

Всего на дегазируемом участке 17 восточной лавы из песчаника $m_4Sm_4^1$ двумя скважинами опережающей дегазации извлечено 980 тыс. м³ метана, а из 17 западной лавы – 1563 тыс. м³. содержание метана в добытом газе было высоким – от 81,4 до 95,8 %, а дебиты скважин были достаточны для различных вариантов утилизации газа.

Таким образом, высокие газодинамические показатели работы скважин опережающей дегазации наряду с повышением эффективности дегазационных мероприятий обеспечивают возможность рационально использовать извлеченный газ за счет его высокого качества. В настоящее время начаты работы по проверке способа на шахтах Минуглепрома Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. К 75821 Украина, кл. E 21 F 7/00, Заявл. 01.11.04; Опубл. 15.05.06; Бюл. № 5.– 6 с.
2. Элементы технологии способа опережающей дегазации пород кровли высоконагруженных лав / В. В. Лукинов, А. П. Клец, И. А. Ефремов, Б. В. Бокий // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2006. – Вып. № 67. – С. 67–73.

УДК 552.21. / 24:539. 217.1

Канд. геол. - минерал. наук К.А. Безручко
(ИГТМ НАН Украины)

ОЦЕНКА ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В ЛОКАЛЬНЫХ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Запропонована методика оцінки пористості гірських порід локальних антиклінальних структур у зонах розушільнення, сформованих у процесі складкоутворення під впливом деформацій розтягування, що перевищують критичні.

ESTIMATION OF A ROCKS POROSITY IN THE LOCAL ANTICLINAL STRUCTURES

The technique of a rocks porosity estimation of local anticlinal structures in the volume expansion zones generated in the course of fold formation under the influence of deformations of a stretching which exceed critical is offer.

Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины разработан стандарт [1] для прогнозирования скоплений свободного метана. Стандарт устанавливает методику определения параметров зон скопления свободного метана, образованных локальными антиклинальными складками в ненарушенном горными работами углепородном массиве. Теоретической основой указанной методики послужило положение о том, что природные процессы трещинообразования в углепородном массиве можно считать одним из ведущих природных факторов формирования коллекторских и газоёмкостных свойств, благоприятных для скоплений, или залежей свободного метана [2]. Предложенная модель предполагает формирование резервуара, за счёт трещинообразования в сводовой части антиклинальной структуры в период её обра-

зования при растяжении и деформации превышающей предельно допустимую деформацию растяжения для данной горной породы. Механизм детально описан в работе [2] и предусматривает, что в результате тектонических процессов, изгибы породной толщи сопровождаются межслоевым проскальзыванием и трещинообразованием. При изгибе пород в антиклинальную складку происходит растяжение слоёв, увеличивающееся от подошвы к кровле, что способствует увеличению трещиноватости в этом же направлении. Нижняя часть песчаника, в которой деформации растяжения не достигают предельно допустимых значений остаётся непоражённой трещинами, а в верхней - развиваются трещины, увеличивающие проницаемость. Процесс складкообразования способствует повышению фильтрационных характеристик слоёв песчаника нарушенных трещинами. Экраном залежи служит выполаживающийся вверх по восстанию слой этого же песчаника ненарушенный трещинами, вследствие меньшего изгиба, что делает его газонепроницаемым.

Указанная методика [1, 2] позволяет определить эффективную мощность песчаника в сводовых частях локальных антиклинальных складок, которые осложняют моноклинали и выделяются по отклонению гипсометрии пласта при проецировании его на поверхность наибольшего приближения (аппроксимирующую поверхность). Под эффективной мощностью понимается мощность песчаника, или мощность слоя в толще песчаника, которая характеризуется улучшенными коллекторскими свойствами и потенциально может быть благоприятной для скопления свободного метана. Эффективная мощность рассчитывается как разность между мощностью пласта песчаника и его критической мощностью, которая в свою очередь определяется как разность между двумя радиусами кривизны складки, по которым рассчитываются длины дуг, отличающиеся между собой на величину, пропорциональную величине предельно допустимой деформации растяжения для данной породы. Радиус кривизны антиклинальной складки рассчитывается по её параметрам: амплитуде и ширине.

Однако, помимо критической и эффективной мощностей и границы зоны скопления свободного метана, выделенной в плане, огромный интерес представляет количественная оценка параметров, характеризующих коллекторские свойства горных пород в сводовой части антиклинальной структуры. Чем в большей степени деформированы породы при смятии в складку, тем больше различие фильтрационных характеристик (коллекторских свойств) в зоне разуплотнения, возникшей за счёт трещинообразования в слоях, деформация которых не достигла предельно допустимых для нарушения сплошности пределов.

Как известно, пористость характеризует совокупность пустот, не занятых скелетом породы, в которых может находиться газ или флюид и численно равна отношению объёма пор к объёму породы. Считая, что увеличение объёма пласта, сминаемого в складку, происходит, только за счёт образования новых пустот (трещин), пористость в зоне разуплотнения можно выразить уравнением:

$$\Pi' = \frac{V_{nop} + \Delta V}{V_M + \Delta V}, \quad (1)$$

где Π' - пористость в зоне разуплотнения, после формирования складчатой структуры; ΔV - объём вновь образовавшихся пустот (трещин); $V_{пор}$ - начальный объём пор, до образования антиклинальной складки; V_M - начальный объём породного массива.

С учётом того, что начальный объём пор равен произведению начальной пористости на первоначальный объём породного массива, т.е.

$$V_{пор} = \Pi V_M, \quad (2)$$

где Π - начальная пористость, объём образовавшихся трещин ΔV , можно выразить следующим образом:

$$\Delta V = V_M(\omega - 1) \quad (3)$$

где ω - коэффициент, характеризующий относительную объёмную деформацию породного массива, который численно равен отношению объема разуплотнённого массива к первоначальному объёму массива V_M до смятия в складку.

С учётом формул (2) и (3), формула (1), по которой может быть определена пористость, после разуплотнения принимает вид:

$$\Pi' = \frac{\Pi V_M + V_M(\omega - 1)}{V_M \omega},$$

которая упрощается к виду:

$$\Pi' = \frac{\Pi + (\omega - 1)}{\omega}. \quad (4)$$

Полагая, что мощность отдельно взятого пласта не претерпевает изменений в процессе смятия в складку по сравнению с линейными размерами пласта в плане (относительная линейная деформация по оси z равна 1), коэффициент ω представляет собой произведение коэффициентов относительных деформаций растяжения пласта или отдельных его слоёв по осям x и y в плане:

$$\omega = \varepsilon_x \varepsilon_y,$$

где ε_x - коэффициент относительной линейной деформации по ширине складки; ε_y - коэффициент относительной линейной деформации по длине складки (вдоль оси складки).

Тогда формула (4) может быть представлена в виде:

$$\Pi' = \frac{\Pi + (\varepsilon_x \varepsilon_y - 1)}{\varepsilon_x \varepsilon_y}. \quad (5)$$

Следует отметить, что все приведенные выше рассуждения, в строгом понимании, справедливы относительно расчётов общей (абсолютной пористости). Но, исходя из того, что соотношение «абсолютная пористость – открытая пористость» для каждого отдельного слоя с одинаковыми свойствами не должно существенно варьировать, открытая пористость, при необходимости, может быть оценена введением к коэффициенту абсолютной пористости соответствующего поправочного коэффициента, отражающего связь открытой и абсолютной пористости для данной породы или её отдельного слоя на изучаемой площади.

Очевидно, что коэффициент ε_x относительной поперечной деформации, рассчитанный по ширине складчатой структуры, всегда будет больше коэффициента ε_y относительной продольной деформации. А деформация пород будет наибольшей непосредственно в кровле пласта. Таким образом, произведение $\omega = \varepsilon_x \varepsilon_y$ усреднённо характеризует приращение пористости для рассматриваемого массива в целом. Тогда как максимальное разуплотнение ω_{\max} может быть оценено посредством квадрата коэффициента относительной поперечной деформации, рассчитанного для кровли рассматриваемого пласта:

$$\omega_{\max} = \varepsilon_x^2. \quad (6)$$

Коэффициенты относительной линейной деформации могут быть рассчитаны по методике аналогичной расчёту критической и эффективной мощности в работе [2], как отношение радиусов дуг различных породных слоёв (отношение длин дуг равно отношению соответствующих радиусов), образующих антиклинальную структуру, которые определяются амплитудой и шириной складки и рассчитываются по этим параметрам:

$$\varepsilon = \frac{R}{R_n},$$

где ε - коэффициент относительной линейной деформации пласта; R - радиус кривизны антиклинальной складки в кровле пласта; R_n - соответственно радиус кривизны антиклинальной складки в почве того же пласта или его отдельного слоя:

$$\varepsilon = \frac{R}{R - m}, \quad (7)$$

где m - мощность исследуемого пласта или его отдельного слоя.

Величина обратная коэффициенту ε , представляет собой:

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{m}{R}. \quad (8)$$

Подставив в формулу (8) значение радиуса кривизны антиклинальной складки, который определяется её основными параметрами амплитудой и шириной, получим:

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{8mh}{l^2 + 4h^2}, \quad (9)$$

где h - амплитуда антиклинальной складки,

l - ширина антиклинальной складки.

Путём математических преобразований получаем:

$$1 - \frac{8mh}{l^2 + 4h^2} = \frac{l^2 + 4h^2 - 8mh}{l^2 + 4h^2}. \quad (10)$$

Формула (10) позволяет вернуться к коэффициенту ε , который через параметры складки может быть рассчитан по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l^2 + 4h^2}{l^2 + 4h^2 - 8mh} = \frac{l^2 + 4h^2}{l^2 + 4h(h - 2m)}. \quad (11)$$

Если для оценки степени изгиба антиклинальной складки ввести коэффициент искривлённости складчатой структуры λ , который представляет собой отношение амплитуды складки h к её ширине l и численно выразить ширину складки l через произведение коэффициента λ и амплитуды складки h , то формула (9) примет вид

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{8mh}{\frac{h^2}{\lambda^2} + 4h^2}. \quad (12)$$

Упростив выражение (12), получим формулу:

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{8m}{h\left(\frac{1}{\lambda^2} + 4\right)}, \quad (13)$$

которая позволяет вычислить коэффициент $\frac{1}{\varepsilon}$. Взяв его обратную величину можно получить коэффициент относительной линейной деформации ε .

Напомним, что коэффициент ε , рассчитанный по формуле (11) характеризует максимальную относительную деформацию растяжения непосредственно пород кровли. Усреднённую деформацию растяжения для пласта породы или

его отдельного слоя, по нашему мнению, следует рассчитывать для середины эффективной мощности:

$$\varepsilon_{0,5m_{ef}} = \frac{R - 0,5m_{ef}}{R - m},$$

где $\varepsilon_{0,5m_{ef}}$ - коэффициент относительной линейной деформации для породного слоя, соответствующего середине эффективной мощности; m_{ef} - эффективная мощность.

Методика расчёта эффективной мощности изложена в работе [2] и была приведена выше.

Если величину предельно допустимой деформации растяжения для песчаника принять равной 0,0035, то искомый коэффициент относительной линейной деформации равен:

$$\varepsilon_{0,5m_{ef}} = \frac{1,00175 - 0,5m}{R - m}.$$

Это же значение $\varepsilon_{0,5m_{ef}}$ можно получить, как среднее значение между величиной предельно допустимой деформации растяжения и максимальной деформацией растяжения ε_{\max} , рассчитанной для кровли пласта относительно его почвы, приняв в формуле (7) в качестве m полную мощность пласта, т. е. применив формулу (11):

$$\varepsilon_{0,5m_{ef}} = \frac{\varepsilon_{кр} + \varepsilon_{\max}}{2},$$

где $\varepsilon_{кр}$ - предельно допустимая относительная деформация растяжения для данной породы; ε_{\max} - максимальная относительная деформация растяжения кровли пласта относительно его почвы.

Анализ формулы (13) позволяет сделать вывод о том, что величины относительных линейных деформаций прямо пропорциональны соотношению мощность пласта – амплитуда складки и существенно образом зависят от мощности пласта. Действительно, чем больше мощность пласта, тем значительно разность деформаций растяжения, которые претерпевают слои его кровли и почвы. Соотношение мощность пласта – амплитуда складки, наряду с показателем искривлённости структуры, может использоваться в качестве критерия для оценки относительных линейных деформаций:

$$\mu = \frac{m}{h},$$

где μ - соотношение мощность пласта – амплитуда складки.

Использование этого соотношения, даёт возможность осуществить более общий подход к оценке относительных линейных деформаций для пластов различной мощности, формирующих антиклинальные структуры, характеризующиеся, в свою очередь, различными амплитудами и шириной.

Формула (13) с использованием соотношения мощность пласта – амплитуда складки приобретает вид:

$$\frac{1}{\varepsilon} = 1 - \frac{8\mu}{\left(\frac{1}{\lambda^2} + 4\right)}.$$

Реальные антиклинальные структуры характеризуются параметрами амплитуд в первые десятки метров и шириной от нескольких сотен до 1000-2000 и более метров. Анализ карт локальных структур, построенных в ИГТМ НАН Украины, по 16 пластам в различных геолого – промышленных районах Донбасса показал, что коэффициент искривлённости λ , характеризующий, как отмечалось выше, степень изгиба складки, варьирует в пределах от 0,009 до 0,028, составляя в среднем 0,01-0,02. Поскольку наибольший интерес представляет собой непосредственно сводовая часть антиклинальной складки, а шаг между изолиниями равных значений при построении карт локальных структур обоснованно устанавливается равным 10 м [3], то амплитуда складки h в сводовой части не превышает 10 м. Исходя из реальных значений, используемых нами величин, а именно мощности пластов, которые составляют первые десятки метров, и параметров складки, значения относительных линейных деформаций, могут составить $\varepsilon=1,003-1,040$. При таких значениях относительных линейных деформаций объёмное разуплотнение может составить (см. формулу (6)) 1,007-1,080, что может повлечь за собой увеличение абсолютной пористости, рассчитанное по формуле (5) на 0,8-7,0 %. При этом приращение пористости при разуплотнении практически не зависит от величины начальной пористости, а преимущественно определяется параметрами складки и мощностью пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скупчення вільного метану у непорушеному вуглепородному масиві. Методика прогнозування зон та визначення їх параметрів. СОУ 10.1.05411357.004:2005. – К.: Мінвуглепром України, 2005.– 12 с.
2. Лукинов В.В. Горно – геологические условия образования скоплений свободного метана на угольных месторождениях // Науковий вісник НГУ. – № 4. – 2007. – С. 55 – 59.
3. Забигаило В.Е. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / В.Е. Забигаило. В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Н.В. Сахневич. – К.: Наукова думка, 1994. – 152 с.