УДК 622.33: 550.375

Е.Б. Росстальной, С.М. Простов, В.А. Хямяляйнен ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ МАССИВА, ПРИЛЕГАЮЩЕГО К МЕТАЛЛОБЕТОННОЙ КРЕПИ

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов трещинообразования и цементации на опытном участке.

Ключевые слова: сталебетонная крепь, приконтурная зона массива, трешиноватость, закрепное пространство.

Семинар № 3

E.B. Rosstalnoj, S.M. Prostov, V.A. Hjamjaljajnen STUDVING NEAB-TO-CONT

STUDYING NEAR-TO-CONTOUR MASSIF ZONE STRUCTURE ADJACENT TO STEEL-CONCRETE TIMBERLING

The results of experimental researches of cracking and cementation processes on an experimental area are resulted

Key words: steel-concrete timbering, nearto-contour massif zone, cracking, beyond the timbering space.

ехнология возведения сталебетонной крепи предусматривает установку арок металлической крепи, навешивание на нее металлической опалубки, укладку бетона или нагнетание цементно-песчаной смеси в заопалубочное пространство. Тем образуется самым облицовочнонесущая оболочка путем омоноличивания рам крепи между собой и с горной породой. В процессе тампонажа заопалубочного пространства цементный раствор частично проникает в трещины приконтурной зоны массива, что способствует формированию дополнительного несущего слоя из зацементированной породы.

Исследование процессов трещинообразования и цементации проведено на опытном участке путевого квершлага гор. — 260 ш. «Юбилейная». На данном участке выработки длиной 10,5 м возводилась сталебетонная крепь по проекту ОАО «Куз-НИИ-Шахтострой» с использованием следующего оборудования: металлической навесной опалубки и нагнетательной установки для укладки бетона.

Горно-геологические условия проходки выработки в районе опытного участка и схема расположения скважин приведена на рис. 1.

Для контроля состояния породного массива были проведены электрометрические измерения методом эффективного удельного электросопротивления (УЭС). Контрольные шпуры были пробурены веерообразно в двух сечениях в бортах выработки: 4 шпура в средней части участка крепления (№ 1—4), 2 шпура за его пределами на расстоянии 6 м от границы участка крепления (№ 5—6). После твердения бетонной смеси были дополнительно пробурены 2 шпура через бетонную оболочку (№ 7—8).

Физической основой электрометрического контроля параметров трещиноватости является линейная зависимость эффективного УЭС породы при естественной влажности от коэффициента трещинной пустотности,



обоснованная теоретически и экспериментально в ряде работ [1]:

$$\rho_{\kappa}(r) = \rho \frac{m(r)}{\xi}, \qquad (1)$$

где ρ_{κ} — эффективное (кажущееся) УЭС трещиноватой породы с одной системой трещин, плоскость который нормальна к вектору плотности тока, Ом-м; ho — УЭС породы без трещин, Ом-м; т — коэффициент трещинной пустотности (относительная величина пустот в единичном объеме); ξ средняя относительная площадь контактирования берегов трещин; r координата точки замера от контура выработки.

Поскольку параметры ρ и ξ изменяются в широких пределах, целе-

по северо-западной стенке (а) и план расположения скважин опытного участка

сообразно оценивать величину m(r)

с использованием данных геологической службы:

$$m(r) = \frac{m_H \rho_\kappa(r)}{\rho_H} \tag{2}$$

где m_H, ρ_H — значения *т* и ρ_{κ} вне зоны технологической трещиноватости (в ненарушенном массиве).

Вмещающие породы боков выработки на опытном участке представлены алевролитом темно-серым, слабо трещиноватом средней устойчивости и прочности, $m_{H} = 0,008$. Почва выработки пройдена по угольному пласту, на начало наблюдении в зоне контакта алевролита с угольным пластом наблюдались отслоения на глу-

242



Рис. 2. Распределение параметров трешиноватости породного массива вокруг выработки до заполнения заопалубочного пространства

бину, достигающую 0,6—0,7 м, более ярко выраженные в юго-западном борту.

По результатам измерений в шпурах строили графики зависимостей $\rho_{\kappa}(r)$ и m(r), а также определяли интегральные параметры зоны технологической нарушенности вокруг контура выработки, предложенные в работе [2]:

глубину зоны технологической нарушенности R_H (расстояние от контура выработки до точки замера, где значение ρ_κ убывая, приближается к величине ρ_H);

- среднее значение *m* в контролируемом из шпура объеме зоны технологической нарушенности *т* по формуле

$$\overline{m} = \frac{1}{R_H} \int_0^R m(r) dr;; \qquad (3)$$

 суммарный объем пустот в секторе контрольного сечения, отнесенный к 1 м выработки по формуле

$$\Pi = \int_{0}^{\theta} \int_{0}^{\kappa_{H}} m(R_{B} + r) d\varphi dr \approx 2R_{B}R_{H}\overline{m}\theta,$$

где $R_{\rm B}$ — приведенный радиус выработки, θ — центральный угол сечения, относящийся к контрольному шпуру, рад.

Результаты контроля процессов трещинообразования в приконтурной зоне вы работки до образования облицовочно-несущей сталебетонной оболочки и после цементации трещин при бетонировании представлены соответственно на рис. 2 и 3.

Из графика изменения $R_{\scriptscriptstyle H}$ в сечении вокруг контура выработки на рис. 2 следует, что максимальный размер прогнозируемой зоны цементации при заполнении бетоном заопалубочного пространств составит 0,6 ... 1,0 м от породного контура. Более интенсивно трещинообразование (т = 0,024) происходит в нижней части юго-западного борта квершлага, т.е. в зоне, прилегающей к контакту породного слоя алевролита с верхней границей угольного пласта. Распределение объемов пустот П также неравномерно, большая ось эллипса пустотности ориентирована параллельно напластованию. Общий прогнозируемый объем пустот в породном



Рис. 3. Развитие зон нарушенности в сечении, прилегающем к участку крепления выработки сталебетонной крепью

массиве в пределе зоны технологической нарушенности на экспериментальном участке составил $V_{\Pi} = 5.0 \text{ м}^3$. Низкие значения R_H , а также незначительные отличия τ от значения, соответствующего ненарушенной породы T_H , связаны с тем, что на момент измерений с даты проходки выработки прошло менее 1 мес.

Экспериментальные исследования на опытном участке продолжались более 7 мес. С целью оценки интенсивности развития процессов трещинообразования вне зоны возведения сталебетонной крепи (в выработке установлена рамная металлическая крепь СВП с шагом 0,5 м и железобетонной затяжкой) были проведены серии измерений в скв. № 5, 6. Обработка результатов измерений (рис. 3) позволила установить, что за период наблюдений в течение 8 мес с даты проходки выработки произошло увеличение размера зоны трещиноватости с 0,6 до 1,25 м в северовосточном борту и с 1,0 до 1,5 м — в юго-западном. Среднее значение трещинной пустотности в пределах этой зоны увеличилось весьма незначительно и составило т — 0,009— 0,011. Объем пустот П возрос с 0,04 до 0,1 м³/м выр. в северо-восточном борту и с 0,07 до 0,12 м³/м выр. в

юго-западном. Полученные данные дают основания для вывода о том, что процессы трещинообразования в однородном слое алевролита происходят равномерно, следует ожидать сохранения устойчивого состояния выработки.

Результаты электрометрических измерений в веерах скважин, пробуренных на участке возведения сталебетонной крепи представлены на рис. 4. Анализ графиков показывает, что интенсивность геомеханических процессов в приконтурном массиве весьма неравномерна: в сводовой части выработки, расположенной в середине слоя алевролита заметного роста трещин не произошло; в нижней части боков на контакте алевролита и угольного пласта развитие технологических трещин было более интенсивным. Заполнение закрепного пространства бетонным раствором сопровождалось частичной цементацией приконтурных трещин.

Сопоставление графиков *m(r)* до и после бетонирования (рис. 5) свидетельствует о наличии зональной структуры приконтурной зоны породного массива, прилегающего к сталебетонной крепи. За металлической рамой 1 и бетонной оболочкой 2 толщиной 0,25 ... 0,4 м следует зона 3



Рис. 4. Результаты контроля состояния пород на участке возведения сталебетонной крепи: 1 — за 3 мес до бетонирования, скв. 1—4; 2 — непосредственно до бетонирования, скв. 1—4; 3 — после бетонирования, скв. 7—8



Рис. 5. Структура техногенного породного массива, прилегающего к сталебетонной крепи: 1 — рамная металлическая крепь; 2 — бетонная оболочка; 3 — зона контакта бетонной оболочки с породным контуром, заполненная сцементированными обломками; 4 — зона попутной цементации зоны технологической трещиноватости; 5 — естественный массив; I — график $\tau(r)$ до бетонирования заопалубочного пространства; II — то же после бетонирования

контакта бетона с породным контуром, в которой до заливки бетона находилась отслоившаяся порода, удерживаемая защитной сеткой. Установлено, что цементный раствор лишь частично заполняет пустоты между кусками отделившейся породы, при этом монолитного слоя в данной зоне не образуется, т.к. величина т здесь в 2—3 раза выше, чем в бетонном слое. В юго-западном борту на интервале $r = 0.67 \dots 1.0$ м от бетонного контура четко прослеживается зона цементации трещиноватой породы 4. Расчетный коэффициент заполнения трещин цементным камнем составляет $K_3 = 0,487$. Размер зоны цементации составляет: в боках выработки при высоте от почвы h < 0,5 м,

при $0.5R_{\rm B} < h < 0.8~R_{\rm B}~r_{Ll=}(0.2~...~0.7)R_{\rm H},$ в кровле вы работки $r_{Ll} = 0.05~...~0.1~{\rm M}.$

Проведенные экспериментальные исследования позволили не только расширить знания о процессах тампонирования пустот в закрепном пространстве, но и усовершенствовать методику расчета крепи подобного типа [3]. Поскольку зацементированные слои 3 и 4 имеют вполне определенную несущую способность, то нагрузка на крепь может сущестснижаться. Корректировка венно расчетных параметров крепи с учетом экспериментальных данных позволит снизить материальные и трудовые затраты на ее возведение при условии сохранения срока ее службы.

- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хямяляйнен, В.А. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород / В.А. Хямяляйнен, С.М. Простов, П.С. Сыркин. — М.: Недра, 1996. — 288с.

2. Простов С.М. Контроль физических процессов в породном массиве при цементации / С.М. Простов, В.А. Хямяляйнен // Экологические проблемы горного производства, переработка и размешение отходов: Докл. II науч.-техн. конф. — М. Из-во МГГУ, 1995. — С. 590—593.

3. Руководство по технологии крепления горных выработок с применением опалубки ОМП, основанной на использовании несущей способности упрочненных пород / Ю.В. Бурков, Е.Г. Дуда, Г.И. Комаров, В.А. Хямяляйнен и др. — Кемерово, 1990. — 78 с. ПАБ

— Коротко об авторах -

Росстальной Е.Б. — соискатель кафедры теоретической и геотехнической механики, Простов С.М. — доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики,

Хямяляйнен В.А. — доктор технических наук, профессор, первый проректор, ГУ КузГТУ, kuzstu@kuzstu.ru

