

работ, выбор необходимого оборудования, а также оценки проектных решений. Предложенный подход может быть использован при расчете соотношения между очистными и подготовительными работами на калийных рудниках.

Библиографический список

1. Syd S. Peng. *Longwall Mining*. – West Virginia University, 2006. – 621 P.

2. *Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс». Том 3. Подземные горные работы. Книга двенадцатая.* / Казанин О.И., Коршунов Г.И., Розенбаум М. А. [и др.] – Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014.

3. Казанин О. И. *Воспроизводство очистного фронта при интенсивной отработке выемочных участков угольных пластов. Тезисы Кузбасского международного угольного форума, 2007 г.*

4. Казанин О.И., Долоткин Ю.Н., Задавин Г.Д. *Возможности и перспективы скоростного проведения выработок при многоштрековой подготовке выемочных участков на ОАО «Воркутауголь» // Уголь. – 2007, – №12. – с. 4-8*

УДК 622.256.272.274.(047).54: 622.023.62-112

МЕХАНИЗАЦИЯ СМОЛОИНЪЕКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИКОНТУРНЫХ МАССИВОВ ВЫРАБОТОК

Конгар-Сюрюн Ч.Б.

*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г.Москва*

Рассмотрена возможность улучшения механизации укрепления приконтурного массива выработок. Предложены варианты улучшения подачи инъекционного раствора в массив, рассмотрены различные технологические схемы подачи инъекционного раствора в приконтурный массив и предложена оптимальная схема нагнетания. Произведена классификация инъекционных растворов с точки зрения возможности их применения в различных по устойчивости породах и технологии инъектирования.

Введение

Современные тенденции геотехнологии направлены на повышение интенсивности извлечения полезного ископаемого [1]. При возрастающих нагрузках на горные выработки и увеличения скорости их проходки достаточно остро стоит задачи обеспечения высокой надёжности и безопасности при проходческих работах и эксплуатации горных выработок. Частота геотехногенных катастроф при извлечении полезных ископаемых из недр Земли увеличивается. Только за два месяца 2019 года произошли обрушения кровли выработок на рудниках «Корбалихинский» Алтайский край, «Сарылах» в Якутии, «Ново-Кальинская» в Свердловской области и др. Это наиболее крупные катастрофы, которые привели к остановке рудника. Некоторые катастрофы приводили к образованию провалов на земной поверхности, разрушению рудника и потере запасов полезных ископаемых [1 – 3]. Помимо этого геотехногенные катастрофы оказывают отрицательное влияние на окружающую среду и несут угрозу экологической безопасности [4 – 6]. Следовательно, основным направлением при подготовительных и проходческих работах, является создание и внедрение машин, механизмов и оборудования, позволяющих применить актуальную технологию крепления горных выработок, обеспечивающих надёжность, безопасность и эффективность.

Консолидированное упрочнение

Необходимо создать оборудование для инъекционного упрочнения и разработать технологии, позволяющие в сложных горно-геологических условиях изменять физико-механические характеристики нарушенных пород приконтурной зоны выработок, что предоставит возможность эффективно управлять состоянием массива [7].

Наиболее эффективным направлением является одновременное использование штангового крепления с последующим инъецированием растворов [8]. В данном случае мы получаем консолидирующую крепь, которая характеризуется совокупностью связанных между собой различных элементов: крепь – упрочнённая приконтурная зона – массив. В данном случае существует большая доля вероятности обеспечить необходимую безопасность, надёжность и стабильную устойчивость выработки. Такая консолидация исключает смещение и вращение отдельных участков приконтурной зоны выработки и повышает прочность нарушенных пород.

Для реализации данной технологии консолидированного упрочнения пород приконтурной зоны выработки необходимо принять следующую схему: бурение шпуров в кровле сразу после её обнажения; установка в шпуре инъекционных штанг и их натяжение; предварительное упрочнение штанги; нагнетание упрочняющего состава в массив.

Принятая схема упрочнения исключает отслоение пород в зоне нагнетания, обеспечивает восстановление естественной прочности пород и предупреждает их последующее скалывание. Шпуры при данной схеме выполняют двойную функцию: служат для установки и закрепления штанг; используются для подачи в массив инъекционного раствора. При данной схеме возможно использование различных штанг, с различным типом крепления.

Выбор материала для инъектирования

При выборе материала нагнетания необходимо учитывать технико-экономические показатели. С одной стороны с точки зрения эффективности и минимизации расходов на крепление необходимо использовать материалы на основе цемента. Но данные растворы имеют ряд недостатков: нестабильное качество цементации приконтурной зоны выработки; расслоение раствора в момент инъектирования; с увеличением глубины инъектирования происходит возрастание суммарного сопротивления нагнетанию; наличие воды способствует размыванию пород приконтурной зоны, что временно снижает их прочность.

С точки зрения технических показателей, наиболее достойными внимания с научной и промышленной точки зрения, являются растворы на основе полимерных материалов: карбамидные; фенолформальдегидные; полиуретановые; полиэфирные; эпоксидные; хлормagneзиальные; органо-минеральные и др. Основными факторами для возможности использования полимерных материалов для крепления приконтурных зон выработок являются: высокая проникающая способность; высокая пластичность; стабильное качество прочности на всю глубину проникновения; возможность регулирования свойств непосредственно перед подачей в скважину; короткие сроки схватывания. Однако эти растворы обладают рядом недостатков: высокая стоимость; некоторые растворы токсичны; быстрое схватывание некоторых растворов; некоторые растворы после схватывания становятся хрупкими [9].

Склонные к трещенообразованию и обрушению породы и руды рудников весьма разнообразны. По степени увлажнённости приконтурный массив может находиться в любом состоянии: от сухого до мокрого. Температура упрочняемых пород на рудниках находится в интервалах от +5 до +30°C, а в районах крайнего севера в отрицательных интервалах до -10°C. Помимо естественного состояния приконтурного массива выработок, важное значение, при выборе раствора инъектирования для его укрепления имеет степень раскрытия трещин. Если ширина раскрытия трещин мала (до 1 мм.), то прочность соединения блоков определяется их функциональной связью и характеризуется адгезией состава в природе. Если ширина раскрытия трещин значительна (2-5 мм.), то во внимание необходимо принимать когезионную прочность самого состава, так как система «порода – упрочняющий состав» работает как композит из двух материалов. В данном случае показатели прочности затвердевшего инъекционного материала должны приближаться к соответствующим показателям пород приконтурной зоны.

Полимерные материалы, используемые для упрочнения приконтурного массива, должны обладать значительной жизнеспособностью после смешивания исходного сырья, интенсивно проникать в трещины и затвердевать в заданных интервалах времени.

Отсутствие хрупкости и усадки – одно из основных свойств упрочняющих растворов. Хрупкость при незначительном проявлении горного давления или каком-либо влиянии горных работ на массив приводит к нарушению связи «порода – упрочняющий состав». Усадка связующего состава в трещинах большого объёма приводит к образованию новой микротрещины и уменьшению прочности и устойчивости закреплённого массива.

Противоположным усадке является свойство увеличения объёма раствора после затвердевания. Данное свойство является положительным для инъекционных растворов, так как в процессе увеличения объёма в момент затвердевания происходит возникновение дополнительных связей и распорных сил, что способствует сохранению состояния равновесия.

Упрочнённый массив, как в процессе затвердевания растворов, так и после их затвердевания может подвергаться сдвигающим деформациям в результате воздействия горного давления или буро-взрывных работ. Следовательно, инъекционный раствор должен обладать пластичностью в процессе твердения и эластичностью после окончательного затвердевания. Оба этих

требования способствуют сохранению равновесного состояния укрепленных блоков приконтурного массива. При малых взаимных перемещениях.

При упрочнении массива на контакте с рудным телом, часть его может подвергнуться проникновению инъекционного раствора, что может отрицательно сказаться в последующем в процессе обогащения. Следовательно, состав инъекционного раствора должен полностью исключать отрицательное влияние на обогатимость руды.

Указанные требования являются достаточно жесткими при выборе инъекционного состава. Однако, свойства инъекционных растворов не являются неизменными. В результате активации различных составляющих раствора и раствора в целом, существует возможность изменения, как свойства раствора, так и свойства конечного омоноличенного массива [10]. В качестве активаторов можно использовать отходы обогатительных фабрик [11].

Анализ большого количества инъекционных растворов позволил произвести их классификацию с точки зрения возможности их применения в различных по устойчивости породах и технологии инъектирования (рис. 1).

Материалы, выходящие за пределы зоны С, недопустимы к применению в качестве инъекционных растворов при укреплении приконтурной зоны выработок.

Оборудование для механизации инъекционных работ

Для выполнения работ по инъекционному упрочнению горных пород требуется определенное сочетание нескольких групп оборудования: оборудование для бурения скважин; контрольно-измерительная аппаратура; оборудование для нагнетания укрепляющих химических составов.

Для бурения инъекционных скважин и шпуров используется стандартное серийное оборудование аналогичное тому, которое применяется на проходческих и очистных работах.

В качестве контрольно-измерительной аппаратуры при нагнетании инъекционных закрепляющих составов используют манометры, термометры и расходомеры. Приборы контроля за расходом нагнетаемого состава, которая позволяет определить степень насыщения массива в процессе нагнетания. К таким приборам относятся турбинные, массовые, ультразвуковые и индукционные расходомеры. Применение того или иного типа расходомера обусловлено физико-химическими свойствами инъектируемого состава. Следует, однако, ответить, что ультра-

звуковые расходомеры отличаются наибольшей универсальностью, а индукционные – высокой надежностью.

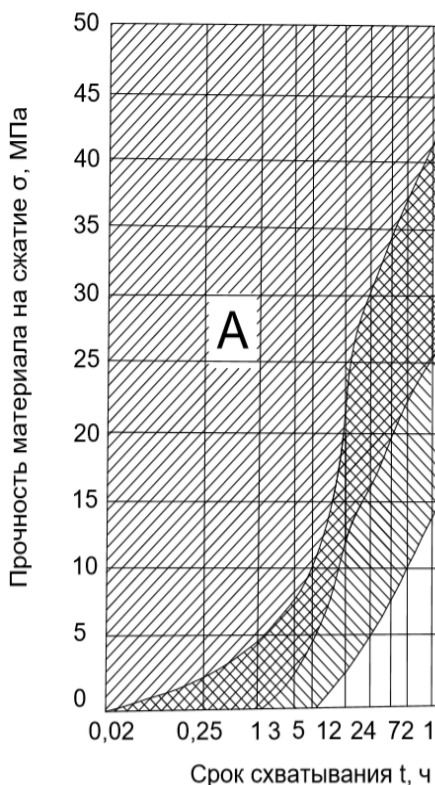


Рис. 1 – Классификация вяжущих материалов, используемых для инъектирования:
A – с очень быстрым нарастанием сопротивления;
B – с быстрым нарастанием сопротивления;
C – с медленным нарастанием сопротивления

Качество работ при инъекционном способе укрепления зависит от контроля и определения физико-механических свойств пород, зоны распространения раствора, направления внедрения инъекторов и соблюдения заданных параметров нагнетания.

Исследование характеристик пород укрепляемого и заинъектированного массива может быть осуществлено при помощи

геофизических методов - электрического, радиоактивного и акустического каротажа.

Основной задачей данного исследования является: механизация работ по упрочнению контурного массива выработок и выбор технологической схемы инъектирования.

При проведении работ возможно использование различных технологических схем упрочнения, которые подразделяются по следующим признакам:

1. времени ведения работ по упрочнению по отношению к производству проходческих и очистных операций;
2. способу образования упрочняющего состава из компонентов;
3. режиму испытания.

По первому признаку схемы упрочнения могут быть подразделены на:

- предварительное упрочнение массива (опережающее упрочнение);
- упрочнение из забоя выработки одновременно с производством проходческих или очистных операций (одновременное упрочнение).

По второму признаку схемы нагнетания:

- однорастворная схема, заключающаяся в предварительном приготовлении раствора и нагнетания его в массив;
- смешанная схема (заключается в раздельной подаче компонентов под высоким давлением и смешивании их непосредственно перед инъектированием)
- двухростворная схема (раздельное нагнетание компонентов)

По третьему признаку:

- зажимный режим;
- циркуляционный режим.

Технология нагнетания при опережающем, последующем и одновременном упрочнении практически не различается.

Однорастворная схема нагнетания позволяет наиболее строго выдерживать соотношение компонентов, так как состав готовится предварительно. Недостатки схемы:

- необходимость принимать такое соотношение компонентов, при котором время гелеобразования составляло бы не менее 40 минут;
- невозможность технологических перерывов до полного израсходования приготовленного состава, т.к. это вызывает схватывание и затвердение состава в оборудовании;

- высокая трудоемкость обслуживания, связанная с необходимостью очистки и промывки оборудования после каждого цикла нагнетания.

Смешанная схема нагнетания является наиболее универсальной. Она позволяет создавать широкий диапазон изменения времени гелеобразования, соотношение компонентов можно принимать таким, чтобы время гелеобразования снижалось до 3-5 минут. Упрочняющий состав образуется непосредственно перед подачей в шпур, опасность затвердевания состава в оборудовании исключается, сокращается время на обслуживание нагнетательного оборудования.

Двухрастворная схема нагнетания неприемлема при инъекционном упрочнении полимерными материалами. Она применяется при использовании составов на основе силикатных вяжущих или силикатнополимерных вяжущих.

При инъекционном упрочнении горных пород в подземных условиях подача упрочняющего состава производится только в зажимном режиме нагнетания.

Выводы

Подводя итог проведённому анализу, следует сделать вывод, что в разрабатываемом оборудовании необходимо принять смешанную схему нагнетания, которая при необходимости может быть легко трансформирована в одно или двухрастворную схему.

Необходимо произвести исследования по изучению радиусов распространения различных инъекционных растворов в приконтурной зоне в зависимости от трещиноватости и величины раскрытия трещин при применении данного оборудования и выбранной схемы нагнетания.

Библиографический список

1. *M. Khayrutdinov, A. Ivannikov. The use of mining waste for backfill as one of sustainable mining activities. Proceedings of International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017), Hanoi, Vietnam, 5-6 October, 2017, 715-717, 2017*

2. *М.М. Хайрутдинов, "Пути совершенствования систем разработки с закладкой выработанного пространства", Ways to improve development systems with laying the developed space, Gornyi Zhurnal, no. 11. pp. 40-43, 2007 (In Russian).*

3. *М.М. Хайрутдинов, "Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду", The use of mining*

waste as a filling material to reduce the harmful effects on the environment, *Gornyi Zhurnal*, no. 2. pp. 64-66, 2009 (In Russian).

4. Тулыаева Y.S., Хайрутдинов А.М. “Щадящая геотехнология”, *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов*, М: ИПКОН РАН, 28 октября-01 ноября 2019 г. pp. 283-286, 2019

5. Хайрутдинов А.М., Тулыаева Y.S. “Извлечение полезного ископаемого на небесных телах. Предпосылки, технологические аспекты и правовые основы”, *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов.*, М: ИПКОН РАН, 28 октября-01 ноября 2019 г. pp. 280-283, 2019.

6. Качаев Р.О., Айрапетян Э.Ц., Иванников А.Л. “О соблюдении условий охраны окружающей среды при строительстве подземных хранилищ газа”, *Горная промышленность № 2*, 2017.

7. Хайрутдинов М. М., Карасёв Г. А. “Формирование разнородных закладочных массивов при разработке месторождений полезных ископаемых”, *Mining Information and Analytical Bulletin*. no. 3. pp. 276-2283, 2008 (In Russian)

8. В. А Хямяляйнен., А. Е. Майоров “Новые способы цементационного упрочнения горных пород”, *Mining Information and Analytical Bulletin*. no. 9. pp. 212-217, 2010 (In Russian).

9. А.М. Беляев, “Смолоинъекционное упрочнение боковых пород для улучшения показателей извлечения руды”, *Диссертация. Московской государственной горной университет*, 1984.

10. А.Н. Чистяков, М.М. Хайрутдинов, Е.В. Артюхов, “Влияние различных способов активации на физико-механические свойства закладки” *Mining Information and Analytical Bulletin*. no. 3. pp. 232-246, 2009 (In Russian).

11. Конгар-Сюрюн Ч.Б. “Построение математической модели прогнозирования качественно-количественных показателей обогащательных фабрик” *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов*. М: ИПКОН РАН, 28 октября-01 ноября 2019 г. pp. 336-338, 2019.