

УДК 622.831.322

В.В. Трошенко

К ВОПРОСУ О ВЫБРОСАХ ПЕСЧАНИКОВ

По материалам наблюдений в забоях выработок глубоких шахт и на основе концептуальной модели распределения напряжений на контуре полости в хрупком твёрдом материале раскрыт механизм возникновения выброса песчаника и предложен вариант способа выбрособезопасной проходки выработок в выбросоопасных песчаниках.

Ключевые слова: горная порода, выбросоопасность пород, выброс угля, геостатические силы, шахта.

Проблема выбросоопасности горных пород сохраняет актуальность в связи с тем, что подземная разработка угля и других полезных ископаемых осваивает всё более глубокие горизонты.

Анализ поведения песчаников угленосной толщи Донбасса в горных выработках глубоких шахт показывает, что, в отличие от выбросов угля и газа, в выбросоопасности песчаников главную роль играет не газовый фактор, а прочностные свойства породы — её хрупкость и твёрдость, а также напряженное состояние массива — обстановка всестороннего сжатия, близкого по величине к критическим значениям. Это различие в природе выбросов угля и песчаника подтверждается наблюдаемым снижением температуры воздуха в забое после углегазового выброса [3], в то время как при выбросах песчаника температура в забое, наоборот, повышается. Снижение температуры при выбросах угля объясняется охлаждением свободного газа, находящегося в порах раздробленного угля, при его адиабатическом расширении, тогда как повышение температуры при породном выбросе происходит за счёт перехода механической энергии разрушения минеральных агрегатов в тепловую.

По данным В.Е. Забигаило и др. [2], решающее значение для выбросоопасности имеет хрупкость песчаника, определяемая отношением предела прочности на разрыв к пределу прочности на сжатие; поровое давление газа в песчанике, несмотря на его малое содержание, снижает прочность породы на растяжение и тем самым повышает хрупкость и выбросоопасность.

В отличие от внезапных выбросов угля и газа, где газовый фактор является определяющим, выбросы песчаника (а также других твёрдых и хрупких пород) не являются внезапными. На достигнутых к настоящему времени глубинах эксплуатации угольных месторождений (1000—1300 м) они происходят только при взрывных работах, в момент производства взрыва. При этом размеры полости выброса могут намного превзойти проектные размеры выработки вчерне, а выброшенная порода вместо обычных угловатых обломков представляет собой тонкие (порядка 1—3 мм) концентрические скорлупообразные пластины причудливой формы и больших размеров, секущие массив породы независимо от видимой седиментационной слоистости.

В тех случаях, когда направление развития полости выброса совпадает с проектным направлением выработки, это явление может иметь позитивный эффект — достигаются значения КИШ более единицы, но чаще выбросы приводят к образованию бесполезных полостей, требующих дополнительной забутовки.

Такой характер поведения песчаников на глубинах более 600—700 м обусловлен известными закономерностями поведения твёрдых хрупких материалов в условиях всестороннего сжатия. Для хрупкого твёрдого тела, находящегося в состоянии всестороннего сжатия, уменьшение сжимающего напряжения по одной из главных осей напряжений на некоторую величину эквивалентно приложению к тому же телу, находящемуся в свободном состоянии, растягивающего напряжения, аналогичного по модулю разности между наибольшим и наименьшим сжимающими напряжениями. Эффектом такого напряженного состояния при достижении разностью главных напряжений значения, близкого к пределу прочности материала на разрыв, обычно бывает образование трещин отрыва, нормальных к направлению наименьших сжимающих напряжений (именно поэтому кубический образец хрупкого материала при испытании на одноосное сжатие раскалывается по трещинам, параллельным боковым граням и направлению действия сжимающей силы).

Схема развития выброса песчаника такова. При взрыве зарядов в комплексе шпуров часть массива песчаника, расположенная между последними и в непосредственной близости, подвергается дроблению и выбрасывается силой образовавшихся при взрыве газов наружу, в свободное пространство, формируется полость заходки. Одновременно окружающий

массив получает мощный импульс давления, направленный против сжимающих геостатических сил, образуется расходящаяся волна сжатия, за которой следует волна растяжения, вызывающая кратковременную разгрузку непосредственно прилегающей к контуру выработки части массива. В следующий момент силы геостатического сжатия и упругости вызывают обратную, центростремительную волну сжатия, в результате чего сжимающие напряжения в окрестностях выработки кратковременно возрастают до величин, значительно превышающих первоначальное значение. Однако эта возвратная волна сжатия встречает уже не сплошной массив породы, а вновь образованную полость, распределение напряжений на контуре которой существенно отличается от напряженного состояния в ненарушенном массиве.

Рассмотрим поле механических напряжений на границе отверстия в сплошном массиве изотропного твёрдого тела, находящегося в условиях всестороннего сжатия. Для простоты рассуждения примем форму отверстия круглой (рис. 1). Выделим на границе отверстия элементарный объём породы кубической формы. Поскольку сопротивление сжатию со стороны отверстия отсутствует, сжимающее напряжение по оси, нормальной к стенке отверстия, равно нулю. Из теории сопротивления материалов известно, что на контуре отверстия отсутствие сжимающего напряжения по оси σ_1 , нормальной к его стенке, компенсируется повышением сжимающего напряжения по оси σ_3 , тангенциальной к стенке, ровно в два раза; напряжение по третьей оси σ_2 , параллельной оси отверстия, можно считать равным напряжению общего всестороннего геостатического сжатия. По мере удаления от кон-

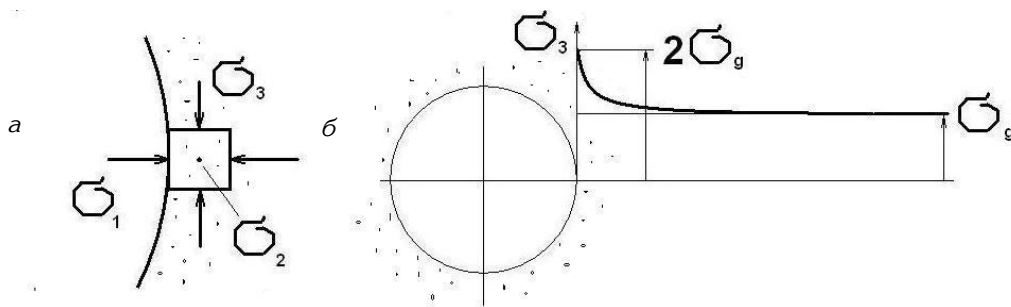


Рис. 1. Распределение механических напряжений на контуре отверстия в напряженном твердом теле:

a — элементарный кубик на контуре отверстия, $\sigma_1 = 0$; *б* — форма кривой убывания тангенциального сжатия σ_3 по мере удаления от отверстия (σ_g — геостатическое напряжение)

тура отверстия вглубь массива, значение тангенциального сжимающего напряжения быстро убывает за счёт внутреннего распора среды по закону, близкому к экспоненциальному, так что уже на расстоянии $1,5-2$ радиуса отверстия его можно считать равным всестороннему. Такое поле напряжений можно считать эквивалентным приложению к элементарному кубу растягивающего напряжения, действующего по оси σ_1 и равного по модулю разности напряжений $|\sigma_3 - \sigma_1|$, то есть удвоенному значению всестороннего сжимающего напряжения. Если учесть, что в момент прихода возвратной волны сжатия всестороннее напряжение значительно превышает напряжение в ненарушенном массиве, то окажется, что значение эквивалентного растягивающего напряжения в несколько раз превышает по модулю первоначальное значение геостатического сжатия, и если предел прочности породы на разрыв оказывается ниже этого значения, то происходит образование трещин отрыва, нормальных к оси σ_1 , т.е. параллельных стенке отверстия. Поскольку такое поле напряжений действует одновременно во всех элементарных объёмах породы на периметре отверстия, это приводит к отделению от массива тонкой скорлупообразной пластины, в результате

чего формируется ювенильная поверхность отверстия с радиусом, увеличенным на толщину пластины. Далее процесс продолжается с образованием новых концентрических скорлуп до тех пор, пока волна сжатия не ослабеет настолько, что разность $|\sigma_3 - \sigma_1|$ окажется ниже значения временного сопротивления породы разрыву.

На практике течение описанного процесса разрушения породы осложняется такими факторами, как отклонение формы сечения выработки от окружности, в результате чего происходит местная концентрация напряжений на участках малой кривизны, а также анизотропия породного массива, суперпозиция на его геостатическое напряженное состояние дополнительных тектонических напряжений, и рядом других, трудно поддающихся учёту условий. В результате направление развития полости выброса приобретает неконтролируемый характер.

В качестве наиболее общих рекомендаций по борьбе с выбросами песчаников и других скальных пород можно предложить следующее.

1. При проектировании подземных выработок в сплошных скальных массивах на выбросоопасных глубинах следует выбирать форму сечения выработки в проходке, макси-

мально приближенную к окружности, чтобы исключить влияние местной концентрации напряжений на контуре. При необходимости получения иного сечения выработки в свету, выгоднее доводить круглое сечение до требуемого забутовкой заранее предусмотренных зазоров, чем закладывать случайные полости, образующиеся при неконтролируемых выбросах.

2. При производстве буровзрывных работ по классической схеме врубовых, отбойных и контурных шпуров, целесообразно изменить порядок их отпалки: вначале взорвать контурные шпуров с минимальными зарядами, чтобы лишь нарушить сплошность массива на контуре, причём лучше не одновременно, а с замедлением, например, вначале нечётные, затем чётные, а уже после — врубовые и отбойные в обычной последовательности.


3. Целесообразно так подобрать период замедления между очередями взрывания, чтобы момент взрыва сле-

дующей очереди приходился на пик волны возвратного сжатия, таким образом частично нейтрализуя его. По данным В.Е. Забигайло и др. [2], развитие выброса пород начинается через 0,2—0,3 с. после подачи импульса на взрыв, что и можно принять за время возврата волны сжатия.

Рекомендации по проведению выработок, в забое которых выбросоопасные песчаники занимают только часть сечения, даны в Горной энциклопедии [1]. По-видимому, следует ожидать, что с увеличением глубины разработки свойства выбросоопасности будут приобретать песчаники и другие хрупкие породы, которые на достигнутых в настоящее время глубинах не проявляют таких свойств, а наиболее склонные к выбросам породы могут приобрести склонность к перманентному отделению «чешуй» — шелушению, и даже к спонтанным выбросам (известно явление «стреляния» выбросоопасных песчаников в забоях выработок на уже достигнутых глубинах).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия. / Гл. ред. Е.А. Козловский. — М.: Советская энциклопедия. — Т. 1. — 1984. — 560 с.
2. Забигайло В.Е., Лукинов В.В., Широков А.З. Выбросоопасность горных пород Донбасса. — Киев: Наукова Думка, 1983. — 288 с.

3. Kajewski Bronisław, Kobiela Zbigniew. Termiczna metoda oceny zagryżenia metanowego i wyrzutowego w drążonych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego. — Prz. gyrn. 2004. — 60. — № 11. — P. 50—53. 

Коротко об авторе

Трошенко В.В. — старший научный сотрудник Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН), горный инженер-геолог, e-mail: geo@mmbi.krinc.ru.

