

УДК 622.271.3

А.В. Чернышов

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Рассматриваются главная задача при создании нетрадиционных способов добычи угля подземным способом с использованием ПАВ и воздействием колебаний различной частоты для изменения состояния «газ-уголь».

Ключевые слова: ПАВ, система «газ-уголь», вибрационное воздействие, импульсное воздействие».

Общеизвестно, что уголь и породы, залегающие в массиве, находятся под действием трёх основных сил, определяющих запас его потенциальной энергии. Это давление вышележащих слоёв, давление газа, содержащегося в породах и вес рассматриваемого объема угольного пласта или породы.

Основными факторами, которые необходимо учитывать при определении нетрадиционных способов использующих природные силы, являются:

- вид напряженного состояния, в котором находится рассматриваемая часть горного массива; степень газонасыщения; интенсивность газовыделения; степень сцепления и трения рассматриваемого объема горного массива с вмещающими породами.

Очевидно, что главная задача при создании нетрадиционных способов добычи в подземных условиях — найти условия и разработать методы высвобождения потенциальной энергии массива и превращения её в работу по разрушению и перемещению угля и породы.

Первую часть процесса разрушения угля и породы может выполнить сила горного давления в призабойной части, вызывая образование зоны нарушенного перемятого массива. Вторая часть процесса (перемещение) происходит

под действием газового давления и силы тяжести.

Выполнение этих двух частей можно облегчить воздействием ПАВ на горный массив, а также действием колебаний различной частоты для изменения состояния системы «газ-уголь» [1, 2, 3]. Эти изменения заключаются в возникновении сорбционно-деформационных процессов в поровом объеме, что приводит к росту давления в них, развитию системы новых трещин и увеличению газовыделения. При циклическом воздействии в системе «газ-уголь» возможны резонансные колебания газа в поровом объеме со значительным ростом давления газа [2].

Использование вибрационно-импульсных источников воздействия на систему «газ-уголь» — один из способов выведения её из состояния равновесия, инициирования обрушения угля со свободной поверхности. Это, в общем, согласуется с существующими представлениями на природу выбросов угля и газа [4].

Выведение системы «уголь-газ» в массиве из состояния равновесия может быть осуществлено различными способами:

1. Быстрое (мгновенное) разрушение краевой части угольного пласта и обнажение его свободной поверхности.

2. Сброс давления газа из начальной полости после предварительной закачки через нее в пласт газа и создание в нем давления, превышающего прочность угля на растяжение (сдвиг).

3. Сброс давления активной жидкости, снижающей прочность угля вокруг начальной полости (скважины), после предварительной закачки её при давлении большем, чем давление газа в пласте.

4. Воздействие импульсной нагрузкой, мощной вибрацией на угольный пласт для усиления развития трещинообразования и вибро смещения пласта при снижении коэффициента трения по кровле о почве.

5. Другие физические, физико-химические и микробиологические воздействия.

Каждый из перечисленных способов может быть применен только в конкретных условиях залегания угольного пласта и при помощи соответствующих средств воздействия.

Одним из видов воздействия, который может вызвать нарушение равновесного состояния горного массива в призабойной зоне, является воздействие растворами, понижающими прочность угля и вмещающих пород.

Фундаментальные положения физико-химической механики позволяют установить взаимосвязь между физико-механическими процессами на границе раздела фаз и механическими свойствами твердых тел [5], к которым относятся горные породы как дисперсные системы с ярко выраженными межфазовыми границами и сильно развитой внутренней поверхностью раздела между фазами. Высокая внутренняя поверхность раздела между фазами обусловлена высокой пористостью горных пород, существованием капиллярной сети пор и макротрещин, различных дефектов структуры. Так, пористость горных пород месторождений Кузбасса

колеблется от 0,4 до 24 % [6]. Развитая межфазовая поверхность придает породам и углям избыток свободной энергии, повышенную химическую активность, высокую адсорбционную способность, влагоёмкость и др.

Рост пористости пород сопровождается увеличением содержания в них влаги. Естественная влажность, как и другие физические свойства породы, в значительной степени зависит от типа цемента и размеров зерен. Влажность песчаников и алевролитов на глинистом и глинисто-известковом цементе на 20÷30 % больше, чем на кремнистом и кремнисто-известковом. Для крепких пород влагоёмкость не превышает 5 %, а для слабых трещиноватых песчаников, и особенно алевролитов и аргиллитов — 7ч8 % [7]. Влагоёмкость глинистых пород может достигать 12 %. Для углистых алевролитов и аргиллитов внутреннее поровое пространство может быть почти полностью заполнено водой, у песчаников и алевролитов — только около половины. Кроме того, процесс водопоглощения зависит от интенсивности взаимодействия пород с растворами.

Интенсивность взаимодействия горных пород со средой значительно изменяется при использовании в качестве жидкой среды растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ).

ПАВ — вещества, молекула которых состоит из гидрофильной и гидрофобной частей, способных адсорбироваться на различных поверхностях твердого тела и понижать вследствие этого их поверхностную энергию (поверхностное натяжение). Сырьем для синтеза ПАВ являются парафиновые углеводы нефти. Наиболее часто используются неионогенные ПАВ (НПАВ). Применяются и катионоактивные ПАВ (КПАВ). ПАВ — и вообще адсорбционные среды имеют большую область применения. В промышленности при

обработке металлов применяют эмульсии на основе ПАВ, что многократно снижает энергозатраты на резание, улучшает качество обрабатываемой поверхности [8]. При бурении нефтяных скважин, глубина которых превышает несколько километров, применяют растворы ПАВ, что позволяет в четыре раза сократить износ инструмента и повысить скорость бурения [9]. При добыче руд, для повышения эффективности бурения, а также при пылеподавлении используют растворы ПАВ. При добыче угля подземным способом для уменьшения пылеобразования и частичного сокращения энергозатрат по процессам отработки забоя используют растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) [10, 11].

Вода «впитывается» в угли и породы почти с постоянной скоростью [7]. При добавлении к воде поверхностно-активных веществ, снижающих поверхностное натяжение, скорость впитывания увеличивается в несколько раз, однако через некоторое время она замедляется за счет адсорбции ПАВ на твердом теле и снова достигает скорости «впитывания» воды. Особенно сильно набухают породы на глинистом цементе. Если алевролиты и аргиллиты на глинистом цементе при увлажнении набухают в направлении поперек слоистости на 0,9÷1,2 %, то песчаник на карбонатном цементе практически не набухает [7]. Набухание поперек слоистости в 1,2÷1,5 раза больше, чем вдоль слоистости, т.е. коэффициент анизотропии пород равен 1,2÷1,5. Добавление ПАВ приводит к более быстрому набуханию породы [7].

При взаимодействии твердого тела с жидкой средой происходят необратимые поверхностные процессы, приводящие к растрескиванию, диспергированию горных пород, образованию новых поверхностей при разрушении, формированию зародышевых фаз, сра-

станию, перекристаллизации минералов и др., т.е. к изменению основных свойств, контролирующим параметром которых служит свободная поверхностная энергия.

Использование малых количеств солей и ПАВ дает возможность облегчить разрушение и деформацию твердых тел всех типов: на границе с соответствующей средой имеет место понижение поверхностной энергии, которое способно вызвать существенное изменение механических и структурных свойств твердого тела. Степень влияния водных растворов ПАВ на процесс разрушения зависит от типа, концентрации и времени взаимодействия. После выдержки в течение одних суток относительное изменение поверхностной энергии для концентрации ПАВ до 1 % не превышает 2, а при выдержке 4 суток достигает 3÷4 [13]. Выбор вида ПАВ и солей для управления свойствами пород и углей зависит от состава породы и углей, химической природы цемента данной породы, ее пористости и других свойств.

В поликристаллических телах (породах и углях), где границы зерен разделяют фазы, различающиеся ориентировкой и химическим составом, наблюдается количественная связь между величиной адсорбции и прочностью межфазовой границы (в соответствии со схемой хрупкого разрушения Гриффитса). Чем больше адсорбируется вещества, тем больше снижается прочность. Прямопропорциональная зависимость между квадратом изменения прочности и адсорбцией указывает на адсорбционный характер снижения прочности данных пород в рамках схемы Гриффитса при действии адсорбционно-активных растворов [14,15]. При значительных концентрациях ПАВ и длительном времени взаимодействия их на уголь модуль упругости значи-

тельно уменьшается [16], и процесс деформирования приобретает пластический характер. Поэтому, внесение в породноугольный массив фиксированного количества определенных электролитов и ПАВ позволяет управлять прочностными и упруго-пластичными свойствами пород в массиве. При возмездии жидкой среды на горные породы появляется возможность проявления адсорбционного разупрочнения, связанная с релаксационными процессами в самом деформируемом твердом теле. Возможно многократное снижение предела прочности и, в меньшей степени, предела текучести тонкого обработанного слоя [17], а при больших скоростях нагружения и деформирования — понижение прочности материала и относительно высокая скорость роста магистральных трещин. При медленных нагружениях более заметно проявляется пластифицирующее действие — снижение предела текучести. При определенных условиях различные формы релаксационных явлений накладываясь друг на друга дают сложную картину механического поведения массива. При резании в явном виде фиксируется разрушающее действие среды. При этом сама среда может выступать в качестве смазывающего агента и, образуя в зоне обработки тонкий слой разупрочнённого материала, также снижающего трение разрушающего инструмента по материалу. Поэтому, активным началом служат не только исходные компоненты среды, но и продукты механической деструкции материала. В любом случае коэффициент трения при действии среды уменьшается.

Разупрочнение горной породы при ее последующем разрушении приводит к весьма значительному уменьшению абразивности разрушаемой породы [18]. Наличие активной среды в трещи-

нах и порах горных пород обуславливает проявление структурного (стерического) эффекта тонких слоев жидкости на стенках трещин в зоне разрушения: при различных смещениях локально меняется нагрузка, стенки образующихся трещин не схлопываются благодаря расклинивающему давлению тонких слоев проникшей в трещину жидкости [19], что значительно снижает прочность горного массива при его пропитке разупрочняющими растворами.

Напряженное состояние массива также оказывает влияние на разупрочнение пород и угля под действием адсорбционной среды [14]. В условиях простого одноосного сжатия, когда процесс пропитки совпадает по времени с увеличением нагрузки, модуль упругости практически не изменяется, а прочность на одноосное сжатие уменьшается более чем в 2,5 раза. Если адсорбционные растворы взаимодействуют с углем или породой при минимальных нагрузках, предотвращающих лишь возможность деформирования при набухании, то прочность при последующем нагружении уменьшается и модуль упругости уменьшается в 3÷4 раза, и процесс деформирования приобретает пластический характер [16].

Особого внимания заслуживает поведение углей и горных пород в сложном напряженном состоянии при действии растворов ПАВ [14]. Для всех видов напряженного состояния количество влаги принятой углем, увеличивается с ростом энергии деформирования. Особенно сильно влагопоглощение растет при обобщенном растяжении и сдвиге. Влагопоглощение при действии воды практически не зависит от энергии деформирования [16].

Горные породы и уголь в условиях сложного деформированного состояния остаются дефектными структурами,

и их поведение в объёмном поле сжимающих напряжений можно описать с позиции теории трещин [12]. Повышение напряжений приводит к росту и возникновению новых трещин.

Наибольшая концентрация трещин наблюдается в условиях обобщенного растяжения, так как постепенное зарождение и развитие «равновесных» трещин на основе локальной концентрации деформаций и напряжений контролируется протеканием пластических деформаций и действием сдвиговых напряжений. Таким образом, при воздействии разупрочняющего раствора процессы увеличения влажности и образования микроразрушений начинают развиваться одновременно, но на начальной стадии преобладает процесс увеличения влажности за счет заполнения объема пор, а на конечной — процесс образования микроразрушений [14].

Эти закономерности изменения деформационных и прочностных свойств угля и пород показывают, что при пропитывании в течение длительного времени с постоянными нагрузками (меньшими предела прочности), вследствие равномерности заполнения сорбционного объема, их последующее деформирование и разрушение при увеличении нагрузок протекают как у упруго-пластического тела. При этом градиент внутренних напряжений значительно уменьшается, и уголь или порода ведут себя как изотропное тело, несмотря на то, что в сухом состоянии наблюдаются значительные отличия в упругих свойствах вдоль напластования и перпендикулярно к нему.

Решающим в эффекте разупрочнения — состав и концентрация раствора. Они зависят от вида и литологического состава породы, её пористости, химических свойств цемента и другого. Адсорбционные свойства пород также

влияют на выбор концентрации раствора и поэтому для угля, как правило, требуется в 2-5 раз больше ПАВ, чем для породы. Однако конкретный состав разупрочняющего раствора и его концентрацию устанавливают на основе предварительных лабораторных исследований. При этом изучаются не только прочностные характеристики, но и деформационные. С увеличением концентрации разупрочняющего раствора разрушение принимает все более пластический характер. Такое изменение упруго-пластических свойств материала оказывает влияние на энергетику последующего разрушения разупрочнённого материала рабочим органом выемочной машины. Анализ теоретических основ разрушения горных пород [20] показывает, что при увеличении коэффициента Пуассона увеличивается эффективность разрушения горных пород. Так, при увеличении коэффициента Пуассона на 20 % (от 0,25 до 0,3) эффективность работы ядра уплотнения под инструментом возрастает почти в два раза.

При такой обработке горной породы происходит изменение упругих и прочностных свойств горных пород, при этом может происходить как увеличение, так и уменьшение коэффициента Пуассона. Увеличение коэффициента Пуассона улучшает параметры механического разрушения. Уменьшение — ухудшает и может свести к нулю эффект от снижения прочности при обработке горного массива разупрочняющими растворами. Поэтому удобно характеризовать эффект действия ПАВ на породы как способность горной породы к разрушению «сколом» — F . При $F < 1$ эффективность разрушения обработанного массива механическим способом повышается, при $F > 1$ — уменьшается.

1. Исследовать геологические условия, приемлемые для нетрадиционной добычи угля, способы увеличения проницаемости угольных пластов, физико-химические, в том числе газификации, методы перевода угля в подвижное состояние и разработать ТЭО их применения. Отчет / ИГД АН УССР, РН.Ц.001, № гос. регистрации 810086394, Днепропетровск, 1985. — 1238 с.
2. Разработка технического задания по проектированию экспериментального участка для добычи угля с использованием природных сил. Отчет / ИГД им. А.А. Скочинского, 01119001101; 1981. — 21с.
3. Снижение выбросоопасности при динамическом воздействии на угольный массив. — М., Наука, 1985. — 184 с.
4. Петросян А.Э., Иванов Б.М. Причины возникновения внезапных выбросов угля и газа. — В кн. «Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа». — М., Недра, 1978. — С. 3-61.
5. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. — М., Наука, 1979. — 384 с.
6. Штумпф Г.Г. Водно-физические свойства углевмещающих горных пород. — Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1993. — № 6. — С. 54—56.
7. Штейнцвайг Р.М., Воронков Г.Я. Нетрадиционные, экологически чистые способы управления состоянием горного массива и разупрочнения пород: Обзор / ЦНИЭИуголь. — М., 1995.
8. Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. — Изд. АН СССР, 1962. — С. 303.
9. Бабаян Г.А. и др. Применение ПАВ с целью увеличения нефтеотдачи. — М., Недра, 1970. — С. 172.
10. Карагодин Л.Н., Ишук И.Г. Современное состояние борьбы с пылью на угольных шахтах. — Уголь, 1977. — № 9.
11. Алексеев А.Д. и др. В сб. «Внезапные выбросы на больших глубинах». — Киев, 1979. — С. 45—52.
12. Алексеев А.Д. Эффективная поверхностная энергия горных пород и поверхностно-активные среды. Респ. межведомств. сб. «Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем». — Киев, 1981. — Вып.13. — С. 65—71.
13. Воронков Г.Я., Марцинкевич Г.И. Роль электроповерхностных и адсорбционных свойств угля и проявления эффекта Ребиндера. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). — Новосибирск, 1990. — N1. — С. 109—112.
14. Воронков Г.Я., Марцинкевич Г.И. Изменение деформационных и прочностных свойств угля при взаимодействии с поверхностно-активными растворами. — (ФТПРПИ), 1986. — N5. — С. 84—85.
15. Воронков Г.Я., Марцинкевич Г.И. Методологические основы выбора эффективных составов растворов для разупрочнения пород и углей. Известия ИГД им. А.А. Скочинского. — М., 1991. — С. 139—142.
16. Штейнцвайг Р.М., Воронков Г.Я. Нетрадиционные, экологически чистые способы управления состоянием горного массива и разупрочнения пород: Обзор / ЦНИЭИуголь. — М., 1995.
17. Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. — Изд. АН СССР, 1962. — С. 303.
18. Книссель В., Хайдлер Ф. Нетрадиционные способы бурения. Доклад на 3-м коллоквиуме по буровзрывным работам. — Клаусталь (Германия), 15.01.82, ВЦП № П-24095, П-24096 («Bergbau», 1982. — № 9. — С. 486—488).
19. Дерягин В.В., Чураев Н.В. и их роль в дисперсных системах. — «Всесоюзное химическое общество», 1989. — Т. 34. — № 2. — С. 7—14.
20. Протасов Ю.И. «Теоретические основы механического разрушения горных пород» — М., Недра, 1985. — С. 143. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Чернышов Андрей Васильевич — доцент, кандидат технических наук, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru