применяемых технических средствах. В одних горно-геологических условиях залегания количественные и качественные показатели дробления горных пород взрывом определяются, в основном, запасом энергии ВВ и степенью ее использования на полезные формы работы взрыва. Запас энергии ВВ определяется размерами заряжаемой полости (длина, диаметр) и объемной концентрацией энергии ВВ. Затраты энергии на различные формы работы взрыва не являются постоянными и зависят от свойств ВВ и характера размещения зарядов в массиве горных пород. Применяемые ВВ должны обладать комплексом свойств и показателей, обеспечивающих возможность управления действием взрыва, определяющих их детонационные параметры и эксплуатационные характеристики, безопасность применения, хранения и транспортирования. Рассмотренным условиям отвечают конверсионные взрывчатые материалы (КВМ), производимые из энергонасыщенных компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Уникальность КВМ состоит в большом разнообразии физико-механических и взрывчатых свойств используемых материалов, включая форму и дисперсность частиц, фракционное соотношение компонентов, которые эффективны при различных методах взрывных работ.

Метод скважинных зарядов использует цилиндрические зарядные полости, диаметр которых определяется свойствами горных пород и массивов. Взрывание зарядов различного диаметра, применение частиц ВВ различной дисперсности, изменение плотности упаковки моно- и полидисперсных смесей обеспечивают возможность управления скоростью детонации в скважинах. Для сильнотрещиноватых пород применяются скважины большого диаметра (300-350 мм), в которых используются КВМ с критическим диаметром ($d_{кр}$), равным 100-150 мм, в средне- и малотрещиноватых породах – скважины диаметром 200-250 мм и КВМ с $d_{кр}$ = 80-100 мм. В монолитных горных породах диаметр скважин составляет 150-200 мм и с КВМ $d_{кр}$ = 60-80 мм. В диаметрах скважин, близких к критическим, в грубодисперсных КВМ детонация от одного зерна к другому может распространяться с аномальной скоростью, определяемой плотностью вещества в зерне.

Удельная энергия КВМ обусловливает объем и характер разрушения горных пород на расстоянии до 80-100 радиусов заряда.

Для получения кондиционных размеров куска отбитой горной массы в зарядах больших диаметров теплота взрыва КВМ должна составлять 3800-4000 кДж/кг. Высокая объемная концентрация энергии КВМ обеспечивается при увеличенной плотности заряжания для дробления трудновзрываемых пород и участков.

Повышение плотности заряжания и применение в обводненных скважинах обеспечивает водостойкость КВМ, которой в наибольшей мере обладает баллистическое ракетное твердое топливо (БРТТ), литой тротил и гексогенсодержащие составы. В обводненных условиях степень заполнения пустот наполнителем (вода, растворы селитр) не должна превышать единицы для обеспечения контакта между частицами. Детонационная способность пироксилинового (ПП) и баллиститного (БАП) порохов зависит от структуры зерна. В водонаполненных зарядах ПП, имеющего микропористую структуру зерна, наличие пустот повышает бризантность на 60-70 % по сравнению с сухими ПП. Сплошная структура порохового зерна БАП при увеличении содержания наполнителя приводит к уменьшению бризантности и ведет к отказу.

КВМ на основе зерненых и трубчатых порохов, имеющих заполненные воздухом каналы внутри пороховых частиц (зерен), в обводненных скважинах должны обеспечивать производительное заряжание без образования пробок.

Технологические операции (погрузка, складирование, транспортирование, заряжание скважин) связаны с механическими воздействиями, электризацией. Чувствительность к удару и трению является мерой безопасного применения КВМ. При ручном заряжании скважин гранулированными КВМ степень их безопасности обеспечивается уровнем промышленных ВВ (граммонитов 50/50 и 30/70, акватола), при ручном заряжании патронами (шашками) – уровнем порошковых и прессованных промышленных ВВ (аммонита скального, детонита). В обводненных скважинах шашки БРТТ заряжаются с ограничением скорости перемещения (4-5 м/с). Снижение чувствительности к механическим воздействиям КВМ достигается покрытием их инертными или малочувствительными материалами, введением в состав специальных веществ – флегматизаторов, которые по степени пожароопасности располагаются в порядке возрастания опасности следующим образом: вода и водные растворы селитр – жиры природного происхождения и воскообразные вещества – продукты перегонки нефти. Более предпочтительны компоненты не ухудшающие условий взрыво-пожаробезопасности производства и применения. Чувствительность к искровому разряду характеризуется минимальной энергией воспламенения (МЭВ) от искрового разряда, возникающего в сыпучих материалах (порохах) при пересыпании, волочении, загрузке в транспортные емкости, разгрузке транспортных емкостей, заряжании взрывных скважин. Для бризантных компонентов КВМ (гексоген, тротил, октоген) МЭВ составляет $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Дж, для БРТТ – более 1,0 Дж, у некоторых типов БРТТ порядка 10 Дж. Увеличение дефектности строения при длительных сроках хранения повышает электризуемость.

Механические смеси компонентов боеприпасов с аммиачной селитрой (АС) помимо снижения чувствительности к механическим воздействиям увеличивают фугасное действие взрыва. Для смеси ПП и АС этот показатель равен фугасному действию ТНТ. Шашки БРТТ с осевой полостью за счет эффекта газовой кумуляции обеспечивают режим повышенного нагружения массива горных пород.

Противодействовать изменениям свойств при хранении, транспортировании и использовании на взрывных работах помогает физическая и химическая стойкость КВМ, обеспечиваемая физико-химическими свойствами и технологическими показателями (гигроскопичность, слеживаемость, водоустойчивость, расслаиваемость и др.) компонентов боеприпасов. Не допускается использование компонентов боеприпасов и КВМ с явными признаками изменения физической или химической стабильности (изменение концентраций компонентов пороха в локальном объеме, пониженная химиче-

ская стойкость порохов). Смесевые КВМ на основе ПП, БАП, БРТТ, бризантных ВВ и ингридиенты (нефтепродукты, вода, водные коллоидные растворы, антифризы) не должны расслаиваться при транспортировании и в течение гарантированного срока хранения. КВМ не должны взаимодействовать с горными породами и грунтовыми водами.

Эффективность и безопасность взрывных работ при применении КВМ достигается при обеспечении соответствующей ударно-волновой чувствительности, характеризующей восприимчивость к воздействию ударной волны, и чувствительности к первичным средствам взрывания**,** характеризующей восприимчивость к воздействию первичных средств инициирования (ЭД, ДШ, СИНВ и др.). Повышение чувствительности КВМ, содержащих в своем составе нитроглицерин, достигается введением минеральных добавок, играющих роль горячих точек, или изменением физического состояния (например, для БРТТ дробление до крошки или таблетирование). Восприимчивость к инициирующему импульсу тротила-У и гексогенсодержащих компонентов обеспечивает надежное срабатывание от первичных средств инициирования.

Тротил- и гексогенсодержащие компоненты боеприпасов содержат от 11 до 27 % алюминия в виде порошков с дисперсностью 0,8-22 мкм, при взрыве которых образуются твердые частицы (Al_2O_3). Алюминизированные КВМ имеют меньшие термодинамические потери в скважинах большого диаметра (315-400 мм) за счет увеличения характерного времени расширения продуктов детонации и оптимального сочетания компонентов с алюминием различной дисперсности.

Возможность механизированного заряжания и безопасная эксплуатация заряжающих устройств при использовании КВМ определяется:

- чувствительностью КВМ к механическим воздействиям (удар, трение) и к искровому разряду при пересыпании, загрузке в транспортные емкости, заряжании взрывных скважин, обеспечивающей безопасную эксплуатацию зарядных машин (разгружаемых самотеком или пневматической диафрагмой). Снижение электризации обеспечивается повышением относительной влажности воздуха и смачиванием рабочих поверхностей и компонентов боеприпасов;
- возможностью получения дисперсности частиц КВМ, соответствующей требованиям применяемой зарядной техники;
- сыпучестью, обеспечивающей очистку транспортных емкостей и трубопроводов зарядной техники, и заполнением всего объема зарядной полости;
- отсутствием пылеобразования для создания необходимых санитарно-гигиенических условий труда персонала.

Высокоэнергетические компоненты боеприпасов служат для повышения скорости детонации и теплоты взрыва водонаполненных и эмульсионных ВВ. Безопасность применения БРТТ при длительном воздействии теплового импульса характеризуется температурой вспышки и воспламеняемостью, которая для нитроцеллюлозных порохов зависит в первую очередь от природы состава. По степени убывания воспламеняемости пороха могут быть представлены в следующем порядке: кордитные пороха с большим содержанием нитроглицерина – баллиститные пороха без добавок – пироксилиновые нефлегматизированные пороха – пороха на труднолетучем растворителе с различными добавками – пироксилиновые графитованные и флегматизированные пороха.

Метод контурного взрывания обеспечивает сохранность горных пород за пределами зон разрушения и достигается сочетанием физико-механических свойств горного массива (в основном прочности на разрыв) со свойствами КВМ (давлением детонации, технологическими свойствами). Предотвращение нарушений горных пород в ближней к скважине области обеспечивается при выполнении условия $P_{скв} \le \sigma_{сж}$. Давление на стенки скважины $P_{скв}$ зависит от следующих факторов: типа ВВ (ρ, D и Q); соотношения $r_{зар}/r_{скв}$; степени возрастания давления воздушной волны n при взаимодействии с жесткой преградой (стенками скважины). Определяющим свойством при контурном

взрывании является плотность КВМ, характеризующая взрывчатые параметры заряда. Для горных пород ($\sigma_{сж}$ = 500-2000 кгс/см^2) КВМ должны обеспечивать объемную плотность заряжания 0,034-0,194 кг/м^3 в скважинах диаметром 105-215 мм.

Безопасность применения КВМ при контурном взрывании определяется допустимым уровнем механического воздействия (удар, трение) при технологических операциях (заряжании скважин гирляндами шашек, трении шашек о внутреннюю поверхность скважин). Кратковременные (импульсные) воздействия с продолжительностью не более $5\cdot10^{-3}$с не должны превышать $P_{уд}$ = 500-1000 кг/см^2.

Вторичное дробление горных пород осуществляется для дополнительного разрушения некондиционных по размеру кусков накладными зарядами, разрушающими факторами которых являются ударная волна или кумулятивные продукты взрыва. Применение КВМ определяется взрывной эффективностью, которая по отношению к промышленным ВВ оценивается по коэффициенту относительной работоспособности.

Скважинная отбойка при очистной выемке определяет требования минимизации удельного расхода ВВ, достижения определенной кусковатости отбитой горной массы, зависящей от применяемого горного оборудования и технологии обогащения. КВМ для подземной технологии должны иметь кислородный баланс (КБ) ±3 %. Заряжание скважин происходит только ручным способом. КВМ шашечного исполнения применяются в качестве усиленных боевиков при ручном заряжании нисходящих скважин при разработке мощных месторождений скважинами увеличенного диаметра с обеспечением безопасности заряжания и снижения экологических последствий выброса вредных газов.

Шпуровая отбойка применяется при отбойке крепких руд пологих мощных и жильных месторождений. Параметры буровзрывных работ с КВМ должны обеспечивать наличие в отбитой горной массе минимального количества негабаритных кусков и снижение размеров зон с избыточной энергией, которые вызывают высокий выход рудной мелочи. Для крепких руд предпочтительны схемы отработки вертикальными и наклонными шпурами при почвоуступной отбойке с использованием мощных КВМ.

При использовании вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ), осуществляется отработка месторождений с массовым обрушением руды. Обеспечение высоких показателей отбойки, снижение выхода негабаритных кусков, уменьшение сейсмического действия взрыва и воздушной волны в выработках достигается применением низкоплотных зарядов АС при эффективном инициировании КВМ (сосредоточенные и линейные инициаторы). Снижение токсичности достигается сбалансированным по КБ количеством АС и КВМ.

При проходке горизонтальных, наклонных и вертикальных горных выработок почти повсеместно используется шпуровая отбойка. КВМ с осевой полостью и кумулятивные заряды с осевой симметрией на основе КВМ обеспечивают:

- высокую концентрацию энергии во врубовых шпурах диаметром до 45 мм и усиленное действие в забойной части шпура в условиях наибольшего зажима;
- низкое бризантное действие в оконтуривающих шпурах для приближения реального контура выработки к проектному;
- минимизацию законтурного действия взрыва.

В обводненных забоях при проходке вертикальных выработок (стволов) наиболее безопасно применение шашек БРТТ с высокой объемной концентрацией энергии.

Щадящая отбойка осуществляется при добыче ценного минерального сырья, контурообразовании, разделке штучного камня. Сочетание физико-механических свойств горного массива (прочности на разрыв) со свойствами КВМ (давлением детонации, технологическими свойствами) производится аналогично контурному взрыванию, однако с использованием зарядных полостей (шпуров) диаметром 30-45 мм и КВМ с $d_{кр}$ = 6-8 мм.

Экологические характеристики. Допустимое количество вредных выбросов (газы, твердые вещества) обеспечивает воз-

можность применения КВМ с соблюдением установленных ПДК, что актуально для КВМ с отрицательным кислородным балансом. Возможность применения КВМ при крупномасштабном взрывании и в глубоких карьерах требует разработки технических мероприятий по снижению экологических последствий, связанных с выбросом вредных газов.

Экономические показатели. Эффективность КВМ в сравнении с промышленными ВВ определяется с учетом следующих факторов:

- остаточной стоимости БП и затрат войсковых частей и специализированных предприятий по транспортированию боеприпасов к местам переработки;
- затрат по снижению степени взрыво- и пожароопасности производства КВМ при проведении утилизации БП;
- затрат на проведение дополнительных геотехнологических мероприятий при применении КВМ (отработка технологии ведения взрывных работ, проведение дополнительных испытаний на безотказность, обеспечение безопасного применения);
- затрат на ликвидацию возможных негативных последствий применения КВМ.

Выводы

1. Геотехнологические критерии выбора конверсионных ВМ основываются на анализе взрывчатых, физико-механических и технологических свойств компонентов боеприпасов, экологических последствий их применения и экономических показателей эффективности.

2. Соответствие качества и показателей КВМ требованиям горного производства обеспечивается кондиционированием их свойств, под которым понимается совокупность процессов механического, физического или химического воздействия на компоненты боеприпасов для придания им свойств, сочетающих эффективное и безопасное использование в геотехнологических процессах.

3. К физико-химическим и взрывчатым характеристикам, которые должны подвергаться модификации при кондиционировании характеристик, следует отнести: скорость детонации, критический диаметр, кислородный баланс, теплоту взрыва, плотность, водостойкость, чувствительность к механическим и ударно-волновым воздействиям.