

УДК 547

ОРГАНИЧЕСКИЕ СМОЛЫ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Гумбрис Е.Г., магистр гр. ХОм-181, II курс
Научный руководитель: Пучков С.В., к.х.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

Крепление скальных пород анкерами применяется при проходке шахт и тоннелей уже более ста лет. Понимание механизма действия и поведения анкеров привело к тому, что порядок и схема их установки были закреплены в общепринятых практиках всех видов подземных работ.

Классические анкера, а также преднатянутые анкера ограничивают сдвигающие нагрузки в породах кровли. Сами анкера при этом работают на растяжение, и это усилие скрепляет скальную породу в единый массив.

Инъекции применяются при подземных работах в основном для того, чтобы остановить поступление воды в выработку, и реже для систематического укрепления скальных пород. Закачаный цементный раствор заполняет трещины и полости скального массива и увеличивает его сопротивление сдвигу в пределах обработанного участка.

Применение для крепления анкеров тиксотропных водостойких быстросхватывающихся смол позволяет объединить герметизирующий эффект инъекций с укреплением породы и увеличением ее сопротивления сдвигающим нагрузкам, которое обеспечивают анкера. Инъектирование точно дозированного объема под регулируемым давлением позволяет укрепить скальный массив и значительно улучшить его механические свойства.

Для того чтобы повысить эффективность крепи и, как отмечено выше, объединить положительные эффекты инъекций и крепления анкерами, были разработаны новые типы смол для крепления анкеров. Данная работа рассматривает идеи, лежащие в основе этой концепции, а также результаты проведенных на эту тему исследований.

Методы крепления скальных пород при проходке шахт и тоннелей со временем развиваются и изменяются. В настоящее время чаще всего для этого применяются торкрет-бетон и/или анкерное крепление.

Различные виды торкрет-бетона используются в качестве стандартной крепи при подземных работах начиная с 1950-х годов. Технология мокрого торкретирования была разработана в конце 1970-х годов. Крепление породы с помощью анкеров при проходке как шахт, так и тоннелей появилось даже раньше и применяется более системно.

В тоннелестроении Северной Европы, с учетом геологии, которая отличается преобладанием твердых скальных грунтов, был выработан систематический подход к креплению выработок с помощью цементации до

начала выемки грунта [1]. Этот метод снижает водоприток и увеличивает стабильность массива, что потенциально позволяет снизить требования к крепи во время проходки.

Анкеры при проходке чаще всего цементируются. В горнодобывающей промышленности для фиксации анкеров используются несколько различных методов. Преимущества крепления пород инъектированием и анкерами можно объединить, применив альтернативный инъекционный состав, например маловязкую смолу. Этот вопрос будет рассмотрен ниже с акцентом на проходку скальных пород.

История крепления скальных пород анкерами

Впервые в горнодобывающей промышленности для крепления скальных пород стальные анкеры были применены в 19-м веке в США. Первая документация на систематическое использование анкеров относится к 1920 году (свинцовая шахта «Сейнт-Джозеф», США) [2]. При проходке тоннелей их впервые применили в США и в Австралии в 1940-е годы [2].

Тогда анкеры фиксировались только на дне шпура механическим якорем, а кольцевой зазор между породой и анкером оставался незаполненным. Для такой фиксации порода должна иметь достаточную прочность. В некоторых случаях болты преднатягивались, однако в основном нагрузка на них возникала в результате оседания массива. При такой установке анкеры нередко вырывало [3], после чего они теряли свои несущие свойства, что могло привести к обвалу.

Цементировать анкеры впервые начали в Норвегии в 1930-е годы, где в выработке Сторе-Норфорс они были залиты быстротвердеющим цементом (такие анкеры затем были названы SN-анкерами).

Цементный раствор закачивался в шпур перед тем, как в него вставлялся стальной анкер.

Из-за этого раствор в основном наполнял кольцевой зазор и практически не попадал в трещины, которые пересекал шпур. Так как кольцевой зазор был полностью заполнен раствором, нагрузка со стали передавалась на окружающую породу по всей длине анкера, что повышало прочность такой конструкции на сдвиг по сравнению с анкером, зафиксированным только якорем на дне шпура. Данные анкеры воспринимают нагрузку только после деформации (сдвижения породы). Отсутствие деформации значит, что анкер не нагружен.

При проходке тоннелей и шахт в скальных породах сдвижение, как правило, стремятся свести к минимуму, в то время как в мягких осадочных породах метод NATM (новый австралийский метод проходки туннелей) допускает некоторое сдвижение, чтобы найти оптимальное место для крепления (кривая Феннера — Пахера).

Метод систематической цементации до выемки грунта был разработан в Скандинавских странах. Этот метод позволяет значительно снизить водоприток в тоннель. Кроме того, заполнение трещин породы цементным

раствором позволяло улучшить ее механические свойства и повысить прочность породы на сдвиг.

Раствор закачивается в массив до начала выемки грунта с помощью создания экрана по периметру тоннеля. Все шпуров бурятся и цементируются из забоя, как правило, на глубину более 20 м. Следующая операция бурения и цементации повторяется после нескольких отпалок, когда до конца зацементированного участка остается несколько метров [1]. Для закачки используется цементный раствор, тонкость помола в котором зависит от конкретных требований.

Метод позволяет уменьшить проникновение воды и увеличить прочность пород. Это, в свою очередь, позволяет снизить требования к обделке из торкрет-бетона и к количеству анкеров. Проходка после цементации, как правило, отличается незначительными деформациями. Для крепления стенок тоннеля достаточно зацементированных анкеров и тонкого слоя торкрет-бетона. Решение о том, какую крепь использовать, часто основывается на Q-системе [4], которая учитывает размер трещин и прочность породы на сдвиг вдоль плоскостей разрыва, а также нагрузку на породу.

Закачка химических составов — широко применяемый в подземном строительстве метод. В основном его используют для герметизации неожиданных протечек полиуретановыми смолами, а также для ремонта бетонных конструкций акриловыми составами. Применение полиуретанов для системного улучшения механических свойств породы берет свое начало в угольной промышленности [5]. В последнее время полиуретаны в качестве связующего и укрепляющего агента вытесняются силикатами полимочевины, которые демонстрируют такие преимущества, как водостойкость, быстрый набор прочности и постоянство свойств затвердевшего полимера, даже в подземных условиях при повышенной температуре (благодаря отсутствию температуры стеклования).

1. BASF: Pre-Excavation Grouting in Tunneling. BASF Construction Chemicals Europe, 4th Edition. 2011.
2. N.N.: Rock Bolt. https://en.wikipedia.org/wiki/Rock_bolt [online on 14.11.2018].
3. Hoek, E., Wood, D. F.: Support in Underground Hardrock Mines. Underground Support Systems, Special Volume 35 (1987), p. 1–6. Montreal: Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 1987.
4. N. N.: Q-System. <https://en.wikipedia.org/wiki/Q-system> [online on 15.11.2018].
5. Junker, M. et al.: Strata control in in-seam roadways, VGE Verlag GmbH, 2009, S. 547–576.