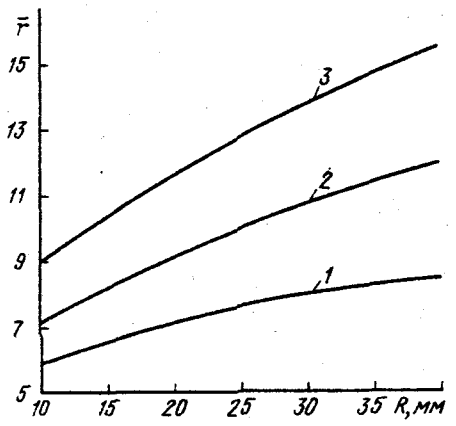
Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, 1984, т. 99

УДК 622.235.5:62.012.3

МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВАНИИ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ НА КОМПЕНСАЦИОННУЮ ПОЛОСТЬ

Е.Г.КАРПУНОВ, Г.П.ПАРАМОНОВ,
С.В.ПУЗАНКОВ, В.Б.СЕНЮШКИН

В современной технологии взрывной отбойки при проведении горных выработок все большее применение находят параллельные врубы, принцип работы которых заключается в том, что при взрыве шпуровых зарядов происходит разрушение породной перемычки между заряженными шпурами и холостой скважиной, в результате чего образуется врубовая цилиндрическая полость большой глубины. Основной проблемой с учетом повышения эффективности использования ВВ является правильный выбор линии наименьшего сопротивления ЛНС (максимального пробивного расстояния) в зависимости от типа ВВ, свойств породы, радиусов шпура и незаряженной скважины (компенсационной полости).



Зависимость относительного пробивного расстояния $\bar{r}$ от диаметра компенсационной полости $\bar{R}$
1 – оргстекло; 2 – мрамор; 3 – сланец

Для определения оптимального пробивного расстояния между компенсационной скважиной и зарядом были проведены эксперименты на моделях из сланца, мрамора и органического стекла, при этом использовались заряды гексогена массой 0,3 г длиной 25 мм и диаметром 4 мм. Результаты экспериментов представлены на рисунке.

Зависимость относительной ЛНС $\bar{r}$ от относительного радиуса полости $\bar{R}$ можно в хорошем согласии с экспериментальными данными выразить с помощью формулы

$$\bar{r} = \bar{r}_0\left[1 - \exp\left(-\delta\bar{R}\right)\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (1)$$

где $\bar{r}_0$ – относительная ЛНС при взрыве на безграничную поверхность $(\bar{R} \to \infty)$;
δ – относительный коэффициент динамической составляющей напряжения.

Для сланца, мрамора и органического стекла $\bar{r}_0$ и δ имеют следующие значения, соответственно: 17,3 и 0,055; 15,8 и 0,045; 9 и 0,075.

Механическое воздействие взрыва на породу состоит из двух качественно различных составляющих: I) преломленная в породу ударная волна создает волновое поле напряжений; 2) расширяющиеся в шпуре продукты детонации создают в породе квазистатическое поле напряжений. В разрушении породы принимают участие обе эти составляющие, однако их относительная значимость различными авторами оценивается по-разному.

Учитывая большую сложность задачи, ограничимся исследованием квазистатического действия продуктов взрыва на породу. Величина напряжений динамической составляющей значительно больше статической, она приводит к появлению микротрещин, но из-за очень малого времени действия динамической составляющей (I-I0 мкс) существенного развития трещин не происходит, поэтому действие динамической составляющей можно эффективно свести к уменьшению прочностных характеристик породы и учесть, используя соответствующий коэффициент после сравнения расчетных данных с данными эксперимента.

Задачу воздействия квазистатической составляющей при взрыве шпурового заряда на незаряженную скважину большого диаметра можно свести к плоской задаче теории упругости о напряжениях в бесконечной пластине, ослабленной двумя отверстиями разного диаметра. Подобная задача была решена М.З.Народецким[x].

Пусть предел прочности породы на растяжение равен σ_p, тогда для того, чтобы на краю незаряженной скважины радиуса R произошло разрушение породы с дальнейшим ее выбросом, необходимо, чтобы в заряженном шпуре радиуса r, центр которого находится на расстоянии L от центра незаряженной скважины, действовало статическое давление

$$P = \frac{\sigma_p R^2}{r^2 f}, \qquad (2)$$

где f – функция двух переменных $\frac{R}{L}$ и $\frac{r}{R}$.

Особый интерес представляет определение ЛНС $W = L - R - r$ и ее зависимость от параметров заряда, физико-механических свойств горных пород и условий взрывания. Введем новые переменные

$$\bar{R} = \frac{R}{r}, \quad \bar{W} = \frac{W}{r} = \frac{L - R - r}{r}.$$

В этом случае формулу (2) можно представить в виде

$$P_1 = \sigma \bar{R}^2 \varphi^{-1}(\bar{R}, \bar{W}), \qquad (3)$$

где $\varphi(\bar{R}, \bar{W})$ – функция новых переменных.

Введем коэффициент заполнения шпура $\alpha = V_з / V_{шп}$, где $V_з$, $V_{шп}$ – объемы заряда и шпура соответственно.

---

[x] Народецкий М.З. Об одной задаче плоской теории упругости, разрешаемой в замкнутой форме. Сообщение Академии наук Грузинской ССР. 1957, т. XIX, № 3.

В случае мгновенной детонации и расширения продуктов детонации внутри шпура давление в шпуре будет иметь вид

$$P_1 = 2\rho Q_V \alpha^{\kappa}, \tag{4}$$

где ρ – плотность ВВ; Q_V – удельная теплота взрыва; κ – показатель изэнтропы продуктов детонации, $\kappa = 2{,}5\text{–}3$.

Тогда

$$2\rho Q_V \alpha^{\kappa} = \sigma \bar{R}^2 \varphi^{-1}(\bar{R}, \bar{W}). \tag{5}$$

Функция $\varphi(\bar{R}, \bar{W})$ имеет сложную зависимость от обеих переменных. Для упрощения расчетов и приближения их к практическому использованию будем искать ее аппроксимацию в виде

$$\varphi(\bar{R}, \bar{W}) = \varphi_1(\bar{R})\varphi_2(\bar{W}), \tag{6}$$

где φ_1 и φ_2 – некоторые функции, для определения которых рассмотрим пределы $\varphi(\bar{R}, \bar{W})$ при больших и малых $\bar{R}$. При $\bar{R} \to \infty$ ($R \to \infty$, взрыв на безграничную поверхность) функция

$$\varphi(\bar{R}, \bar{W}) \approx 0{,}6 \frac{\bar{R}^2}{\bar{W}^2} \to \infty. \tag{7}$$

В этом пределе выражение (5) принимает вид

$$2\rho Q_V \alpha^{\kappa} = \frac{\sigma W_0^2}{0{,}6}, \tag{8}$$

отсюда находим предельную ЛНС

$$W_0 = \bar{W}_0 r,$$
$$\bar{W}_0 = \sqrt{\frac{1{,}2\rho Q_V \alpha^{\kappa} r^2}{\sigma_p}}. \tag{9}$$

При $\bar{R} \to \infty$:

$$\varphi(\bar{R}, \bar{W}) \sim \bar{R}^2 \to 0, \tag{10}$$

причем относительная величина породной перемычки

$$\bar{W}^2 = 4\sqrt{2}\bar{R} \to 0. \tag{11}$$

Будем аппроксимировать функцию $\varphi(\bar{R}, \bar{W})$ выражением

$$\varphi(\bar{R}, \bar{W}) \approx \beta \bar{R}^2 \bar{W}^{-2}\left[1 - \exp(-\gamma \bar{R})\right], \tag{12}$$

при $\bar{R} \to 0$ имеем $\sim \bar{R}^2 \to 0$.

Из сравнения с формулами (7), (11), (5) получим $\beta = 0{,}6$; $\gamma = 4\sqrt{2}/\bar{W}_0^2$. Тогда выражение для относительной ЛНС будет иметь вид

$$\bar{W} = W_0\left[1 - \exp(-\gamma \bar{R})\right]^{\frac{1}{2}}. \tag{13}$$

Найдем $\bar{W}_0$ и γ для следующих условий: ρ = I,I г/см^3; Q_V = = 5694 кДж/кг; σ_p = 30 кг/см^2 (сланец); σ_p = I50 кг/см^2 (мрамор); σ_p = = 600 кг/см^2 (оргстекло). Получим следующие результаты: для сланца $\bar{W}_0$ = = 50; γ = 0,00234; для мрамора $\bar{W}_0$ = 22,4; γ = 0,0II; для оргстекла $\bar{W}_0$ = II; γ = 0,0463. Таким образом, результаты, полученные на основе теоретической модели качественно совпадают с экспериментальными данными.

Для количественного совпадения введем коэффициенты K_1 и K_2, учитывающие влияние динамической составляющей напряжения. При $\bar{r}_0 = \bar{W}_0 K_1$; $\bar{\delta} = \gamma K_2$ получим для сланца K_1 = I,73; K_2 = 23,4; для мрамора K_1 = I,42; K_2 = 4; для оргстекла K_1 = I,II; K_2 = I,62. Относительно малое отличие от единицы коэффициентов для оргстекла можно объяснить его вязкостью, отсутствием большого числа микротрещин, в то время как наличие их в сланце приводит к быстрому затуханию передаваемой энергии взрыва с расстоянием ($K_2 \gg$ I) и эффективным снижением прочностных характеристик.

Если использовать данные В.А.Боровикова[x], т.е. учесть расширение полости шпура, то согласие расчетных и экспериментальных данных улучшается ($K_1 \approx$ I).

Таким образом, результаты эксперимента и теоретическая модель, учитывающая квазистатическую составляющую поля напряжений, приводят к следующей формуле для расчета относительной ЛНС:

$$\bar{W} = \bar{W}_0 \left[1 - \exp\left(-5{,}66 K_2 \bar{R} \bar{W}_0^{-2}\right)\right]^{\frac{1}{2}},$$

$$W_0 = K_1 \sqrt{\frac{1{,}2 \rho Q_V \alpha^{\kappa} r^2}{\sigma_p}},$$

где K_1 и K_2 зависят от свойств горной породы и должны определяться экспериментально.

---

[x] Боровиков В.А. Развитие газовой полости при взрыве цилиндрического заряда в горной породе. – ФТПРПИ, 1980, № 6, с.40-53.