

17. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНЖЕКЦИОННОТО ЗАЗДРАВЯВАНЕ НА СКАЛИ В МИННОТО ДЕЛО, ПРИ ТРАНСПОРТНИ ТУНЕЛИ И ВЪВ ФУНДИРАНЕТО

1. Уводни бележки

В минното дело широко се използва инжекционно заздравяване при прокарване на дълбоки шахти в силно напукани водообилни скали, за заздравяване на задкрепежната зона и за запълване на празното пространство между нея и масива, за ликвидиране на внезапно възникнали аварии, при прокарване на изработки в тектонски зони и др.

Нашата страна разполага със значителен опит в инжектирането на скали в минното строителство. Разнообразните условия, при които се извършва това строителство наложиха провеждане на голям обем изследователски работи, в резултат на които се създадоха подходящи инжекционни флуиди, конструираха се машини и съоръжения, създадоха се технологии за третиране на пукнатини, каверни и тектонски зони, а така също за заздравяване на силно напукани и натрошени скални масиви (Милков и др., 1989), (Милков в Евстатиев и Ангелова, ред., 1993,).

Циментацията е използвана също при ремонт на железопътни тунели в напукани скали. Електрификацията на железопътния транспорт и прокарването на двойни ж.п. линии наложиха някои от старите тунели да се разширят, което не можеше да се осъществи без инжекционно заздравяване на скалата.

Голям обем циментационни работи бяха извършени на големите пътни тунели под Витиня на магистралата “Хемус”.

2. Инжекционно заздравяване в минното дело

Приложението на инжекционното заздравяване у нас, предимно на циментацията, е започнато от 1968 г., а до 1988 г. то е използвано на повече от 100 руднични обекта. С течение на времето инжекционните работи са провеждани на все по-голяма дълбочина. Те са предшествувани от изучаване на геоложките условия и на якостното и деформационно състояние на масива.

Описаните тук примери са взети от Милков (Евстатиев и Ангелова, ред, 1993).

Шахта № 5 от рудник “Сеславци” - Софийско

Тази шахта е прокарана в силно напукан сиенит с кварц-карбонатни жили, в които са развити тесни (0,01 – 2,0 mm) и по-широки (5,0 – 50,0 mm) пукнатини, които в повечето случаи са запълнени с глина. Водопритокът е достигал до 25 l/s във водоносен хоризонт с височина 210 m. За да могат да продължат строителните работи е било необходимо този водоприток да бъде намален до 5 l/s, което е постигнато с циментация.

Водоносният хоризонт е разделен на участъци по 30 m, включващи 5 m предпазен целик. Преди заздравяване на всеки участък е изградена тампонажна възглавница, която за първия участък има дебелина 5,0 m, а за останалите 2,8 m. Във възглавниците са монтирани водещи тръби, чрез които се осигурява местоположението и направлението на инжекционните сондажи и връзката им с

инжекционната помпа. Инжекционните сондажи са с диаметър 58,5 mm и са разположени в две концентрични окръжности. Във външната броят им е 12 и са под лек наклон, а вътрешната съдържа 4 вертикални сондажа.

Използвани са суспензии с отношение В:Ц от 10:1 до 1:1. За ускорител на втвърдяването е добавен CaCl_2 в количество 2-4% от теглото на цимента, а стабилизирането на разтвора е правено с 4 % бентонит, активиран с Na_2CO_3 (2% от теглото на бентонита).

Суспензията е приготвяна на повърхността с пропелерни бъркалки с обем 1 m^3 и е подавана с тръбопровод с диаметър 50 mm до инжекционната станция. Сондажите са обработвани на интервали от по 10 m, като за всеки интервал гъстотата на суспензията е избирана след пробни водонагнетявания. Тя е нагнетявана с постоянен разход до достигането на поглъщане 10 l/min и налягане 5,0-5,5 МРа.

При производителност на инжектирането 1 m от шахтата за 24 h разходът на цимент за различните интервали се е изменял от 2,5 до 16 t. След завършване на циментацията, в контролните сондажи стойността на относителното водопоглъщане е била в границите 0,001-0,014 l/min.

Шахта "Ардино" от рудник Еньовче

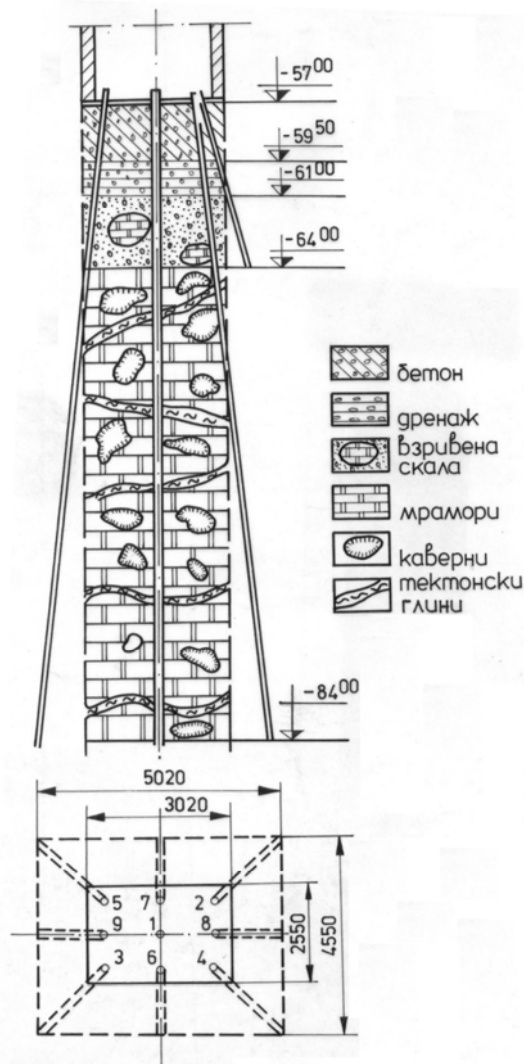
При прокарването на шахта "Ардино" (с правоъгълно сечение $8,0 \text{ m}^2$) на 60 m от повърхността след взривни работи е получен воден пробив с дебит $108 \text{ m}^3/\text{h}$, вследствие на което строителството е прекратено. От проучванията е установено, че масивът е изграден от напукани и кавернозни мрамори, като някои пукнатини и каверни са запълнени с глина. Височината на каверните е от 1,4 до 2,8 m, а ширината на пукнатините е от 2 до 15 mm.

За преодоляване на възникналата авария е използвана циментация от забоя с изграждане на бетонна тампонажна възглавница (ТВ). Поради обективни трудности и отсъствие на достоверни геоложки и хидрогеоложки данни са разработени два варианта за изграждане на ТВ: под вода при спряно водочерпене и чрез дренажен слой с интензивно водочерпене.

По-късно е изяснено, че с доставените съоръжения може да се поддържа ниво на водата 1,0 m, при което е изграден дренажен слой с височина 1,5 m. По този начин при отводнен забой е изградена тампонажната възглавница с монтирани в нея 12 броя кондукторни тръби – три насочени към водния пробив, осем – за циментация на масива и една контролно-изпреварваща, разположена в центъра на шахтата (фиг.17.1.)

Параметрите на ТВ са определени при условие, че налягането се предава на крепежа на шахтата. Дебелината на ТВ е 2,50 m при налягане на инжекционния разтвор 2,0 МРа, ширина на изработката 2,55 m и дължина 3,02 m (фиг.17.2.). Дължината на основните сондажи е 24,6 m при височина на участъка 20 m.

Изпълнението на инжекционните работи е започнало след достигане на необходимата якост на бетона от ТВ. От опитните водонагнетявания в сондажи, насочени към мястото на пробива, е установено водопоглъщане $140-180 \text{ l/min}$. Въз основа на тези данни са избрани разтвори с отношение на цимента към



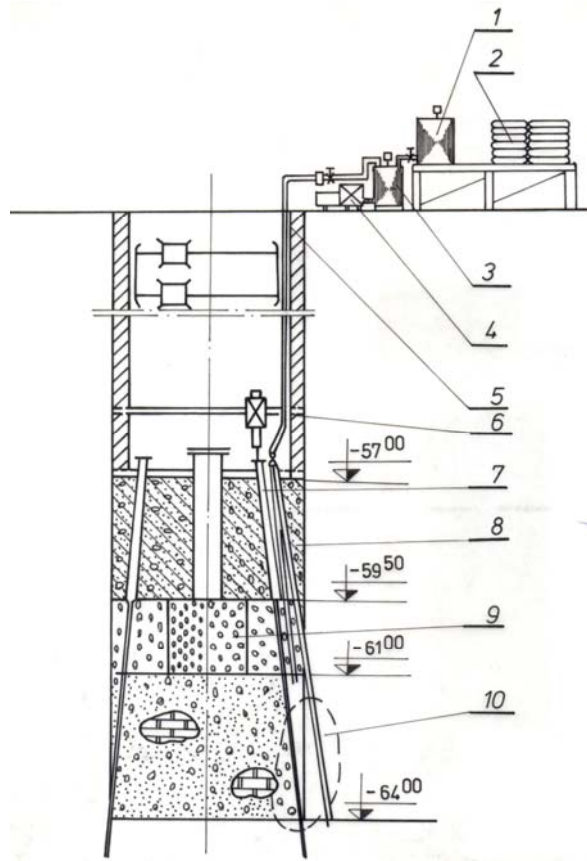
Фиг. 17.1. Циментация на шахта “Ардино”. 1- контролен изпреварващ сондаж; 2,3..... 9 – циментационни сондажи (по Хр. Милков и др. 1989)

пълнителя от 1:1,5 до 1:1,9. Инжекционните суспензии са приготвени на базата на пуцоланов цимент М 35 с пълнител – флотационен отпадък от обогатителната фабрика в Кърджали и добавка на бентонит.

За изпълнение на циментацията в дълбочина при съществуващите условия (висок водоприток, голямо разкритие на пукнатините, наличие на каверни) са разработени две групи суспензии:

- циментова суспензия при съотношение цимент:вода от 1:5 до 1,6:1;
- цименто-бентонитова суспензия, при следните съотношения:
цимент:бентонит:вода от 1:0,7:5 до 1:0,1:5.

Станцията за приготвяне на суспензията е на повърхността (фиг. 17.2.). Тя е снабдена с три пропелерни и една турбулентна високооборотна разтворобъркалка. Работният обем на всяка от тях е 250 l. За нагнетяване на суспензиите е използван пропелерен приемен резервоар и бутална помпа НГР – 250/50.



Фиг. 17.2. Технологична схема на циментацията на шахтата “Ардино”
 1- разтворобъркалка; 2 – склад за материали; 3 – приемен резервоар;
 4 – помпа; 5 – нагнетателен тръбопровод; 6 – сонда; 7 - кондукторни тръби; 8 – тампонажна възглавница; 9 – дренажен сандък; 10 – място на водния пробив (по Хр. Милков и др., 1989).

Първоначално в каверната на водния пробив са нагнетени циментови суспензии с пълнители. Условието за отказа, 15 l/min при 2 MPa, са достигнати след инжектиране на 58 320 kg суха маса, от която 22 940 kg са цимент.

След това е обработен и дренажният слой с циментова суспензия 1:1 (Ц:В). Контролирането на разпространението на суспензията и уплътнението е извършвано чрез последователно отваряне на крановете на другите кондукторни тръби.

Осем часа след инжектиране на дренажния слой е започнато пробиването на основните сондажи. Височината на инжекционният интервал е определена при следните условия: внезапен пробив на вода или приток от сондажа, по голям от 2,5 m³/h.

Циментови суспензии са нагнетявани при стойности на относителното водопоглъщане по-малки от 0,5 l/min.m. Над тази стойност са прилагани цименто-бентонитови суспензии. Нагнетени са общо 36 160 kg цимент, или средно за 1 m шахта 1808 kg.

Времето за ликвидиране на аварията е било 135 смени, от които 78 смени са изразходвани за запълване на каверната и за създаване на условия за изграждане на ТВ. Така времето за инжектиране на 1 m шахта е 0,78 денонощия.

Измереният водоприток при строителството на шахтата потвърждава определения в контролните сондажи, който сумарно е достигнал $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Циментация е използвана и на редица други обекти за борба с внезапно възникнали аварии. Такъв е случаят със шахтата “Север” в рудник “Димов дол” на Горубсо, където след взривяване в шахтата е нахлула вода с дебит $32 \text{ m}^3/\text{h}$. След циментацията водопритокът е намалял до $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Значителен обем циментационни работи са извършени в рудник “Лебница” на ТМОК “Осогово” и в рудник “Бобов дол”, чието основно предназначение е намаляване на минния натиск и облекчаване на работата на крепежа при прокарване и ремонт на галерии в силно тектонски обработени скали.

Инжекционното заздравяване на скали е обичайна практика в минното дело в много страни. Русия разполага със значителен опит в използване на битумизация при прокарване на минни изработки. Този метод е особено подходящ при агресивни води и значителен водоприток. Например, шахта за добив на гипс е трябвало да се прокара в силно напукани и окарстени варовици с приток до $700 \text{ m}^3/\text{h}$ на агресивна вода. Нивото на водата е било на 37 m от повърхността и се намирало в хидравлична връзка с близко разположено езеро. От $37,5$ до $44,5 \text{ m}$ от повърхността шахтата преминава през силно напукан гипс, а от $44,5$ до $52,0 \text{ m}$ – през окарстени варовици, запълнени с натрошен материал от други скали.

За изграждане на противифилтрационна завеса около контура на шахтата са направени 13 сондажа, разположени в кръг с диаметър 12 m . Нагнетяван е горещ битум с температура 195° при налягане между $0,8$ и $1,4 \text{ MPa}$ с максимална стойност $7,5 \text{ MPa}$. Общият разход на битума във всички сондажи е $88,6 \text{ t}$. При прокарване на шахтата в заздравената и уплътнената скала е установено, че водопритокът е намалял до стойности между 11 и $28 \text{ m}^3/\text{h}$.

3. Инжекционно заздравяване при транспортни тунели

Тунел № 1 на жп линията София – Варна е укрепен с комбиниран крепеж – бетонови елементи по стените и свод от бетонови блокчета. След разширяването на тунела, при електрификацията на линията, по свода и стените са се появили пукнатини, като с течение на времето са настъпили деформации, опасни за движението. Освен това се е появила вода, която през зимата е замръзвала, разрушавала е облицовката и е създавала затруднения при експлоатацията на съоръжението.

За прекратяване на деформациите и на водопритока е разработена технология за инжектиране с циментова суспензия при следните изисквания:

- осигуряване на максимално запълване на празнините зад крепежа и уплътняване на масива около тунела;
- елиминиране на водния приток;
- да не се пречи на експлоатацията на съоръжението.

Според разработената технология пробиването на инжекционните сондажи и монтажът на пакерите в тях са извършвани в интервалите, когато не се движат влакове, а нагнетяването на разтвора – при пуснатото движение. Суспензията е съставена от цимент и пепел от електрофилтрите на ТЕЦ “Бобов дол”, като станцията за нейното приготвяне е извън тунела. Използвана е

перкова бъркалка с пневматичен двигател, който осигурява разбъркване на сместа от 0 до 600 min⁻¹. Готовата суспензия е изсипвана в пневмодвигателя, който я подава по тръбопровод до приемния резервоар, разположен в една от нишите на тунела. На това място е монтирана и инжекционна помпа тип “Хени”, с която суспензията е нагнетявана в сондажа. Приемният резервоар и инжекционната помпа са били с пневмодвигатели.

Инжекционните сондажи (с диаметър 46 mm) са правени с пробивни чукове. Дължината на сондажите за запълване на задкрепежните празнини е равно на разстоянието от крепежа до навлизане с 0,20 m в масива, а дължината на сондажите за заздравителните инжекции е до 3,5 m. Прокарването и екипирането на сондажите са извършвани от скеле, монтирано върху ж.п. вагон на ремонтен влак. Нагнетателните маркучи са закрепвани с къси анкери.

Сондажите са разположени в редове, като броят им е съответно 2 и 3 в ред. Разстоянието между редовете е 2,5 m. Тунелът е инжектиран на участъци с дължина 22,5 m, обхващащ 10 реда. Сондажите в реда са обработвани “от долу на горе”, а редовете – по метода на сгъстяването през три реда. Крайното налягане е било 0,5 – 0,8 МРа. Инжекционните работи са приемани за завършени, ако стойността на относителното водопоглъщане при контролните изпитвания е под 0,01 l/min.m.

Инжектирани са 310 m от дължината на тунела, като са нагнетени 969 t цимент и пепел. Средното поглъщане на 1 m от тунела е 3,13 t.

След завършване на инжекционните работи деформациите на крепежа са преустановени, а капенето на вода – премахнато.

Друг ж.п. тунел, в който са проведени успешно инжекционни работи е тунел № 2 на жп линията Радомир – Кулата, до Дупница. В непосредствена близост до него е започнато строителство на автомагистрален тунел. Равновесието на склона е било нарушено и по облицовката на жп тунела са се появили пукнатини, които за кратък период са нараснали значително. По това време тунелът е разширен във връзка с електрификацията на ж.п. линията. Състоянието на облицовката се е влошило дотолкова, че се наложило да се изгради допълнително укрепване, което е намалило експлоатационните размери на съоръжението.

През пролетта на 1977 г. товарен влак с извънгабаритен товар е закачил рамките на усиления крепеж, което е предизвикало пропадане на горнището до повърхността и затваряне на тунела. Движението на жп линията е било прекъснато. Един месец по-късно пропадналата маса е разчистена, но поради тежките условия, при които е протекло възстановяването, сечението на тунела е намалено и движението е пуснато с ограничаване на скоростта до 5 km/h. За окончателно възстановяване на аварията е трябвало тунелът да се разшири съгласно изискванията на правилниците за движение и експлоатация.

Заздравяването на масива е осъществено посредством инжектиране на циментова суспензия. Станцията за приготвяне на суспензията и станцията за инжектиране са обединени и изградени пред тунела. Нагнетяването на суспензията е извършено с бутална помпа НГР – 300/60. Крайното проектно налягане е било 0,6 – 0,8 МРа, измерено с манометъра на пакера. Обработката на масива е била приета за завършена, ако при контролните изпитвания е

констатирано, че относителното водопоглъщане е под 0,01 l/min на m. Работите по заздравителните инжекции са продължили 40 работни дни. Нагнетени са 101 t цимент М 35 и пепел от ТЕЦ “Бобов дол” в съотношение 1:2.

Без провадания и други подобни аварии сечението на тунела и крепежа са възстановени в продължение на 2 месеца, след което е пуснато движението на влаковете.

Значителен обем инжекционни работи са изпълнени и при прокарване на пътните тунели на магистралата “Мизия”

4. Инжекционно подсилване на фундаменти

Инжекционно заздравяване на силно напукани скали е използвано и във фундаменти. Например, при строителството на висящ мост на р. Гарона близо до гр. Бутан във Франция единият от устоите е попаднал върху окаersten варовик и старо стабилизирано свлачище. Точно под устоя се е намирала голяма каверна, която е почистена и запълнена с бетон. След това се е пристъпило към инжекционно заздравяване на напукания варовик и на свлачищните маси, което е извършено на два етапа (Cambeford, 1964). Най-напред е изграден водопълтен екран около заздравявания масив с помощта на 26 сондажа до дълбочина 20-30 m. Нагнетяван е циментопясъчна суспензия под налягане 0,5 МРа. В така ограничената зона се е пристъпило към същинското заздравяване на масива с помощта на 21 сондажа. Общо са инжектирани 454 t цимент и 55 t пясък.

У нас инжекционното заздравяване на напукани скали е използвано при фундаменти на висока кула над шахтата “Батанци” в Горубсо. Железобетонната кула е висока 53 m и съдържа тежка подемна машина. Венечният ѝ фундамент се опира върху зона от силно изветрял гнайс с якост на едноосен натиск $R_c = 0,2-0,3$ МРа. Съществувала е реална опасност скалната основа да поддаде по посока на отвора на минната изработка.

Инжектиран е интервал от шахтата с дължина 8 m с помощта на 6 основни реда сондажи, отстоящи на 1,5 m един от друг. Броят на сондажите в ред е 12, а средната им дълбочина – 4 m. Между основните редове са разположени контролни редове също с 12 броя сондажи, които са прокарани шахматно спрямо основните. Използувани са суспензии с В:Ц от 5:1 до 0,5:1. Стойността на q преди циментацията е била 0,8-1,8 l/min, а след нея 0,05 l/min. Заздравената зона е изпитана с пресиометъра на Луи Менар и от нея са взети проби за изпитване на едноосен натиск, с което е доказано, че тя е придобила напълно задоволителна носеща способност. Заздравяването е продължило 50 дни. В сондажите с дължина 340 m са инжектирани 150 t портландцимент, 5 t бентонит и 5,5 t $CaCl_2$.