

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ СРЕД В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Обґрунтована можливість застосування електрометричних вимірювань у свердловинах та виробітках для оцінки тріщинуватості гірських середовищ при інтенсифікації дегазації вугільних пластів

THE DETERMINATION OF JOINTING MEDIUMS IN THE NATURAL CONDITIONS BY INTENSIFICATION OF DEGASSING COAL SEAMS

The possibility of application the electrometrical measurements in the boreholes and workings is grounded for jointing evaluation the heterogeneous mediums by intensification of degassing coal seams.

Трещиноватость гетерогенных сред является определяющим фактором в процессе дегазации угленородного массива. От неё зависит эффективность воздействий на угольные пласты при управлении физико-механическим состоянием массива горных пород. Кроме того, выбор оптимальных параметров буровых работ, способов и средств дегазации невозможен без учёта естественной трещиноватости угля и горных пород. Наиболее информативными являются электрометрические измерения [1,2] в горных выработках и скважинах при наличии анизотропии электрических свойств, вектор которых, совпадает с направлением тензора напряжений. Для удельного электросопротивления (УЭС) можно записать:

$$\rho_k = \sqrt{\rho_o \rho_{\tau_1}},$$

а при измерении в горизонтальной скважине, перпендикулярной к оси выработки,

$$\rho_k = \sqrt{\rho_o \rho_{\tau_2}},$$

где ρ_o – УЭС в направлении оси выработки; $\rho_{\tau_1}, \rho_{\tau_2}$ - соответственно УЭС в кровле выработки по горизонтали в борту по вертикали в плоскости, нормальной к оси выработки.

Из приведенных выражений вытекает важное для электрометрического контроля следствие: радиальные изменения состояния массива пород вокруг выработок (изменение напряжений, трещиноватости, расслоения) не отражаются в полной мере в результатах измерений УЭС вдоль радиальной скважины.

Аналитическое описание зависимости электрометрических характеристик от интенсивности трещиноватости весьма сложное, так как при наличии n систем трещин имеем среду с множеством плоских разнонаправленных поверхностей раздела. Подобные задачи даже при одной системе плоскопараллельных поверхностей раздела имеют довольно громоздкие решения [3], поэтому необ-

ходим целый ряд идеализаций среды (непрерывные плоскости трещин, гладкие поверхности, постоянное раскрытие и расстояние между трещинами), влияние которых на точность окончательных результатов оценить сложно.

Диапазон изменения удельного электросопротивления трещиноватых пород и угля различается в десятки и сотни раз, в зависимости от влагонасыщения и степени прерывистости сети трещин. При наличии одной системы трещин с раскрытием d и расстоянием между трещинами l УЭС по нормали к плоскости трещин находится из выражения

$$\rho = (\rho_n + \rho_\tau H) / (1 + H),$$

где $H = d/l \ll 1$ можно записать

$$\rho = \rho_n + \rho_\tau H,$$

отсюда $H_i = d_i \cdot I_i$, для углепородного массива с n системами трещин

$$H = \sum_{i=1}^n d_i I_i$$

Рассмотрим УЭС углепородного массива с n системами трещин по произвольному направлению, приняв изменение сопротивления прямо пропорциональным суммарной раскрытости трещин всех систем

$$H = \sum_{i=1}^n d_i I_i \cos \varphi_i$$

По аналогии для трещиноватого массива с n системами трещин можно записать

$$\rho = \rho_n + \rho_\tau \cdot \sum_{i=1}^n d_i I_i \cos \varphi_i$$

где при газовом заполнителе $\rho_\tau > \rho_n$; φ_i - угол между рассматриваемым направлением и нормалью к плоскостям i -й системы трещин; ρ_n, ρ_τ - УЭС не трещиноватой породы и заполнителя трещин соответственно.

На основании этого можно сделать вывод, что главные направления тензора удельного электросопротивления и трещинной пустотности совпадают, а при $d_i = d = const$ - и с тензором плотности трещин.

Таким образом, для главного значения тензора УЭС можно записать

$$\rho_i = \rho_n + \rho_\tau H_i \quad (i = 1, 2, 3),$$

где H_i - главные значения тензора интенсивности трещин.

При $d_i = d = const$

$$\rho_i = \rho_n + \rho_\tau dI_i$$

где I_i - главные значения тензора густоты трещин.

Оценить возможный порядок анизотропии УЭС, обусловлено трещиноватостью можно по формуле

$$\lambda = \sqrt{\rho_1 / \rho_2} = \sqrt{\frac{\rho_n + \rho_\tau H_1}{\rho_n + \rho_\tau H_3}}$$

Принимая во внимание результаты изучения электрофизических свойств боковых пород и угольного пласта l_1 шахты имени А.Ф. Засядько, можно получить ожидаемые параметры $H_1, H_3, \rho_n, \rho_\tau$ для трещин с жидким и газовым заполнителем. Учитывая, что анизотропия может быть найдена из выражения

$$\lambda = \sqrt{H_1 / H_3};$$

а при постоянной средней раскрытости

$$\lambda = \sqrt{I_1 / I_3};$$

Измерения и расчеты параметров анизотропии свидетельствуют о том, что отношение главных направлений густоты трещин в нетронутом массиве пород изменяются от 1 до 4, для структурно нарушенной среды до 2, а с увеличением количества систем трещин угольный пласт по своим электрическим свойствам приближается к квазиизотропному состоянию.

Соотношения между удельным электросопротивлением и интенсивностью трещиноватости отражают только качественную особенность углепородного массива. Для измерения сопротивления по направлениям совершенно нецелесообразно проводить расчеты для трещиноватых углей по известным характеристикам $\rho_n, \rho_\tau d$ и I при нахождении количественных параметров. Поправить положение можно, используя переходные характеристики вызванной поляризации, которое в значительной степени увеличивают информативную базу о свойствах и состоянии углепородного массива, особенно при наличии смешанных заполнителей трещинно-порового пространства – жидкость и газ. Используя характеристики времени релаксации токов двойного электрического слоя можно оценить структурную нарушенность среды с газовым и жидким заполнителем трещинно-поровом пространстве.

$$\tau = t_1 - t_{i+1} / \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_3}$$

Так как газы являются изоляторами, то можно предположить, что электрический ток из одного структурного блока в другой, перетекает через локальные участки шероховатой поверхности блоков. Величина этих участков будет опре-

деляться величиной давления газа в трещинно-поровой структуре, количеством влаги и уровнем деформирования двойного электрического слоя. Площадь контакта двух шероховатых поверхностей составляет 0,01-10% от номинальной и зависит от геометрии и условий на контакте, механических свойств, продолжительности и взаимного перемещения тел. Учитывая вышеизложенное, интенсивность трещиноватости можно оценить через величину поляризационной емкости

$$C_k = \frac{\tau}{\rho};$$

Предположив, что удельное электросопротивления контакта, в случае газового заполнения трещин и пор ρ_t , больше сопротивления породы или угля без трещин ρ_n во столько же раз, во сколько номинальная площадь контакта больше фактической, можно записать

$$\tau = C_k \cdot (\rho_n + \frac{\rho_n}{S_0} \cdot d_i \cdot I_i);$$

где S_i - фактическая площадь контакта, выраженная в долях номинальной площади; d_i - средний зазор между контактирующими поверхностями.

Тогда коэффициент анизотропии можно записать в следующем виде

$$\lambda = \sqrt{1 - \frac{I_1}{S_0} / 1 + \frac{I_3}{S_0}} \approx \sqrt{I_1 / I_3};$$

Величина коэффициента анизотропии угольного пласта (например, для I_1) имеет более широкий диапазон изменений. Это объясняется тем, что при дегазации угольных пластов путём гидродинамических или других видов воздействий (гидрорыхление, гидроотжим) переходные характеристики вызванной поляризации, измеренные в разных направлениях, имеют значительные различия. Так как в угле трещины, заполненные влагой, являются основными проводниками тока, а величины удельного электросопротивления и переходных характеристик вызванной поляризации определяются соотношением длины и ширины (степенью раскрытия) трещин – каналов.

Сделав допущение, что общая площадь всех трещин в сечении S_0 равна S_t , тогда $S_0 = S_t + S_n$, где S_n - площадь монолита на площадке S_0 в сечении, нормальном к направлению измерения S_t остаётся постоянной, поэтому можно записать

$$\tau = C_k \cdot \rho_n \rho_t (1+H) / (\rho_t + \rho_n H)$$

$$\text{где } H = \frac{S_\tau}{S_n}$$

Это выражение постоянной спада для среды с одной системой параллельных трещин. Между интенсивностью трещиноватости в данном сечении и трещиной пустотностью Π существует зависимость [4]

$$H = \Pi / (1 - \Pi)$$

отсюда можно переписать

$$\tau = C_k \cdot \rho_n \cdot \rho_\tau / (\rho_\tau + (\rho_n + \rho_\tau) \cdot \Pi);$$

или

$$\tau = C_k \frac{\rho_n \rho_\tau}{S\tau + (\rho_n - \rho_\tau) \sqrt{\lambda_1 \cos^2 \alpha + \lambda_2 \cos^2 \beta + \lambda_3 \cos^2 \gamma}};$$

где λ_i - главные значения тензора трещинной пустотности; $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ - направления вектора ρ относительно главных направлений трещин.

Из приведенных формул вытекает ряд следствий, позволяющих использовать установленные зависимости в практических целях. Так, с увеличением внешнего давления удельное электросопротивление в трещиноватых углей в естественных условиях залегания уменьшается (увеличивается плотность контакта), а влагонасыщенных - увеличивается (уменьшается пустотность), что соответствует экспериментальным данным полученным при выполнении работ по 10 западному конвейерному штреку горизонта 1078 шахты им. А.Ф. Засядько. Изменение переходных характеристик вызванной поляризации связано с интенсивностью трещиноватости горных пород и угля. Форма поперечных диаграмм ПХВП близка к форме эллипса, а главные направления анизотропии совпадают с доминирующими направлениями анизотропии трещиноватости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов Б. Г., Дырдин В. В., Иванов В. В. Геоэлектрический контроль состояния массивов. – М.: Недра, 1983. – 216 с.
2. Пилипенко Ю.Н., Мазин В.А. Геофизический контроль напряженно-деформированного состояния угольных пластов в зонах разрывных структур. Сб. научн. трудов НГА Украины. №6. Том.3 Геофизика. - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. С. 132-138.
3. Сысков С. С. Анизотропия электропроводимости трещиноватой породы. - Изв. Урал. гос. горно-геол. акад. Горн. Дело. 2000. № 10, с. 194-201.
4. Чернышев С. Н. Трещины горных пород. – М.: Недра. – 1983. 240 с.