УДК 622.278

В.В.СЫНБУЛАТОВ
Уральский государственный горный университет

НАПРАВЛЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Исследованы вопросы использования поверхностно-активных веществ (ПАВ) для направленного изменения свойств и состояния пород для совершенствования методов борьбы с горными ударами. Обсуждаются результаты опытного бурения разгрузочных щелей с промывкой растворами ПАВ. Предлагаемая технология позволяет на 40 % повысить скорость механического бурения горных пород. Использование ПАВ как средства пластифицирования горных пород и активизации процессов ползучести и релаксации напряжений позволяет снизить потенциальную удароопасность пород. Дается обоснование дальнейших исследований в данном направлении.

The paper studies application of surface active agents for controlled alteration of rock properties and conditions to enhance techniques of rock bump control. It gives results of relieve slot test boring with surface active solution washing. The proposed technique enables to raise the speed of machine rock drilling by 40 %. Application of surfactants as a means of rock plastification and activation of soil creep processes and stress relaxation helps to decrease potential susceptibility to rock bumps. The paper gives grounds for further research in this area.

Основным способом предотвращения горных ударов является снижение напряжений в приконтурном массиве путем бурения разгрузочных щелей. В частности, на Североуральских бокситовых рудниках (СУБР) для этого используют станки типа НКР-100М. В соответствии с технологическими схемами бурения разгрузочных щелей [7] для разгрузки массива необходимо в некоторых случаях пробурить четыре скважины на 1 м выработки при диаметре скважины 100 мм и длине 20 м. Следовательно, учитывая большие объемы бурения, возникает задача повышения эффективности бурения. Перспективным средством для этого может служить введение в промывочную жидкость поверхностно-активных веществ.

Действие поверхностно-активных веществ (ПАВ) основано на адсорбционном понижении поверхностной энергии горных пород (эффект Ребиндера). Под адсорбцией понимается процесс, приводящий к аномально высокой концентрации вещества (адсорбата) из газообразной или жидкой среды на поверхности ее раздела с жидкостью или твердым телом (адсорбентом). Молекулы адсорбата связываются с атомами поверхности дипольным или обменным взаимодействием.

Процесс адсорбции происходит, прежде всего, за счет уменьшения поверхностной энергии горной породы. Возникает движущая сила. Эта сила заставляет адсорбированные молекулы передвигаться по поверхности, покрывая всю доступную им поверхность трещины; при этом создается давление, направленное в сторону дальнейшего развития трещины вглубь горной породы. Это давление способствует облегчению деформации и разрушению горной породы. ПАВ даже в очень малых количествах способны резко увеличить адсорбционную способность горной породы.

Для оценки эффективности использования ПАВ при бурении разгрузочных щелей кафедрой шахтного строительства Уральского государственного горного университета выполнен комплекс исследований. Для выбора оптимального поверхностно-активного раствора и определения свойств горной породы из забоя камеры кругового опрокида гор. –860 м шахты

«Ново-Кальинская» СУБРа были отобраны образцы.

Петрографический анализ по шлифам позволил установить, что представленная порода – плагиоклазовый порфирит – имеет массивную текстуру и порфировую структуру. Порфировые вкрапления, составляющие 60 % объема породы, представлены плагиоклазом (90 %), моноклинным пироксеном и роговой обманкой (10 %). Основная масса состоит из тех же материалов, но в значительной степени хлоритизирована.

В качестве критерия выбора оптимального поверхностно-активного раствора был принят временной ряд изменения контактной прочности горной породы [4]. Исследование ряда органических и неорганических ПАВ показало, что наиболее эффективным для данных пород является 0,001 %-ный раствор $AlCl_3$. Его действие приводит к снижению контактной прочности порфирита в среднем на 60 % (с 32 до 20 ГПа). Насыщение образцов данным раствором сопровождается уменьшением их прочности при растяжении с 20,7 до 16,3 МПа при сжатии с 142 до 61 МПа.

Для проведения промышленного эксперимента в качестве емкости, где производится смешивание концентрированного раствора ПАВ с водой, была использована рабочая камера от машины для безопалубочного бетонирования СБ-67 (БМ-60) с некоторыми конструктивными доработками. Бурение скважин осуществлялось станком НКР-100М. В опытном забое было пробурено три скважины по традиционной технологии (с промывкой водой) и две скважины с промывкой раствором ПАВ. Глубина скважин 4,2 м. По интервалам, равным величине хода податчика – 0,35 м, фиксировалось время и вычислялась скорость бурения. Результаты представлены в таблице.

Дисперсионный анализ результатов показывает, что скорость бурения существенно зависит от вида промывочной жидкости. Вычисленный критерий Фишера [1]

$$F = \frac{S^2_{\text{факт}}}{S^2_{\text{ост}}} = \frac{68{,}66}{4{,}19} = 16{,}37,$$

где $S^2_{\text{факт}}$ – факторная дисперсия, численно характеризует влияние фактора на измеряемую величину; $S^2_{\text{ост}}$ – остаточная дисперсия, характеризует влияние на измеряемую величину случайных неучтенных величин.

При принятом уровне значимости $\alpha = 0{,}01$ критическое значение критерия Фишера $f_{\text{кр}} = 3{,}69$. Так как $F > f_{\text{кр}}$, то с надежностью большей чем 99 % можно утверждать, что скорость бурения существенно зависит от вида промывочной жидкости, а не определяется вариацией свойств горных пород в забое.

Для проверки значимости (не случайности) расхождения между средними значениями скорости бурения с промывкой водой и растворами ПАВ использовался статистический критерий Стьюдента [6]. Вычисленный критерий Стьюдента составил 4,94. При уровне значимости $\alpha = 0{,}001$ критическое значение критерия Стьюдента $t_{\text{кр}} = 3{,}47$. Так как $T > t_{\text{кр}}$, то с надежностью 99,9 % можно утверждать, что скорость бурения скважин с промывкой растворами ПАВ существенно выше скорости бурения по обычной технологии. В данном случае интенсивность бурения увеличивается на 42 %.

Таким образом, использование ПАВ в качестве промывочной жидкости существенно повышает эффективность бурения. Это обусловлено не только уменьшением прочности и твердости пород под действием ПАВ [2], сколько общей системой взаимодействия горной породы, поверхностно-активной среды и породоразрушающего инструмента. При последовательном многократном действии инструмента на горную породу образуется достаточно обширная зона трещиноватости (зона предразрушения). Проникая в эту зону, активные молекулы способствуют развитию трещин и зарождению новых, ослабляя массив на значительную глубину.

Кроме того, использование ПАВ позволяет пластифицировать горные породы. В соответствии с общепризнанными критериями И.М.Петухова [5], горные породы

Скорость бурения по интервалам

Номер интервала	Интервал бурения, м	Середина интервала, м	Промывка водой			Промывка раствором ПАВ	
			Скв.1	Скв.2	Скв.3	Скв.4	Скв.5
			v, см/мин	*v*, см/мин	*v*, см/мин	*v*, см/мин	*v*, см/мин
1	0-0,35	0,175	4,88	6,19	5,77	10,19	5,83
2	0,35-0,7	0,525	5,56	5,01	3,74	7,24	4,04
3	0,7-1,05	0,875	4,05	4,75	4,16	10,88	4,54
4	1,05-1,4	1,225	3,14	5,72	7,05	7,89	8,64
5	1,4-1,75	1,575	4,33	4,86	4,18	10,94	9,46
6	1,75-2,1	1,925	6,31	7,72	7,47	10,88	12,14
7	2,1-2,45	2,275	5,06	5,47	7,72	7,34	8,30
8	2,45-2,8	2,625	10,77	3,36	6,82	7,29	6,84
9	2,8-3,15	2,975	7,78	5,83	3,53	9,83	5,75
10	3,15-3,5	3,325	5,72	3,72	6,89	6,15	5,50
11	3,5-3,85	3,675	6,54	7,47	7,09	6,90	7,81
12	3,85-4,2	4,025	4,88	4,96	6,73	9,31	6,93
Среднее по скважинам			5,75	5,42	5,93	9,08	7,15
Общее среднее			5,70			8,12	

считаются потенциально удароопасными, если при их нагружении до 80 % от прочности доля упругих деформаций превышает 70 % от общих или работа упругого деформирования составляет более половины общей работы по разрушению горной породы.

В работе [2] доказана возможность приведения горных пород в неудароопасное состояние под действием поверхностно-активных веществ. Это достигается снижением модуля упругости и совершением дополнительной работы δA по деформированию массива за счет пластифицирования горных пород:

$$\delta A = \exp\left[2d^3\left(N_1 - N_2\right)\right] - 1,$$

где d – средний размер минеральных зерен горной породы; $(N_1 - N_2)$ – увеличение концентрации трещин в горной породе под действием ПАВ.

Под воздействием ПАВ происходит активизация процессов ползучести и релаксации напряжений [3], в результате чего уменьшается уровень напряжений σ в приконтурном массиве и горные породы переходят в неудароопасное состояние. Это определяется работой A, которая обусловлена пластифицированием горной породы в ПАВ и собственно деформацией ползучести,

$$A = \frac{\sigma^2}{2E_0}\left[\left(\frac{E_0}{E_{\text{ПАВ}}} - 1\right) + \frac{2E_0}{E_{\text{ПАВ}}}\left(\frac{\delta}{1-\alpha}t^{1-\alpha}\right)\right],$$

где E_0 – модуль деформации ненарушенной (исходной) горной породы; $E_{\text{ПАВ}}$ – модуль деформации горной породы, обработанной раствором ПАВ; α, δ – параметры ядра ползучести.

Все это позволяет не только повысить производительность бурения, но и сократить число скважин за счет увеличения радиуса их влияния. В качестве сугубо предварительной оценки можно принять это увеличение пропорциональным росту скорости бурения. Однако это нуждается в дополнительном исследовании.

Таким образом, для реализации указанных выше путей повышения эффективности борьбы с горными ударами необходимы исследования в следующих направлениях:

- разработка методики выбора оптимальной для конкретных горно-геологических условий поверхностно-активной среды;
- исследование закономерностей зарождения и развития трещин в нагружаемой горной породе под действием ПАВ;
- изучение кинетики насыщения горных пород активными растворами;

• установление закономерностей пластифицирующего действия ПАВ на потенциально удароопасные горные породы;

• разработка методики и исследование влияния ПАВ на реологические характеристики напряженных горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова А.М.* Математическая статистика / А.М.Иванова, В.М.Калинина, В.Н.Нешумова, Л.А.Решетникова. М.: Высшая школа, 1975. 398 с.

2. *Латышев О.Г.* Влияние трещиноватости пород на их деформационные характеристики / О.Г.Латышев, С.С.Иванова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 1992. № 3. С.23-27.

3. *Латышев О.Г.* Интенсификация ползучести горных пород под действием поверхностно-активных сред // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 1997. № 7-8. С.1-5.

4. *Латышев О.Г.* Выбор поверхностно-активной среды для управления свойствами пород в горной технологии / О.Г.Латышев, А.С.Жилин, И.С.Осипов, В.В.Сынбулатов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2004. № 6. С.117-121.

5. *Петухов И.М.* Предотвращение горных ударов на рудниках / И.М.Петухов, П.В.Егоров, Б.Ш.Винокур. М.: Недра, 1984. 230 с.

6. *Румшиский Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971.

7. Типовые схемы приведения в неудароопасное состояние участков горного массива и технологических целиков скважинами большого диаметра / ВНИМИ. Л., 1991. 40 с.