

14. ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ ПРОУЧВАНИЯ ВЪВ ВРЪЗКА С ИНЖЕКЦИОННОТО ЗАЗДРАВЯВАНЕ

1. Уводни бележки

Проучванията във връзка с инжекционното оздравяване са част от инженерногеоложките проучвания и обикновено се провеждат на по-късен етап на проектиране, когато са определени конструкцията на съоръжението, неговото място и са изяснени конкретните геоложки условия. Тези специфични проучвания се извършват за установяване на параметрите на инжекционния процес, съпътствуват неговото приложение и доказват получения ефект. Тяхното съдържание, обем и задачи зависят от типа на строителните почви (скални, карстови, свързани, несвързани и пр.) и от вида на съоръжението (язовирна стена, метро, тунел, минна изработка и др.) и са подробно описани в литературата (Cambefort, 1964; Банник, 1976; Адамович, 1980; Воронкевич, Ed, 1981 и др.). Освен това за някои видове строителство са разработени инструкции и указания.

Основните задачи на инженерногеоложките и хидрогеоложките проучвания за инжекционното оздравяване независимо от вида на строителството и типа на почвата обикновено се свеждат до установяване на проницаемостта на средата спрямо инжекционните флуиди, на водоплътността, на деформационното поведение и якостта на инжектираната почва. Другата съществена инженерногеоложка информация, като петрографски тип на почвата, химичен и минерален състав, подземни води и т.н. обикновено е получена при предишните проучвания.

Успехът на инжекционното оздравяване в много голяма степен зависи от качеството на инженерногеоложките проучвания. Видът на строителната почва (скална или дисперсна) и нейното състояние определят какво трябва да се прави във всеки конкретен случай, за да се постигне желания резултат, без да се засягат съществуващите съоръжения и без да се вреди на околната среда. Проучванията се правят, както за проекта, така и при неговото осъществяване, и накрая за доказване на постигнатия ефект. Това позволява гъвкавост на инжекционните работи и тяхното коригиране при необходимост. Инжекционният процес е твърде чувствителен към измененията на строителната почва и затова непрекъснатият технологичен запис и мониторинг са средство за контрол и източник за пригаждане на техниката според обстоятелствата. Това се отнася в най-голяма степен при инжектиране на хетерогенни почви

2. Инженерногеоложки проучвания при скали

От скалните почви най-често обект на инжекционно оздравяване са гранитите, гнайсите, кристалинните шисти, базалтите, диабазите, кварцитите, мраморите и варовиците. От гледна точка на инжекционния процес един от най-съществените параметри е тяхната напуканост, която е основна причина за намаляване на якостта им, за увеличаване на деформируемостта и на водопропускливостта. Пукнатините в скалите се различават по геометрия, морфология, генезис, възраст и механизъм на образуване.

Наблюдават се три основни мрежи пукнатини; системни, хаотични и полигонални, които в природни условия може да се срещат и смесени.

Непрекъснатостта на пукнатинната мрежа има голямо значение за успеха на инжектирането. Геометричната характеристика на напукаността включва определяне на ориентацията на пукнатините, а така също описание на формата на блоковете, които те отделят – призматични, пирамидални, сферични и др. Според своята форма пукнатините биват праволинейни, криволинейни, вълнисти и др.

В зависимост от ширината пукнатините се разделят на:

- микропукнатини $< 1 \mu\text{m}$;
- много тесни $< 0,1 \text{ mm}$;
- тесни $< 1 \text{ mm}$;
- дребни – $1-5 \text{ mm}$;
- средни - $5-20 \text{ mm}$;
- големи – $21-100 \text{ mm}$;
- много големи $> 100 \text{ mm}$
- разломи.

Според характера на запълване пукнатините се поделят на открити (съдържат само въздух или вода) или запълнени с кристално или дисперсно вещество (например, глина). Запълването може да бъде цялостно и частично.

По произход се разграничават: пукнатини на отделяне, тектонски пукнатини; пукнатини от напластяване и екзогенни пукнатини.

Пукнатините на отделяне възникват при изстиване на магматичните скали и при метаморфизма. Пукнатините от напластяване са свързани с процесите на седиментация и диагенеза на утайките. Тектонските пукнатини са получени при свиване и разтягане на скалния масив, причинено от тектонски процеси. Екзогенните пукнатини са резултат на изветряне, на свличане, срутване и други подобни процеси.

Освен с напуканост скалите се характеризират и с порестост, която от части от процента при интрузивните скали може да достигне до десетки проценти (например, при вулканските туфи).

Според съотношението на напукаността и порестостта се различават три основни модела. При модел I скалата е непроницаема в границите на отделения с пукнатини блок; при модел II, както самия блок така и пукнатините са проницаеми, а модел III представя случая, когато първите два модела са усложнени с наличие на неголеми каналчета с различен генезис.

Особено труден проблем представлява проучването на скали с карстови празнини, които се отличават с голямо разнообразие както по размери и форма, така и по разпространение. Използват се геофизични, сондажни и хидрогеоложки методи, с които трябва да се изясни големината на празнините, наличието на хидравлична връзка между тях и на евентуални запълнители.

Напукаността на скалите може да се оцени количествено с един коефициент K_{II} , който представлява отношението на площта на пукнатините към площта на скалата. Това се прави чрез измервания по стените на шахти, дълбоки изкопи или галерии. На практика обаче за тази цел се използват опитни нагнетявания на вода в сондажи.

В западните страни като единица мярка за водопоглъщане се е утвърдил т.нар. *люжон*, който носи името на швейцарския геолог Морис Люжон (1936).

Един люжон (Lu) е равен на поглъщането на вода в количество 1 l/min на 1 m от сондаж с диаметър 76 mm при налягане 0,1 МРа в течение на 10 min. Коэффициентът на филтрация k в m/s се намира приблизително в следната зависимост с критерия на Люжон (Lu):

$$k = 1,7 \cdot 10^{-5} Lu$$

У нас относителното водопоглъщане q се изчислява по формулата:

$$q = \frac{Q}{H \cdot l}, l/\text{min}$$

където Q е общият разход на вода в опробваната зона от сондажа, l – дължина на тази зона и H – напор.

Този критерий q по стойност е 100 пъти по-малък от 1 люжон. За неговото определяне съществуват специални инструкции. В зависимост от q (l/min) скалите са поделени на 7 категории по водонепроницаемост:

- 1 – $q < 0,001$; водонепроницаеми;
- 2 – 0,001-0,01, слабопроницаеми;
- 3 – 0,01-0,1, водопроницаеми;
- 4 – 0,1-1,0, среднопроницаеми;
- 5 – 1-10, силнопроницаеми;
- 6 - 10-100, много силно проницаеми;
- 7 – $q > 100$, изключително проницаеми.

На базата на количествените показатели q и K_{II} е направена следната класификация на скалите по степен на напуканост (Таблица 14.1.).

Таблица 14.1.Класификация на скалите по степен на напуканост

Скали	$K_n, \%$	$q, l/\text{min}$
Изключително силно напукани	Над 20	>1
Много силно напукани	10-20	>1
Силно напукани	5-10	0,5-1
Слабо напукани	2-5	0,01-0,05
Практически ненапукани	<2	<0,01

В началото на тридесетте години на миналия век въз основа на значителен практически опит Люжон е въвел следното изискване:

водопоглъщането на основата на язовирните стени по-високи от 30 m да бъде под 1 Lu, а на по-ниските от 30 m - < 3 Lu.

Тези граници изразени с q ще бъдат съответно 0,01 и 0,03 l/min, което се отнася според Таблица 14.1. за практически ненапуканите и слабо напукани скали.

От опитните водонагнетявания може да се получи информация, не само за водопроницаемостта на скалата, но и за режима на движение на водата (ламинарен или турбулентен), за поведението на пукнатините и др. Естествено най-голям интерес представлява възможността да се прогнозира поглъщането на

инжекционния флуид. Това обаче е доста трудно, дори като оставим настрана изискванията към сондирането, което не трябва да нарушава стените на сондажа, към водоплътността на пакерите, с които се ограничават зоните за водонагнетяване, хидравличните проблеми свързани с точното измерване на загубата на налягане и др.

Установените досега зависимости между q и поглъщането на флуида са валидни за определен вид скала и при пукнатини с еднакъв размер, като е променлива само тяхната гъстота. Важно е да се знае, че едно и също водопоглъщане може да се получи при голям брой дребни пукнатини, в които не прониква циментов флуид и при една много голяма пукнатина, поглъщаща голямо количество от него. Следователно, опитните водонагнетявания в напуканите скали дават полезна ориентируваща информация (особено когато са съпроводени с други хидрогеоложки данни), но не изключват необходимостта от инжекционни опити на място. Те освен това са незаменимо средство за доказване на ефекта от дълбочинното заздравяване, за което ще стане дума по-нататък.

3. Инженерногеоложки проучвания при дисперсни почви

Най-често обект на инжекционно заздравяване са несвързаните почви (с алувиален, ледников, езерен и морски произход) и льосовите разновидности.

За изготвяне на проект за инжекционно заздравяване на несвързани почви е необходимо да се изучи изменението на зърнометричния състав в масива, като се определят ефективния диаметър d_{10} , коефициента на еднородност $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ и

специфичната повърхност S . Увеличаването на стойността на U обикновено е съпроводено с намаляване на проницаемостта.

Други необходими показатели са обема на порите и плътността. Поради трудностите при вземане на ненарушени проби се прибегва до косвени методи (геофизични, радиоизотопни и др.).

Сложното измерване на порестостта в значителна степен се компенсира с наличието на добре разработени методи за определяне коефициента на филтрация k на несвързаните почви посредством опитни водочерпения, водоналивания и по косвени методи. Определянето на k заедно със зърнометричния състав и специфичната повърхност дава възможност да се избере най-подходящ флуид за инжектиране чрез пропиване.

За успеха на инжекционния процес е от съществено значение познаването на минералния и зърнометричния състав. Някои химични разтвори се кондензират или полимеризират при определено рН на средата.

Ефектът на дълбочинното заздравяване зависи и от текстурата на масива. В природни условия несвързаните почви и особено тези с алувиален произход са нееднородни и с голяма пространствена изменчивост, което затруднява инжектирането чрез пропиване. Понякога се налага съставът на флуида и налягането да се променят на много малки интервали, което е свързано със значителни технологични неудобства.

При проучванията и проектирането на инжекционното заздравяване на дисперсни почви трябва да се имат предвид възможностите на инжектирането с

маншетни тръби. Един от най-съществените въпроси при него е размерът на налягането $P_{кр}$, при което настъпва разрив в почвата. Този разрив се образува перпендикулярно на главното напрежение. За определяне на $P_{кр}$ са предложени формули, в които участва ъгълът на вътрешно триене на почвата, нейната обемна плътност, дълбочината на инжектиране и коефициента на Поасон (Воронкевич, Ed., 1981). Мерадажни обаче са опитите на място, при които се получава кривата “налягане-разход”. От нея се отчита $P_{кр}$, а инжекционното налягане се приема $0,9 P_{кр}$.

4. Проектиране на инжекционното заздравяване

Проектът за инжекционно заздравяване се изготвя въз основа на конструктивния проект на съоръжението и на резултатите от проучванията и изпитванията. Той трябва да съдържа данни за инженерногеоложките условия на инжектирания масив с особен акцент на неговата напуканост, порестост и окарстеност; за хидрогеоложките условия и по-специално за водопоглъщането, за скоростта на движение и състава на подземните води; за размерите на инжектираната зона; за дълбочината и диаметъра на сондажите; за размерите на интервалите на инжектиране; за последователността на сондирането и на нагнетяването; за вида, състава и консистенцията на инжекционните флуиди; за апаратурата; за методите за контрол; за провеждането на инжекционните работи във времето и проектносметна документация.

Едни от най-специфичните параметри на инжекционния процес са разстоянието между инжекционните сондажи, разхода на флуида, продължителността на нагнетяването и размера на налягането. За предварително определяне на тези параметри в литературата се предложени формули, които разглеждат флуидите като нютонови или бингамови течности (Адамович, 1980; Воронкевич, ред., 1981; Стефанов, ред., 1989). Бингамовите течности се различават от нютоновите с това, че за да могат да протекат е необходимо да се преодолее някакво съпротивление на срязване. Съществуващите формули се разделят на емпирични, полуемпирични и теоретично изведени. Те се използват при началните стадии на проектиране, но параметрите на инжекционния процес при големи обекти трябва да се определят с изпитвания в опитни участъци, които се изграждат на мястото на съоръжението.

Опитният участък се осъществява по специален проект и най-важното изискване към него е да обхване типичните условия на заздравявания масив. На него се извършва инжектиране по начин близък до производствената технология. Със сондажи се измерва радиуса на разпространение на флуида, определя се неговия разход, инжекционното налягане, времето за поддържането му, както и другите технологични параметри. Изпробват се различни по състав инжекционни флуиди, правят се опитни водонагнетявания и натоварвания и от сондажите се вземат ненарушени проби за определяне на якостта и водопроницаемостта на заздравената почва. Освен това тези проби дават възможност да се изучи по-пълно разпространението на флуида, степента на запълване на пукнатините, както и да се установи якостта на заздравената почва.

Проектирането на инжекционните флуиди, т.е. изборът на техния вид и състав трябва да се съобразява с:

- целта на инжекционното заздравяване;

- почвените условия;
- начина на инжектиране, време на инжектиране и последователност;
- реологически свойства на флуида и тяхното изменение с времето;
- съвместимост на съставките на флуида;
- време на свързване и втвърдяване на флуида;
- физически показатели след свързването;
- влияние на суфозията, разтварянето и синерезиса върху механичната устойчивост на инжектирания флуид и околния масив.

Преди започване на инжектирането трябва да се изяснят евентуалните обстоятелства, които биха наложили приемливи изменения в проектирания флуид. Те могат да бъдат предизвикани от необходимост от по-голямо количество флуид, от изменения в неговия състав и от нежелани деформации в масива.

При проектирането на флуида трябва да се имат предвид и следните инженерногеоложки и екологични условия:

- размер на празнините, които ще бъдат запълвани и размер на отделните съставки на флуида;
- проницаемост на средата и проникващата способност на флуида;
- химия на подземната вода, на водата на флуида и на почвата;
- опасност от намаляване на водното съдържание на флуида вследствие изсъхване;
- въздействие върху околната среда при приготвяне на флуида, транспортиране и инжектиране;
- температура на почвата и на флуида.

В проекта за инжектиране трябва да се дадат границите и средните стойности на параметрите на флуида при конкретните условия:

- плътност и реологични характеристики;
- якост на сръзване и на натиск след свързването;
- размер (d_{100} , d_{90} , d_{50}) на частиците на цимента, на свързващото вещество и на другите твърди компоненти;
- водоотделяне;
- за силикатните гелове – силикатен модул, пропорция на втвърдителя, ако се използва такъв;

При избора на флуид се вземат под внимание следните характеристики:

- реологични свойства;
- време на свързване;
- токсичност;
- якост на флуида след свързване и на заздравената почва;
- устойчивост във времето на флуида и на заздравената почва;
- проницаемост и водоплътност на заздравената почва.

На таблица 14.2. са посочени основните показатели на флуида преди и след свързването.

Таблица 14.2. Показатели, определящи свойствата на флуида

	разтвори	суспензии	Грубозърнести суспензии и пасти
Преди свързването	времесвързване, плътност, рН, повърхностно напрежение, време на съществуване на гелообразното състояние, вискозитет	времесвързване, плътност, рН, зърнометричен състав, време за втвърдяване, реологични показатели, разслояване, водоотделяне	времесвързване, плътност, рН, зърнометричен състав, време за втвърдяване, реологични показатели, разслояване, водоотделяне
След свързването	втвърдяване след свързването, крайна якост, деформируемост, трайност, свиване, разширение, плътност, якост на срязване, синерезис	втвърдяване след свързването, крайна якост, деформируемост, трайност, свиване, разширение, плътност, якост на срязване	крайна якост, деформируемост, трайност, свиване, разширение, плътност, якост на срязване