Б.У.РАСКИЛЬДИНОВ
Казахский национальный технический университет им. К.Сатпаева,
Алматы, Республика Казахстан

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ КОЛОНКОВОГО ЗАРЯДА УДАРНО-ВОЛНОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Одним из путей повышения эффективности буровзрывных работ является совершенствование конструкции шпуровых и скважинных колонковых зарядов при взрывной отбойке твердых полезных ископаемых.

Анализ существующих конструкций зарядов ВВ, применяемых для отбойки горного массива на горно-рудных предприятиях,позволяет отметить, что наряду с распространенной сплошной цилиндрической колонкой ВВ разработано довольно большое число более эффективных конструкций, позволяющих активно управлять энергией взрыва при разрушении горного массива. В основу этих конструкций положено широкое использование ряда факторов: снижение начального давления продуктов взрыва, увеличение времени их воздействия на массив, создание в заряде нескольких групп детонационных волн, кумуляция и др. Однако, несмотря на преимущество рассредоточенных зарядов по сравнению со сплошными, они пока не нашли широкого применения из-за значительных материальных и временных затрат на заряжание шпуров или скважин.

При сплошной конструкции колонковых зарядов значительная часть энергии взрыва затрачивается нецелесообразно: на чрезмерное дробление и измельчение породы, на ее нагревание, на перемещение кусков породы на значительное расстояние. В результате этих потерь энергии взрыва резко снижается полезный коэффициент ее использования.

Существенное увеличение полезной работы взрыва, уменьшение зоны пластичных деформаций и увеличение области более интенсивного воздействия взрыва на породу может быть достигнуто увеличением времени воздействия взрыва на массив, снижением «пика» давления и усилением взаимодействия ударных волн и газовых потоков за счет оставления воздушных промежутков в полости колонкового заряда.

При одновременном взрывании частей рассредоточенного заряда от нити детонирующего шнура или дополнительных инициаторов в каждой ее части столкновение газовых потоков и ударных волн повышает давление в пределах воздушного промежутка в несколько раз, что, в свою очередь, резко увеличивает сейсмическое воздействие на кровлю и борта очистных и проходческих выработок и отрицательно влияет на устойчивость пород законтурного массива. Следовательно, при инициировании рассредоточенного заряда, основанном на передаче детонации в полости шпура от одной части заряда к другой через воздушный промежуток без подвода инициирующих средств, исключающих столкновение газовых потоков и ударных волн, сейсмическое воздействие взрыва на породы законтурного массива снижается и тем самым повышается их устойчивость. Кроме того, увеличивается время воздействия взрывных газов на отбиваемый массив, что повышает коэффициент использования энергии взрыва.

В связи с вышеизложенным разработан способ создания воздушных промежутков с использованием ампульной технологии рассредоточения [2-4, 6, 7], который является более практичным по сравнению с применяемыми, упрощает технологию ведения взрывных работ, так как, по существу, не требует дополнительных затрат времени на зарядку. Ампулы заполняются воздухом и располагаются между частями рассредоточенного заряда ВВ. Этот способ полностью исключает прокладку в шпуровом заряде детонирующего шнура, поскольку воздух является идеальной средой для передачи детонации через влияние между отдельными частями рассредоточенного заряда. Предлагаемая конструкция заряда позволяет существенно снизить сейсмическое действие взрыва на кровлю и борта проходческих и очистных выработок, до минимума сократить прихват пород законтурного массива, получить качественное дробление горной массы с минимальным выходом рудной мелочи.

Детонация от активной части рассредоточенного колонкового заряда к пассивной передается за счет ударно-волнового воздействия. Основными факторами, влияющими на передачу детонации через влияние, являются: импульс, давление продуктов детонации, скорость ударной волны, температура взрыва, образующиеся при инициировании активной части колонкового заряда, которые в значительной степени зависят от типа ВВ, массы заряда и скорости детонации активного заряда, физико-химических свойств пассивной части заряда ВВ и его плотности, а также от свойств среды, в которой расположены рассредоточенные колонковые заряды. Для пассивной части колонкового заряда ВВ (без отчетливого выражения периода горения) детонация происходит лишь в зоне, где параметры продуктов детонации (импульс, давление и скорость ударной активной части заряда) будут достаточно велики. Если к пассивной части рассредоточенного заряда подходит ударная волна с меньшими значениями, то детонации предшествует период горения. При этом возбуждающая способность пассивной части рассредоточенного колонкового заряда к детонации, в первую очередь, определяется массой и устройством его активной части.

Экспериментальные взрывы по установлению расстояния передачи детонации между активными и пассивными частями рассредоточенных колонковых зарядов были проведены в подземных условиях Иртышского, Белоусовского и Миргалимсайского месторождений. Взрывы проведены в очистных забоях при двух плоскостях обнажения и раскоске бортов камер. Расстояние от колонкового заряда до свободной поверхности (ЛНС) принималось не менее 400-600 мм. Шпуровые заряды диаметром 40 мм и глубиной до 4 м рассредотачивались установкой между ее активными и пассивными частями полиэтиленовых ампул, заполненных воздухом. Исследования проводились с использованием различных видов ВВ при расположении активной части рассредоточенного колонкового заряда в устье шпура (прямое инициирование).

Экспериментальные взрывы проводились при массе активного заряда от 0,05 кг до 0,50 кг и массе пассивного заряда не менее 1 кг. В результате были установлены критические расстояния передачи детонации между активными и пассивными частями рассредоточенного колонкового заряда через влияние. При формировании рассредоточенных колонковых зарядов без использования дополнительных инициаторов или детонирующего шнура необходимо знать расстояние устойчивой передачи детонации через влияние от активной части к пассивной. В случае, если пассивная часть заряда не получит достаточного ударно-волнового воздействия, величина которого в значительной степени зависит от параметров детонации активной части заряда и расстояния между ними, то ВВ в пассивной части заряда вообще не будет детонировать или будет детонировать с пониженной скоростью, что приведет к выгоранию ВВ. А это, в свою очередь, отразится на качестве взрыва.

При проведении экспериментальных взрывов для определения скорости детонации ВВ, активные и пассивные части заряда размещались в стальных трубах диаметром от 36 до 100 мм с толщиной стенок 10-20 мм.

Математическая обработка данных экспериментальных взрывов по определению расстояния передачи устойчивой детонации в пассивной части заряда через влияние позволила получить эмпирические зависимости вида

$$L^{y}_{п.д} = (-0{,}15 + 4{,}05Q_{а.з} - 1{,}84Q^{2}_{а.з})/\sqrt{\frac{D_{ВВ}}{D_{эт}}}, \qquad (1)$$

где $L^{y}_{п.д}$ – расстояние передачи устойчивой детонации в пассивной части заряда, м; $Q_{а.з}$ – масса активной части заряда, кг, $0{,}05 \le Q_{а.з} \le 0{,}50$ кг; $D_{эт}$, $D_{ВВ}$ – скорость детонации эталонного (аммонит 6ЖВ) и используемого ВВ, м/с.

При проведении опытных взрывов детонация в пассивной части рассредоточенного колонкового заряда считалась устойчивой, если ее скорость составляла не менее 0,8-0,9 скорости детонации активной части заряда.

Экспериментами установлено, что расстояние передачи устойчивой детонации через влияние также зависит от массы активной части заряда, но оно значительно меньше, чем кри-

тическое. Например, при массе активного заряда 0,2 кг устойчивое расстояние составляет 0,600 м.

Зависимость (1) позволяет обоснованно установить допустимое расстояние передачи детонации через влияние в полости шпура, при котором будет наблюдаться устойчивая скорость детонации в пассивной части рассредоточенного колонкового заряда.

Таким образом, результаты опытных взрывов по определению расстояния передачи детонации и скорости детонации в пассивной части заряда при возбуждении ее через влияние за счет ударно-волнового воздействия доказывают, что при формировании колонкового заряда, рассредоточенного воздушными промежутками из полиэтиленовых ампул, заполненных воздухом, можно обойтись без дополнительных инициаторов или прокладки в полости шпура детонирующего шнура, которые усложняют и удорожают сам процесс взрывной отбойки как при проведении тупиковых горных выработок, так и при очистной выемке.

После инициирования активного заряда в полости колонкового заряда формируется ударная волна с определенными параметрами, характерными для данной массы заряда и типа ВВ. Было установлено, что воздух является благоприятной средой, передающей детонацию на расстояние, под действием ударной волны. Наряду с этим, продукты взрыва, расширяясь относительно плавно в заранее созданный искусственный промежуток, в начальный момент снижают пиковое давление продуктов детонации и удлиняют время их воздействия на отбиваемый массив, тем самым сохраняя ту часть энергии взрыва, которая затрачивается на пластические деформации и переизмельчение породы при взрывание сосредоточенных зарядов. Сохраненная таким образом часть энергии взрыва в последующий момент времени расходуется на полезную работу по разрушению среды в большом объеме, что, в конечном итоге, повышает общий коэффициент использования энергии взрыва.

На основе полученных результатов разработаны конструкции рассредоточенных колонковых зарядов и технология взрывной отбойки в целом как для проведения подготовительно-нарезных выработок, так и для очистной выемки при подземной разработке рудных месторождений.

Технология взрывной отбойки и ее рациональные параметры при проведении подготовительно-нарезных работ с применением рекомендуемой ампульной технологии рассредоточения колонковых зарядов отрабатывались в различных горно-геологических условиях на Иртышском, Белоусовском, Миргалимсайском, Аксайском и Шалкиинском месторождениях. Количество шпуров при проведении производственных экспериментов с применением рассредоточенных зарядов принималось равным числу шпуров, отработанных при опытных взрывах со сплошной конструкцией зарядов, так как любое уменьшение количества шпуров при рассредоточении приводило к резкому снижению коэффициента использования шпура (КИШ). Результаты экспериментальных взрывов оценивались по коэффициенту использования шпура, прихвату пород законтурного массива и удельному расходу ВВ. Рациональными параметрами считались те, которые позволяли получить минимальный прихват пород законтурного массива и минимальный удельный расход ВВ, а также КИШ не менее, чем при сплошной конструкции зарядов.

При взрывании проходческих забоев рассредоточенными зарядами в полости шпура активные и пассивные части заряда формировались чередованием ВВ с ампулами, заполненными воздухом. Величина воздушного промежутка l_a в одной ступени рассредоточения включала одну-две ампулы. Воздушный промежуток не превышал допустимого устойчивого расстояния передачи детонации через влияние между отдельными частями рассредоточенного колонкового заряда.

На основе данных экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости для определения рациональных суммарных величин воздушных промежутков, приходящихся на отбойный и оконтуривающий шпур соответственно:

$$L_{\text{в.п}}^{\text{от}} = (0{,}4227 + 0{,}1585\,l_{\text{шп}} - 0{,}0335f)/\frac{A_{\text{ВВ}}}{A_{\text{эт}}}, \qquad (2)$$

$$L_{в.п}^{ок} = (0{,}6748 + 0{,}3344 l_{шп} - 0{,}0617 f) / \frac{A_{ВВ}}{A_{эт}}, \quad (3)$$

где $l_{шп}$ – глубина шпура, м; f – крепость пород по шкале Протодьяконова, $8 \le f \le 18$; $A_{эт}$, $A_{ВВ}$ – полная идеальная работа эталонного и используемого ВВ, ккал/кг.

Число воздушных промежутков, приходящихся на один шпур,

$$n_{в.п} = L_{в.п} / l_{а}. \quad (4)$$

Экспериментальными взрывами установлено, что использование ампульной технологии создания и взрывания рассредоточенных зарядов при проведении подготовительно-нарезных выработок существенно снижает прихват пород законтурного массива (с 16,0-18,0 до 0,5-1,0 %) и удельный расход ВВ (в среднем на 15- 20 % на отбойных и на 35-40 % на контурных шпурах). В соответствии с расчетами по зависимостям (1)-(4), разработаны способы формирования шпуровых зарядов и способы отбойки горных пород при проведении тупиковых горных выработок [3].

Использование разработанной технологии взрывной отбойки при очистной выемке рудных залежей в условиях подземных рудников указанных месторождений позволило при системах разработки с потолкоуступным забоем с двумя и тремя плоскостями обнажения получить качественное дробление горной массы с минимальным выходом рудной мелочи (15-18 % против обычного для рудников 50-60 %), сократить эксплуатационные потери и разубоживание в 3-4 раза, уменьшить удельный расход ВВ на отбойку в среднем на 35-40 %.

При камерных системах разработки со скважинной отбойкой руды удалось снизить выход некондиционной руды с 8-10 до 2-3 %, рудной мелочи с 48-50 до 18-20 %, эксплуатационное разубоживание с 8-10 до 2-3 % и удельный расход ВВ в среднем на 15-20 % [1, 4, 5].

В целом, рекомендуемая технология взрывной отбойки при проведении подготовительно-нарезных выработок и очистной выемке рудных месторождений, по сравнению с существующими традиционными способами, является более практичной, упрощает технологию ведения взрывных работ, эффективно снижает сейсмическое воздействие взрыва на породы законтурного массива и этим самым повышает их устойчивость и эффективность контурного взрывания, позволяет получить качественное дробление горной массы и сократить выход рудной мелочи.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1780 361 СССР. Способ отбойки крутопадающих тонких жил / Б.У.Раскильдинов, Х.А.Юсупов и др. 1992. (ДСП).

2. *Битимбаев М.Ж.* Выбор рациональных параметров шпуровой отбойки при выемке пологопадающих залежей / М.Ж.Битимбаев, С.Н.Бекбаев, Б.У.Раскильдинов и др. // Горный журнал. 1987. № 7.

3. Патент 2298 РК. Е 21С 37/00. Способ отбойки горных пород / Б.У.Раскильдинов, Э.И.Альзамарова. Опубл. в Б.И. 1995. № 3.

4. Патент 2298 РК. Е 21С 37/00. Способ отбойки рудного массива / Б.У.Раскильдинов. Опубл. в Б.И. 1995. № 3.

5. Патент 3603 РК. Е 21С 37/00. Способ отбойки крутопадающих тонких жил / Б.У.Раскильдинов, Х.А.Юсупов и др. Опубл. в Б.И. 1996. № 2.

6. *Раскильдинов Б.У.* Определение расстояния передачи детонации между частями рассредоточенного воздушными промежутками колонкового заряда // Газодинамика взрывных и ударных волн, детонационного и сверхзвукового горения: Тезисы Всесоюз. симпозиума. Новосибирск, 1991.

7. *Раскильдинов Б.У.* Совершенствование конструкции рассредоточенных колонковых зарядов // Актуальные вопросы современной науки и техники. Алматы, 1994. Ч.1.