

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРИСТЫХ СРЕД НА ИХ КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА

Приведені результати аналітичних та експериментальних досліджень по визначенню впливу напружено-деформованого стану пористих середовищ на зміну їх ємкостних та фільтраційних властивостей.

THE ESTIMATION OF EFFECT OF STRESSED AND DEFORMED STATE ON POROUS MEDIUMS ON THEIR COLLEKTOR'S PROPERTY

Are adduced results of analytic and experimental investigation that to determine the influence of stressed and deformed state of porous mediyms on the change their capacity's and filtration's property.

К коллекторским свойствам, позволяющим твердой среде при определенных условиях аккумулировать в своем объеме жидкие и газообразные флюиды, а также отдавать их, относятся: пористость, трещиноватость, проницаемость, газовлагонасыщенность, т.е. емкостные и фильтрационные параметры коллектора.

При подземной добыче полезных ископаемых в зоне влияния различных технологических воздействий емкостные и фильтрационные параметры углепородного массива изменяются во времени и пространстве. Знание закономерностей этих изменений необходимо для разработки рациональных технических решений, обеспечивающих эффективность и безопасность ведения подземных горных работ.

Наиболее общим емкостным параметром, характеризующим структурно-текстурные и фильтрационные свойства коллектора, является пористость. Общая или абсолютная пористость, включающая открытое или закрытое поровое пространство, выражается отношением (в долях единицы или в %) суммарного объема пор и трещин к общему объему коллектора. Она может быть рассчитана по разности удельного и объемного весов пористой среды. Для определения емкостных параметров природных коллекторов широко используются стандартизированные лабораторные методы [1, 2, 3], существенным недостатком которых является отсутствие учета влияния напряженно-деформированного состояния среды на изменение ее трещинно-поровой структуры.

Пористость горных пород имеет различное генетическое происхождение, зависит от вещественного состава слагающих коллектор минералов, сцементируемости их и уплотненности. Известно, что под влиянием внешней нагрузки объем порового пространства изменяется [3, 4]. В состоянии объемного сжатия, присущего природным коллекторам, происходит взаимное перемещение твердых частиц, их уплотнение за счет уменьшения степени пустотности напряженной среды.

Рассмотрим теоретические предпосылки влияния напряженно-деформированного состояния пористых сред на изменение их емкостных параметров.

При отсутствии внешней нагрузки относительная степень пустотности пористой среды может быть представлена соотношением

$$P_0 = \frac{W_n^0}{V_0}, \quad (1)$$

где P_0 - абсолютная пористость; W_n^0 - объем порового пространства; V_0 - общий объем пористой среды.

В состоянии объемного сжатия уменьшение общего объема пористого тела (уплотнение) происходит в основном за счет уменьшения порового пространства, т.е.

$$P_i = \frac{W_n^0 - \Delta V_i}{V_0 - \Delta V_i}, \quad (2)$$

где P_i - пористость напряженной среды; ΔV_i - изменение общего объема пористой среды под действием внешней нагрузки.

Тогда относительное изменение объема напряженной пористой среды (объемную деформацию) θ_i можно представить в виде

$$\theta_i = \frac{\Delta V_i}{V_0}, \quad (3)$$

$$\text{откуда} \quad \Delta V_i = V_0 \theta_i \quad (4)$$

Подставляя значения ΔV_i в уравнение (2), получим

$$P_i = \frac{W_n^0 - \theta_i V_0}{V_0 - \theta_i V_0} \quad (5)$$

Для единичного объема пористой среды, выразив поровый объем в долях единицы, можно записать

$$P_i = \frac{P_0 - \theta_i}{1 - \theta_i} \quad (6)$$

Таким образом, для определения пористости напряженной среды, кроме начальной пористости, необходимо знать относительное изменение объема коллектора при известной внешней нагрузке.

Приняв, с целью упрощения расчетных зависимостей, пористую среду изотропной, обладающей при допределельной внешней нагрузке упругими свойствами, для описания напряженно-деформированного состояния коллектора используем обобщенный закон Гука [4]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)],\end{aligned}\tag{7}$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные составляющие действующего поля напряжений; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - соответствующие линейные деформации; E и ν - упругие постоянные пористой среды.

Путем сложения левых и правых частей системы уравнений (7), после преобразования получим

$$\theta_i = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3,\tag{8}$$

т.е. относительное изменение объема напряженной среды равно сумме главных линейных деформаций.

Выразив указанные деформации через главные напряжения, из системы уравнений (7) следует

$$\theta_i = \frac{1-2\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)\tag{9}$$

При равнокомпонентном напряженном состоянии ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$) относительное изменение объема напряженной среды вычисляют по соотношению:

$$\theta_i = \frac{3\sigma(1-2\nu)}{E},\tag{10}$$

а с учетом того, что $\frac{E}{3(1-2\nu)} = K$, где K - модуль объемной деформации, можно записать

$$\theta_i = \frac{\sigma}{K}\tag{11}$$

Полученный расчетный аппарат позволяет проанализировать влияние напряженно-деформированного состояния пористых сред с известными упругими параметрами на изменение пористости газовых коллекторов.

Выполнен расчет для газоносных песчаников $l_2Sl_4^H$, $l_1Sl_2^1$, $h_5Sh_6^1$ шахт Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса при заданном и экспериментально определенном, в т.ч. объемном, напряженном состоянии. Осредненные упругие параметры исследуемых сред составили $E = 2 \cdot 10^4$ МПа, $\nu = 0,2$. Результаты расчета с использованием соотношений (6), (9), (10) приведены в таблице.

Таблица - Результаты расчета

№ п/п	Начальная пористость P_0 , д.ед.	Объемное напряженное состояние, МПа	Относительное изменение объема, $\theta_i \cdot 10^4$	Пористость напряженной среды, P_i , д.ед.	Относительное изменение пористости, %
1	0,10	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 30$	24	0,098	2
2	—	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 50$	45	0,096	4
3	—	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 60$	54	0,095	5
4	0,06	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 30$	24	0,058	4
5	—	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 60$	54	0,055	8
6	0,10	$\sigma_1 = 50$ $\sigma_2 = 25$ $\sigma_3 = 15$	27	0,097	3
7	0,08	$\sigma_1 = 60$ $\sigma_2 = 30$ $\sigma_3 = 24$	34	0,076	5

Анализ приведенных расчетных данных показывает, что в состоянии объемного сжатия с возрастанием величин главных составляющих поля напряжений пористость среды уменьшается. Характерно, что данная тенденция сохраняется независимо от характера напряженного состояния пористой среды. Относительное изменение пористости коллектора существенно зависит от соотношения начальной пористости и соответствующей объемной деформации при заданном напряженном состоянии среды (см. табл.). В численном выражении относительное изменение пористости напряженных коллекторов типа песчаников глубоких шахт Донбасса при величине сжимающих напряжений до 60 МПа не превышает 10 %, что согласуется с результатами экспериментальных исследований, выполненных в ИГТМ НАН Украины [5].

Анализируя степень надежности использования результатов аналитических и лабораторных исследований применительно к реальному горному массиву, следует отметить, что в натуральных условиях пористость сред, как правило, представлена более сложной (чем в лабораторно испытываемых образцах) трещинно-поровой структурой. При этом, если поровое пространство (как степень пустотности между слагающими минералами) изменяется при объемном сжатии коллектора в близких к приведенным выше соотношениям, то трещиноватость горного массива в значительной степени зависит от характера технологических воздействий, вызванных ведением горных работ, и может в несколько раз превышать исходную пористость. Поэтому в реальной горнотехнической обстановке степень пустотности горного массива целесообразно оценивать коэффициентом трещинно-поровой структуры среды (m), величина которого опреде-

ляется комбинацией известных экспериментальных методов, включая различные методы дефектоскопии и определения фильтрационных свойств горного массива при различном напряженно-деформированном состоянии трещинно-пористых сред [5].

С учетом того, что в углепородных массивах глубоких горизонтов шахт Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса кроме метана, насыщающего отрабатываемые угольные пласты, значительная часть его находится в трещинно-поровых структурах вмещающих пород (в основном в газонасыщенных песчаниках), выполнены лабораторные и шахтные исследования их фильтрационных свойств при различном напряженно-деформированном состоянии пористых сред. Лабораторные исследования фильтрационных свойств газонасыщенных породных образцов при задаваемом разнокомпонентном напряженном состоянии осуществляли с использованием экспериментальных методов и оборудования, разработанных ИГТМ НАН Украины [5, 6]. Анализ полученных результатов показал, что изменение величины и характера распределения главных составляющих внешнего поля напряжений существенно влияет на газовую проницаемость пористых сред. В частности, установлено, что с увеличением разнокомпонентности внешней нагрузки значительно (в несколько раз) возрастает пропускная способность газовых коллекторов, по сравнению с равнокомпонентно нагруженными [6].

Качественно подобные результаты получены при оценке газоотдачи газоносных песчаников в глубоких шахтах им. Ю.А.Гагарина ГХК «Артемуголь», им. А.А.Скочинского ГХК «Донецкуголь» и АП им. А.Ф.Засядько на горизонтах 950-1200 м в нетронутых углепородных массивах и в зонах влияния очистных работ.

Обобщением результатов выполненных лабораторных и шахтных исследований определено, что газовая проницаемость трещинно-поровых породных коллекторов при прочих равных условиях минимальна при равнокомпонентном или близком к нему поле сжимающих напряжений и закономерно возрастает с увеличением разнокомпонентности внешней нагрузки. Превалирующее значение при этом оказывает степень разнокомпонентности главных составляющих поля напряжений, ортогональных движению газового потока [6].

Таким образом, результатами аналитических и экспериментальных исследований подтверждена тесная взаимосвязь между напряженно-деформированным состоянием трещинно-пористых сред, их емкостными и фильтрационными параметрами, что может быть использовано при разработке рациональных технических решений по комплексной дегазации газонасыщенных углепородных массивов глубоких шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинко Н.И. Методика исследования коллекторских свойств кернов. – М.: Гостопиздат, 1963. – 225 с.
2. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 366 с.
3. Физика газовых пластов (коллекторские свойства). / Под редакцией А.А.Ханина и В.П. Савченко. – Л.: Недра, 1964. – 228 с.
4. Ржевский В.В., Новак Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1973. – 285 с.
5. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров С.И. Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного породного массива. – Донецк: ЦБНТИ угольной промышленности, 1994. – 202 с.

УДК 622. 831. 325.3: 622. 233.54

А.Г. Заболотный, С.А. Курносков

К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ ТОНКИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ШАХТ ГКХ «ЛЬВОВУГОЛЬ»

Розглянуто питання суттєвого збільшення навантаження на очисний вибій та пов'язані з цим проблеми дегазції тонких вугільних пластів. Запропоновано підхід дегазції шляхом створення свердловин в привибійній частині лави вібраційним пристроєм, вмонтованим на секції механізованого кріплення.

TO THE DECISION OF OF DECONTAMINATION THIN COAL LAYERS THE PROBLEM OF SHC "LVOVUGOL" MINES

The question of essential increase of loading on clearing face and the problems of decontamination of thin coal layers connected to it is considered. The approach to decontamination by creation of chinks in facing is offered a part of a lava by the vibrating device, built in section mechanized lining.

Глубокий анализ причин низкой эффективности применения механизированных комплексов на шахтах ГКХ «Львовуголь» показал, что это объясняется несколькими факторами, главными из которых являются: применения для выемки тонких угольных пластов устаревших морально и изношенных физически механизированных комплексов типа 1 КМ 87, ОМКТМ, 1МКМ, ОКП-70 и др.; применение параметров технологии (длина лавы 120-130 м, выемочного столба 1100-1200 м), которые не соответствуют принятым направлениям существенно их улучшения на угледобывающих предприятиях стран ближнего и дальнего зарубежья, а также на передовых шахтах Украины (шахта им. А. Ф. Засядько, Красноармейская-Западная, Южно-Донбасская и т.д.), где длина лавы достигает 250-300 м, выемочного столба- более 2000 м, а среднесуточная добыча угля из лавы превышает 3000 тонн. Если следовать указанным тенденциям и добиваться значительного повышения нагрузки на очистной забой для условий шахт западного региона возникает еще одна проблема – преодоление газового барьера.

На настоящий момент все шахты Червоноградской группы отнесены к сверхкатегорным по газу и опасным по взрывчатости угольной пыли.

Как показывают статистика отработки месторождения и данные геологоразведки, содержание газа метана в угольных пластах распределено крайне неравномерно и находится в прямой зависимости от глубины их залегания [1]. В северной части Червоноградского района на глубинах залегания пластов 345-580 м метаноносность не превышает 3,5-5 м³/т горной массы, к юго-западу, в связи с увеличением глубины разработки до 650 м, наблюдается повышение газоносности до 10-12 м³/т. В южной части района, где сосредоточенно основное количество действующих шахт, метаноносность возрастает до 20 м³/т, достигая максимума на Тягловском месторождении 27 м³/т.