

УДК 622.2

В.А. Хямяляйнен, А.Е. Майоров

КОНЦЕПЦИЯ КОНСОЛИДИРУЮЩЕГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Предложены ресурсосберегающие технологии комбинированного крепления горных выработок в виде системы крепления, консолидирующей нарушенный массив горных пород. Представлена классификация подобных систем крепления и варианты ее реализации, на основе анкеров и инъекционного упрочнения пород с поэтапным усилением конструкции.

Ключевые слова Комбинированное крепление, система, консолидация, инъекционная цементация, анкер, горная выработка, массив.

Семинар № 16

Развитие угольной отрасли, в том числе Кузбасса, и интенсификация подземной добычи полезных ископаемых увеличивают экологическую нагрузку на регионы. При этом для повышения экономической эффективности угледобычи необходимо применение ресурсосберегающих подходов в вопросах выбора и разработки новых технологий проходки горных выработок, в том числе с применением надежных облегченных систем крепления, эффективно управляющих состоянием массива горных пород.

Известно [1, 2], что в процессе сооружения выработки в массиве горных пород происходят два основных процесса: первое - радиальное напряжение обязательно падает по величине, даже если со стороны выработки организован подпор, как правило, по величине меньший, чем было исходное радиальное напряжение; второе - происходит развитие касательных напряжений за счет различия в главных напряжениях исходного состояния или возникших при создании выработки. При достижении пика касательных напряжений дальнейшее сопротивление сдвигу с ростом деформаций падает, что обычно и называют разупрочнением горных

пород. При этом в зависимости от исходной структуры приконтурного массива, направления воздействия главных и касательных напряжений, достигших пика своего роста, вокруг выработки происходит развитие системы трещин, формируется трещиноватая блочно-структурированная анизотропная приконтурная зона, формируется зона неупругих деформаций горных пород.

Известно [2 – 4], что в стремлении массива к восстановлению равновесного состояния, в результате действия различных нагрузок, отдельности приконтурного массива смешаются внутрь выработки, а «деформация же в целом, в конечном объеме, осуществляется как скольжение блоков (практически жестких) друг по другу с вращением этих блоков относительно друг друга так, чтобы составить квази-сплошную среду». Образуется многоуровневая, мезомасштабная система, в которой происходит взаимосогласованное стесненное движение отдельных структурных элементов (блоков) по схеме «сдвиг плюс поворот». Вокруг блоков образуется диссипативный слой, а за счет сил трения, сцепления и дилатансии происходит торможение общеблочного сдвижения с образованием локальных полей напряжений в точках контакта,

суммарно образующих определенную энергоемкость приконтурной зоны.

По аналогии с [5, 6] можно допустить, что в месте контакта блоков возникают концентраторы напряжений, генерирующие первичные сдвиги в относительно тонких поверхностных слоях, которые характеризуются низкой сдвиговой устойчивостью и высокой концентрацией микронарушений. При дальнейшем росте внешней нагрузки и достижении определенной критической величины происходит генерирование в объеме блока деформационных дефектов: дислокаций, трещин и т.п. нарушений. Данный процесс согласованно развивается на различных микро- или мезоструктурных уровнях. В дальнейшем блок теряет свою глобальную устойчивость и при образовании магистральных трещин разрушается, система согласованно переходит на следующий структурный (мезомасштабный) уровень деформации. Необходимо отметить, что структурирование с разделением на блоки исходно сплошного массива или упрочненной приконтурной зоны не является фактом мгновенного последующего нарушения устойчивости контура выработки.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что крепление горных выработок в сложных горно-геологических и горно-технических условиях должно быть реализовано в виде системы, эффективно влияющей на напряженно-деформированное состояние, физико-механические характеристики и структуру дезинтегрированной приконтурной зоны, которая воспринимает основные действующие нагрузки при сохранении устойчивости контура. При этом важно максимальное возможное восстановление (повышение) исходной сплошности нарушенных зон, прочностных характеристик поверхностных слоев блоков и энергоемкости, что приводит к общему повыше-

нию сдвиговой прочности приконтурной зоны.

Подобное комплексное воздействие возможно при применении интегрированных в массив горных пород систем крепления выработок, обладающих эффектом консолидации [лат. Consolidatio, от con (cum) - вместе, заодно и solido - уплотняю, укрепляю, сшиваю].

Уточним, что под системой крепления горных выработок подразумевается совокупность взаимовлияющих элементов, взаимодействие которых направлено на обеспечение надежности и стабильной устойчивости контура. Тогда систему консолидирующего крепления горных выработок (СКК) возможно характеризовать как совокупность взаимовлияющих элементов - «конструкция крепи», «упрочненная приконтурная зона», «массив», создание и взаимодействие которых позволяет изменять физико-механические характеристики нарушенных пород приконтурной зоны и управлять состоянием массива, обеспечивая надежную и стабильную устойчивость контура.

Классификационные признаки СКК и ее элементов:

- по принципу взаимодействия элементов системы: с использованием несущей способности массива, с использованием несущей способности приконтурной зоны, с использованием несущей способности конструктивных элементов крепи;

- по способу воздействия конструкции крепи на приконтурную зону: изолирующие, ограждающие, подпорные, упрочняющие, напрягающие (сжатие – сшивка слоев и блоков, подпор);

- по способу упрочнения приконтурной зоны:

механическое, физическое, химическое, физико-химическое;

- **по характеру работы элементов системы:** податливые (с нарастающим сопротивлением, с постоянным сопротивлением, с локальной конструктивной податливостью в виде узлов податливости, с деформацией конструкции); жесткие; с перераспределением нагрузки (шарнирные и спиральные конструктивные элементы);

- **по режиму работы:** заданная нагрузка, заданная деформация, взаимовлияющая деформация;

- **по характеру нагружения:** статическое, динамическое;

- **по месту расположения конструктивных элементов крепи:**

внутри выработки, интегрированные в массив;

- **по виду образуемого крепью контура:**

с замкнутым контуром, с разомкнутым контуром;

- **по сроку службы:** долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные;

- **по типу применяемой конструкции крепи:** рамные, тубинговые, анкерные, каркасные, вантовые, спиральные, оболочки.

- **по типу применяемых материалов:**

металл, дерево, составы на основе минеральных заполнителей (бетон, цементные растворы), составы химические, композиционные, сыпучие материалы.

Оценка эффективности работы создаваемой СКК возможна по безразмерному показателю - коэффициенту консолидации k_k , отражающему на сколько изменяются характеристики приконтурной зоны ослабленного выработкой массива после комплексного воздействия на нарушенную область горных пород. При прочих равных условиях степень консолидации равна сумме отношений характеристик массива после воздействия - σ_{x0} , когда уже сформиро-

вана СКК, к соответствующим характеристикам до воздействия - σ_{x0} :

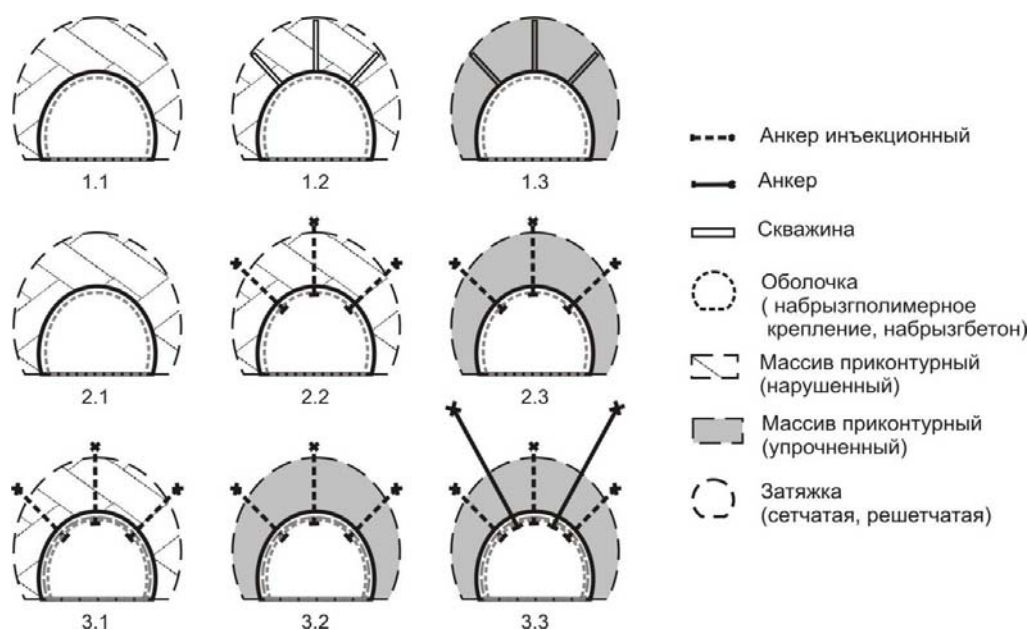
$$k_k = \sum \left(\frac{\sigma_{xi}}{\sigma_{x0}} \right),$$

где в качестве σ_x могут являться пределы сдвиговой прочности, прочности на сжатие, растяжение, контактной и поверхностной прочности, устойчивости контура и т.п.

Очевидно, что максимальный эффект консолидации может быть достигнут за счет создания в дезинтегрированной приконтурной зоне выработки новых структурных связей с одновременным напряженным армированием, что реализуется при инъекционном упрочнении и анкерровании нарушенных пород. Образующая оболочка, в виде напряженной конструкции, работает в непосредственном взаимодействии (взаимовлиянии) с приконтурным массивом, максимально используя его несущую способность. Подобные интегрированные в массив системы крепления более активно стабилизируют взаимные смещения и вращения отдельностей, повышают сдвиговую прочность нарушенных горных пород и, как следствие, их устойчивость.

Представленная концепция по своей сути развивает известный ресурсосберегающий подход к эффективному креплению горных выработок. При этом необходимо отметить работы МПГУ, ОАО «Кузниишахтострой», ГОУ ВПО КузГТУ [7, 8, 9], а также работы Ю.З. Заславского и Е.Б. Дружко (Украина), в соавторстве с другими учеными [10, 11].

Развитие СКК возможно разделить на два направления: с применением химических составов для инъекционного упрочнения пород и с применением составов на основе минеральных заполнителей (цементов). Первое направление получило широкое распространение вследствие высокой проникающей способности и качества упроч-



Принципиальные схемы СКК на основе анкерной крепи и инъекционного упрочнения пород с поэтапным усилением конструкции

нения пород, широкой области применения и разнообразия составов. Однако стоимость, ограниченный срок и особые условия хранения реагентов, вопросы экологии являются до настоящего времени сдерживающими факторами развития этого направления.

Перспективным вариантом развития СКК в рамках предложенного подхода является применение цементационного упрочнения трещиноватой приконтурной зоны в сочетании с анкерами, закрепляемыми в скважине сыпучим минеральным заполнителем - кварцевым песком. При этом скважины анкерного крепления используются как для нагнетания цементационного раствора, так и в качестве дренажных фильтрационных сбросов «излишней» жидкой фазы (не участвует в процессе гидратации и необходима только для доставки частиц) из системы трещин через песок при воздействии давления нагнетания и последующего механического сжатия расшлюившейся и нарушенной структуры

горных пород анкерами [патенты РФ № 2166634, 2166635, 2166636, 2283959, 2320875, 2321749, 2337241].

Базовые принципиальные схемы СКК на основе разработанных способов и конструкций, использующих несущую способность массива и упрочненной приконтурной зоны, представлены на рисунке. При этом в процессе сооружения выработки возможно различное сочетание схем и элементов усиления.

В соответствии с известными исследованиями [10, 11] характерной особенностью геомеханики СКК, использующей несущую способность массива и упрочненных пород, является то, что режим работы и принцип взаимодействия составляющих элементов системы изменяется по мере развития деформационных процессов в массиве горных пород и изменения геомеханической ситуации. При этом весь срок существования горной выработки можно разбить на четыре этапа.

I этап соответствует периоду с момента проведения выработки до возведения конструкции крепи (облегченной временной).

II соответствует поддержанию выработки конструкцией крепи до проведения мероприятий по консолидации приконтурной зоны (инъекционное упрочнение, тампонаж, анкерование).

III этап соответствует работе СКК в процессе схватывания и твердения упрочняющего состава.

IV этап соответствует работе СКК после набора прочности упрочняющего состава и полного взаимодействия всех элементов системы.

Применение подобных технологий консолидирующего крепления с поэтапным усилением несущей способности позволяет управлять состоянием приконтурного массива при проведении и поддержании горных выработок в сложных (горно-геологических, гидрогеологических, пожароопасных) условиях.

Перспективность СКК очевидна вследствие их высокой надежности и низкой материалоемкости, возможности комплексной механизации процессов крепления и совмещения большинства технологических операций во времени, возможности достижения высоких скоростей проходки горных выработок. **ТАБ**

Работа выполнена при финансовой поддержке Администрации Кемеровской области (грант Губернатора Кемеровской области для молодых ученых – кандидатов наук на проведение фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям социально-экономического развития Кемеровской области. 2007-2008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шемякин Е.И.* О прочности горного массива. // Научные сообщения ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. Выпуск 328/2004. - С.8-18.
2. *Шемякин Е.И.* Синтетическая теория прочности. // Физическая мезомеханика. – 1999. – Т.2. - №6.
3. *Ревуженко А.Ф., Стажевский С.Б., Шемякин Е.И.* О структурно-дилатансионной прочности горных пород. ДАН СССР. – 1989. – Т.305. - №35. – С.1077-1080.
4. *Ревуженко А.Ф.* Механика сыпучей среды. – Новосибирск: ЗАО ИПП «Офсет», 2003. – 373 с.
5. *Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В.* Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985. 229 с.
6. *Панин В.Е.* Физическая мезомеханика материалов – новое направление на стыке физики и механики деформируемого твердого тела. // Современные проблемы науки: Материалы научной сессии. Новосибирск, 25-26 ноября 2003 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 228 с.
7. *Франкевич Г.С.* «Обоснование параметров и разработка крепей капитальных горных выработок с управляемой несущей способностью». Диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук.: 05.15.04. М.1998.
8. *Баклашов И.В., Картозия Б.А.* Механика подземных сооружений и конструкций крепей. - М.: Недра. 1992. 543 с.
9. *Хямяляйнен В.А., Бурков Ю.В., Сыркин П.С.* Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок. – М.: Недра, 1994. -400 с: ил.
10. *Заславский Ю.З., Дружко Е.Б.* Новые виды крепи горных выработок. – М.: Недра, 1989. – 256 с.: ил.
11. *Заславский Ю.З., Логужин Б.А., Дружко Е.Б., Качан И.В.* Инъекционное упрочнение горных пород. – М.: Недра, 1984. - 176 с.

Коротко об авторах

Хямяляйнен В.А. - зав. каф. теоретической и геотехнической механики ГОУ КузГТУ, профессор, доктор технических наук, E-mail: vah@kuzstu.ru
Майоров А.Е. - зав. лабораторией проблем энергосбережения КемНЦ СО РАН, кандидат технических наук, E-mail: majorov-ae@mail.ru