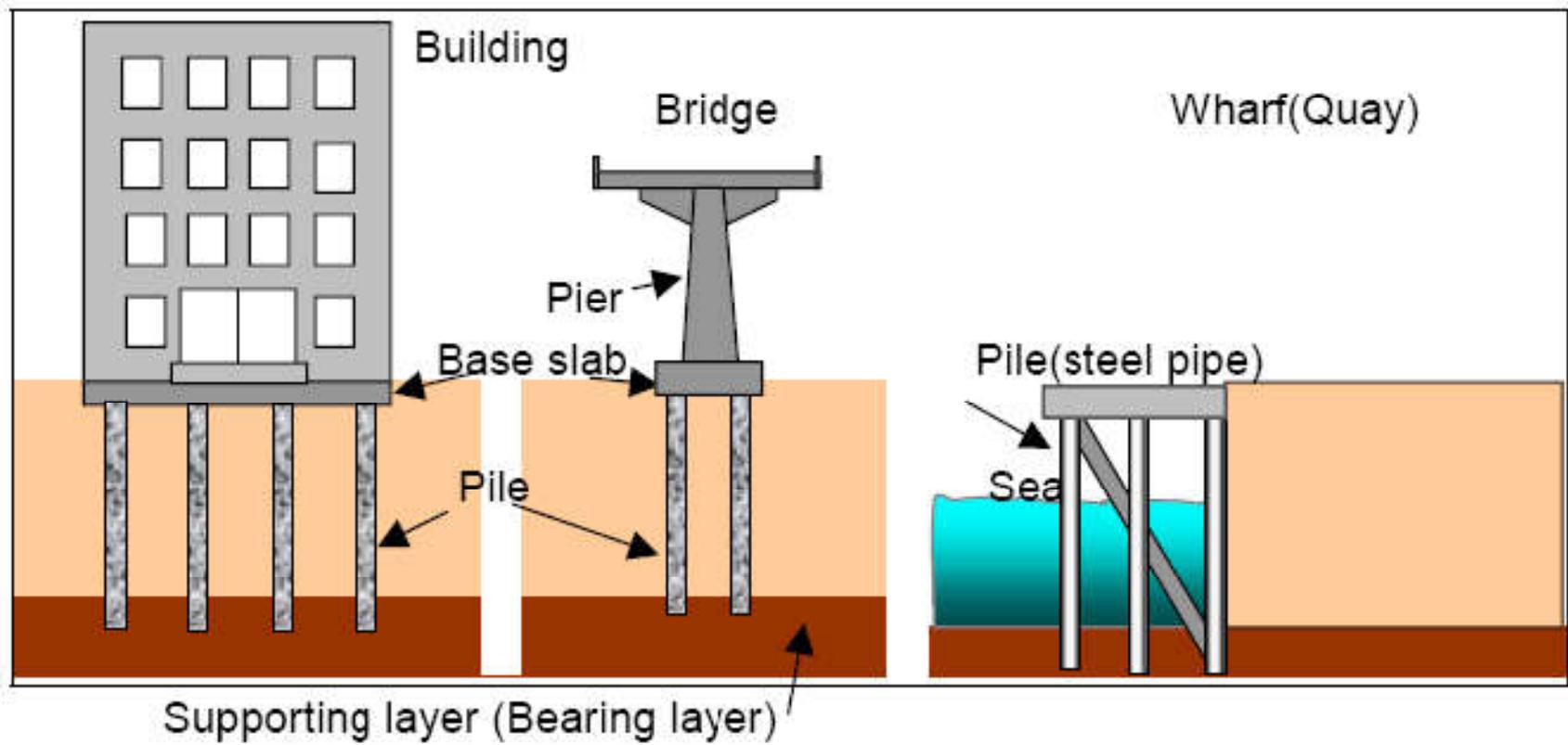


4. 桩基础

PART A

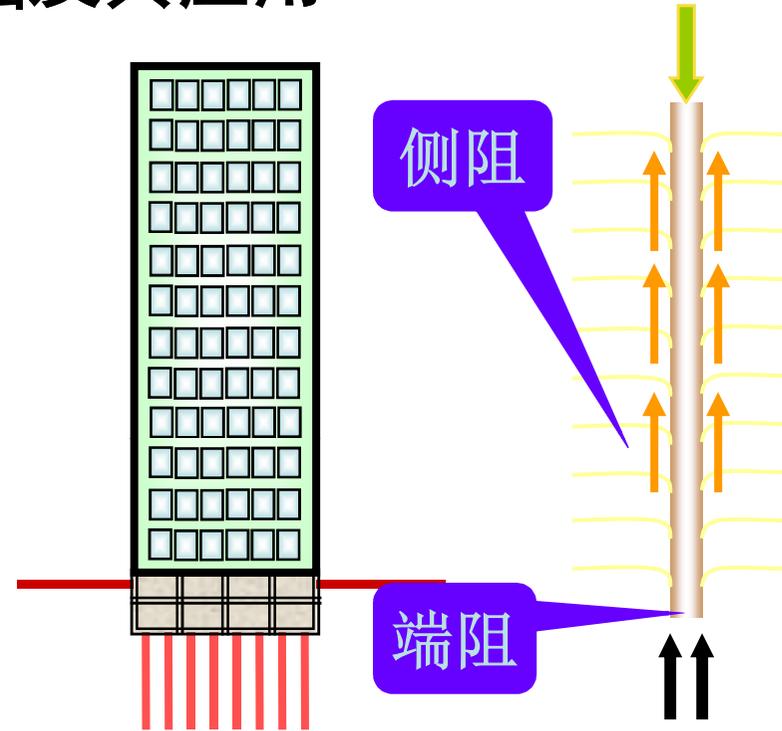
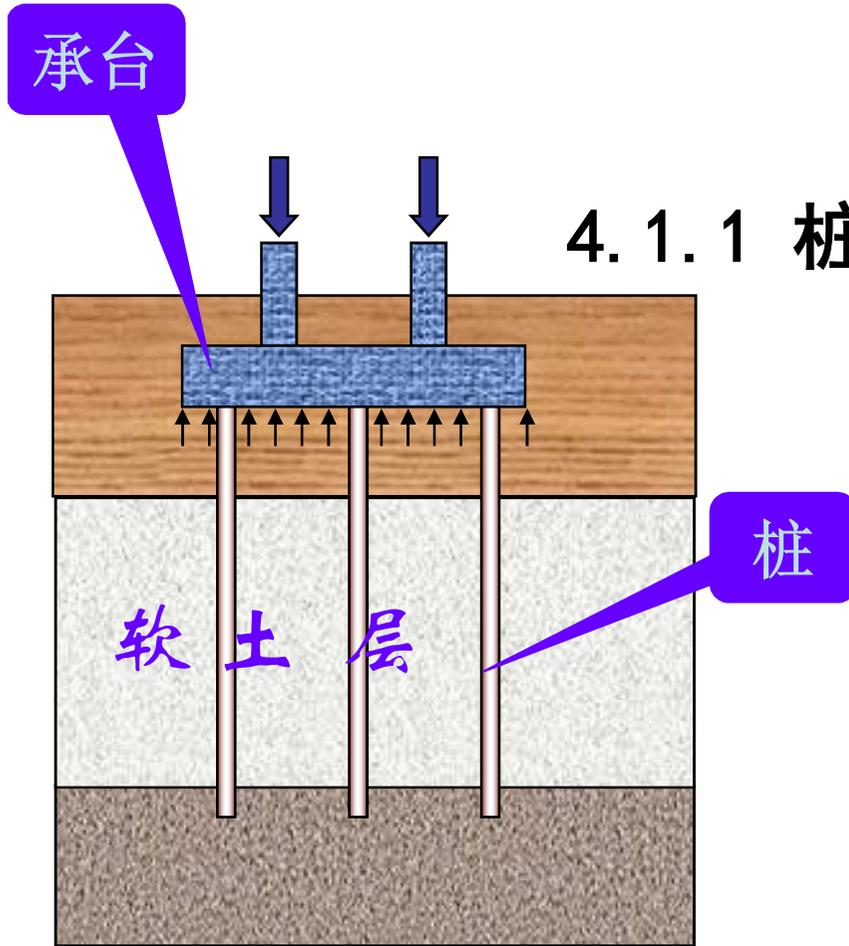
内容提要

- ✓ 4.1 概述
- ✓ 4.2 竖向荷载下单桩的工作性能
- ✓ 4.3 单桩竖向承载力的确定
- ✓ 4.4 桩的水平承载力的确定
- ✓ 4.5 群桩基础计算
- ✓ 4.6 桩基础设计



4.1 概述

4.1.1 桩基础及其应用



桩Pile：指垂直或者稍倾斜布置于地基中，其断面相对其长度较小的杆状构件。

桩的功能：通过杆件的侧壁摩阻力和端阻力将上部结构的荷载传递到深处的地基上。

桩的定义

1) 12000年历史的智利遗址发现了桩的雏形

2) 十九世纪以前，木桩

(1) 7000-8000年前湖上居民, 浙江河姆渡

(2) 3000-4000年前罗马

(3) 西安灞桥, 北京御河桥, 隋唐建塔

3) 十九世纪20年代开始，材料和动力进步

铸铁板桩，1824年波特兰水泥注册专利

19世纪后期，随着钢、水泥、混凝土和钢筋混凝土的相继问世和大量使用，制桩材料发生了根本变化

以混凝土或钢筋混凝土为材料的桩型，首先由俄国工程师斯特拉乌斯在1898年率先提出的，即就地灌注混凝土桩；到1901年，美国工程师雷蒙德又独立提出了沉管灌注桩的设计，我国上海在20世纪30年代修建的一些高层建筑就采用了沉管灌注桩基础。

桩的应用历史



1400年前的隋代灞桥遗址

4) 20世纪初，钢桩和钢筋混凝土预制桩

美国密西西比河上的钢桥就大量采用了型钢桩基础。到了30年代，欧洲一些国家也开始广泛使用钢桩。二次大战后，随着冶炼技术的发展，各种直径的无缝钢管被作为桩材用于基础工程。1949年美国雷蒙德混凝土桩公司最早用离心机生产了中空预应力钢筋混凝土管桩



桩的应用历史

我国从50年代开始生产预制钢筋混凝土桩，50年代末，铁路系统开始生产使用预应力钢筋混凝土桩，而且随着大型钻孔机械的发展，又出现了钻孔灌注桩或钢筋混凝土灌注桩。20世纪60—70年代，我国也研制生产出预应力钢筋混凝土管桩，并广泛应用于交通工程中



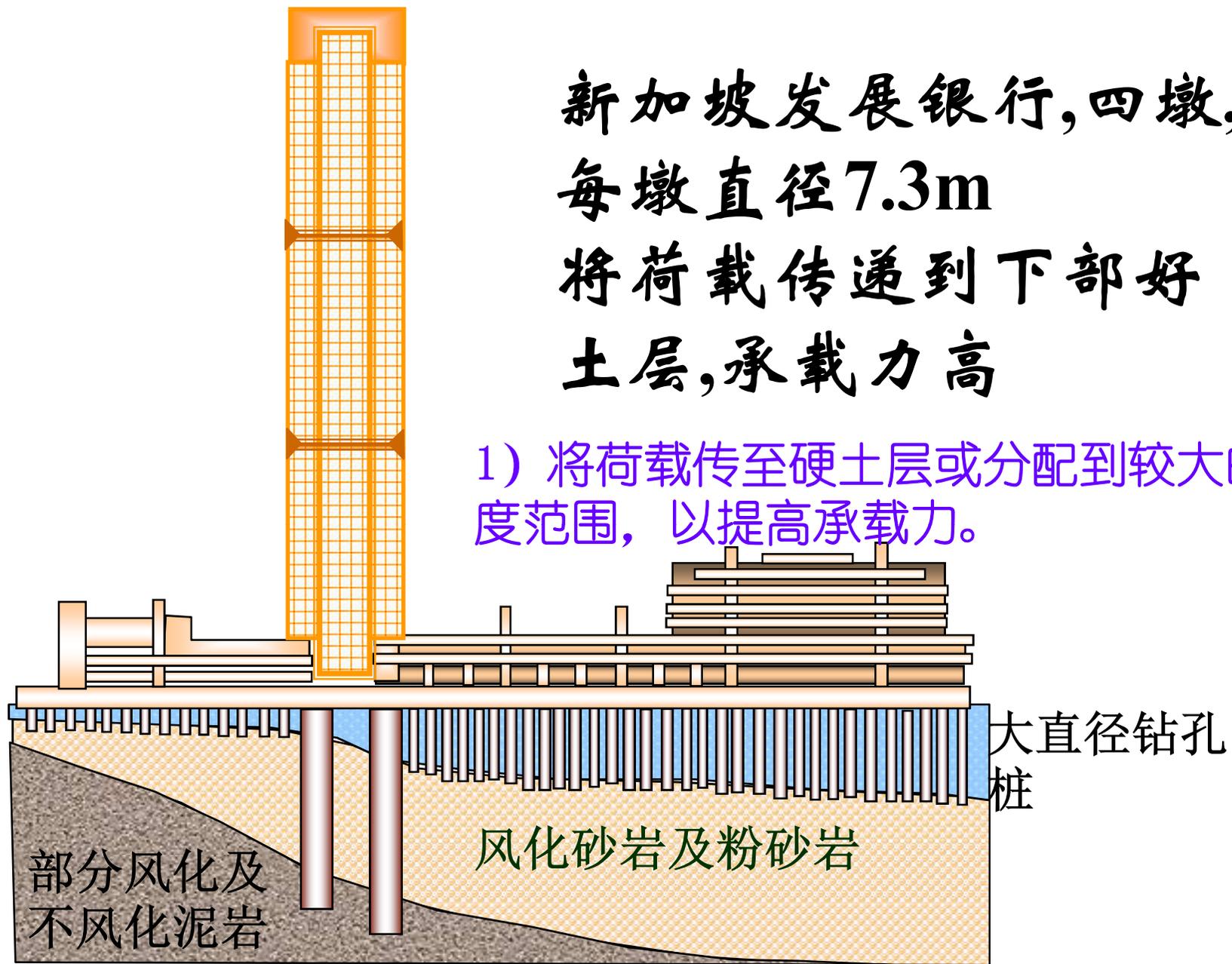
桩的应用历史



桩的功能

新加坡发展银行,四墩,
每墩直径7.3m
将荷载传递到下部好
土层,承载力高

1) 将荷载传至硬土层或分配到较大的深度范围,以提高承载力。



桩的功能



2) 减小沉降, 从而也减小沉降差, 故地基强度够, 而变形不合要求时亦用。

桩的功能



现场灌注
护坡桩
造价低

桩的功能

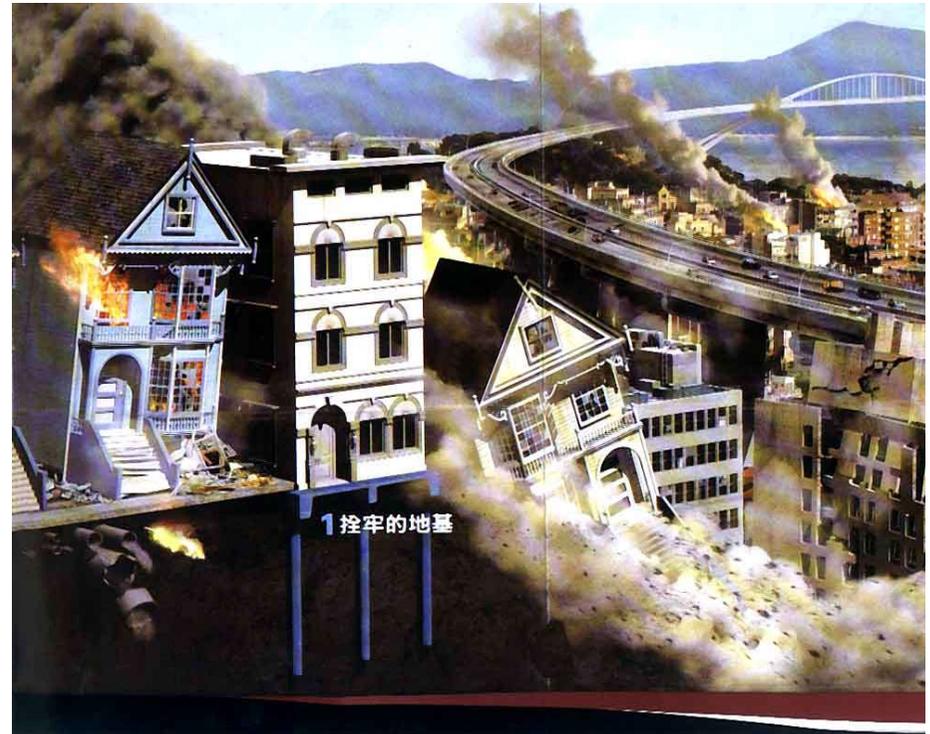
- 3) 抗拔：用于抗风、抗震、抗浮等
- 4) 有一定抗水平荷载能力，特别是斜桩
- 5) 抗液化：深层土不易液化，浅层土液化后，有桩支撑，有助于上部结构的稳定。



桩的功能

优点

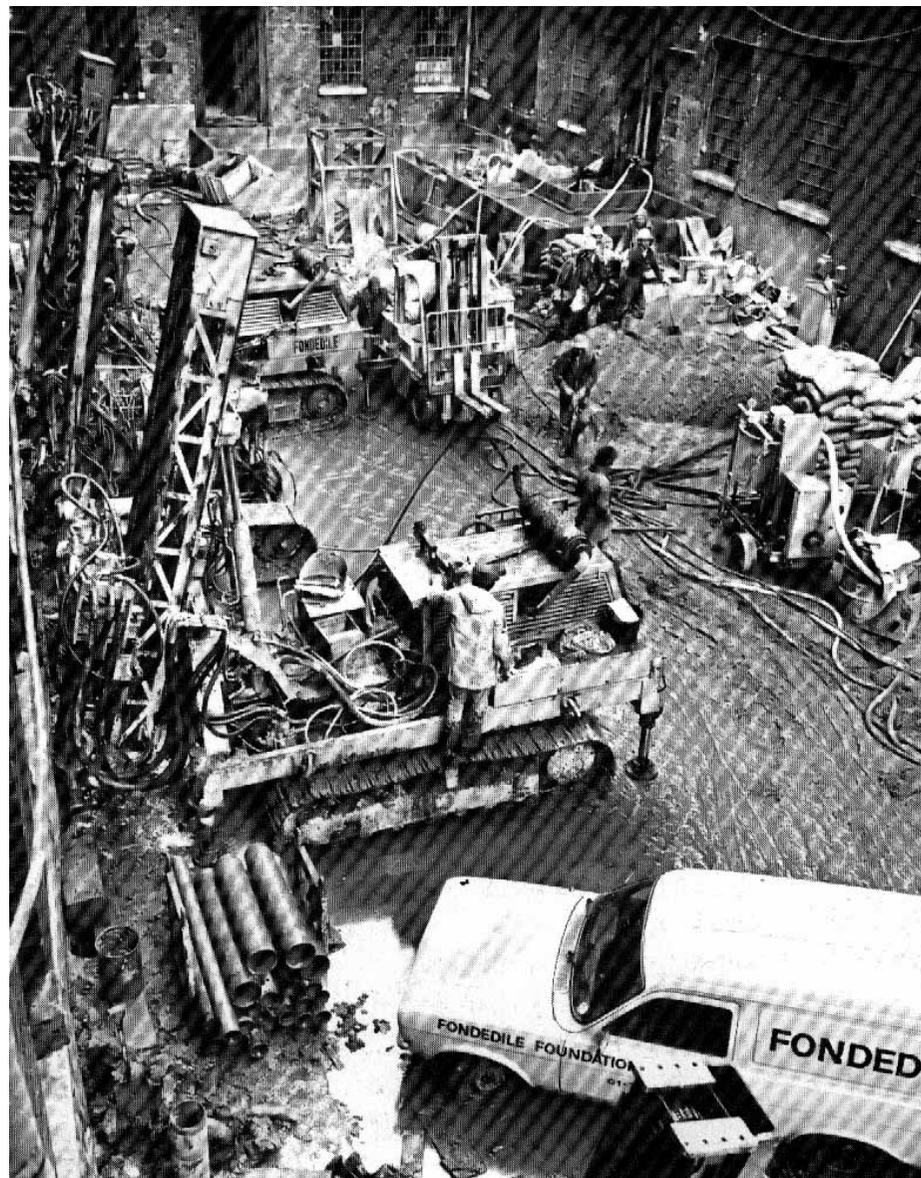
- 将荷载传递到下部好土层，承载力高
- 沉降量小
- 抗震性能好，穿过液化层
- 承受抗拔(抗滑桩)及横向力(如风载荷)
- 与其他深基础比较，施工造价低



桩的特点

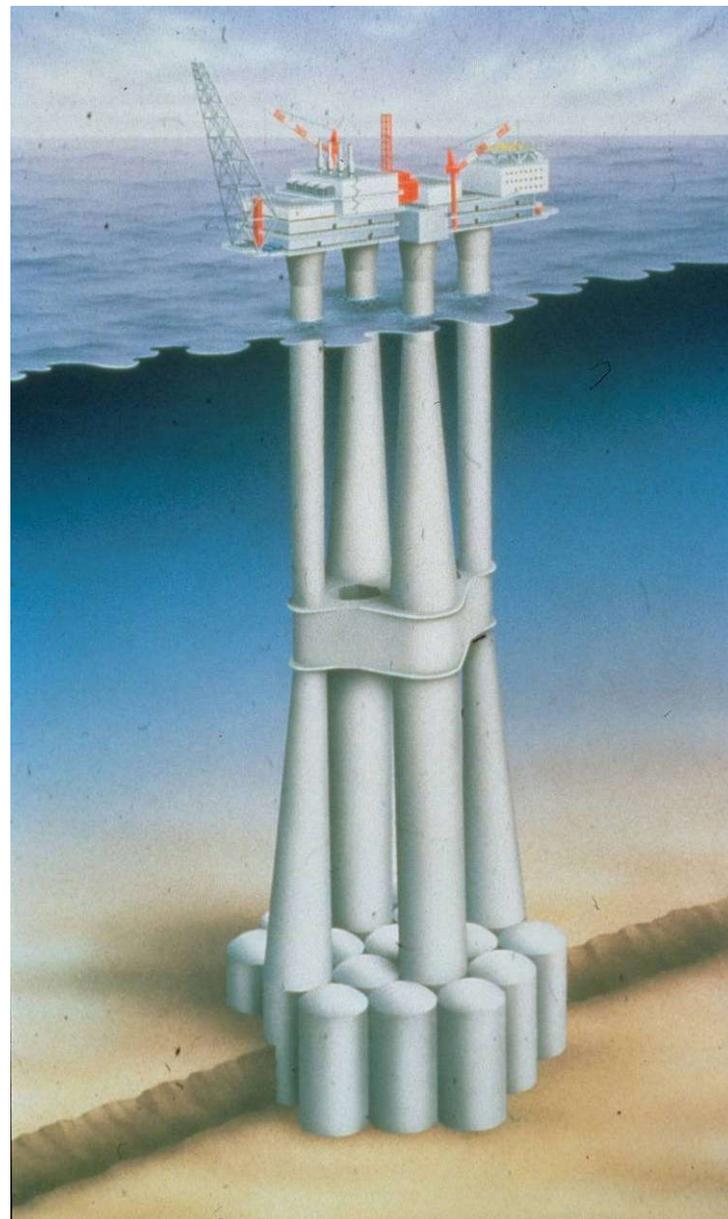
缺点

- 比浅基础造价高
- 施工环境影响,
- 预制桩施工噪音,
- 钻孔灌注桩的泥浆
- 有地下室时, 有一定干扰, 深基坑中做桩



桩的特点

- (1)地基上差下好；软硬或荷载不均
- (2)地基软弱，或土性特殊
- (3)荷载复杂（偏心、水平、动...）
- (4)对沉降非常敏感的建筑，如精密仪器，或受到大面积超载影响
- (5)地下水位高
- (6)历史建筑



桩的适用性

近来，桩基成为高层建筑的主要基础形式，为设计桩基，须了解其类型、机理、承载力及变形验算等。

桩基适用范围：

- 1) 高层、重要建筑物；
- 2) 重型工业厂房、仓库、料仓；
- 3) 较大水平荷载或上拔力的构筑物基础；
- 4) 精密或大型设备基础；
- 5) 表层软弱土层、需处理土层；
- 6) 地震区。

桩基设计主要内容：

桩型选择、
单桩承载力确定、
群桩承载力和沉降验算，
桩身强度和承台计算。

4.1.2 桩和桩基的分类

桩基的分类 P95 看书

单桩

桩基（群桩基础）

基桩

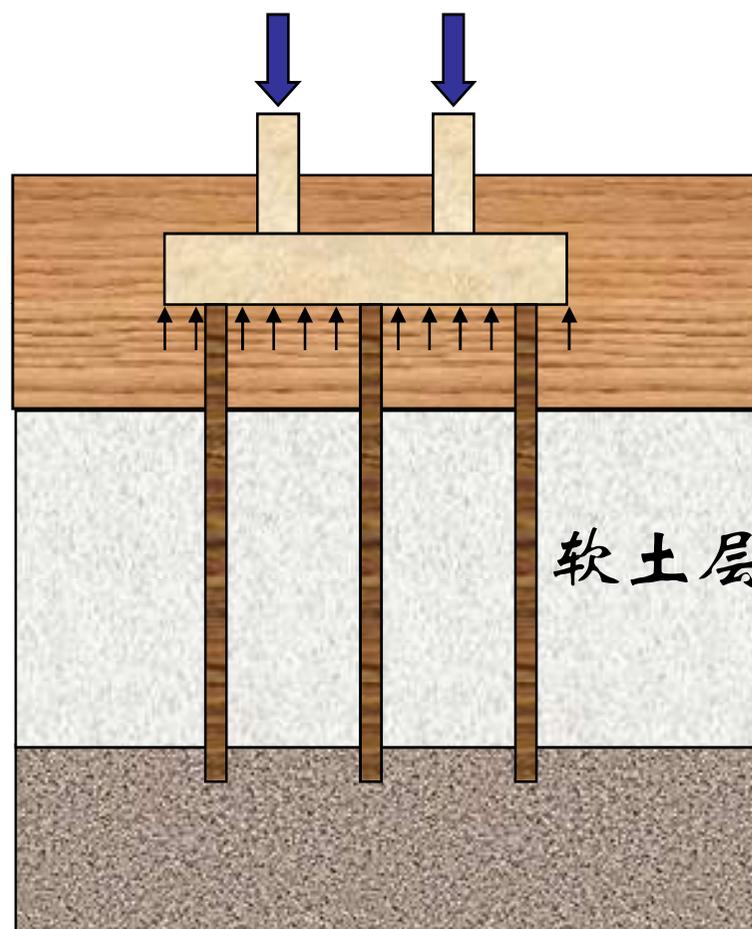
桩基础由桩和承台两部分组成

4.1.2 桩和桩基的分类

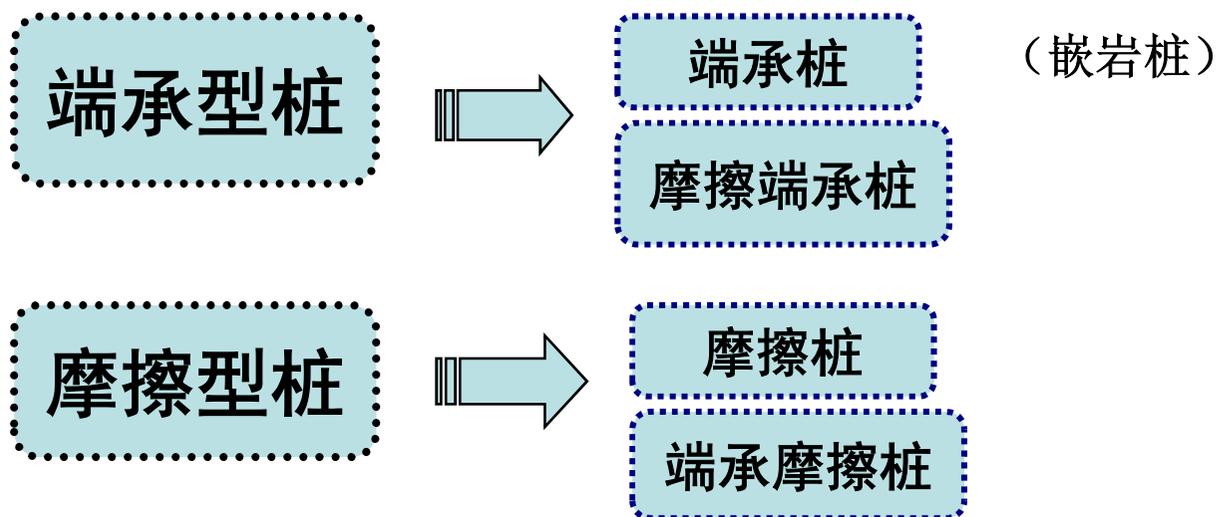
桩的分类 P95

按不同的分类标准，叫法不同。

- 1) 承载性状
- 2) 施工方法
- 3) 成型方式效应
- 4) 材料
- 5) 形状
- 6) 按尺寸



1) 按承载性状分类



$$Q = Q_p + Q_s$$

Tip resistance, Skin friction

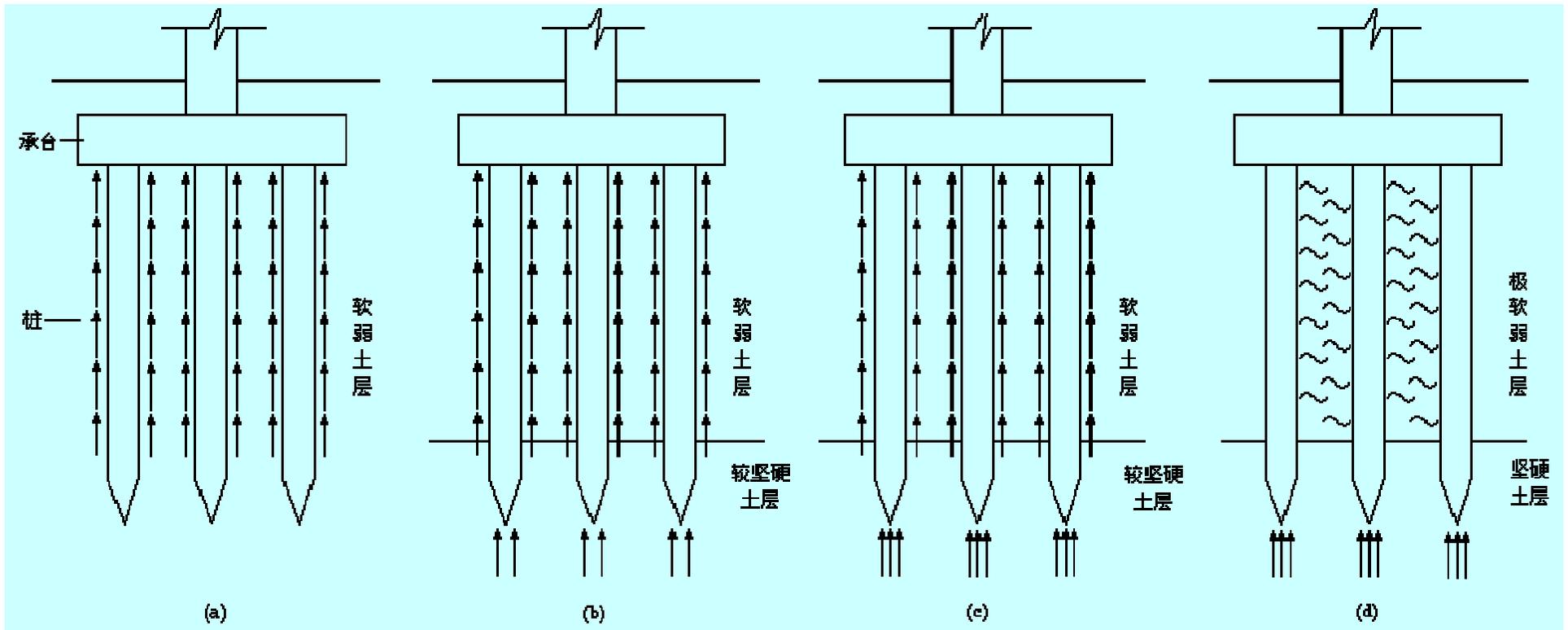
端承型桩 主要由桩端承受极限荷载, 桩不长, 桩端土坚硬

摩擦型桩 主要由桩侧壁与土的摩擦力承受极限荷载, 桩长径比很大, 桩端土为粘土、粉土、砂土等

{ 摩擦型桩
} 端承型桩

原由 ←

桩侧和桩端阻力的大小以及它们分担荷载的比例有很大差异

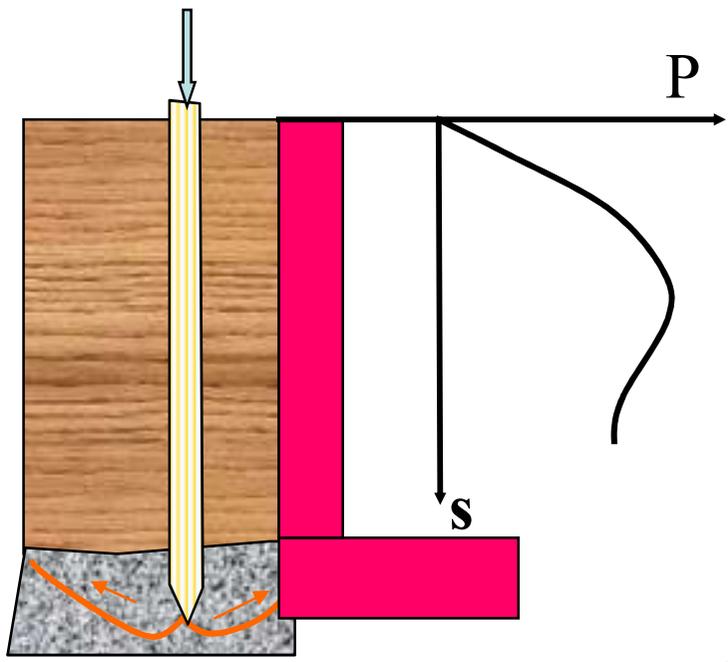


摩擦型桩和端承型桩

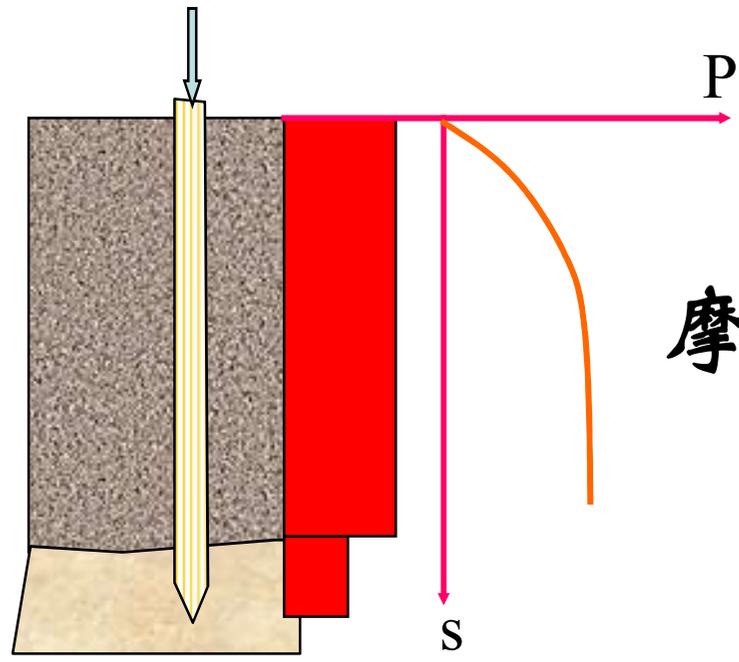
(a) 摩擦桩； (b) 端承摩擦桩； (c) 摩擦端承桩； (d) 端承桩

A) 端承型桩

- **端承桩**：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载由桩端阻力承受，桩侧阻力小到可忽略不计；
- **摩擦端承桩**：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载主要由桩端阻力承受。称为端承桩。
- **嵌岩桩**：当桩端嵌入完整和较完整的中等风化、微风化及未风化硬质岩石一定深度以上（最小深度不小于0.5m），称为嵌岩桩。



端承型桩



摩擦型桩

B) 摩擦型桩

- **摩擦型桩**是指桩顶竖向荷载绝大部分由桩侧阻力承受，而桩端阻力很小可以忽略不计时，称为摩擦桩。
- **摩擦桩**：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载由桩侧阻力承受，桩端阻力小到可忽略不计；
- **端承摩擦桩**：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载主要由桩侧阻力承受。
- 例如：
 - 1) 桩的长径比很大，桩顶荷载只通过桩身压缩产生的桩侧阻力传递给桩周土，因而桩端下土无论坚实与否，其分担荷载都很小；
 - 2) 桩端下无较坚实的持力层；
 - 3) 桩底残留土或残渣较厚的灌注桩；
 - 4) 打入邻桩使先前设置的桩上抬、甚至桩端脱空等情况。

2) 按施工方法 P96

施工方法—沉桩方法

A) 预制桩 Prefabricated pile

挤土桩，部分挤土桩

B) 现场灌注桩 Cast in place

非挤土桩，部分挤土桩

A) 预制桩

在工厂（或者现场）预制成桩以后再运至现场，在设计桩位处以沉桩机械沉至地基土中设计深度的施工方法的桩。

- (1) 预制桩种类 {
- (1) 混凝土预制桩
 - (2) 钢桩
 - (3) 木桩

- (2) 预制桩的施工工艺 {
- (1) 锤击式
 - (2) 静压式
 - (3) 振动式

引孔, 部分挤土,

大面积地面隆起

不引孔, 挤土桩

- **混凝土预制桩**

要求：截面边长**300~500mm**，分节长度 $\leq 12\text{m}$ 。预应力管桩外径**300~600mm**，每节长**5~13m**；

优点：承载力高，耐久性好，质量较易保证。

缺点：自重大，打桩难，桩长难统一，工艺复杂。

- **钢桩**

要求：直径**250~1200mm**，批量生产。

优点：穿透性强，承载能力高，应用方便。

缺点：成本高，易锈蚀。

- **木桩**

要求：桩径**160~260mm**，桩长**4~6m**。

优点：制作运输方便，打桩设备简单。

缺点：承载力低，仅在一些加固工程与临时工程中采用。



打入第一节桩体



电焊接桩



打入末节桩体

■ 锤击预制桩

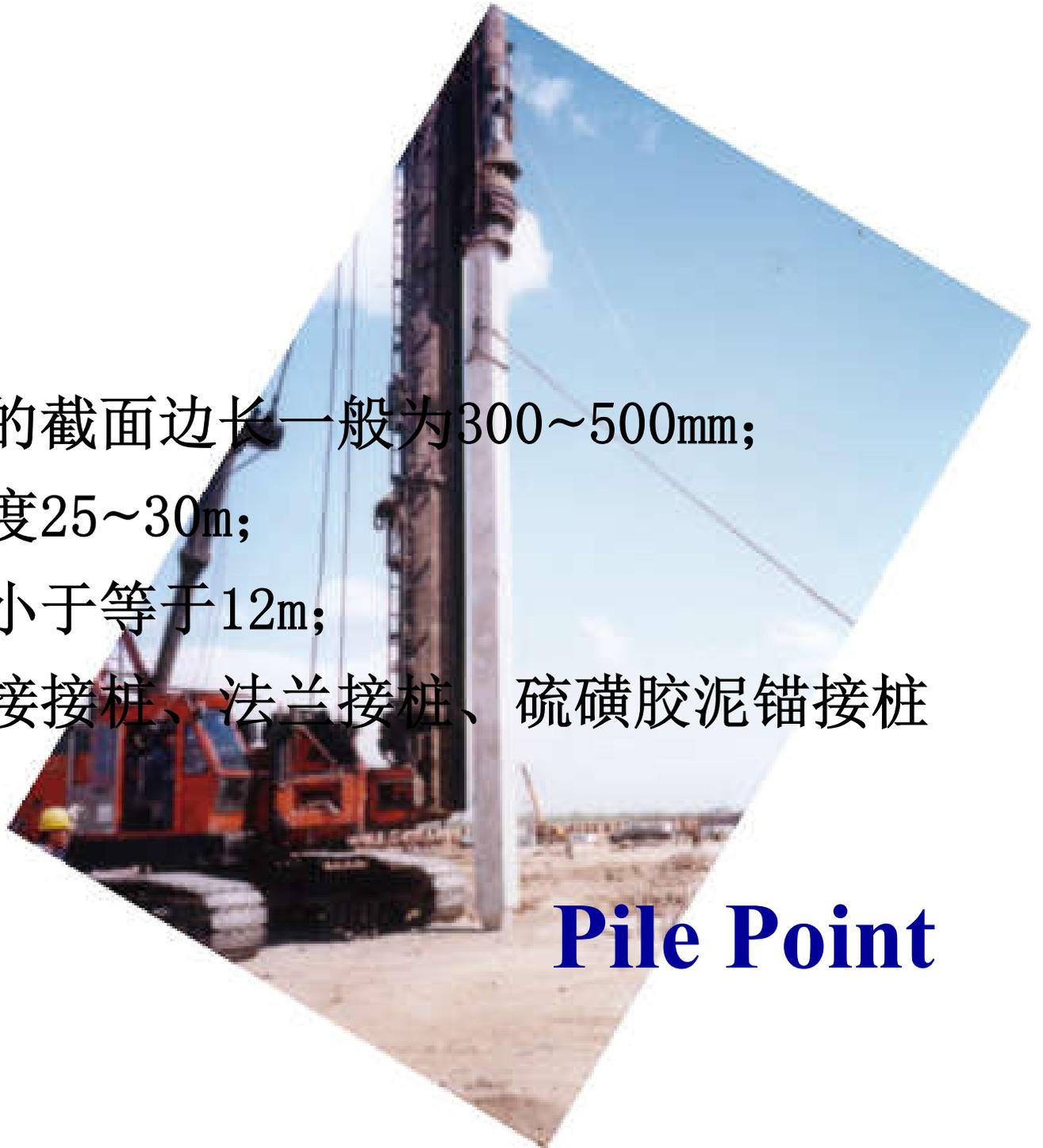
沉桩深度控制

- 以**最后贯入度**（指沉至某标高时，每次锤击的沉入量）和**桩尖设计标高**两方面控制。
- 要求最后两阵的平均贯入度为10-50mm/阵。
- 锤击法：常以10次锤击为一阵。
- 振动法：以1min为一阵。

振动沉桩

1. 普通实心方桩的截面边长一般为300~500mm;
2. 现场预制桩长度25~30m;
工厂预制长度小于等于12m;
3. 连接方法: 焊接接桩、法兰接桩、硫磺胶泥锚接桩

Pile Point



离心预应力预制钢筋混凝土



预应力钢筋混凝土管桩PHC、PC，外径300~600mm，分节长度为7~13m。

B) 灌注桩

- 在施工现场的桩位上用机械或人工成孔，然后在孔内灌注混凝土而成。如挖孔、钻孔、冲孔及**爆扩**成孔灌注桩。

现场灌注桩

成孔方法

人工挖孔

螺旋钻

正反循环——地下水以下泥浆护壁

冲击, 夯扩, 爆破

沉管灌注

省, 易

泥皮, 虚土, 断桩

浇注法

水上

水下

其他

- 分类：沉管灌注桩、钻孔灌注桩、挖孔桩。
- 原理：直接在桩位上就地成孔，然后在孔内安放钢筋笼灌注混凝土而成。
- 特点：能适应各种地层，无需接桩，施工时无振动、无挤土、噪音小，宜在建筑物密集地区使用。
- 施工关键：桩身的成型和混凝土质量。

沉管灌注桩

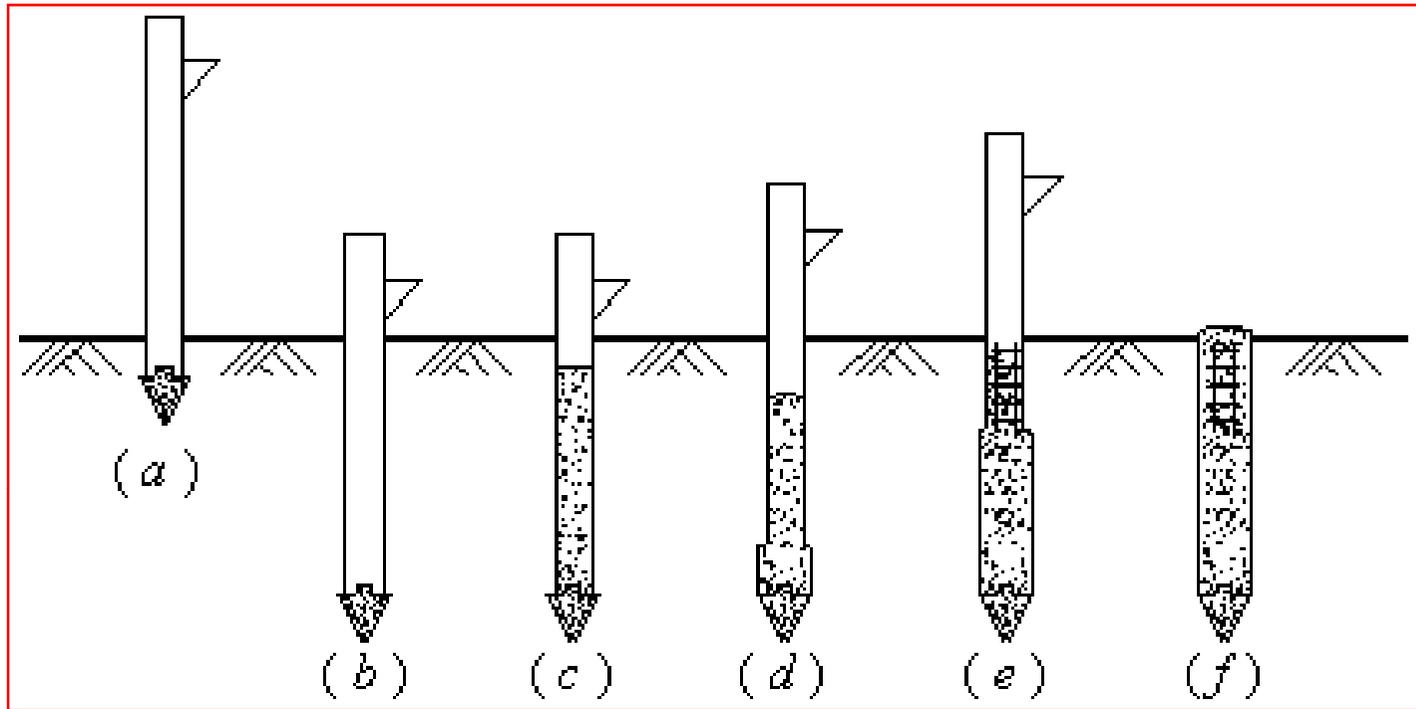


图8.5 沉管灌注桩的施工程序示意

- (a) 打桩机就位；
- (b) 沉管；
- (c) 浇灌混凝土；
- (d) 边拔管，边振动；
- (e) 安放钢筋笼，继续浇灌混凝土；
- (f) 成型。

沉管灌注桩特点

- **优点：**设备简单、打桩进度快、成本低。
 - **缺点：**在土层软、硬交界处或软弱土层处易发生缩颈、断桩现象。（[缩颈桩的形成](#)）
 - **克服办法：**
 - 复打**——浇灌混凝土并拔管后，立即在原位再次沉管及浇灌混凝土；（[沉管灌注桩复打](#)）
 - 反插法**——灌满混凝土后，先振动再拔管，一般拔0.5~1.0m，再反插0.3~0.5m。
- 分单打、复打、反插三种施工方法。

钻（冲）孔灌注桩特点

- **原理：**用钻机(如螺旋钻、振动钻、冲抓锥钻等)钻土成孔(需泥浆护壁)，然后清除孔底残渣，安放钢筋笼，浇灌混凝土。
- **施工方法：**有正循环、反循环施工法。
- **优缺点**
 - 优点：**入土深，能进入岩层，刚度大，承载力高，桩身变形小，并可方便地进行水下施工。
 - 缺点：**要求有专门的设备（钻机），清孔较难彻底。

钻（冲）孔灌注桩



钻孔灌注桩—护筒埋设



■ 护筒作用

- ✓ 固定桩位，并作钻孔导向；
- ✓ 保护孔口，防止孔内土层坍塌
- ✓ 隔水，稳固孔壁。

钻（冲）孔灌注桩

■ 泥浆制备与运输



- ✓ **要求：**膨胀土或高塑性粘土现场加水搅拌，比重1.1~1.15，粘度10~25s，含砂率小于6%，胶体率大于95%。
- ✓ **作用：**护壁、携渣、防渗、润滑钻头等。

挖孔桩

- **原理：**采用人工或机械挖掘成孔，逐段边开挖边支护，达所需深度后再进行扩孔，利用钻（冲）孔机具钻土成孔，然后清除孔底残渣，安装钢筋笼，浇灌混凝土。
- **基本要求：**内径 $\geq 800\text{mm}$ ，开挖直径 $\geq 1000\text{mm}$ ，护壁厚 $\geq 100\text{mm}$ ，分节支护，每节高 $500\sim 1000\text{mm}$ ，桩长小于 40m 。
- **优点：**符合国情，经济，设备简单，噪音小，场区内各桩可同时施工，可直接观察地层情况，孔底易清除干净，且桩径大、适应性强。
- **缺点：**可能遇到流砂、塌孔、缺氧、有害气体、触电和地面掉重物等危险而造成伤亡事故。



人工挖孔桩的桩身直径：
一般800~2000mm，
最大可达3500mm

挖孔桩的桩身长度宜限制在30m内。

当桩长 $L \leq 8\text{m}$ 时，桩身直径（不含护壁）不宜小于0.8m；

当 $8\text{m} < L \leq 15\text{m}$ 时，桩身直径不宜小于1.0m；

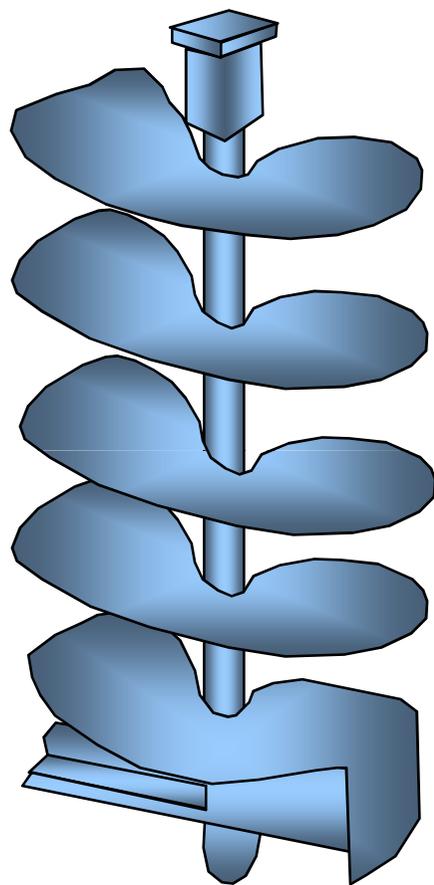
当 $15\text{m} < L \leq 20\text{m}$ 时，桩身直径不宜小于1.2m；

当桩长 $L > 20\text{m}$ 时，桩身直径应适当加大。

广州市亚洲大酒店人工挖孔桩



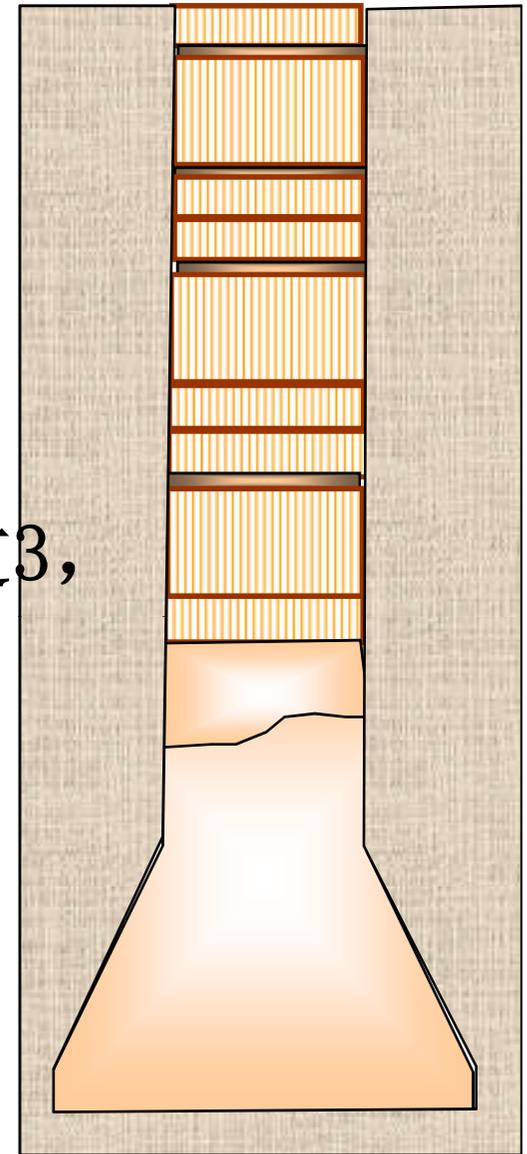
螺旋钻

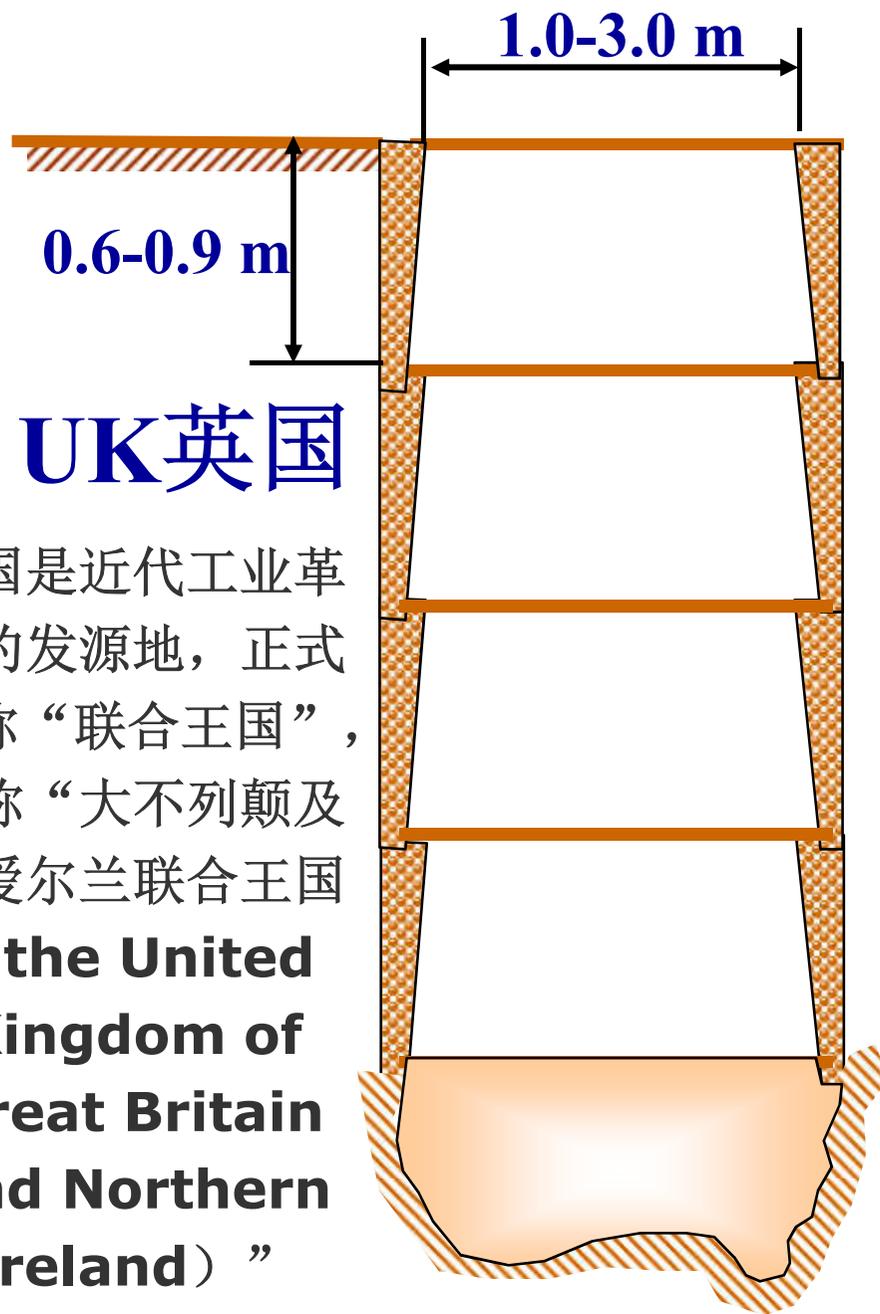


人工挖孔扩孔桩 (芝加哥法)

扩底桩：当持力层承载力低于桩身受压承载力时桩端可扩底。

扩底直径与桩身直径之比 D/d 不宜超过3，
最大扩底直径可达4500mm。

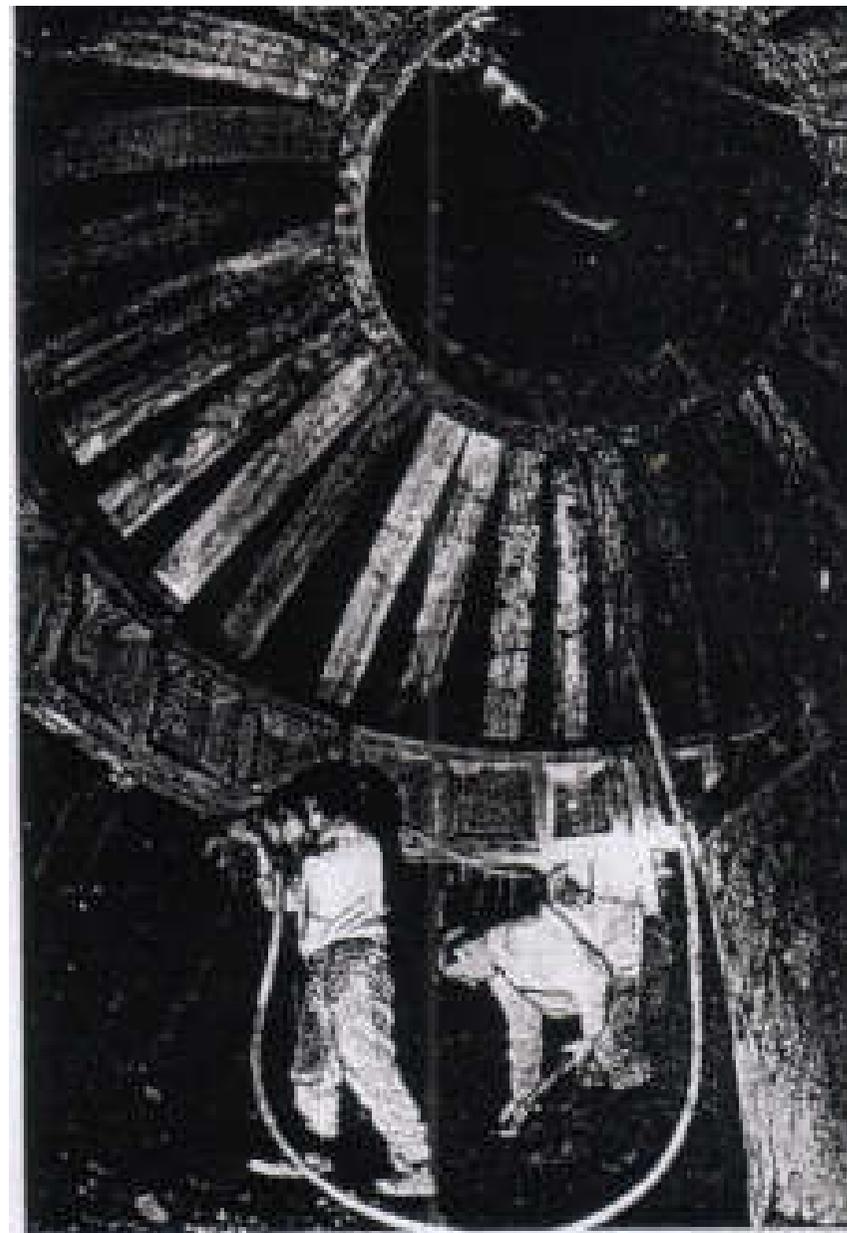


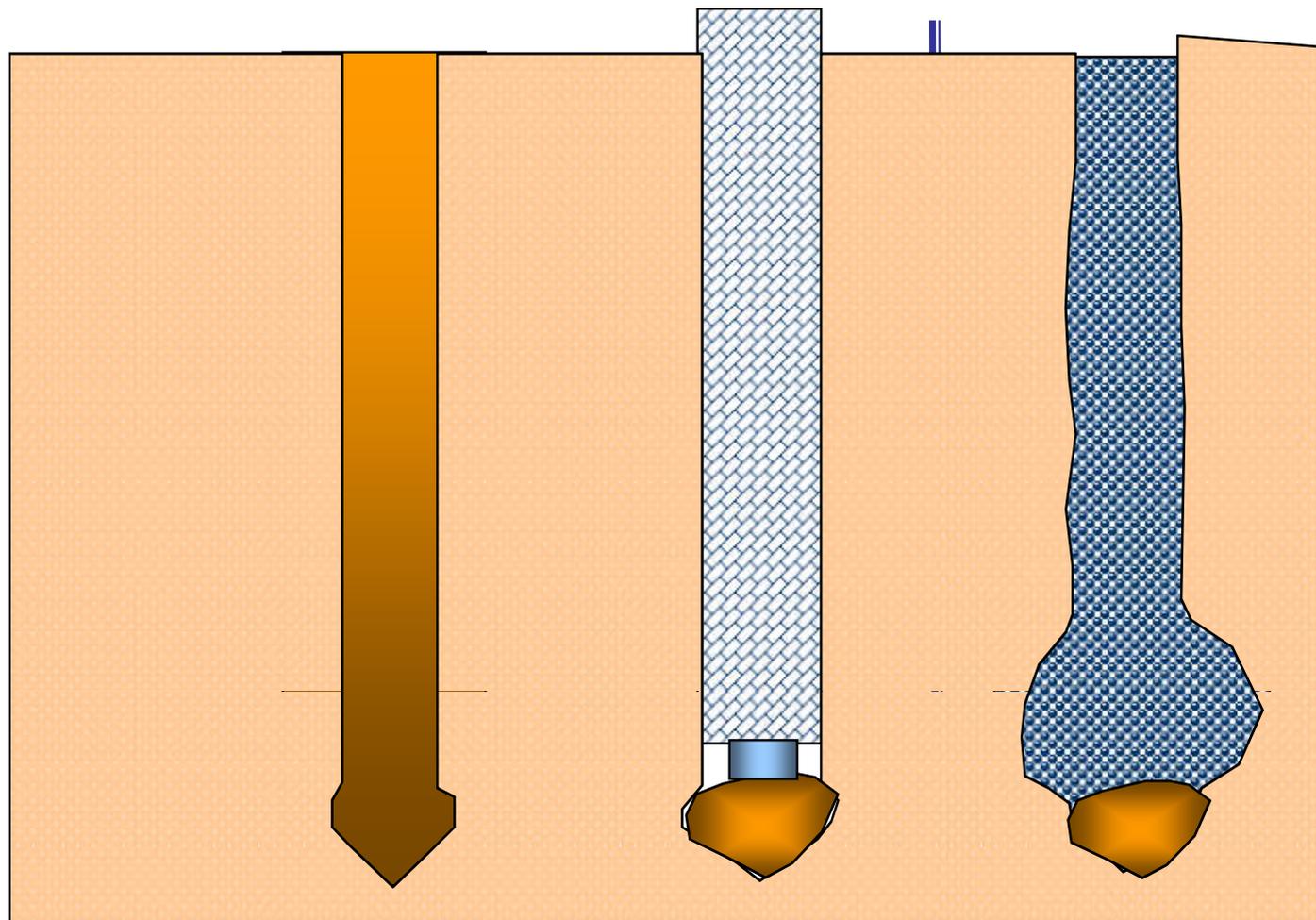


UK英国

英国是近代工业革命的发源地，正式名称“联合王国”，全称“大不列颠及北爱尔兰联合王国

(**the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland**)”



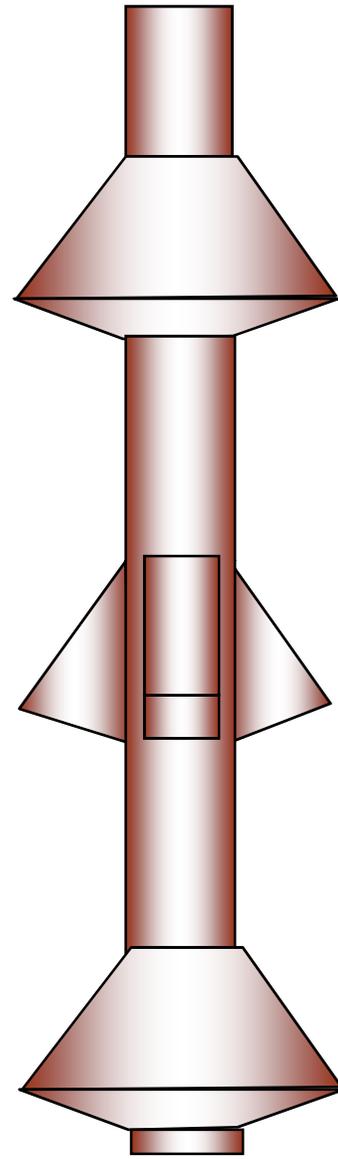
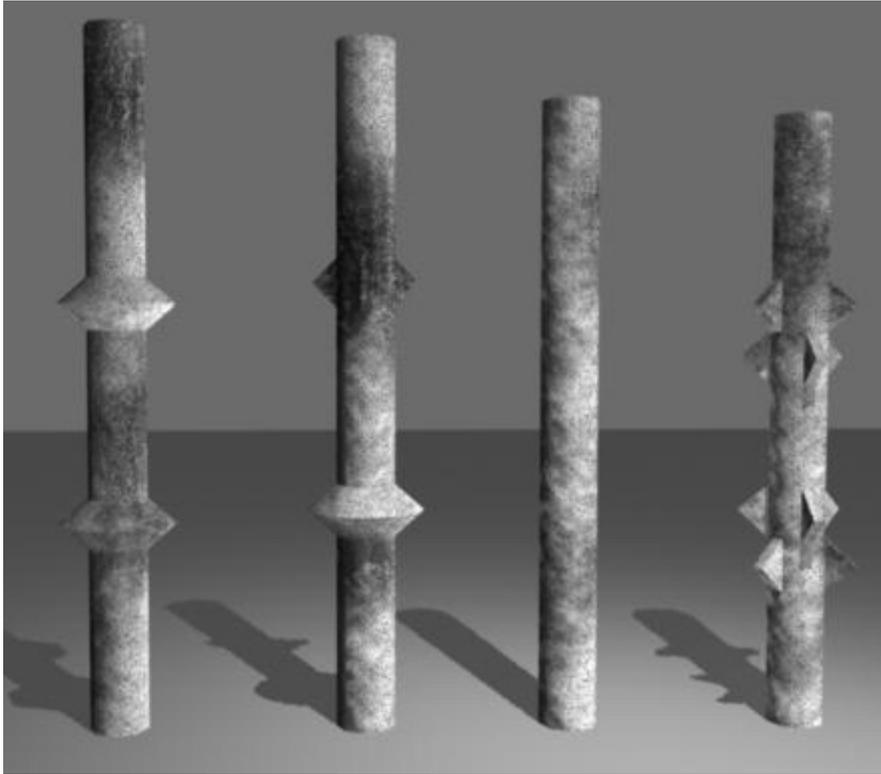


桩身直径
200~350mm,
扩大头直
径一般取
桩身直径
的2~3倍,
桩长一般
为4~6m,
最深不超
过10m。

爆破扩底桩

爆扩灌注桩是指就地成孔后，在孔底放入炸药包并灌注适量混凝土后，用炸药爆炸扩大孔底，再安放钢筋笼，灌注桩身混凝土而成的桩。

挤扩桩（支盘桩）



3) 按桩的成桩方式效应 P100

分类：非挤土桩、部分挤土桩、挤土桩

1) 挤土桩：实心预制桩、下端封闭的管桩、以及沉管灌注桩。

设置过程中使土的结构严重扰动破坏，对土的强度和变形性质影响较大。

2) 部分挤土桩：H型钢桩、开口的钢管桩、开口预制管桩。

对桩周土体稍有排挤，但土的强度和变形性质变化不大。

3) 非挤土桩：钻孔灌注桩、先钻孔再打入的预制桩
成桩过程中对桩相邻土基本不产生挤土效应的桩。

4) 按材料:

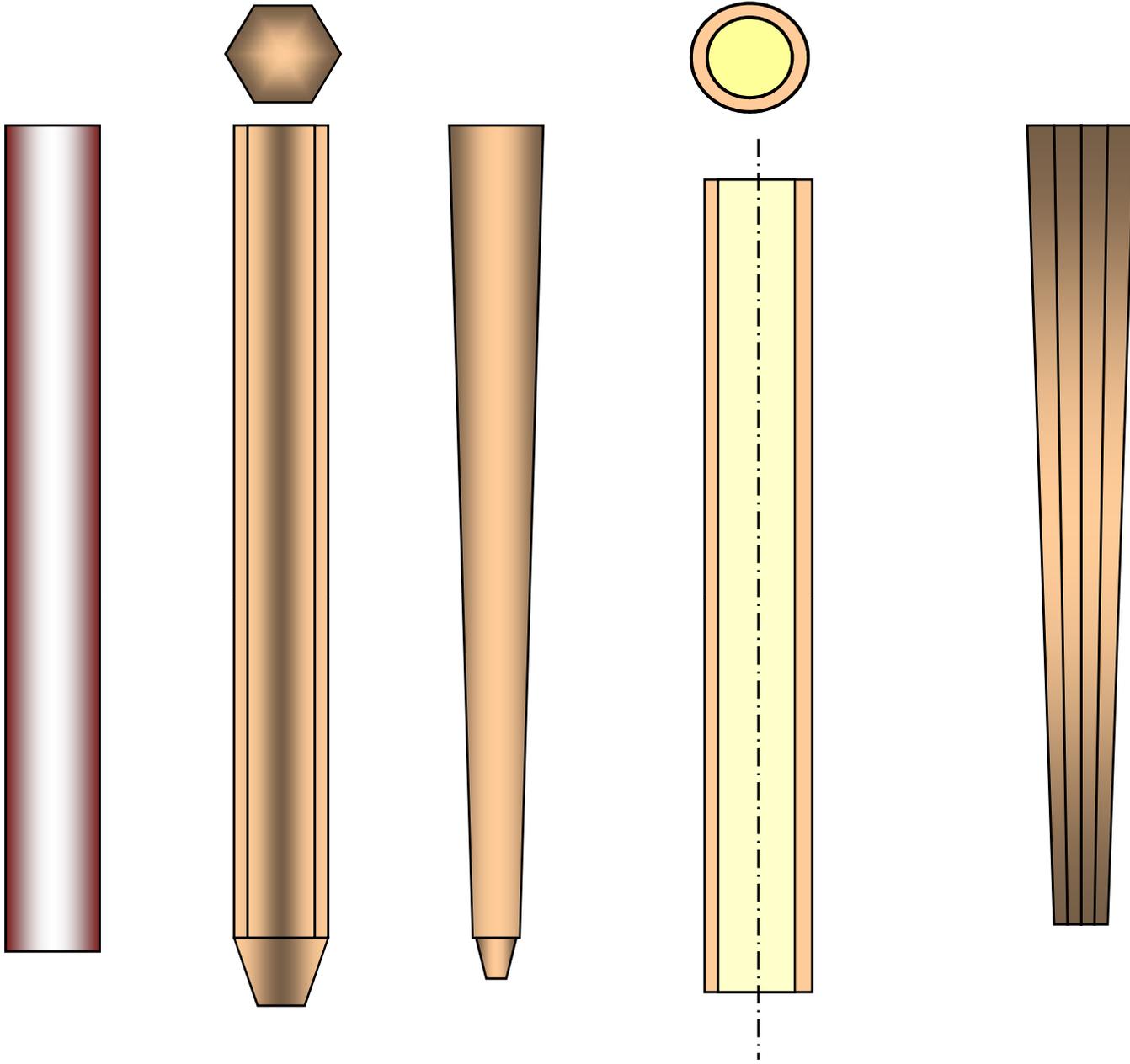
木桩、混凝土、钢筋混凝土、钢管（型钢）桩、复合桩

钢筋混凝土：普通混凝土、预应力混凝土（离心预制）、高强混凝土

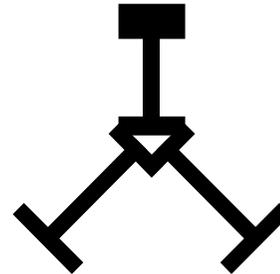
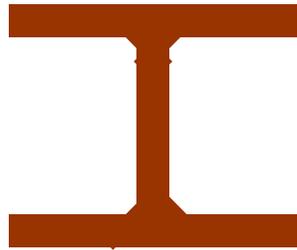
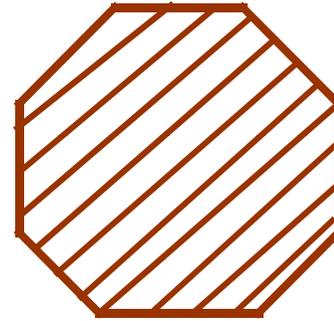
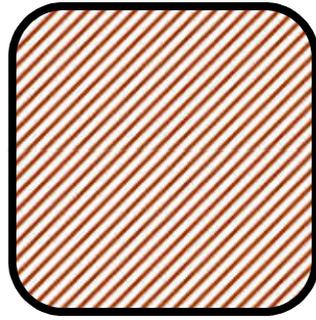
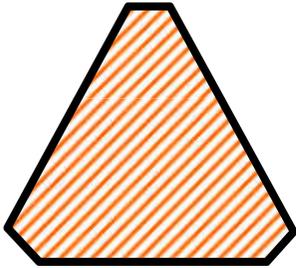
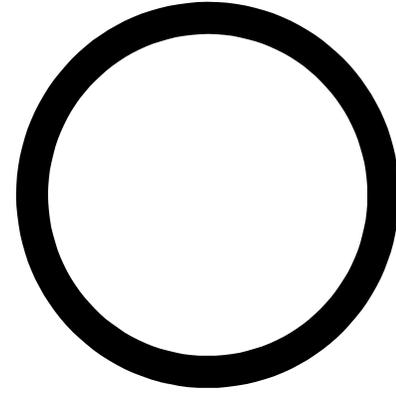
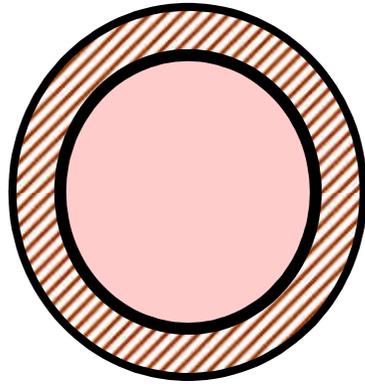
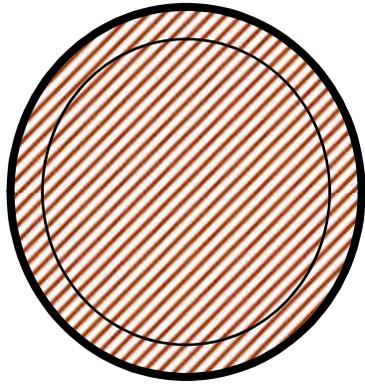


5) 按形状

- **按纵断面：**楔形桩、树根桩、螺旋桩、多节（分叉）桩、扩底桩、支盘桩、微型桩
- **按横断面：**圆形，八边形，十字桩、X形桩



桩身



横断面

6) 按尺寸

- 按断面(直径)的大小:

大直径桩: $d \geq 800\text{mm}$; 小直径桩: $d \leq 250\text{mm}$;

中等直径桩: $250 < d < 800\text{mm}$ 。

- 按长度(长径比):

长桩: $40\text{m} < L \leq 80\text{m}$ ($\alpha > 3$); 短桩: $L \leq 15\text{m}$;

中长桩: $15\text{m} < L \leq 40\text{m}$; 超长桩: $L > 80\text{m}$

$\alpha = L/\lambda$ (λ : 桩的特征长度)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4E_c I}{kB}}$$

7) 按承台位置分类

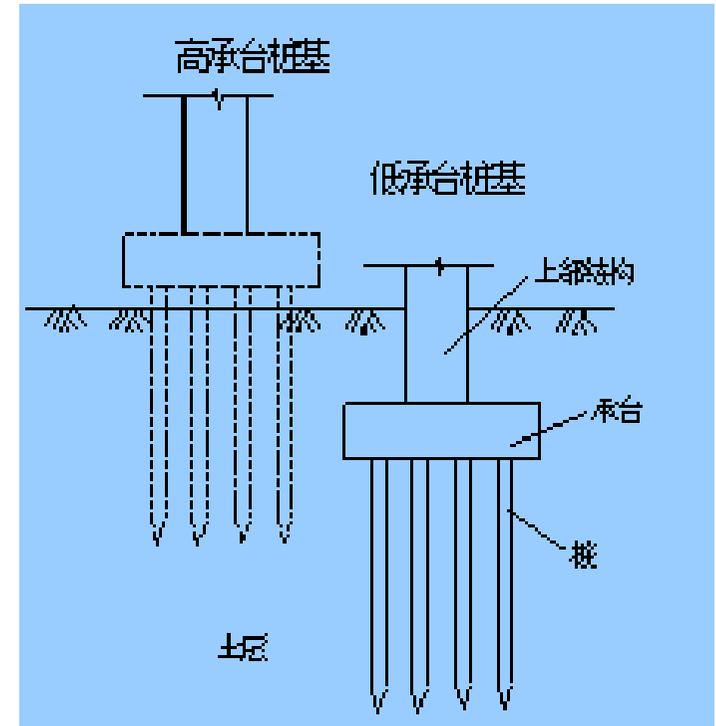
承台:将几个桩结合起来传递荷载。

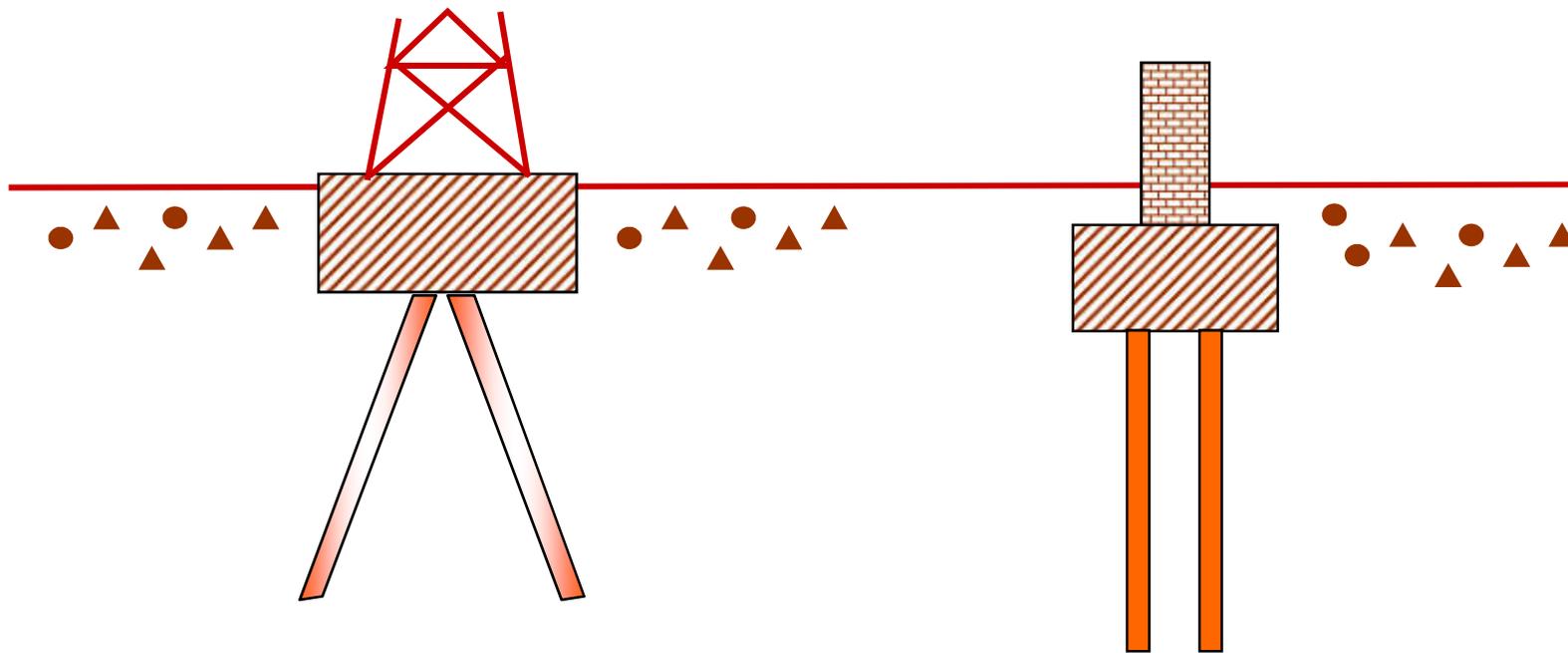
1. 低承台桩基

承台底面位于地面以下，其受力能好，具有较强的抵抗水平荷载的能力，施工不方便。

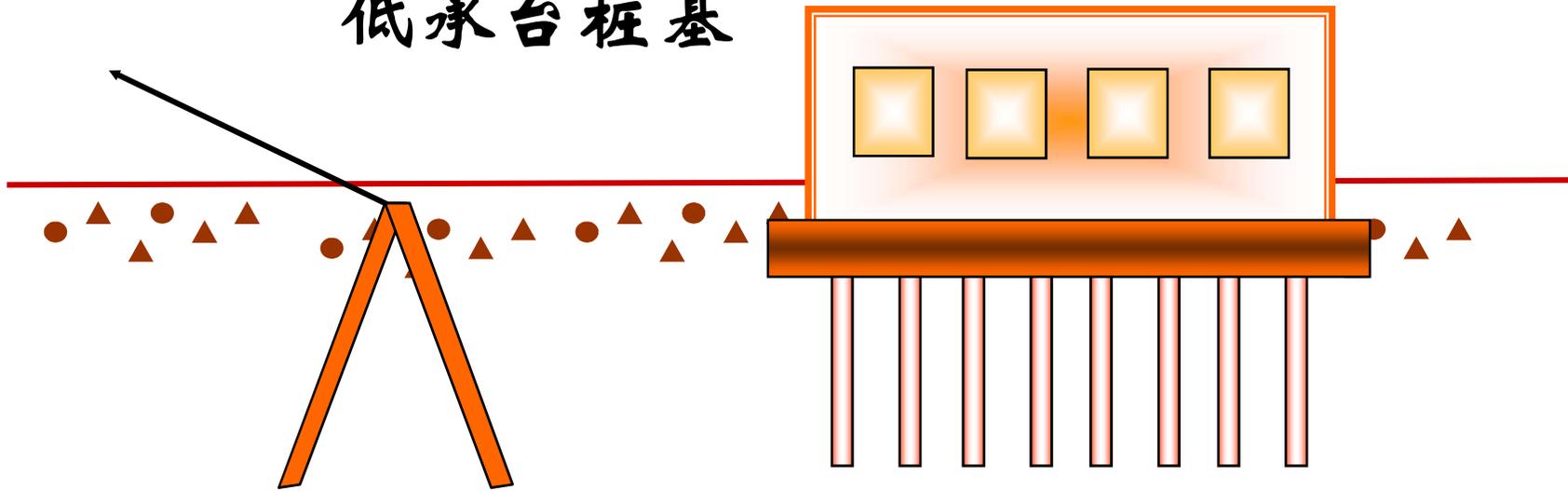
2. 高承台桩基

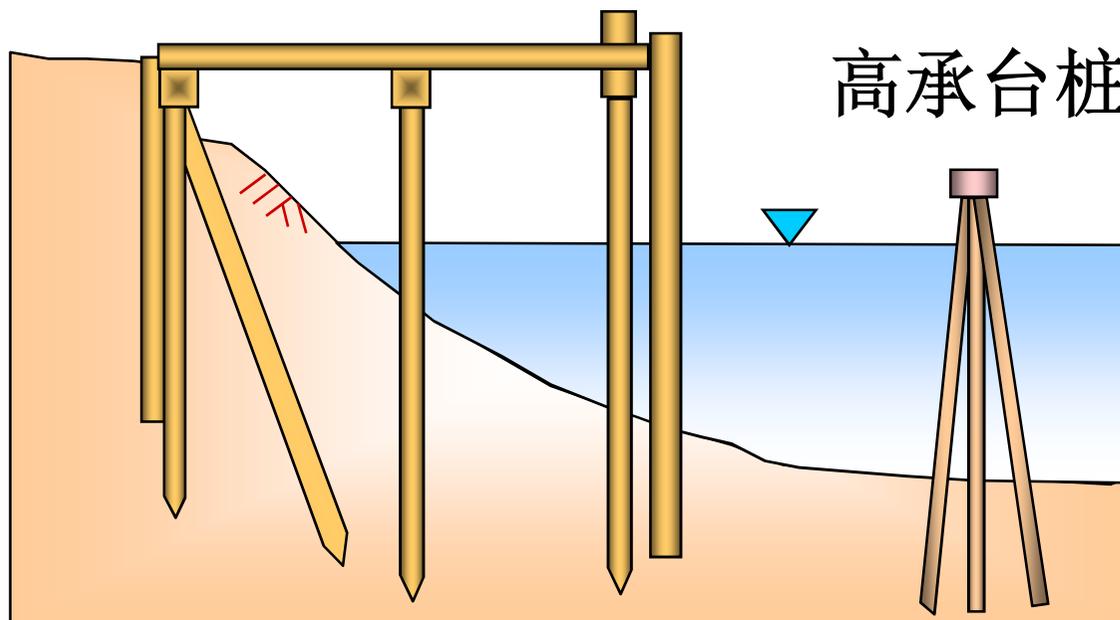
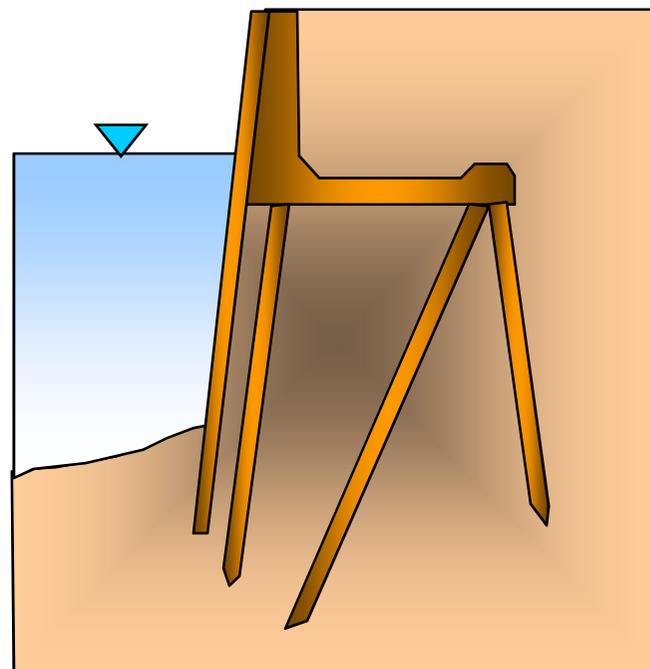
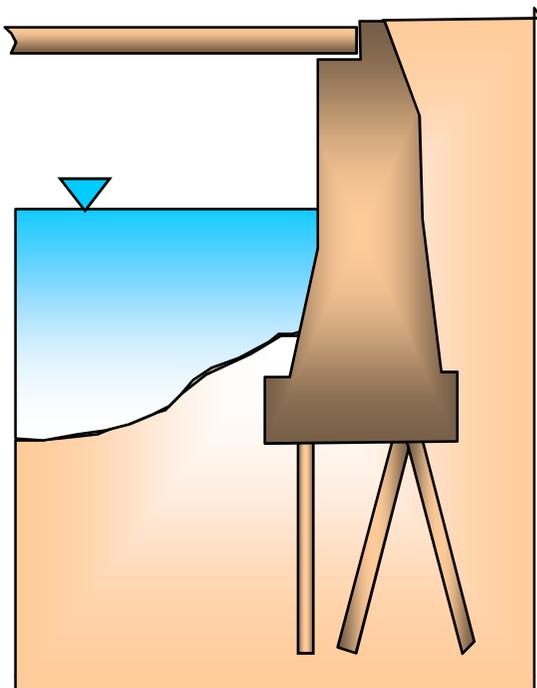
承台底面位于地面以上，且常处于水上，水平受力性能差，但施工方便。可避免水下施工及节省基础材料，多用于桥梁及港口工程。





低承台桩基





高承台桩基

4.1.3 桩的质量检验 P100

可能存在的质量问题

预制桩：桩位偏差、桩身裂缝过大、断桩等

灌注桩：缩颈、夹泥、断桩、沉渣过厚等。

常用质量检测方法

开挖检查：只限于对所暴露的桩身进行观察检查。

抽芯检查：在灌注桩桩身内钻孔，取混凝土芯样进行观察，看它的连续性。

反射波法：测砼的连续性，是否存在孔洞、断桩等。

动测法：高应变测桩承载力，低应变只能测砼质量。

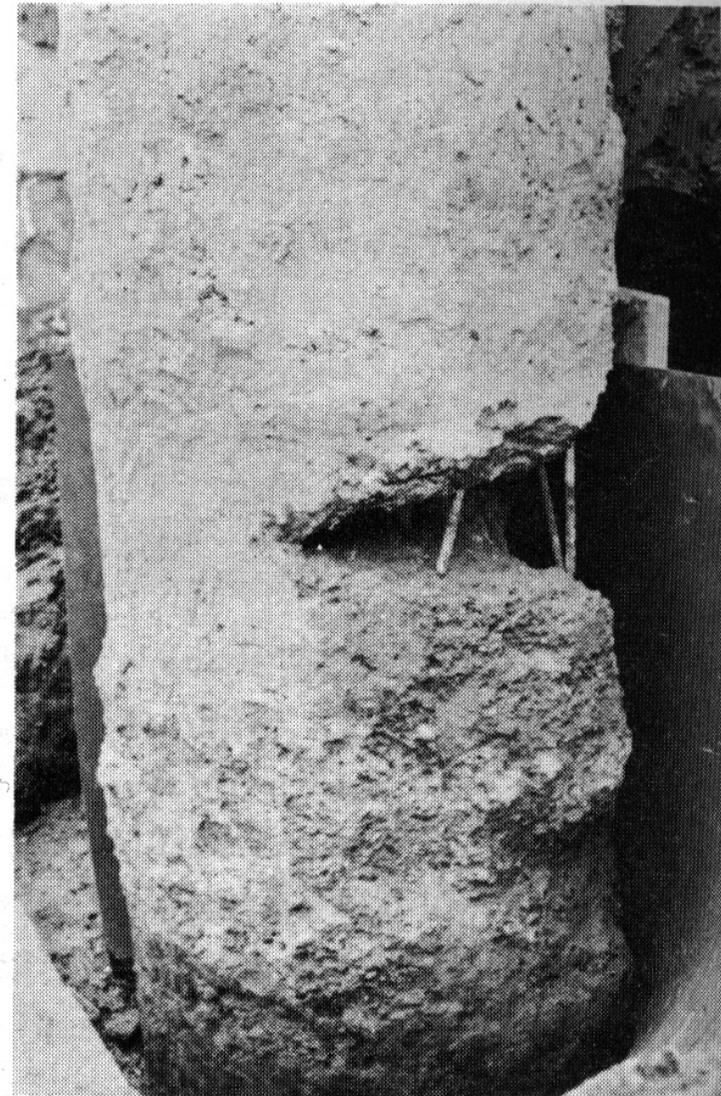
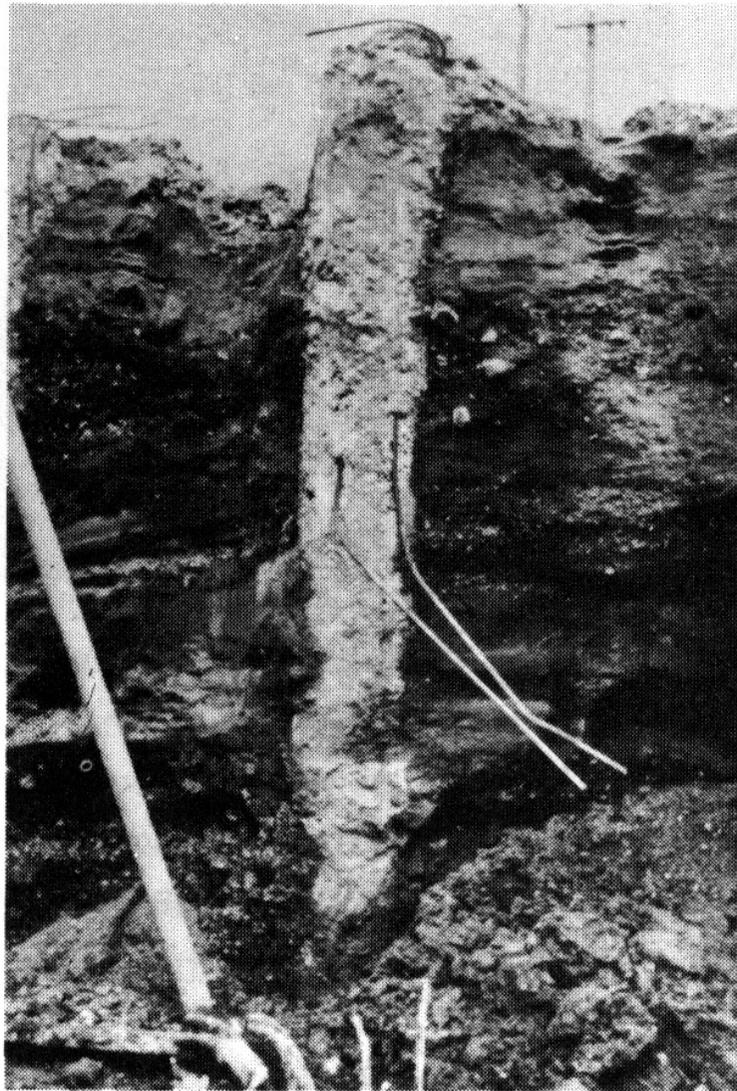


Figure 7.10 Separation of pile shaft caused by extraction of casing. Photograph courtesy of CIRIA, London



Figure 7.12 Defect in pile shaft caused by water. Photograph courtesy of CIRIA, Lon

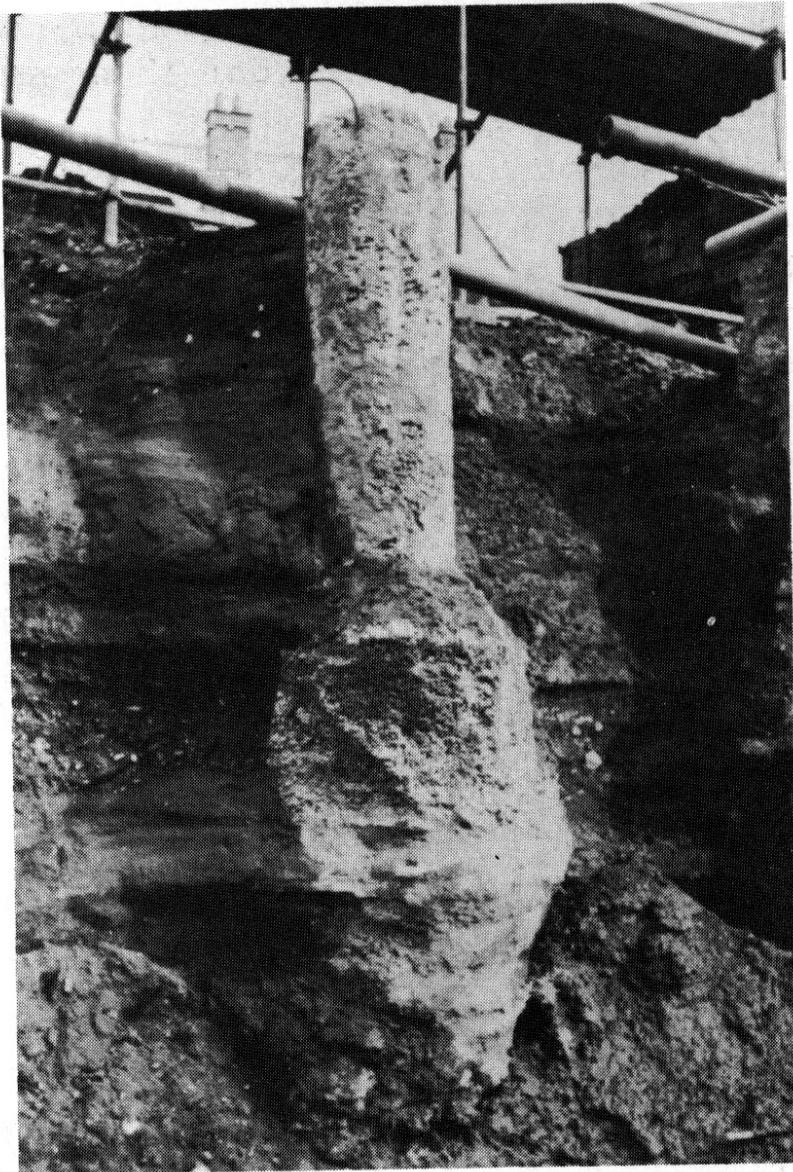


Figure 7.14 Defect caused by concrete slumping into a dry cavity. Photograph courtesy of CIRIA, London

4.1.4 桩基设计原则 P101

《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）2014

1、桩基的极限状态：

桩基承载能力极限状态：对应于桩基受荷达到最大承载能力导致整体失稳或发生不适于继续承载的变形；

桩基正常使用极限状态：对应于桩基变形达到为保证建筑物正常使用所规定的限值或桩基达到耐久性要求的某项限值。

1 《建筑地基基础设计规范》（GBJ7-89）

2 《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2002）

3 《建筑桩基技术规范》（GBJ7-94）

2、建筑桩基设计等级：

根据建筑规模、功能特征、对差异变形的适应性、场地地基和建筑物体型的复杂性以及由于桩基问题可能造成建筑破坏或影响正常使用的程度，应将桩基设计分为表3.1.2所列的三个设计等级。桩基设计时，应根据表3.1.2确定设计等级。

表 3.1.2

建筑桩基设计等级

设计等级	建筑类型
甲级	(1) 重要的建筑 (2) 30层以上或高度超过100m的高层建筑 (3) 体型复杂且层数相差超过10层的高低层(含纯地下室)连体建筑 (4) 20层以上框架-核心筒结构及其他对差异沉降有特殊要求的建筑 (5) 场地和地基条件复杂的7层以上的一般建筑及坡地、岸边建筑 (6) 对相邻既有工程影响较大的建筑
乙级	除甲级、丙级以外的建筑
丙级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的7层及7层以下的一般建筑

3、桩基计算（验算）内容：

（1）所有桩基均应进行承载力极限状态计算

1) 桩基的竖向承载力计算、群桩承载力计算；

2) 桩端平面以下软弱下卧层承载力验算；

3) 桩基抗震承载力验算；

4) 承台计算和桩身承载力计算；

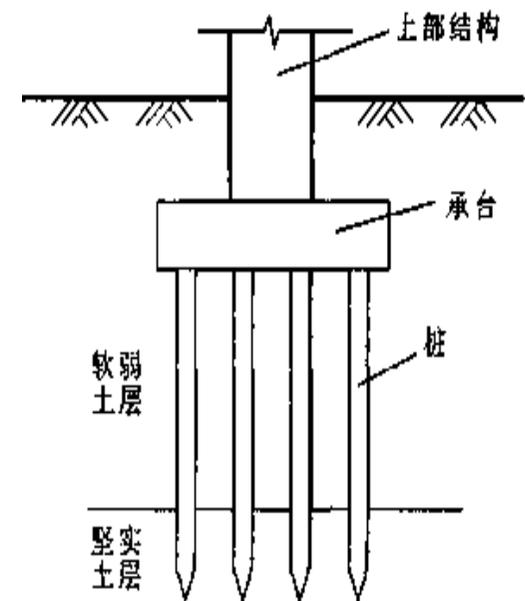


图 8.1 低承台桩基示意图

(2) 以下桩基尚应进行变形验算：

1) 桩端持力层为软弱土的一、二级建筑物及桩端持力层为粘性土等的或存在软弱下卧层的一级建筑桩基的沉降验算。

2) 承受较大水平荷载或对水平变位要求严格的一级建筑桩基的水平变位验算。

(3) 对不允许出现裂缝或限制裂缝宽度的混凝土桩身和承台应进行抗裂或裂缝宽度验算。

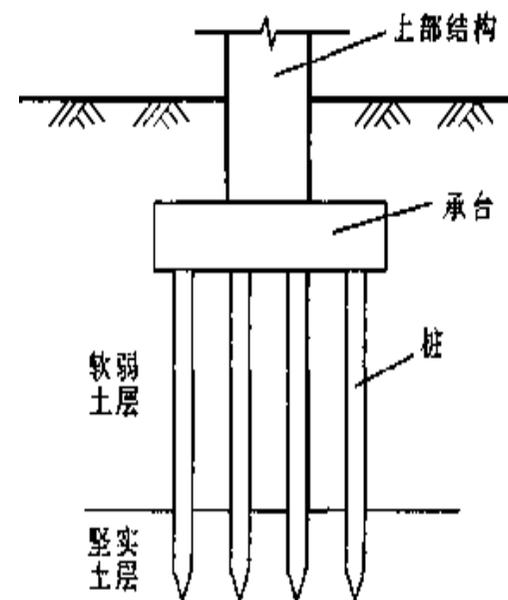


图 8.1 低承台桩基示意图

4、桩基规范对荷载效应的规定

- 桩基设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力应符合下列规定：

(1) 确定桩数和布桩时，应采用传至承台底面的荷载效应标准组合；相应的抗力应采用基桩或复合基桩承载力特征值。

(2) 计算荷载作用下的桩基沉降和水平位移时，应采用荷载效应准永久组合；计算水平地震作用、风载作用下的桩基水平位移时，应采用水平地震作用、风载效应标准组合。

(3) 验算坡地、岸边建筑桩基的整体稳定性时，应采用荷载效应标准组合；抗震设防区，应采用地震作用效应和荷载效应的标准组合。

4、桩基规范对荷载效应的规定

- (4) 在计算桩基结构承载力、确定尺寸和配筋时，应采用传至承台顶面的荷载效应基本组合。当进行承台和桩身裂缝控制验算时，应分别采用荷载效应标准组合和荷载效应准永久组合。
- (5) 桩基结构设计安全等级、结构设计使用年限和结构重要性系数 γ_0 应按现行有关建筑结构规范的规定采用，除临时性建筑外，重要性系数 γ_0 不应小于1.0。
- (6) 当桩基结构进行抗震验算时，其承载力调整系数 γ_{RE} 应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011)的规定采用。

Th e e n d

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称

邮件标题同文件名

Any questions please 发送至 xingzhengwu@163.com