

《基础工程》

第16教学单元

- 第5章 特殊土地基
(教材第9章)
- 第6章 地基基础抗震
(教材第10章)
- *地基基础方面的几项新技术

第5章 特殊土地基

5.1 概述

特殊土定义：由于生成时不同的地理环境、气候条件、地质成因以及次生变化等原因，使一些土类具有特殊的成分、结构和工程性质。通常把这些具有特殊工程性质的土类称为特殊土。当其作为建筑物地基时，如果不注意这些特性，可能引起事故。特殊土种类很多，大部分都具有地区特点，故又有区域性特殊土之称。

5.2 湿陷性黄土地基

- **黄土和湿陷性黄土的概念(定义)**
- **黄土**是一种在第四纪时期形成的、颗粒组成以粉粒（0.075~0.005mm）为主的黄色或褐黄色粉状土。它含有大量的碳酸盐类，**往往具有肉眼可见的大孔隙**。以风力搬运堆积，又未经次生扰动，不具层理的称为原生黄土，原生黄土具有风沉积的全部特征。黄土沉积后，经后期其它地质作用改造再沉积的类似黄土的沉积物，称为次生黄土，它常具有层理或砾石夹层。

5.2 湿陷性黄土地基

湿陷性黄土地基的定义

- **湿陷性黄土地基的定义：** 凡天然黄土在一定压力作用下，受水浸湿后，土的结构迅速破坏，发生显著的湿陷变形，强度也随之降低的，称为湿陷性黄土。
- 湿陷性黄土分为**自重湿陷性**和**非自重湿陷性**两种。
- *黄土受水浸湿后，在上覆土层**自重应力**作用下发生湿陷的称**自重湿陷性黄土**；
- *若在自重应力作用下不发生湿陷，而需在**自重和外荷**共同作用下才发生湿陷的称为**非自重湿陷性黄土**。



我国西北部黄土高原 的地形地貌

特性

- 湿陷性是黄土最主要的工程特性。
- 黄土因沉积的地质年代不同而在性质上有很大的差别。黄土形成年代越久，大孔结构退化，土质越趋密实，强度增高，压缩性减小，湿陷性减弱，甚至不具有湿陷性；反之形成年代越近，黄土湿陷特性越明显。

5.2.2 湿陷 原因及影响因素：

黄土湿陷的原因通常认为是由于黄土的**结构特性**和**胶结物质**的水理特性决定的。

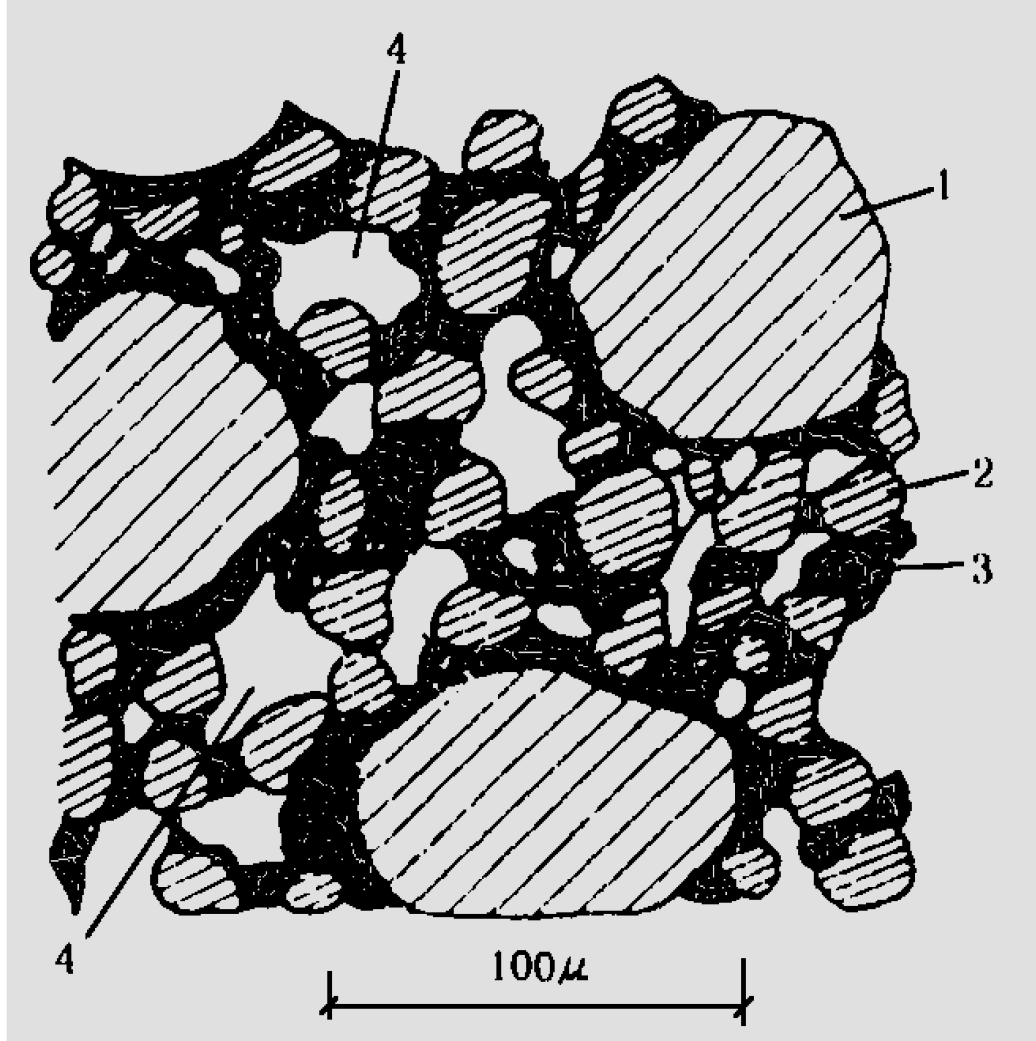


图5.1 黄土结构示意图
1—砂粒； 2—粗粉粒； 3—胶结物； 4—大孔隙

5.2.3 湿陷性黄土地基的评价

- 湿陷性黄土地基的评价主要包括湿陷性评价、承载力评价和地基变形评价。（“湿陷”本身即是变形的一种）
- 黄土湿陷性评价是指黄土湿陷性的判定、湿陷类型的划分和地基湿陷等级的确定。
- 1. 湿陷性的判定。黄土是否具有湿陷性，以及湿陷性的强弱程度如何，应该用一个数值指标来判定。计算公式如下：

$$\delta_s = \frac{h_p - h_p'}{h_0} \quad (5-1)$$

- 式中 h_p ——保持天然的湿度和结构的土样，加压至一定压力时，下沉稳定后的高度(cm)；
- h_p' ——上述加压稳定后的土样，在浸水作用下，下沉稳定后的高度(cm)；
- h_0 ——土样的原始高度(cm)。
- 按上式计算的湿陷系数对黄土湿陷性判定如下：
 - $\delta_s < 0.015$ 非湿陷性黄土
 - $\delta_s \geq 0.015$ 湿陷性黄土

- 测定湿陷系数的压力，应自基础底面算起，若为初步勘察时，自地面下**1.5m**起算，**10m**以内的土层应取**200kPa**；**10m**以下至非湿陷性土层顶面，应取用其上覆土的饱和自重压力（当大于尽**300kPa**时，仍取**300kPa**）。
- 当基底压力大于**300kPa**时，宜按实际压力测定的湿陷系数值判定黄土湿陷性。

2. 湿陷类型和湿陷等级

- (1)建筑场地的湿陷类型的划分
- 建筑场地的湿陷类型，应按实测自重湿陷量或按室内压缩试验累计的计算自重湿陷量判定。
- 实测自重湿陷量 Δ_{zs} ，应根据现场试坑浸水试验确定。
- 计算自重湿陷量是按室内压缩试验测定不同深度的土样在饱和自重压力下的湿陷系数 δ_{zsi} ，计算的自重湿陷量。其计算公式如下：

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (5-2)$$

(3) 地基湿陷等级判定

- 湿陷性黄土地基的湿陷等级，应按基底下各土层累计的总湿陷和计算自重湿陷性的大小等因素按表5.2确定。

• 表5.2 湿陷性黄土地基地基湿陷等级

湿陷类型 计算自重湿陷量 总湿陷量 (cm)	非自重湿陷性场地		自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 7\text{cm}$	$7\text{cm} < \Delta_{zs} \leq 35\text{cm}$	$\Delta_{zs} > 35\text{cm}$	
$\Delta s \leq 30$	I (轻微)	II (中等)	—	
$30 < \Delta s \leq 60$	II (中等)	II或III	III (严重)	
$\Delta s > 60$	—	III (严重)	IV (很严重)	

5.2.4 湿陷性黄土地基的工程措施

- 在湿陷性黄土地区进行建设，地基应满足承载力、湿陷变形、压缩变形和稳定性的要求。针对黄土地基湿陷性这个特点和工程要求，采取以地基处理为主的综合措施，以防止地基湿陷，保证建筑物安全和正常使用，这些措施有：
 - （1）地基处理措施
- 其目的在于破坏湿陷黄土的大孔结构，以便全部或部分消除地基的湿陷性。

湿陷性黄土地基处理方法主要有以下几种:

- 垫层法
- 夯实法
- 挤密法
- 桩基
- 预浸水法
- 化学加固(单液硅化或碱液加固法)

- **（2）防水措施**

- 其目的是消除黄土发生湿陷变形的的外在条件。基本防水措施要求在建筑布置、场地排水、地面排水、散水等方面，防止雨水或生产生活用水渗入浸湿地基。严格防水措施要求对重要建筑物场地和高级别湿陷地基，在检漏防水措施基础上，对防水地面、排水沟、检漏管沟和井等设施提高设计标准。

• (3) 结构措施

- 主要的结构措施包括：
- ①选择适应不均匀沉降的结构类型和适宜的基础类型，建筑体型力求简单。
- ②加强建筑物的整体刚度。对砖石承重的多层房屋控制长高比；设置沉降缝减少沉降差；增设横墙、增设钢筋混凝土圈梁、增大基础刚度等。
- ③局部加强构件和砌体强度。
- ④预留适应沉降的净空。

5.3 膨胀土地基

5.3.1 膨胀土的特点

- **1. 膨胀土的特点**
- **膨胀土的定义：**膨胀土应是土中粘粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的粘性土。
- **膨胀土的分布范围：**膨胀土分布范围很广,据现有的资料，广西、云南、湖北、安徽、四川、河南、山东等**20**多个省、自治区、市均有膨胀土。国外也一样，如美国，**50**个州中有膨胀土的占**40**个州，此外在印度、澳大利亚、南美洲、非洲和中东广大地区，也都有不同程度的分布。目前膨胀土的工程问题，已成为世界性的研究课题。

- **2. 膨胀土的危害：**
- 使大量的轻型房屋发生开裂、倾斜；
- 公路路基发生破坏，堤岸、路堑产生滑坡；
- 在我国，据不完全统计，在膨胀土地区修建的各类工业与民用建筑物，因地基土胀缩变形而导致损坏或破坏的有**1000万m²**；我国过去修建的公路一般等级较低，膨胀土引起的工程问题不太突出，所以尚未引起广泛关注。然而，近年来由于高等级公路的兴建，在膨胀土地区新建的高等级公路，也出现了严重的病害，已引起了公路交通部门的重视。

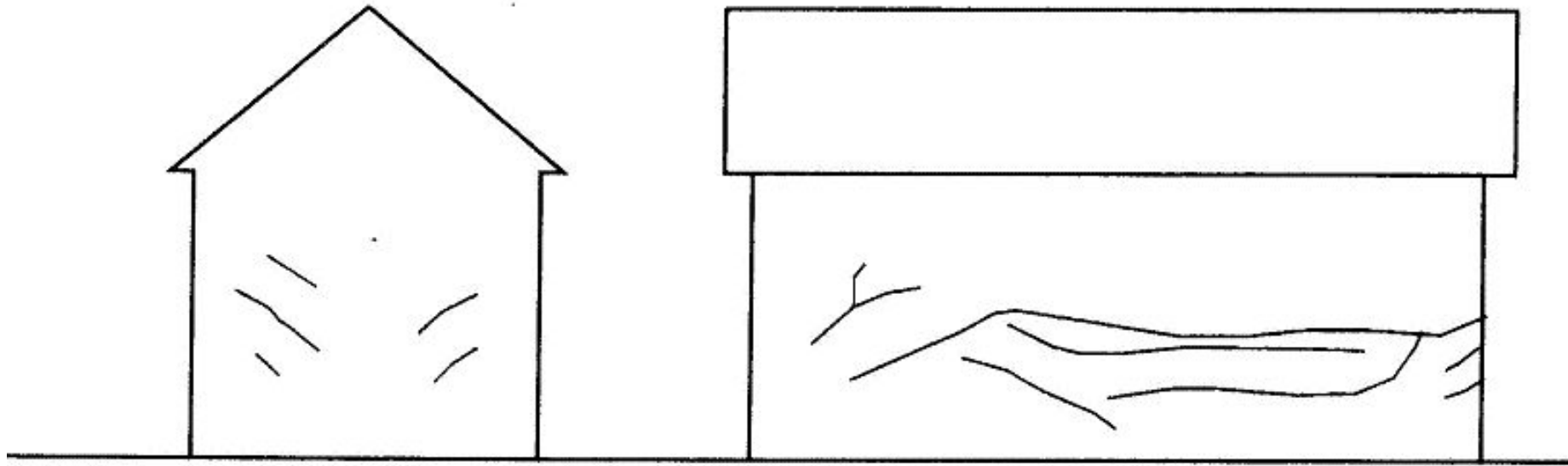


图5-3 膨胀土地基上房屋墙面的裂缝

(a) 山墙上的对称倒八字形缝；(b) 外纵墙的水平裂缝

南京——六合一级公路膨胀土路基处理；

卫岗（体育学院）某工程膨胀土地基

- **3. 影响膨胀土胀缩特性的主要因素**
- **内在机制：**
- 主要是指**矿物成分及微观结构**两方面。实验证明，膨胀土含大量的活性粘土矿物，如**蒙脱石和伊利石**。除了矿物成分因素外，这些矿物成分在空间上的联结状态也影响其胀缩性质。经对大量不同地点的膨胀土扫描电镜分析得知，面——面连接的叠聚体是膨胀土的一种普遍的结构形式，这种结构比团粒结构具有更大的吸水膨胀和失水吸缩的能力。
- **外界因素：**是水对膨胀土的作用，或者更确切地说，**水分的迁移是控制土胀、缩特性的关键外在因素**。因为只有土中存在着可能产生水分迁移的梯度和进行水分迁移的途径，才有可能引起土的膨胀或收缩。

• 5.3.3 膨胀土地基的工程措施

• 1. 设计措施

- ①总平面设计：场址应选择在排水通畅、地形条件简单、土质较均匀、胀缩性较弱以及坡度小于 14° 并有可能采用分级低挡土墙治理的地段，避开地裂、冲沟发育、地下水变化剧烈和可能发生浅层滑坡等地段。
- ②建筑设计：建筑体型力求简单，在地基土显著不均匀处、建筑平面转折处和高差较大处以及建筑结构类型不同部位，应设置沉降缝。

- 膨胀土地地区的民用建筑层数宜多于 1~2 层，以加大基底压力，防止膨胀变形。
- 加强隔水、排水措施。采用宽散水为主要防治措施，其宽度不小于1.2m。
- ③结构设计：加强建筑物的整体刚度。基础顶部和房屋顶层宜设置圈梁，其他层隔层设置或层层设置。
- 基础埋深应增大，且不应小于1m。当以基础埋深为主要防治措施时，基础埋深宜超过大气影响深度或通过变形验算确定。

- ④地基处理：膨胀土地基处理可采用换土、砂石垫层、土性改良等方法，也可改变基础形式，采用桩基、墩基等。
- 换土可采用非膨胀性的粘土、砂石或灰土等材料，换土厚度应通过变形计算确定，垫层宽度应大于基础宽度。土性改良可通过在膨胀土中掺入一定量的石灰来提高土的强度。当大气影响深度较深，膨胀土层较厚，选用地基加固或墩式基础施工有困难时，可选用桩基础穿越。

• 2. 施工措施

- 施工时宜采用分段快速作业法。进行开挖工程时，应在达到设计开挖标高以上**1.0m**处采取严格保护措施。防止长时间曝晒或浸泡。基坑（槽）挖土接近基底设计标高时，宜在上部预留**150~300mm**土层，待下一步工序开始前挖除。验槽后，应及时浇混凝土垫层或采取措施封闭坑底。封闭方法可选用喷（抹）**1:3**水泥砂浆或土工塑料膜覆盖。基础施工出地面后，基坑（槽）应及时分层回填并夯实。

- **5.4 其他特殊土地基**

位于四川盆地的红粘土





位于我国淮北的红黏
土分布区



岩溶和土洞



陕西土洞



第6章 地基基础的抗震

- § 6-1 地基基础的震害现象
- 一. 地基基础的震害现象
- （一）地基土的液化
- 地震时地基土的液化是指地面以下，一定深度范围内（一般指**20m**）的饱和粉细砂土、粉土层，在地震过程中出现软化、稀释、失去承载力而形成类似液体性状的现象。它使地面下沉，土坡滑坍，地基失效、失稳，天然地基和摩擦桩上的建筑物大量下沉、倾斜、水平位移等损害。

- 砂土液化的宏观标志是：
- 地表裂缝中喷水冒砂，地面下陷，建筑物产生巨大的沉降和严重倾斜，甚至失稳。
- 唐山地震时，液化区喷水高度达8m,厂房沉降达1m。



地震引起砂土液化(台中港1-4码头)

阪神大地震中地基液化

神户码头：
地震引起大面积砂土地基液化后产生很大的侧向变形和沉降，大量的建筑物倒塌或遭到严重损伤



液化：松砂地基在振动荷载作用下丧失强度变成流动状态的一种现象

- **（二）地基与基础的震沉，边坡的滑坍以及地裂**
- **1、软弱粘性土和松散砂土地基，在地震作用下，结构被扰动，强度降低，产生附加的沉陷（土层的液化也会引起地基的沉陷），且往往是不均匀的沉陷，使建筑物遭到破坏；**
- **2、陡峻山区土坡，层理倾斜或有软弱夹层等不稳定的边坡、岸坡等，在地震时由于附加水平力的作用或土层强度的降低而发生滑动（有时规模较大），会导致修筑在其上或邻近的建筑物遭到损坏；**

萨尔瓦多地震引发泥石流1200多人遇难





- **（三）基础的其他震害**

- 在较大的地震作用下，基础也常因其本身强度、稳定性不足抗衡附加的地震作用力而发生**断裂、折损，倾斜**等损坏。刚性扩大基础如埋置深度较浅时，会在地震水平力作用下发生**移动或倾覆**。
- 基础、承台与墩、台身联结处也是抗震的薄弱处，由于断面改变、应力集中使混凝土发生断裂。

二 地基液化可能性判断

条件：饱和，松散，细砂或粉土

粘土有粘聚力 C ，不易悬浮

•对液化机理研究后  更广的条件：地震条件，(地质条件)，埋藏条件，土质条件等

- 液化判别方法很多.....,
- 研究在继续-----

- 现场测试法,标贯判别法,剪切波速判别,理论计算判别,其它新的方法

规范规定:

- 《建筑抗震设计规范》规定：饱和砂土和饱和粉土的液化判别和地基处理，6度时，一般情况下可不进行判别和处理，但对液化沉陷敏感的乙类建筑可按7度的要求进行判别和处理，7~9度时，乙类建筑可按本地区抗震设防烈度的要求进行判别和处理。
- 存在饱和砂土和饱和粉土的地基，除6度设防外，应进行液化判别；存在液化土层的地基，应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的措施。

2 规范法判断地基液化

分两步:

(1)初判

* Q_3 (第四纪晚更新世10000年)以前,非液化土

* 粉土中粘粒含量 $>10\sim 16\%$, 7~9度不液化

* 非液化土层 d_u 很厚,地下水位 d_w 很深(一定值)
不必进一步判断

例: $d_u > 6\sim 9\text{m}$, $d_w > 5\sim 8\text{m}$

2 规范法判断地基液化

(2)复判

在以上初判的基础上,用标准贯入击数 $N_{63.5}$ 判别
(反映砂土密实度)

前题条件:饱和,地下水以下,砂土或粉土

N_{cr} (液化判别标准贯入击数) 在15m深度以内:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}}$$

d_s —标贯点深度 (m); d_w —地下水深度(m);

ρ_c —粘粒含量百分率, 当小于3或为砂土时, 应采用3;

N_0 —标贯击数基准值

N_0 (基准标贯击数)

烈度 远近	7	8	9
近震	6	10	16
远震	8	12	/

- 当采用桩基或埋深大于5m的基础时，尚应判别15~20m范围内土的液化。15~20m范围内，液化判别标准贯入击数临界值可按下式计算：

$$N_{cr} = N_0(2.4 - 0.1d_s)\sqrt{3/\rho_c} \quad (15 \leq d_s \leq 20)$$

- 式中：符号意义同前

• 实测 N (未经杆长修正) $< N_{cr}$,应判为液化土。

• 存在液化土层的地基，还应进一步探明液化土层的深度和厚度，并根据规范公式计算液化指数，划分等级，选择抗液化措施。

§ 6-2 地基基础的抗震设计

- 一. 一般原则
- 1、选择有利的建筑场地
- -----避开不利
- 2、加强基础和上部结构的整体性
- 3、加强基础的防震性能
- (1) 合理加大基础的埋置深度
- (2) 正确选择基础类型

2. 天然地基的抗震验算

- 下列建筑可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算：
 - (1)砌体房屋；
 - (2)地基主要受力层范围内不存在软弱粘性土层的下列建筑：
 - 1)一般的单层厂房；
 - 2)不超过8层而且高度在25m以下的一般民用框架房屋；
 - 3)基础荷载与2)相当的多层框架厂房；
 - (3)规范规定可不进行上部结构抗震验算的建筑。

- 验算地震作用下天然地基的竖向承载力时,按地震作用效应标准组合的基础底面平均压力和边缘最大压力应符合下列各式要求:

$$p \leq f_{aE}$$

$$P_{\max} \leq 1.2 f_{aE}$$

•*高宽比大于4的高层建筑,在地震作用下基础底面不宜出现拉应力;其他建筑,基础底面与地基土之间零应力区面积不应超过基础底面面积的15%.

2. 天然地基的抗震验算

动荷载和抗震承载力

抗震承载力（公式右边）

$$f_{aE} = \zeta_a f_a$$

式中 f_{aE} - 调整后的地基抗震承载力;

ζ_a - 地基抗震承载力调整系数;

f_a - 深宽修正后的地基承载力特征值.

由于特殊荷载安全系数降低
在动荷载作用下, 动强度偏高

- § 6-3 地基基础抗震措施
- P370 自学：重要，但书上内容易懂，但在实际工程中合理应用并不容易。
- (1)对软弱土地基
- (2)不均匀地基：
- (3)可液化地基

7 地基基础新技术简介

• 7.1 桩基新技术

7.1.1 灌注桩后注浆技术

(1) 主要技术内容

在钢筋笼上预埋注浆管和注浆阀，在成桩后一定时间内实施桩侧和桩底后注浆，一是加固桩底沉渣和桩侧泥皮；二是对桩底和桩侧一定范围的土体通过渗入(粗粒土)、劈裂(细粒土)和压密(非饱和松散土)注浆起到加固作用，从而增强桩侧阻力和桩端阻力，提高单桩承载力，减小沉降。在优化工艺参数的条件下，可使单桩承载力提高40%~120%，粗粒土增幅高于细粒土，软土增幅最小，桩侧桩底复式注浆高于桩底注浆；桩基沉降减小30%左右。

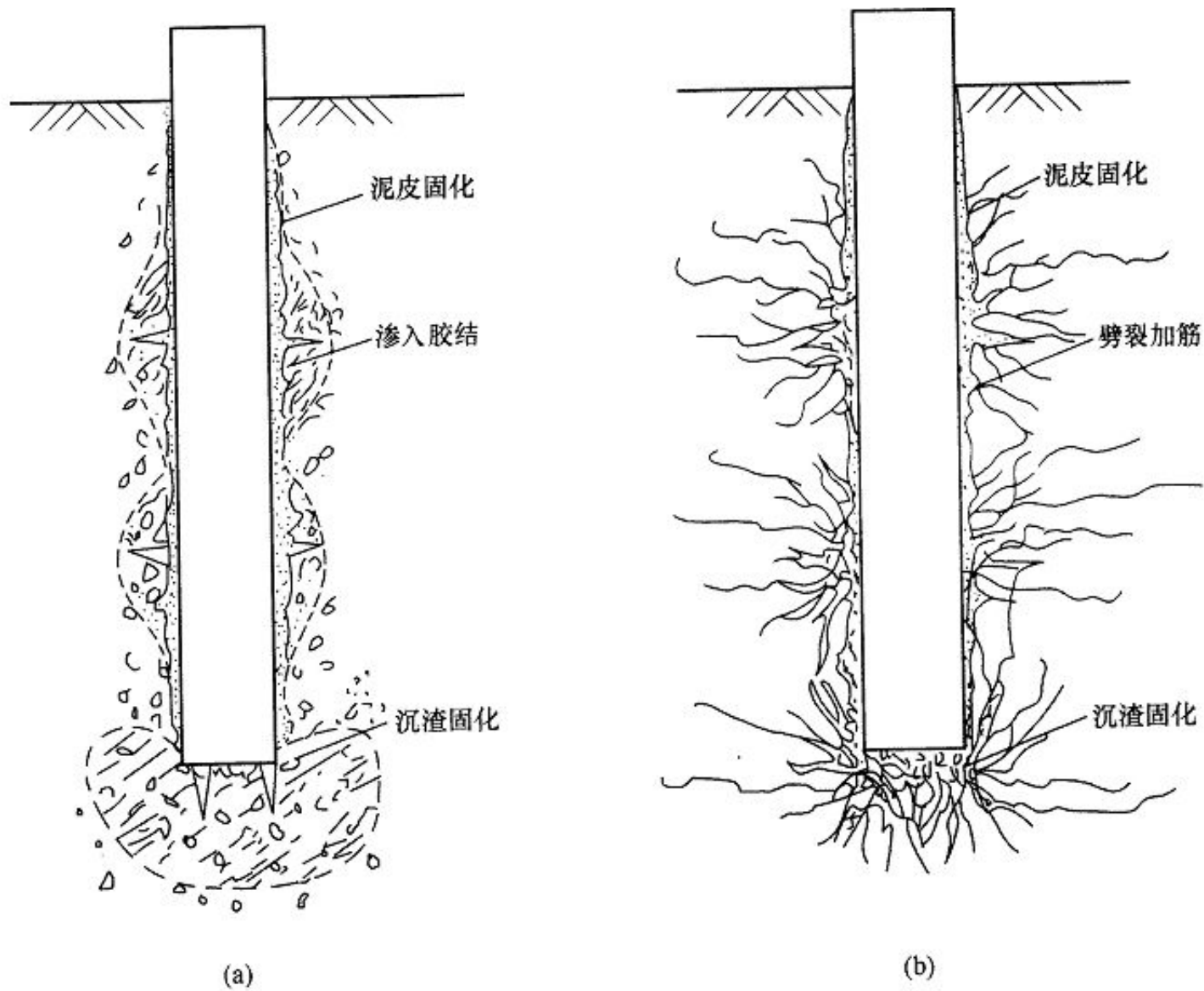
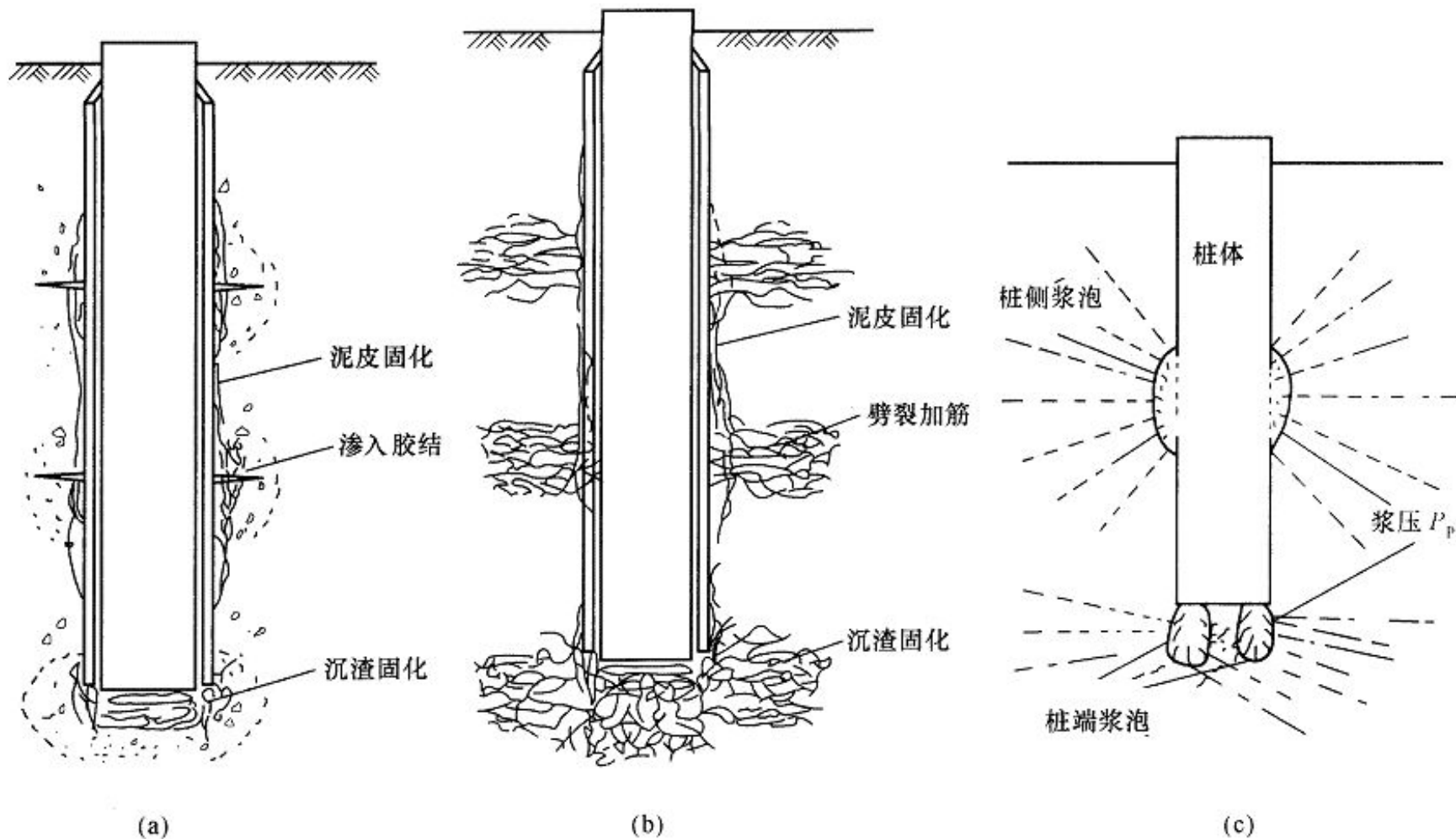


图 6-3 桩端及桩侧后注浆加固效应
 (a)非密实砾石、中粗砂；(b)黏性土、粉土、粉细砂



土体注浆的三种模式

- (a) 渗入性注浆的充填胶结效应(非密实砾石、中粗砂);
 (b) 压密注浆加固作用; (c) 劈裂注浆的加筋效应(黏性土、粉土、粉细砂)

• (2)技术指标

根据地层性质、桩长、承载力增幅和桩的使用功能(抗压、抗拔)等因素,灌注桩后注浆可采用桩底注浆、桩侧注浆、桩侧桩底复式注浆。主要技术指标为:

浆液水灰比: 地下水位以下0.45~0.7, 地下水位以上0.7~0.9

最大注浆压力: 软土层2 MPa, 硬土层4~8 MPa, 风化岩10~16MPa。

注浆水泥量:

$$G_c = \alpha_p d (\text{桩端}) + \alpha_s n d (\text{桩侧})$$

$$\alpha_p = 1.5 \sim 1.8, \quad \alpha_s = 0.5 \sim 0.7$$

n —桩侧注浆断面数 d —桩径 (m)

- 实际工程中，以上参数根据土的种类、土的饱和度、桩的尺寸、承载力增幅等因素适当调整，并通过现场试注浆最终确定。

(3)适用范围

适用于泥浆护壁钻、挖孔灌注桩及干作业钻、挖孔灌注桩。

- (4) 已应用的典型工程

该技术已在北京、天津、上海、福州、汕头、武汉、宜春、济南、廊坊、西宁、西安、德州、哈尔滨等地200余项高层、超高层建筑桩基工程中的应用，经济效益显著，据对80项工程的初步统计，节约工程投资1.5亿元以上。对于单桩混凝土体积8-20m³的桩，每根可节约造价0.2~0.8万元，具有极好的应用前景。

该技术由中国建筑科学研究院地基基础研究所研发，获2项发明专利，2000年建设部认定其为国家工法。

93-94年南京就有工程应用过.....珠江路1号

• 7.2 长螺旋水下灌注成桩技术

(1) 主要技术内容

长螺旋水下成桩技术是采用长螺旋钻机钻孔至设计标高，利用混凝土泵将混凝土从钻头底压出，边压灌混凝土边提钻直至成桩，然后利用专门振动装置将钢筋笼一次插入桩体，形成钢筋混凝土灌注桩。后插钢筋笼应与压灌混凝土连续进行。与普通水下灌注桩施工工艺相比，长螺旋水下成桩施工，由于不需要泥浆护壁，无泥皮，无沉渣，无泥浆污染，施工速度快，造价低。



GKL800型长 螺旋钻机

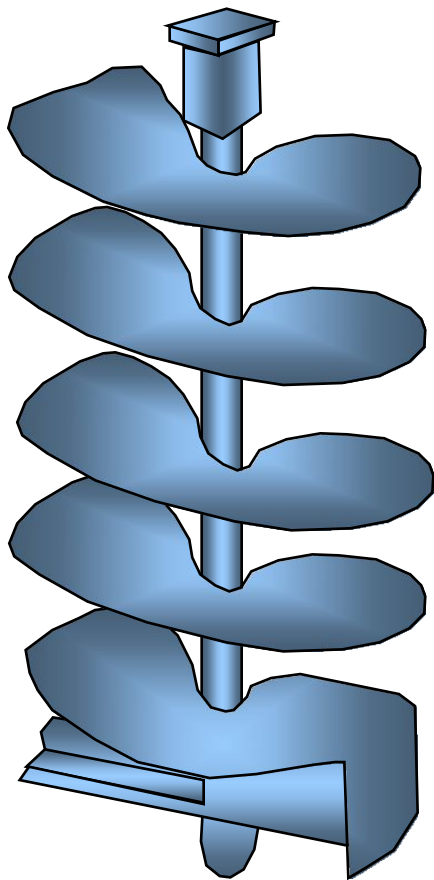


ZKL800B型 长螺旋钻机



快捷方式 到 [luoxuan\(螺旋桩\).lnk](#)

螺旋钻



《地基基础》



• (2) 技术指标

基桩承载力：设计要求；

桩 径：设计要求；

桩 长：设计要求；

桩 垂 直 度： $\leq 1\%$ ；

混 凝 土 强 度：满足设计要求，不小于

C20；

混 凝 土 塌 落 度：宜为**200~220mm**；

提 钻 速 度：宜为**1.2~1.5m/min**；

钢 筋 笼：设计要求，应具有一定刚度。

- **(3)适用范围**

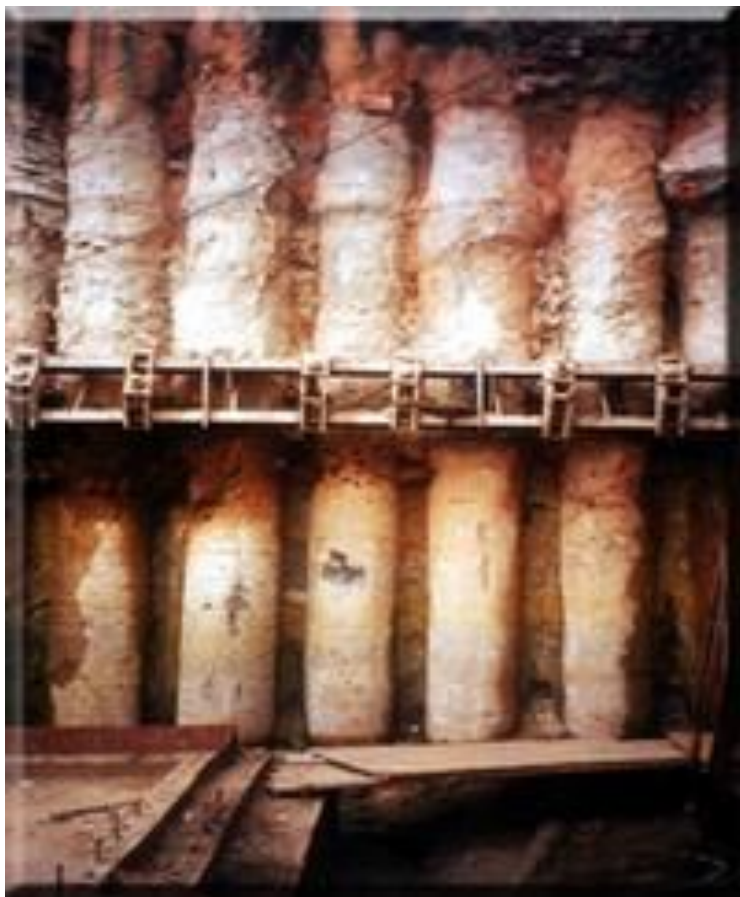
适用于灌注桩水下施工。

- **(4)已应用典型工程**

该技术为一项灌注桩施工新技术，已在北京、天津、唐山等地多项工程中应用，受到建设单位、设计单位和施工单位的欢迎，经济效益显著，具有极好的应用前景。

- 该技术由中国建筑科学研究院地基基础研究所研发并获发明专利。

- **（5）应用范围**
- ◆作桩基础使用。可代替任何规格，任何地层中的预制桩，沉管灌注桩；可代替大部分的泥浆护壁钻孔桩，人工挖孔桩。
- ◆作**CFG**桩复合地基使用。完全可以代替碎石桩、砂桩、粉喷桩，搅拌桩等柔性桩使用。
- ◆作支护排桩使用。用该种桩作支护桩使用时不产生泥浆污染，不影响土方开挖，施工速度快。
- ◆作支护及防水帷幕使用。该种素砼桩代替旋喷桩与支护排桩相互交叉形成堵水帷幕，强度高，堵水效果好。



《地基基础》

国家体育场所应用的部分新技术情况

序号	新技术名称	应用项目名称	应用部位	数量
1	地基基础和地下空间工程技术	灌注桩后压浆技术	基础	2000 根
		长螺旋水下灌注成桩技术		248 根
	工程技术	复合土钉墙支护技术	基础护坡	15132m ²
		桩墙—内支撑支护技术		5427 m ²
2	高性能混凝土工程应用技术	混凝土裂缝防治技术	混凝土结构	205279 m ³
		混凝土耐久性技术		
		清水混凝土技术		10000 m ³