

12. ЗАЗДРАВЯВАНЕ В ДЪЛБОЧИНА. ВИДОВЕ МЕТОДИ. СЪЩНОСТ НА ИНЖЕКТИРАНЕТО ЧРЕЗ ПРОПИВАНЕ И ХИДРОРАЗРИВИ

1. Уводни бележки

Характерно за съвременното строителство е изграждането на все по-отговорни съоръжения и в повечето случаи при тежки геоложки условия (висока сеизмичност, малка товарносимост на почвата, неблагоприятни филтрационни качества на средата и др.).

В хидротехническото строителство през миналия век бяха построени високи бетонови язовирни стени, при които една от най-трудните задачи бе осигуряване на надеждността на земната основа, която се намира в сложно напрегнато състояние и под действие на големи филтрационни градиенти. Редица земнонаситни и каменнонаситни стени са изградени върху несвързани кватернерни наслаги с голяма дебелина и твърде неблагоприятна филтрационна характеристика. Както при бетоновите, така и при земнонаситните стени методите за заздравяване в дълбочина (инжекционни и хидроструйни) са се утвърдили като сигурно средство за предварителна подготовка на земната основа, осигуряваща нейната водоплътност и носеща способност. Доказателство за това е фактът, че през последните десетилетия при всички по-големи язовирни стени бяха използвани такива методи.

През втората половина на ХХ век се разшири строителството на метрополитени и транспортни тунели с голям диаметър, което е съпроводено с решаване на трудни задачи свързани с обезпечаване на устойчивостта на съществуващите на повърхността съоръжения, с ограничаване на водопритока (някои от тунелите се прокарани под морето, например тунела под Ламанш, тунелите между острови в Япония и др.), с втечняването на пясъци и др. Тези задачи са успешно решавани с методи за дълбочинно заздравяване (посредством инжектиране, замразяване и хидроструйно смесване). Без тези методи изграждането на много от подземните съоръжения би било невъзможно.

Изчерпването на полезните изкопаеми в повърхностния слой на земната кора налага да се използват дълбоки минни изработки, които се прокарат през пластове с неблагоприятни якостни и филтрационни свойства. Такъв ще бъде случаят при евентуалната експлоатация на Добруджанското въглищно находище. И тук методите за дълбочинно инжекционно заздравяване, за замразяване и др. са неделима част от всички съвременни миннопробивни технологии.

Друга област, където методите за заздравяване в дълбочина са се утвърдили в практиката е фундирането. Опитът с изграждането на десетки сгради показва, че тези методи при еднаква сигурност са конкурентно способни в сравнение с пилотното фундиране, като изменят коренно вида на трудоемкия “нулев” цикъл. Освен това методите за инжекционно, хидроструйно и други видове заздравяване в повечето

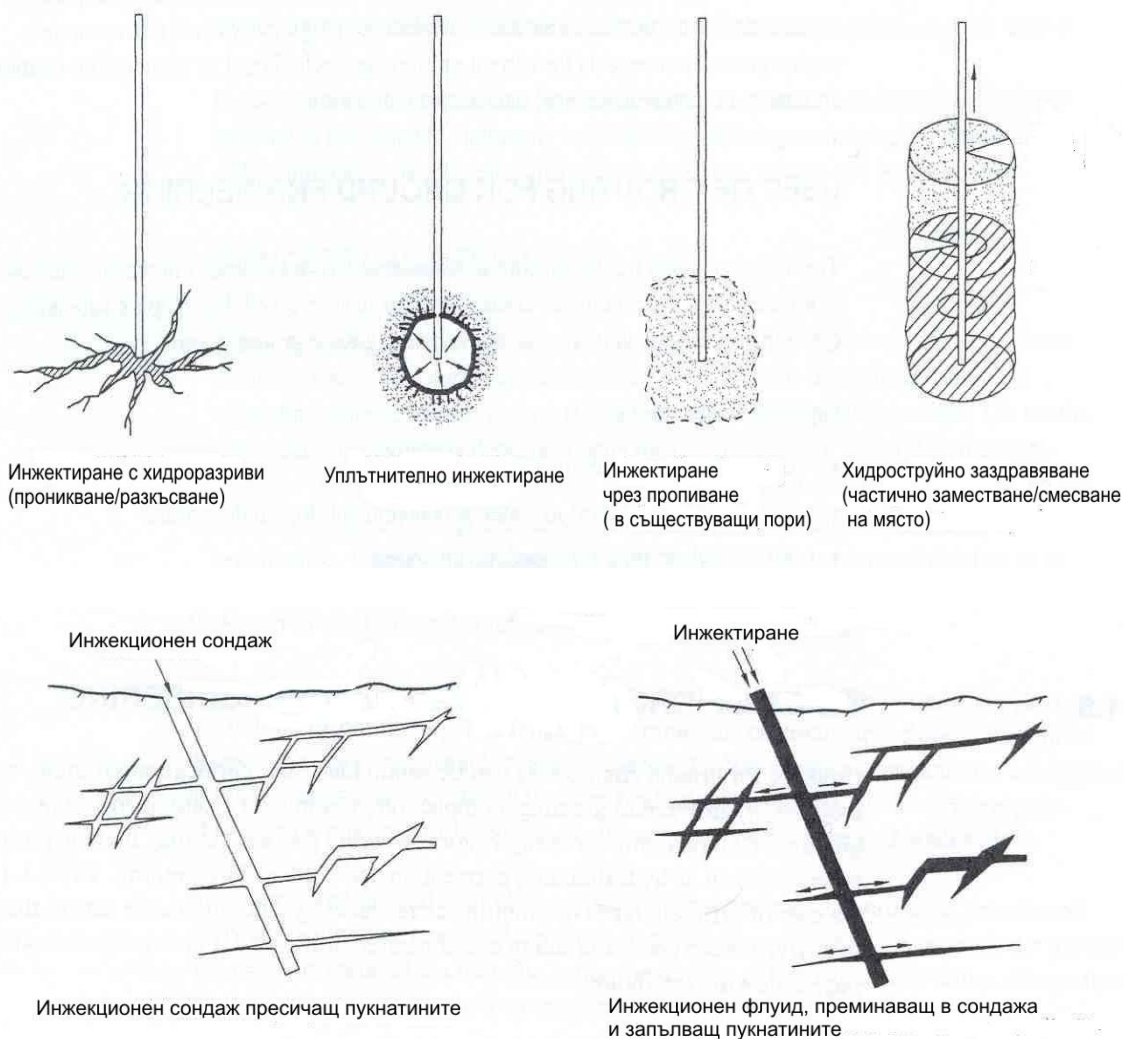
случаи са единственото ефикасно решение за укрепване на земната основа под съществуващи сгради.

През последните десетилетия заздравяването чрез дълбочинно смесване с цимент и вар се прилага при строителството в слаби водонаситени глинести почви. С негова помощ бяха отвоювани терени от морето за изграждане на аеропорти и пристанищни съоръжения.

По-нататък в настоящата глава, след като бъдат представени накратко утвърдените в практиката методи за дълбочинно заздравяване, ще бъде описана същността на инжектирането чрез пропиване и хидроразриви.

2. Видове методи

Според издание на британската The Construction Industry Research and Information Association - CIRIA (1997) в практиката се прилагат следните видове инжекционни методи (фиг.12.1.):



Фиг. 12.1. Принципна схема на инжекционните методи

- *инжектиране чрез пропиване на скала (permeation rock grouting)* – състои се в запълване на пукнатините и празнините в скалата, без да се образуват нови пукнатини и без да се предизвикват други нарушения;

- *инжектиране чрез пропиване на дисперсна почва (permeation grouting)* – изразява се в запълване на порите и празнините между зърната или частиците със суспензии и разтвори без да се разрушава естествената структура на дисперсната почва;

И при двата метода след втвърдяване или стъстяване на суспензиите или разтворите се повишава якостта и плътността на средата. Запазването на нейната естествена структура и избягването на възникването на нови пукнатини се постига чрез инжектиране на флуидите със сравнително малко налягане;

- *инжектиране чрез хидроразриви (hydrofracture grouting)* – постига се чрез предизвикване на разриви в дисперсната почва или в пукнатините на скалата чрез нагнетяване на флуид под високо налягане. Прилага се за уплътняване и заздравяване на почвата, както и за запълване на пори и празнини, до които по друг начин не може да се достигне. При дисперсна почва се използва инжектиране с маншетни тръби (tube a manchette), при което хидроразривите настъпват по повърхнините на наслояване. При скалите хидроразривите предизвикват отваряне на пукнатините, последвано от тяхното уплътняване и заякчаване след втвърдяване на цимента (*claquage grouting*). Освен за заздравяване и уплътняване, методът се използва още за контролирано повдигане на съоръжения или на част от тях с цел избягване на неравномерно слягане.

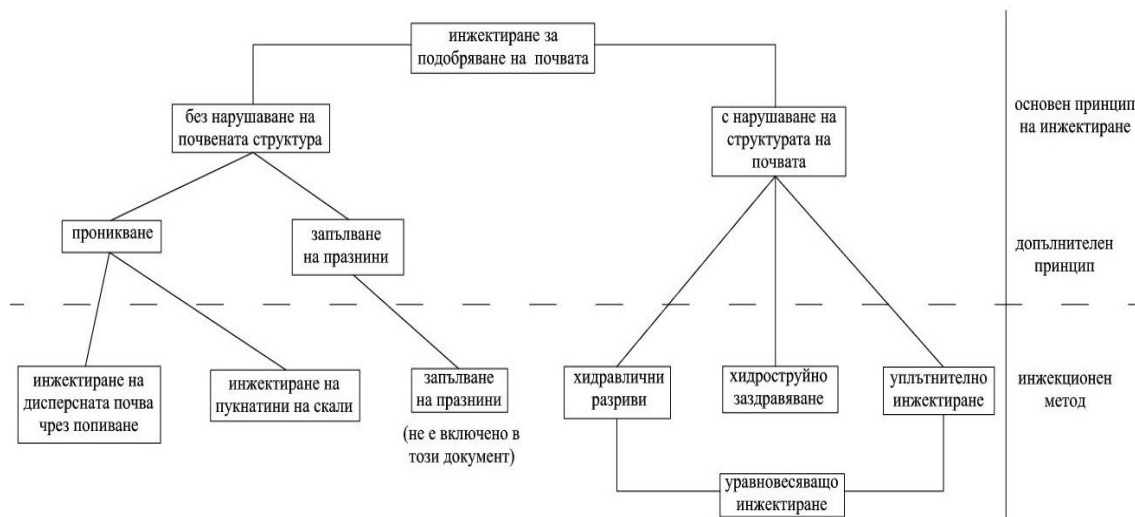
- *уплътнително инжектиране на дисперсна почва (contraction grouting)* – под голямо налягане в целия херметизиран сондаж или в интервали от него се нагнетява гъста суспензия, която уплътнява околната почва. Тъй като уплътняването е по-голямо в зоните, където почвата е по-слаба, след втвърдяването на суспензията се получава колона с неравна повърхност, която чрез триенето с уплътнената около нея почва, увеличава носещата способност на основата. Прилаганите у нас инжекционни пилоти с малък диаметър използват елементи на уплътнителното инжектиране. Главната разлика е, че те се армират със стоманен прът, който се поставя в сондажа преди да се е втвърдила суспензията;

- *хидроструйно заздравяване (jet grouting)* – използва се режещия ефект на тънка струя от циментова суспензия, която под високо налягане разрушава естествената дисперсна почва и образува пластична циментопочвена смес, която се втвърдява с течение на времето;

- *уравновесяващо инжектиране (compensation grouting)* – прилага се някой от изброените по-горе инжекционни методи с цел да се укрепи масива от дисперсна почва между съществуващо на повърхността съоръжение и прокарван тунел (например галерия за метро), за да се избегнат премествания на почвата, които могат да засегнат това съоръжение.

Описаните методи според начина на проникване на инжекционния флуид в дисперсната почва и скалата могат да се разделят на две групи (фиг. 12.2.):

- Методи, при които инжектирането не нарушава съществено естествената структура;
- Методи, при които инжектирането предизвиква нарушаване на структурата, отваряне на пукнатини или заместване на част от естествената почва.



Фиг. 12.2. Схематична подялба на методите според структурната промяна в почвата (CIRIA, 1997).

Освен инжекционните методи към дълбочинното заздравяване се отнасят още:

- *заздравяване чрез дълбочинно механично смесване* – със помощта на специален миксер, поставен в края на сондажния лост, слабата водонаситена почва се смесва с цимент или вар, като се образува колона от пластична циментопочва.

- *временно заздравяване на почвата чрез замразяване* – преди прокарване на подземна изработка във водонаситена дисперсна почва около бъдещото светло сечение на изработката се изгражда ледопочвена завеса. Това става посредством циркулиране на втечен газ или преохладен разтвор в тръби, поставени в замразителни сондажи. Ледопочвената завеса служи като противифилтрационна преграда и укрепва масива до изграждане на постоянната облицовка.

- *заздравяване чрез изпичане на почвата около сондажа* – в херметизиран сондаж се спуска термоустойчива тръба, завършваща с дюза, от която се подава горлива течност или газ, както и въздух под налягане. Горивото се запалва и тръбата с дюзата се изтегля бавно към повърхността. Горенето се поддържа с подавания въздух и постепенно се изпича околната почва.

3. Същност на инжектирането чрез пропиване и хидроразриви

Инжектирането по тези методи се осъществява в приспособени за целта сондажи, помпи за високо налягане и разтворобъркачки. Неговият ефект зависи от разпространението на нагнетяваните флуиди и от способността им да се втвърдяват или сгъстяват с течение на времето.

Двата разглеждани метода се различават според начина на проникване на флуида в околната среда - чрез постепенно пропиване при запазване на естествената структура или чрез хидравлични разриви, съпроводени с по-голямо или по-малко разрушаване на тази структура.

Според химическата природа на нагнетявания флуид се различават следните разновидности: *циментация*, при която се използва суспензия на портландцимент; *силикатизация* – работи се с разтвор на водно стъкло; *смолизация* – с разтвор на синтетични полимери и емулсии на природни органични съединения; *глинизация*, *битумизация* и др. От всички тези методи най-широко приложение има циментацията, която се е утвърдила не само с технико-икономическите, но и с екологическите си преимущества.

Изборът на инжекционен флуид зависи от почвените условия и от задачата, която трябва да се реши. Ако се търси якост, най-подходяща е циментацията. Например, грубозърнест несвързан седимент посредством инжектиране на цимент може да придобие якостта на бетона. Ако е необходимо да се постигне само водонепроницаемост може да се използва глинизацията.

Преди провеждане на инжекционните работи се извършва инженерногеоложко проучване, с което се изяснява вида, местоположението и дебелината на пласта, който се нуждае от инжектиране. Ако задачата е да се намали проницаемостта на дисперсната почва, трябва да се съберат данни за нейната порестост, хидравлични параметри и химичен състав. При необходимост да се увеличат якостта и носещата способност се провеждат пенетрометрични и пресиометрични опити, както и лабораторни изпитвания за оценка на якостно-деформационните свойства.

Въпреки че е било използвано най-напред при несвързани почви (вж. гл. 2), инжекционното заздравяване и уплътняване е получило впоследствие по-голямо приложение при напукани скали. Тук главен негов консуматор е хидротехническото строителство, където то се използва за противифилтрационна завеса на язовирни стени, за увеличаване на монолитността и водонепроницаемостта на бетонни и каменни съоръжения, за запълване и уплътняване на пространството зад тунелни облицовки и др.

Благодарение на усъвършенствуването на инжектирането с маншетни тръби, през последните десетилетия то се прилага широко за противифилтрационни завеси и ядра в язовирното строителство, при прокарване на метрополитени и други подземни съоръжения, както и за укрепване на земната основа на съществуващите над тях сгради.

Инжектирането чрез пропиване се реализира със сондажи, чийто диаметър при скалите е между 35 и 75 mm, а при дисперсните почви – между 65 и 130 mm. Сондирането най-често е въртливо – ударно. Видът и габаритите на сондата зависят от мястото, от където се извършва инжектирането: от повърхността, от забоя на подземна изработка, от мазе на сграда и т.н. В зависимост от това се използват различни машини, които варират от големи проучвателни сонди до сонди с малки размери. Разстоянието между инжекционните интервали в сондажа при напукани скали е обикновено от 3 до 5 m и според посоката на редуването на тези интервали се различава инжектиране отгоре-надолу и отдолу-нагоре.

Първият начин се прилага по-често в практиката. При него се пробива най-горния интервал от сондажа, след това сондажната колона се изтегля с няколко метра и през нея се извършва инжектиране. Изчаква се втвърдяване на флуида, прави се повторно сондиране и се инжектира следващия надолу интервал. Този начин дава възможност да се регулира добре инжекционния процес и да се проверява неговия ефект.

При втория начин най-напред се пробива целия сондаж и след това започва инжектирането от долния му край към повърхността. Този начин е по-производителен, тъй като се разделят сондирането и на инжектирането и се свеждат до минимум престоите. Главният проблем е тампонирането (ограничаването) на инжектираната зона, което трябва да се осигурява по протежение на целия сондаж. Ако скалата е много напукана инжекционният флуид може да мине над тампона и да го циментира.

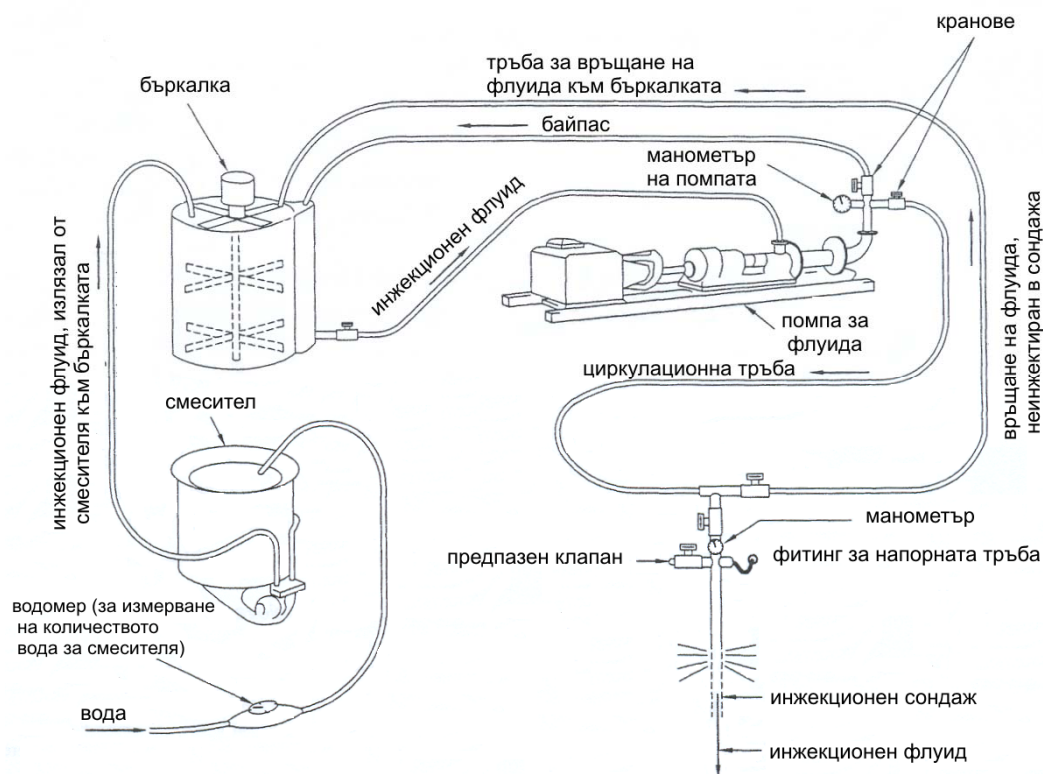
При неголяма дебелина на пласта и равномерна напуканост е възможно инжектирането да се прави на целия пласт чрез херметизиран сондаж, което увеличава производителността.

Според начина на подаване на инжекционният флуид в сондажа се различава затворено, циркулационно и полуциркулационно нагнетяване. Затвореното нагнетяване се използва при скали с открити пукнатини със средни и големи размери или при карстови празнини, осигуряващи бързо поглъщане на инжектирания флуид т.е. без да се връща в разтворобъркачката. При този начин организацията на работата е опростена и поглъщането на флуида се регулира с налягането на помпата.

Циркулационно нагнетяване се прави обикновено при фионапукани скали, когато е необходимо продължително инжектиране при постоянно налягане и съществуват условия за разслояване на флуида. Необходими са сондажи с по-голям диаметър (в сондажа се спуска тръба за разтвора), сложно оборудване и добра организация на работата.

Полуциркулационното нагнетяване се отличава от циркулационното с отсъствие на циментационна тръба, а от затвореното – с наличие на обратен тръбопровод, така че то е опит за обединяване на преимуществата на двете схеми.

На фиг. 12.3. е показана типична схема за съвременно инжектиране със циментова суспензия.



Фиг. 12.3. Схема на съвременно инжектиране (по CIRIA, 1997),

В миналото несвързаните почви се инжектираха само чрез пропиване по същата технологична схема, както при скалите. Поради това методът беше приложим само при грубозърнести почви. Податливостта на почвата към инжектиране на циментова суспензия бе оценявана със следните изисквания:

$$\frac{D_{15}}{D_{85}} > 24 \text{ или } \frac{D_{10}}{D_{95}} > 6$$

където:

D_{15} и D_{10} са размерите на почвените частици, по малко от които се съдържат 15 и 10%,

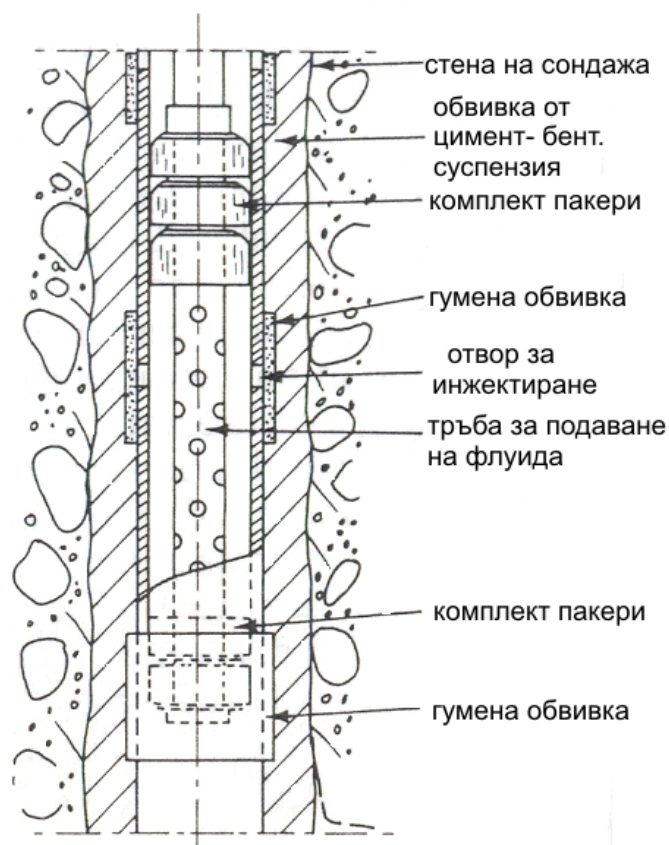
D_{85} и D_{95} – същото за циментовите частици

Според Адамович (1980) циментацията чрез пропиване е приложима при несвързани почви с k_f от $0,14 \cdot 10^{-1}$ до $0,35 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Понастоящем инжектиране чрез пропиване на дребнозърнести и финозърнести дисперсни почви се прави предимно с разтвори на полимери и водно стъкло. Пример в това отношение е силикатизацията на льоса.

Дълбочинното заздравяване на несвързаните почви навлезе широко в практиката благодарение на изобретяването на инжектирането с маншетни тръби. Методът се изпълнява по следния начин. По цялата инжектирана дълбочина се прави сондаж с глинест разтвор. В сондажа се

спуска металическа или пластмасова тръба с диаметър между 1” и 1”1/2, която има отвори през 33 или 50 cm, които са закрити с гумени маншети (фиг.12.4.). Разстоянието между стените на сондажа и тръбата се запълва с циментобентонитов разтвор, който се подава през отворите в долния край. Циментобентонитовата обвивка има за задача да попречи на инжектирания разтвор да прониква покрай тръбата, а да се насочва само в зоните ограничени с маншети. При инжектирането, перфорираните зони се ограничават с разширяващ се пакер.



Фиг. 12.4. Детайл от маншетна тръба (по Bell, 1993)