Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.ХIУ, вып. 1, 1974 г.

МЕХАНИЗМ РАЗВЯЗЫВАНИЯ И ПРОТЕКАНИЯ ВЫБРОСОВ ПОРОДЫ

К.К.Самохвалов

Выбросы породы резко снижают темпы и значительно увеличивают стоимость проведения выработок, создают неблагоприятные условия для производства горных работ на строящихся шахтах.

Для разработки эффективных мер, которые позволили бы уменьшить интенсивность и число выбросов, необходимо знать механизм их развязывания и протекания.

В формировании выбросов существенную роль играет глубина заложения горной выработки, точнее напряжения в породах, вызванные давлением вышележашей толщи,

Это убеждение вытекает из опыта ведения горных работ, в частности,в Донбассе, который свидетельствует, что первые выбросы появились на глубине более 700 м, причем число их с увеличением глубины возрастало [2,6]. Так называемая расчетная величина напряжений при среднем объемном весе пород $\gamma = 0{,}0025$ кг/см^3 уже на глубине 750 м составит 187,5 кг/см^2.

Важная роль в возникновении выбросов принадлежит также физико-механическим свойствам горных пород [2]. Практика свидетельствует,что выбросы происходят только в определенных породах. Например, в Донбассе, на шахте "Петровская-Глубокая", выбросы происходят в песчаниках определенной категории, которые получили название выбросоопасных. В других породах, в том числе и в других песчаниках, даже если они залегают в контакте с выбросоопасными, выбросов не бывает.

При сравнительной оценке физико-механических свойств выбросоопасных и невыбросоопасных песчаников шахты "Петровская-Глубокая" установлено, что выбросоопасные песчаники при меньшей прочности на растяжение и сжатие обладают большим модулем упругости [2], т.е. они в большей степени склонны к хрупкому разрушению.

Порода при выбросах разрушается за счет возникающих растягивающих усилий.

Газ, содержащийся в порах выбросоопасных песчаников, не является фактором, обуславливающим их выбросоопасность [2]. В работе Н.Е.Волошина и В.И.Тарасьева [2] показано, что при давлении газа 80 атм выбросов не наблюдалось. Однако в зонах, где давление газа не превышало 17-18 атм, происходили выбросы большой интенсивности.

Напряжения в породах, которые вызываются давлением газа, невелики. По определениям объемная пористость выбросоопасных песчаников составляет всего 8-10%. Установлено, что выбросоопасные песчаники обладают фильтрационными свойствами [2], хотя и весьма незначительными. Можно предположить, что поры этих песчаников сообщаются, так как за счет

фильтрации в них движется газ и выходит в скважину к манометрам. Если мысленно рассечь выбросоопасный песчаник плоскостью, то замеренное манометрами давление газа будет действовать на ту площадь, которая приходится на поры. Для определения напряжений в породе, вызванных давлением газа, необходимо распределить это давление и на площадь, на которую действуют силы сцепления (90–92% площади). Тогда в выбросоопасных песчаниках напряжения от давления газа в 100 атм (максимальное замеренное давление) составят всего 8–9 кг/см^2. Этого явно недостаточно для их разрушения в условиях трех- и двухосного напряженного состояний. Даже при одноосном растяжении предел прочности песчаников составляет 60–80 кг/см^2, т.е. в 8–10 раз больше, чем напряжения от давления газа.

При выбросах породы выделяется повышенное количество метана. Однако такое выделение является следствием более мелкого дробления породы и наблюдается через 25–30 сек после ее отброса. Это также свидетельствует, что давление газа в данном случае не является первопричиной выбросов породы [1,2,9].

Выбросы породы происходят вслед за взрывами зарядов шпуров, причем каждый представляет собой серию более мелких разрушений, следующих одно за другим [2].

Волна напряжений в породах, возникающая от взрыва зарядов в шпурах, на существующих глубинах ведения горных работ не влияет на зарождение выбросов.

Предположение, что волна напряжений инициирует выброс, может относиться только к первому разрушению общей серии. Поскольку она не инициирует целый ряд последующих разрушений, надо полагать, не инициирует и первое. Кроме того, опытом ведения горных работ установлено, что интенсивность выбросов не зависит от количества одновременно взрываемого ВВ, т.е. не зависит от энергии волны напряжений.

На величину напряжений в породах существенно влияет тектоника их залегания [1]. Например, при складчатом залегании пород в зонах осей складок породы испытывают как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Сжимающие напряжения в синклиналях, по данным Ю.К.Фрезе [7], могут достигать $(1{,}5 \div 1{,}8)\,\gamma H$, а в антиклиналях $(1{,}9 \div 3{,}8)\,\gamma H$. При малых амплитудах складок могут существовать напряжения продольного сжатия [2]. Вместе с тем одни тектонические напряжения не являются первопричиной выбросов. Их следует рассматривать как дополнительную составляющую напряжений, вызванных давлением толщи вышележащих пород.

При выбросах породы реализуется огромная энергия. Большая часть породы разрушается до песка или мелких чешуек, т.е. совершается работа по преодолению внутренних связей на огромной поверхности [2]. По оценке Н.Е.Волошина [2], энергия, которая при выбросах затрачивается только на разрушение 1 м^3 породы, без учета ее расхода на отброс породы, тепловые превращения, упругие и пластические деформации, составляет $17{,}3 \cdot 10^5$ кгм. Такая энергия может быть реализована лишь под действием горного давления.

Первые очаги выбросов формируются в породах, окружающих участок выработки, вновь образованный взрыванием комплекта шпуров.

Полость выброса начинается от места положения забоя, на момент взры –

вания зарядов шпуров.

Роль взрывных работ при возникновении выброса заключается в мгновенном отделении части породного массива и создании новой породной поверхности [2,3,4,5]. В лабораторных условиях выброс был смоделирован путем мгновенного отделения части напряженного образца [5].

Упругие деформации при обнажении массива возникают мгновенно. Скорость распространения упругих колебаний (продольной волны) в массиве составляет 4000–7500 м/сек и не зависит от источника возбуждения [8].

В упругой породной среде, окружающей вновь образованный участок выработки, с указанной скоростью образуются зоны концентрации напряжений. Известно, что концентрация напряжений имеет место при любой форме сечения выработок, при неровной и гладкой поверхностях.

Коэффициенты концентрации напряжений при ровной поверхности породного контура выработок составляют 1,3 – 3, при неровной – 3,76 и более.

На основании изложенного механизм развязывания и протекания выбросов можно представить следующим образом.

В нетронутом массиве горные породы находятся в состоянии всестороннего сжатия и, следовательно, обладают определенным запасом потенциальной энергии.

Сразу же после отрыва силой взрыва части породы и образования нового участка выработки в породном массиве, прилегающем к этому участку, возникают дополнительные упругие деформации сжатия, протекающие со скоростью 4000–7500 м/сек, а также появляются зоны концентрации сжимающих напряжений.

Напряжения в этих зонах, с учетом коэффициентов концентрации тектонических напряжений K_1 = 1,5–3,8 и напряжений, вызванных проведением выработки, K_2 = 1,3–3,76, могут достичь значений (4,95÷14,3) γH. Фактические максимальные напряжения, замеренные методом разгрузки до взрывания шпуров, составляют (2,4÷3,6) γH [2], т.е. находятся в пределах значений напряжений, вызванных давлением пород и тектоническими силами.

При упругом сжатии в этих зонах мгновенно возрастает количество потенциальной энергии. Вследствие последующего упругого восстановления возникают деформации растяжения, также протекающие со скоростью 4000–7500 м/сек. Из-за большой скорости протекания деформаций нагрузки, вызывающие повышение напряжений сжатия упругого восстановления, носят ударный характер.

Поскольку выбросоопасные песчаники обладают большим модулем упругости и малой прочностью, количество потенциальной энергии при сжатии будет увеличиваться при весьма малых деформациях, что вытекает из известного выражения

$$\sigma = \varepsilon E ,$$

где σ – напряжения; E – модуль упругости; ε – относительная деформация.

В выбросоопасных песчаниках, вследствие малых значений упругих деформаций сжатия, будет накапливаться большее количество потенциальной энергии, чем в породах, обладающих меньшим модулем упругости или большей

прочностью. Повышенная хрупкость выбросоопасных песчаников благоприятствует их разрушению при динамическом приложении нагрузок. Разрушение породы и отброс происходят при упругом восстановлении после деформа ц и и сжатия, когда потенциальная энергия перейдет в кинетическую, за счет которой возникнут деформации растяжения.

На существующих глубинах ведения горных работ выбросы могут происходить там, где действуют тектонические силы, так как напряжения от действия только гравитационных сил даже в зонах их концентрации будут недостаточны для развязывания выбросов. Этим можно объяснить зональность выбросов.

После того, как произойдет первое разрушение и отброс породы, образуется новая свободная поверхность, возникают новые зоны концентрации напряжений, происходит последующий выброс и т.д.

Выбросы прекращаются вследствие изменения физико-механических свойств пород, уменьшения тектонических напряжений и самоподбучивания поверхностей полостей выбросов выброшенной породой.

Литература

1. Бобров И.В. Причины выбросов породы при проведении выработок в шахтах Донбасса. – "Уголь Украины", 1966, № 1.

2. Волошин Н.Е., Тарасьев В.И. Борьба с выбросами породы в шахте, Донецк, "Донбасс", 1968.

3. Галушка П.Я. О природе внезапных выбросов породы на шахте Щегловская-Глубская. – "Уголь Украины", 1966, № 1.

4. Ефремов Г.Д. Гипотеза образования внезапных выбросов породы в выработках глубоких шахт. – "Уголь Украины", 1966, № 1.

5. Миндели Э.О. Некоторые вопросы буровзрывных работ, возникающие при проведении горных выработок в зонах выброса породы. – "Шахтное строительство", 1965, № 8.

6. Николин В.И., Меликсетов С.С., Берковин И.М. Выбросы породы и газа. М., "Недра", 1967.

7. Фрезе Ю.К. Исследование напряжений в горных породах, окружающих горизонтальные выработки, при различных глубинах разработки и геотектонических условиях. Автореф. канд. диссерт. Киевский политехн. ин-т, 1969.

8. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. М., Госгортехиздат, 1962.

9. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М., Госгортехиздат, 1961.