4. 杭基础

PART B

4. 2竖向承载力下单桩的工作性能

4. 2. 1 桩的荷载传递

- 承载机理

  竖向荷载**Q** →桩压缩→侧摩阻**Qs**消耗荷载（桩土相对位移包括桩端土的压缩、桩身压缩）→桩底阻力**Qp**（桩端土压缩）

- 土对桩的支撑力

$$Q = Q_s + Q_p \qquad Q_u = Q_{su} + Q_{pu}$$

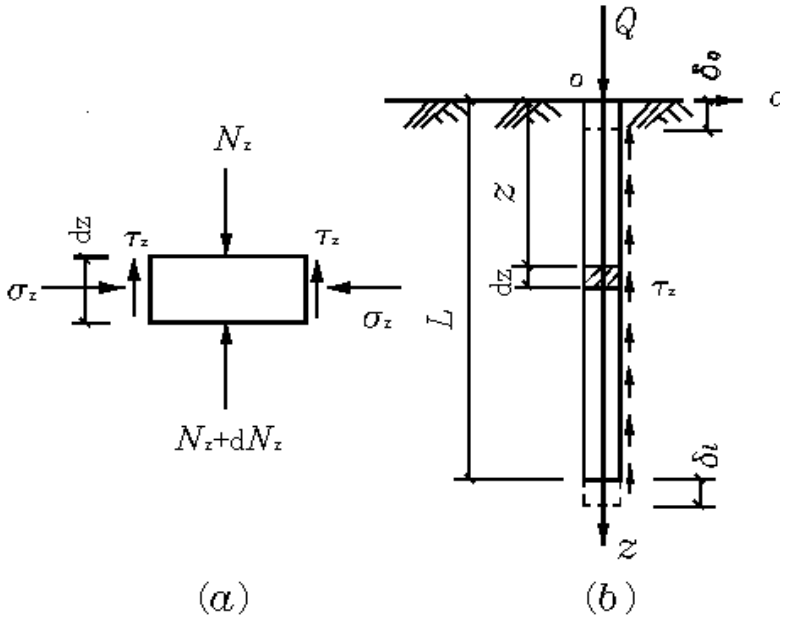
  桩侧摩阻力和桩端阻力：何种为主，与桩身压缩量有关。

- 桩的荷载传递过程实质上就是桩侧摩阻力与桩端阻力逐步发挥的过程。

■ 随着桩顶荷载的逐级增加，桩截面的轴力、位移和桩侧摩阻力不断变化。

（1）单桩轴向荷载的传递 $Q = Q_s + Q_p$

（2）建立单桩轴向荷载基本微分方程



微元体

静力平衡条件

$$N_z - \tau_z \cdot u \cdot dz - (N_z + dN_z) = 0$$

$$\tau_z = -\frac{1}{u}\frac{dN_z}{dz}$$

基本微分方程

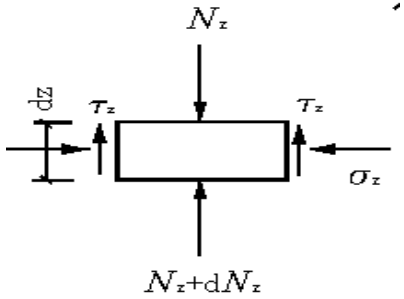
设：桩侧单位面积摩阻力桩τ_z，长度为l，横截面积为A，周长为u，**E**桩身材料的弹性模量 ；N_0桩顶的轴向力 ；桩顶截面位移 δ_0（亦即桩顶沉降s）。

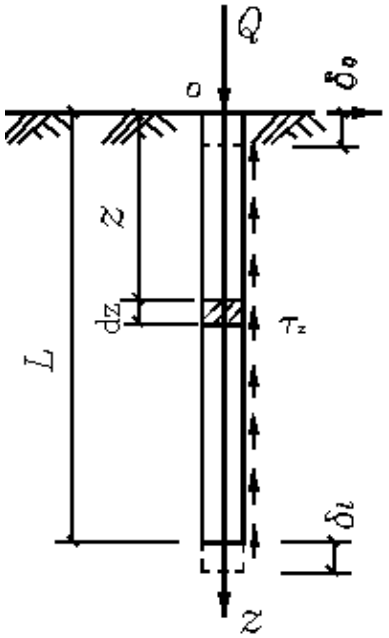
(3) 方程的运用

$$\tau_z = -\frac{1}{u}\frac{dN_z}{dz}$$

$$N_z = Q - \int_0^z u\ \tau_z dz$$

✓计算沿桩身轴力





✓计算沿桩身截面位移量

材料力学

$$d\delta_s = -N_z \cdot \frac{dz}{A\ E}$$

$S_0=S=\delta_s+\delta_l$

积分

$$\delta_z = s - \frac{1}{EA}\int_0^z N_z \cdot dz$$

$$\delta_l = s - \frac{1}{EA}\int_0^l N_z \cdot dz$$

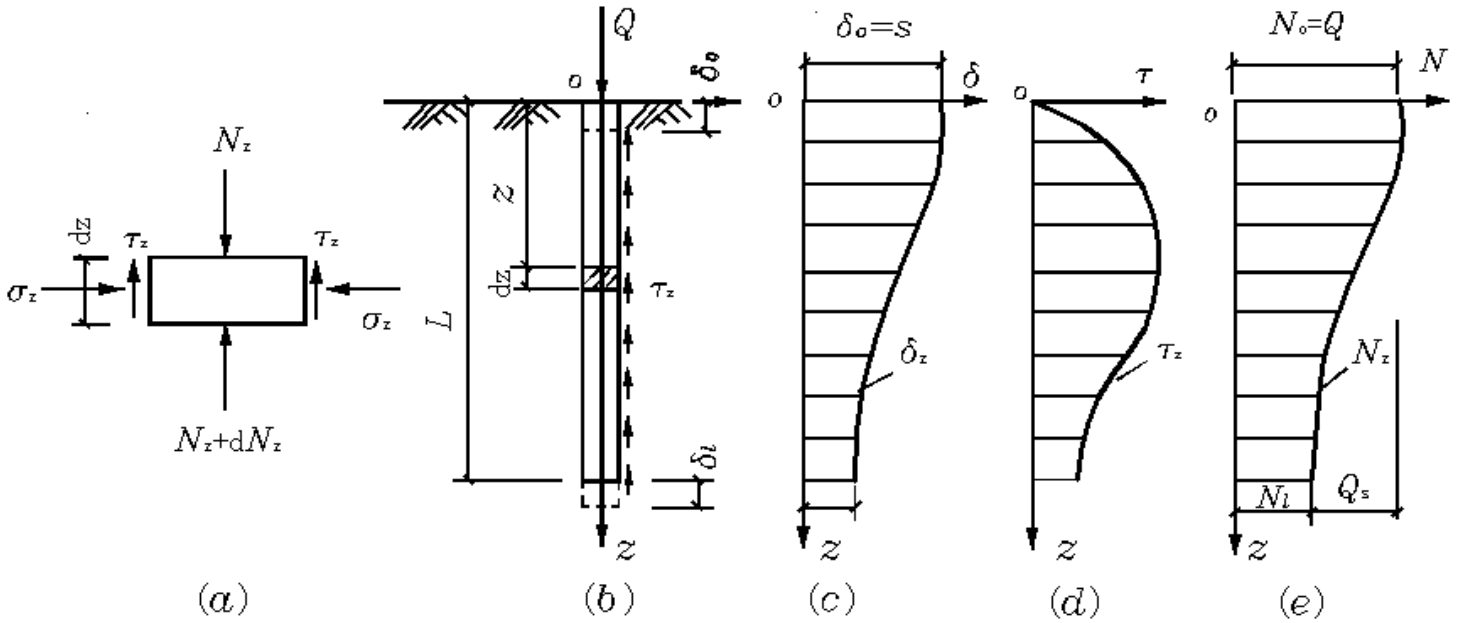
N_z ---桩身任意深度处轴力

δ_s ---桩在轴力 N_z 作用下产生的压缩变形

δ_l ---桩端下沉量

δ_z ---任意深度处的桩截面位移

✓ 由试验获得桩身轴力 N_z 分布图，则可通过方程求出桩侧阻和截面位移分布图，研究侧阻与端阻的分布及发展。****



4.2.1 桩的荷载传递

■ 桩侧摩阻力影响因素

✓ 土的性质：如抗剪强度(c, φ) →决定摩阻力的可能最大值

✓ 桩土相对位移 →决定摩阻力的发挥程度

✓ 时间因素：土的固结随t增加向下部转移 →决定摩阻力发挥的时间 。（打入预制桩：挤土作用，超静孔隙水压力消散，土的触变性，其他施工因素）。

✓ 桩的刚度：影响桩周应力的分布。

✓ 土中的应力状态：主要指侧向压力

✓ 施工方法：a)挤土桩；b)非挤土桩。

■ 桩端阻力影响因素

土性 、下卧层 、持力层密度、 上覆荷载(覆盖土层厚度)、 桩径、桩底作用力、时间及桩底进入持力层深度等因素有关，其主要影响因素仍为桩底地基土的性质等。

4.2.2 桩的荷载传递的一般规律

- 侧阻先于端阻发挥，发挥程度与桩土相对位移相关；

✓ 侧阻充分发挥桩土相对位移值：

- 粘性土：4～6mm；
- 砂土：　6～10mm；

✓ 端阻充分发挥桩底极限位移值：

- 砂类土：(0.08～0.1) d；
- 粘性土：0.25d，硬粘土 0.1d。

✓ 桩侧阻与桩端阻存在深度效应：桩的侧阻和端阻都随深度呈线性增大,但具有深度效应。

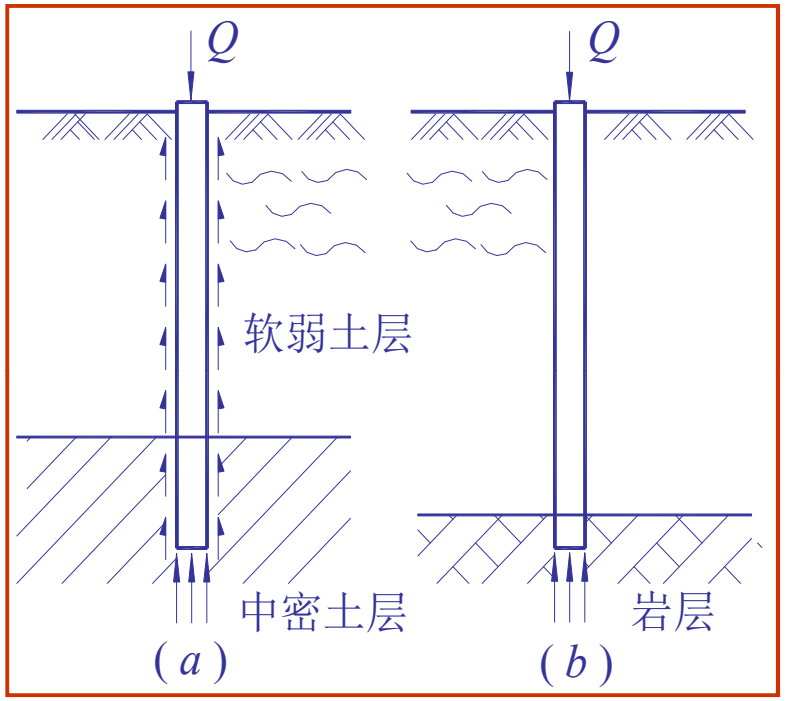


图4.11 桩身荷载传递

(*a*) 摩擦桩；(*b*)端承桩

端阻深度效应：端承力与深度有关，存在临界深度

端阻的临界深度——当桩端入土深度小于某一临界值时，极限端阻随深度增加，而大于该深度后则保持恒值不变，这一深度称为端阻的临界深度。

端阻的临界厚度——当桩端持力层下存在软弱下卧层时、且桩端与软弱下卧层的距离小于某一厚度时，桩端阻力将受软弱下卧层影响而降低，这一厚度称端阻的临界厚度。

侧阻深度效应：侧阻随着深度增加，存在临界深度

侧阻的深度效应——当桩入土深度达某一临界深度后，侧阻就不随深度增加的现象称为侧阻的深度效应。

■ 荷载传递的规律　P105

1)桩端土和桩周土的刚度比 E_b/E_s：　影响桩的承载性状

E_b/E_s	1 → 100
承载性状	摩擦桩→端承桩

2)桩土刚度比 E_p/E_s：影响桩端阻力分担荷载的大小。

Ep / Es愈大，传递到桩端的荷载愈大。低刚度桩基（砂桩、碎石桩、灰土桩），按复合地基设计。

3)桩端扩底直径与桩身直径之比 D/d　：影响桩端分担荷载的大小；

4)桩的长径比 l/d　：桩径比过大，影响桩端阻力的发挥，设计时不宜使桩长径比太大。如：很长的桩实际上是摩擦桩，用扩大桩端直径来提高承载力是徒劳的。

4.2.3 单桩的破坏模式

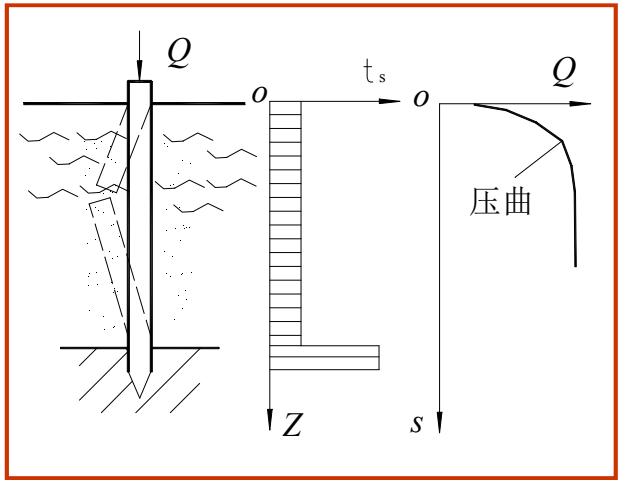


图4.12 压曲破坏

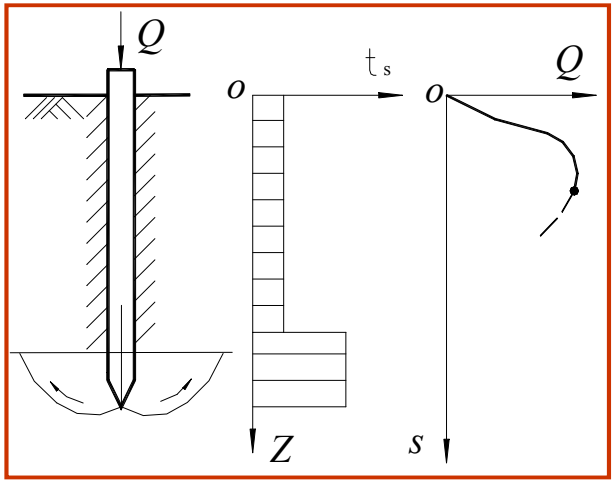


图4.13 整体剪切破坏

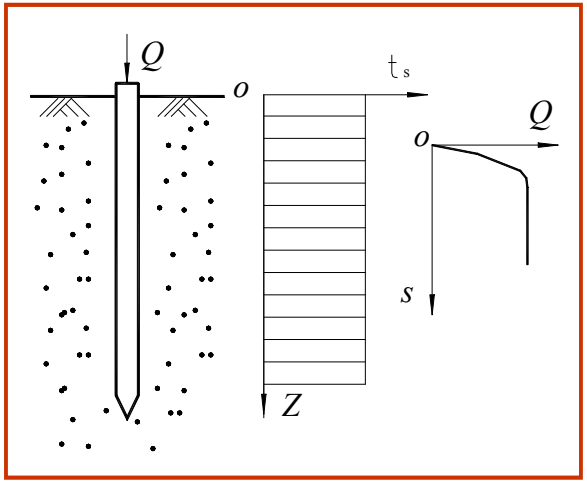


图4.14 刺入破坏

■压曲破坏：沉降量很小，桩端阻为主，桩材控制承载力，穿越软弱土层的小直径桩和嵌岩桩属于此类；

■整体剪切：沉降量较大，桩端阻为主，桩端桩侧土控制承载力，打入式短桩、钻孔短桩属于此类；

■刺入破坏：沉降量大，桩侧阻为主，桩顶容许沉降控制承载力，一般情况下的钻孔灌注桩属于此类。

单桩的破坏模式影响因素：桩周土的抗剪强度、桩端支承情况、桩的尺寸、桩的类型

4.2.4 桩侧负摩阻力

■**定义：**桩周土相对于桩身下沉时产生的摩阻力。

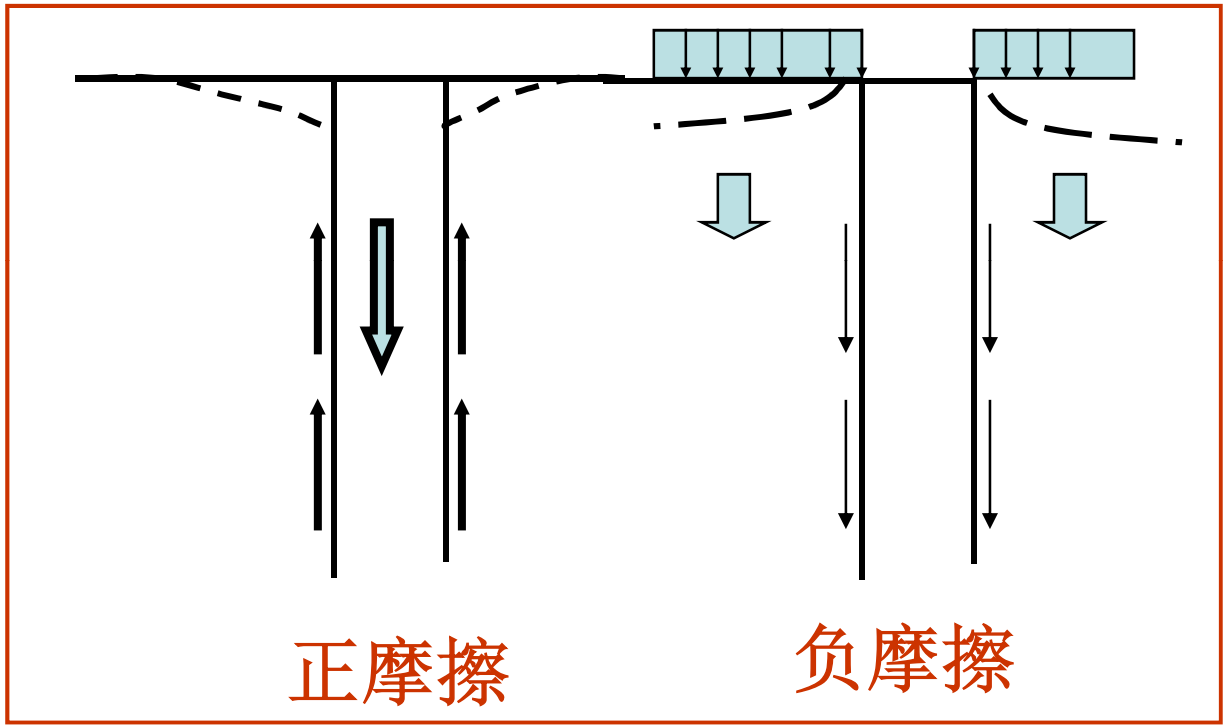


图4.15 桩侧摩阻力示意图

4.2.4 桩侧负摩阻力

■ 产生负摩阻力的条件

(1) 在软土地区，大范围地下水位下降，使土中有效应力增加，导致桩侧土层沉降；

(2) 桩侧有大面积地面堆载使桩侧土层压缩；

(3) 桩侧有较厚的欠固结土或新填土，这些土层在自重下沉降；

(4) 在自重湿陷性黄土地区，由于浸水而引起桩侧土的湿陷；

(5) 在冻土地区，由于温度升高而引起桩侧土的融陷。

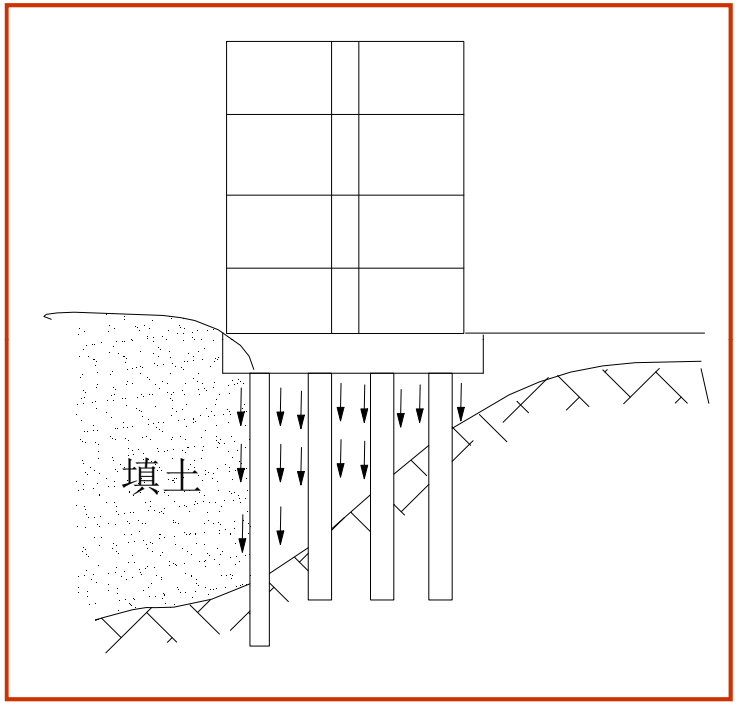


图4.16 住宅楼建于有新填土的斜坡上

4.2.4 桩侧负摩阻力

■ 中性点

✓ **定义：** 桩土相对位移为零处，桩侧摩阻力为零处。

- 在某深度处桩周土与桩截面沉降相等；
- 或两者无相对位移发生；
- 或其摩阻力为零。

✓ **特点：** 在中性点处桩身轴力达到最大值$N=Q+Q_n$ 。

Q_n----下拉荷载：单桩桩侧总的负摩阻力，即中性点以上负摩阻力之和。

4.2.4 桩侧负摩阻力

■ 中性点位置的确定

✓中性点的位置l_n取决于桩—土间的相对位移：

•当桩侧压缩变形大，桩的l_n/l_0下土层坚硬，抗下沉量小，→下移；

•反之，中性点位置上移。

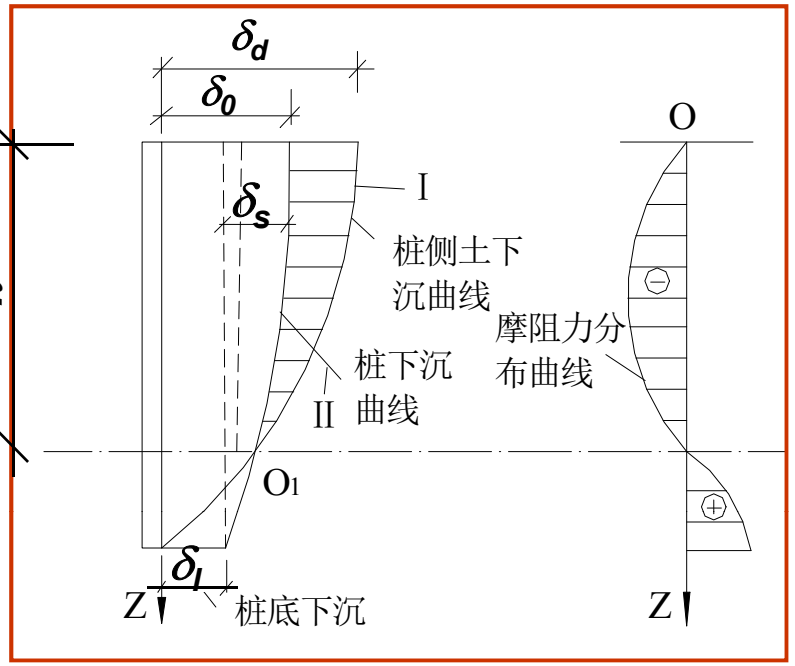


图4.17 有负摩阻力时的荷载传递

✓ 中性点位置l_n还与时间因素、环境因素、地质条件等有关，精确计算有困难，目前采用经验估算法：（$0.5\sim1.0l_0$）

✓ l_0—桩周变形土层下限深度，即软弱压缩层厚度。

持力层土层	粘性土、粉土	中密以上砂	砾石、卵石	基岩
l_n/l_0	0.5-0.6	0.7-0.8	0.9	1.0

4.2.4 桩侧负摩阻力

减小负摩阻力的措施

- ✓ 侧土预密实
- ✓ 预制桩：涂层法；
- ✓ 钢桩：塑料薄膜隔离层法；
- ✓ 灌注桩：桩土之间灌注斑脱土浆法；

膨润土（Bentonite）按译音，是以蒙脱石为主的含水粘土矿

4.3 单桩竖向承载力的确定

单桩承载力：是指单桩在外荷载作用下，不丧失稳定性、不产生过大变形时的承载能力.

单桩的竖向承载力定义：是指单桩在竖向荷载作用下，桩土共同工作，地基土和桩身的强度和稳定性得到保证，沉降变形在容许范围内时所承担的最大荷载值。

单桩竖向极限承载力：单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载，称单桩竖向极限承载力。在设计时，不应使桩在极限状态下工作，必须有一定的安全储备。

单桩的竖向承载力主要取决于两方面：一是地基土对桩的支承能力;二是桩身的材料强度.

一般来说，竖向受压的摩擦桩的承载力决定于土的阻力，材料强度往往不能充分发挥，只有对端承桩、超长桩以及桩身质量有缺陷的桩，桩身材料强度才起控制作用。抗拔桩的承载力也往往由土的阻力决定，但对于长期或经常承受拔力的桩，还需限制桩身的裂缝宽度甚至不允许出现裂缝，视环境条件而定。在这种情况下，除桩身强度外，还应进行抗裂计算。

- 4.3.1 按桩材强度确定 P109
- 4.3.2 按静载试验确定(重点) P110
- 4.3.3 按土的抗剪强度指标确定 P112
- 4.3.4 按静力触探法确定 P113
- 4.3.5 按经验公式确定 (重点) P114
- 4.3.6 按动力试桩法确定 P118

PPT讲述中按其重要性进行排列

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.1 按桩材强度确

桩的稳定系数

工作条件系数
预制桩：0.85
灌注桩：0.6~0.9

✓ 建工

$$N \leqslant \varphi(\psi_c f_c A_P + 0.9 f'_y A_g)$$

✓ 路桥

$$P \leqslant 0.90\varphi(f_{cd} A + f'_{sd} A'_s)$$

N、P—荷载效应基本组合下桩顶轴向压力设计值

f_c f_{cd} — 砼轴心抗压强度设计值；

f'_y f'_{sd} — 纵向钢筋抗压强度设计值；

A_p— 桩身截面积，当纵向筋的配筋率大于3%时，A应改为$A_n=A-A'_s$；

A_g A'_s— 全部纵向钢筋的截面积；

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

4.3.5 按经验公式确定（建工）

一般预制桩与中小直径灌注桩

800mm 为界

P114

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u_p \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$$

书P114表4-6

式中 q_{sik}——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，如无当地经验时，可按表 5.3.5-1 取值；

q_{pk}——极限端阻力标准值，如无当地经验时，可按表 5.3.5-2 取值。

书P114表4-7

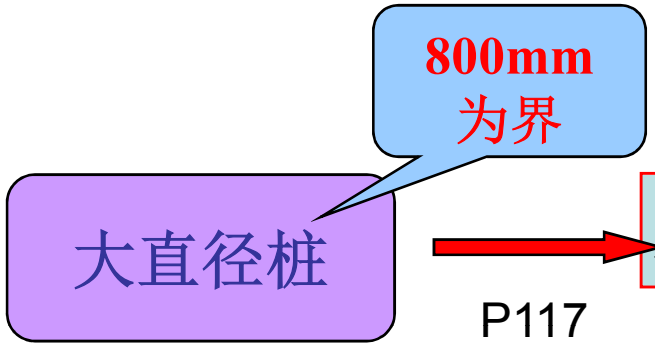
Q_{uk}——单桩竖向极限承载力标准值

Q_{sk}——单桩总极限侧阻力标准值

Q_{pk}——单桩总极限端阻力标准值

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.5 按经验公式确定（建工）



P117

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u_p \sum \psi_{si} q_{sik} l_{si} + \psi_p q_{pk} A_p$$

式中 q_{sik}——桩侧第 i 层土极限侧阻力标准值，如无当地经验值时，可按本规范表 5.3.5-1 取值，对于扩底桩变截面以上 $2d$ 长度范围不计侧阻力；

q_{pk}——桩径为 800mm 的极限端阻力标准值，对于干作业挖孔（清底干净）可采用深层载荷板试验确定；当不能进行深层载荷板试验时，可按表 5.3.6-1 取值；

ψ_{si}、ψ_p——大直径桩侧阻、端阻尺寸效应系数，按表 5.3.6-2 取值。

u——桩身周长，当人工挖孔桩桩周护壁为振捣密实的混凝土时，桩身周长可按护壁外直径计算。

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

4.3.5 按经验公式确定（建工）

嵌岩桩 → P118

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk}$$

$$Q_{sk} = u\sum q_{sik} l_i$$

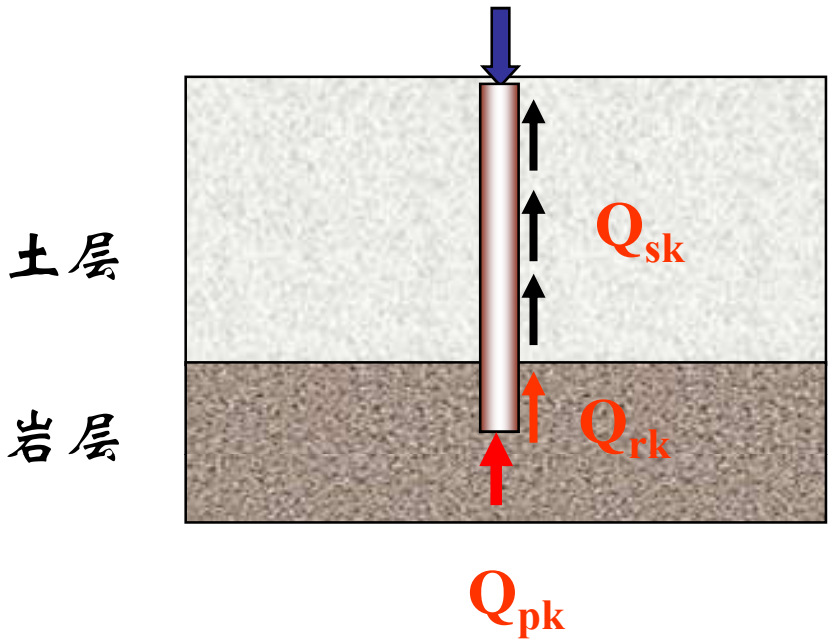
$$Q_{rk} = \zeta_r f_{rk} A_p$$

式中 Q_{sk}、Q_{rk}——分别为土的总极限侧阻力、嵌岩段总极限阻力；

q_{sik}——桩周第 i 层土的极限侧阻力，无当地经验时，可根据成桩工艺按本规范表 5.3.5-1 取值；

f_{rk}——岩石饱和单轴抗压强度标准值，黏土岩取天然湿度单轴抗压强度标准值；

ζ_r——嵌岩段侧阻和端阻综合系数，与嵌岩深径比 h_r / d、岩石软硬程度和成桩工艺有关，可按表 5.3.9 采用；表中数值适用于泥浆护壁成桩，对于干作业成桩（清底干净）和泥浆护壁成桩后注浆，ζ_r 应取表列数值的 1.2 倍。


土层
岩层
Q_{sk}
Q_{rk}
Q_{pk}

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.5 按经验公式确定（路桥）DEL

✓ 打入桩

$$[P]=\frac{1}{2}[U\sum\alpha_i l_i\tau_i+\alpha A\sigma_R]$$

l_i— 承台底面或局部（最大）冲刷线以下各土层的厚度；

τ_i— 与l_i对应的桩侧各土层的单位面积极限摩阻力；

A— 桩底面积；

σ_R— 桩底处土的极限承载力；

α_i、α— 振动下沉对桩侧摩阻力与桩端阻力的影响系数。

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.5 按经验公式确定（路桥）DEL

✓钻孔灌注桩

$$[P]=\frac{1}{2}u\sum l_i\tau_i+\lambda m_0 A\{[\sigma_0]+K_2\gamma_2(h-3)\}$$

u— 桩周长，$U=\pi d_{成}$，$d_{成}=d_{钻}+\Delta d$ (旋转钻增大3～5cm；冲击钻增大5～10cm；冲抓钻增大10～20cm)；

λ— 考虑基桩长径比的修正系数；

m_0— 清底系数；

$[\sigma_0]$ — 桩端处土的容许承载力；

h— 桩底埋深，有冲刷时从一般冲刷线算起，取值应≤40m；

A— 按设计直径计算。

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.5 按经验公式确定（路桥）DEL

✓ **柱桩：** 支承在基岩上或嵌入岩层中的单桩，其轴向受压容许承载力，取决于桩底处岩石的强度和嵌入岩层的深度.

$$[P]=(c_1A+c_2Uh_r)R_a$$

c_1,c_2— 视清孔情况、岩石破碎程度等因素而定的系数；

U— 桩身嵌入基岩部分的截面周长，对于钻孔桩和管柱按设计直径采用；

R_a— 天然湿度岩石单轴极限抗压强度(试件高径比相等，直径7～10cm)。

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.2 由竖向抗压静载试验确定 P110

✓ **特点：** 是评价单桩承载力最为直观和可靠的方法。

✓ **基本原则**

- 桩数：不宜小于总数1%，不少于3根；
- 时间：对于预制桩，桩设置后开始载荷试验所需的间歇时间：对于砂类土不得少于10天；粉土和粘性土不得少于15天，饱和软粘土不得少于25天。

✓ 试验装置及方法

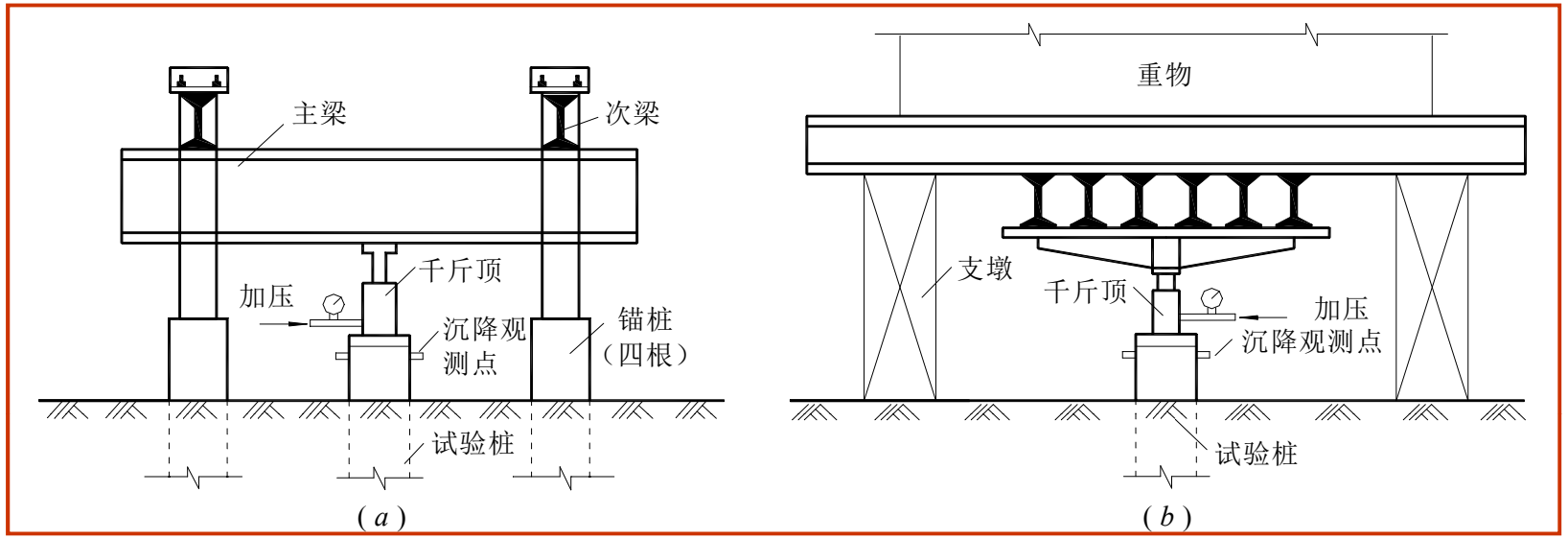
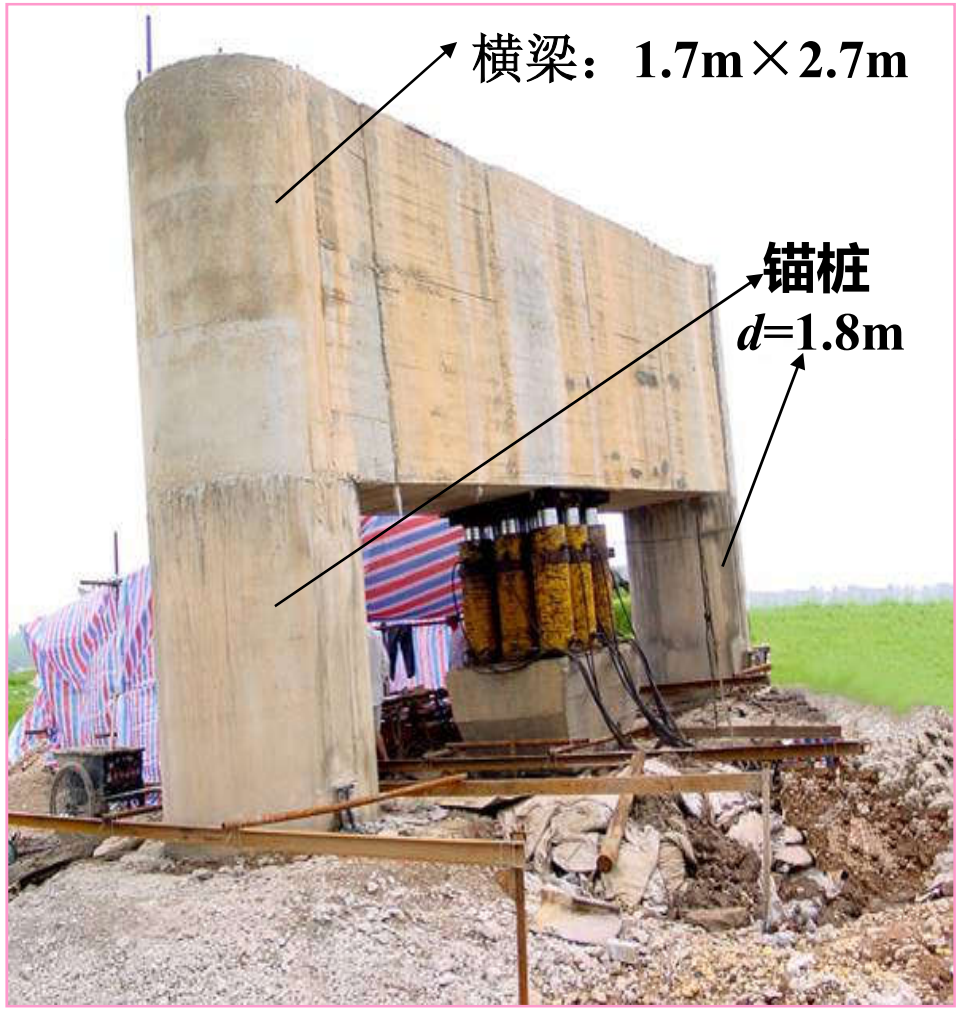


图4.12 静载实验装置

- 试验装置：①加荷系统：包括加力装置和反力装置、②位移观测系统
- 测试方法：分级（开始阶段1/5－1/8倍预估破坏荷载，终了阶段1/10—1/15）慢速维持荷载法。

✓ 反力装置

直接堆载



锚桩反力梁法

✓ 慢速维持荷载法

- **每级荷载大小**

  分级（初始阶段：每级荷载为1/5－1/8倍预估破坏荷载，终了阶段1/10－1/15）。

- **测读沉降时间**

  在每级荷载施加后第一个小时内，按5、15、30、45、60min测读一次，以后每隔30min测读一次，直至沉降稳定为止。

- **稳定标准**

  每级荷载下桩顶沉降量小于0.1mm/*h*，并连续出现两次。

✓ 终止条件

- 某级荷载下，桩顶沉降量为前一级荷载下沉降量的5倍；
- 某级荷载下，桩顶沉降量大于前一级荷载下沉降量的2倍，且经24*h*尚未达到相对稳定；
- 已达到锚桩最大抗拔力或压重平台的最大重量时。

✓ 卸载观测

- 每级卸载为加载时的两倍。
- 卸载时，每级荷载维持1*h*，按第15、30、60min测读桩顶沉降量；卸载至零后测读桩顶残余沉降量，维持3*h*，测读时间为第15、30min，以后每隔30min测读一次。

✓ 试验成果处理—极限荷载Q_u确定

- 按沉降随荷载的变化特征确定

  对陡降型Q-s曲线，取曲线发生明显陡降的起始点所对应的荷载为Q_u

- 由沉降量确定Q_u

  对缓变型Q-s曲线，可取s=40~60mm对应的荷载值为Q_u。大直径桩可取s=0.03~0.06d对应的荷载值(大桩取低值，小桩取高值)，细长桩(l/d >80)可取s=60～80mm对应的荷载。

- 沉降速率法—s-lg$_t$法:

- 取破坏荷载的前一级荷载

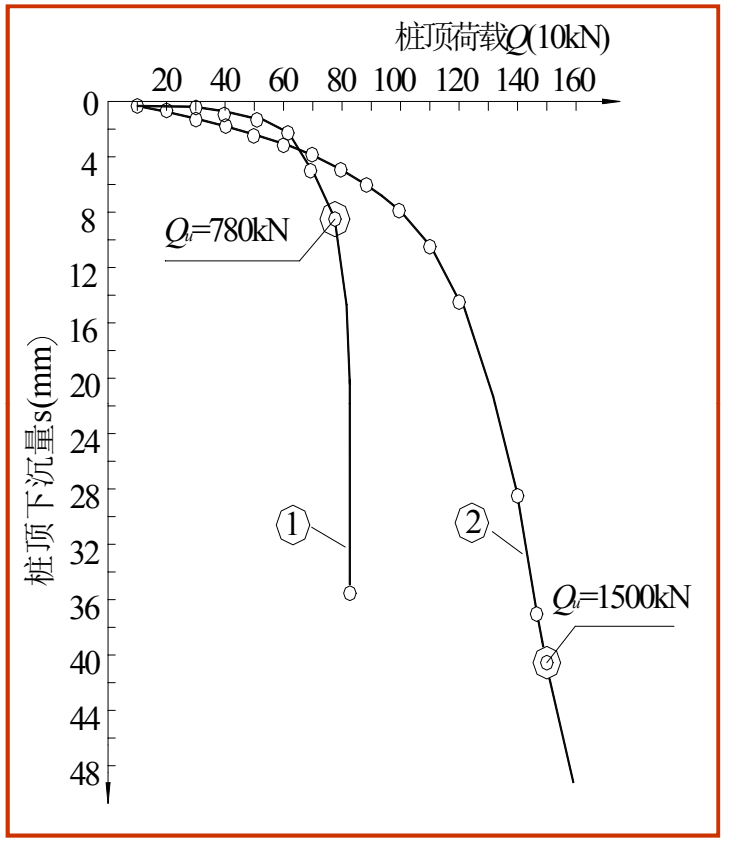


图4.19 单桩Q-s曲线

书P112 取单桩竖向抗压极限承载力Q_u的一半作为单桩竖向抗压承载力特征值R_a

4.3 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.6 按动力试桩法确定 P118

- ✓ **原理：**在桩顶施加动荷载，使桩身产生加速度和土阻尼等效应，通过设置于桩顶的传感器量测此动力响应信号（如位移、速度或加速度），据此分析确定桩身完整性或承载力。
- ✓ **高应变法：**一般以重锤敲击桩顶，使桩贯入，桩土间产生相对位移，从而分析对桩的外来抗力，可同时测定桩身完整性与承载力。
- ✓ **低应变法：**施加的荷载远小于桩的使用荷载，不足以使桩产生相对位移，而只通过应力波的反射和传播，主要用以检测桩身砼质量。每年检测4万根。

4.3.1 单桩竖向抗压承载力确定

■ 4.3.4 按静力触探法确定 P113

静力触探法是借触探仪的探头贯入土中时的贯入阻力与受压单桩在土中的工作状况有相似的特点，将探头压入土中测得探头的贯入阻力，并与试桩结果进行比较，通过大量资料的积累和分析研究，建立经验公式确定单桩轴向受压容许承载力。测试时，可采用单桥或双桥探头。

5.3.4 当根据双桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力标准值时，对于黏性土、粉土和砂土，如无当地经验时可按下式计算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u\sum l_i \cdot \beta_i \cdot f_{si} + \alpha \cdot q_c \cdot A_p \qquad (5.3.4)$$

式中 f_{si}——第 i 层土的探头平均侧阻力(kPa)；

q_c——桩端平面上、下探头阻力，取桩端平面以上 $4d$（d 为桩的直径或边长）范围内按土层厚度的探头阻力加权平均值(kPa)，然后再和桩端平面以下 $1d$ 范围内的探头阻力进行平均；

α——桩端阻力修正系数，对于黏性土、粉土取 2/3，饱和砂土取 1/2；

β_i——第 i 层土桩侧阻力综合修正系数，黏性土、粉土：$\beta_i = 10.04(f_{si})^{-0.55}$；砂土：$\beta_i = 5.05(f_{si})^{-0.45}$。

■ 4.3.3 按土的抗剪强度指标确定（自学p112）

4.3.7 桩的抗拔承载力 P119

主要承受竖向抗拔荷载的桩称竖向抗拔桩。某些建筑物，如海洋建筑物、高耸的烟囱，高压输电铁塔、受巨大浮托力的地下建筑物，特殊土如膨胀土和冻土上的建筑物等，它们所受的荷载往往会使其下的桩基中的某部分受到上拔力的作用。桩的抗拔承载力主要取决于桩身材料强度及桩与土之间的抗拔侧阻力和桩身自重。

影响抗拔桩极限承载力的主要因素:桩周土的土类、土层的形成条件、桩的长度、桩的类型和施工方法、桩的加载历史和荷载的特点等，总之，凡是引起桩周土内应力状态变化的因素，对抗拔极限承载力都将产生影响。

单桩抗拔极限承载力确定原则：对甲级建筑桩基，应通过现场单桩抗拔静载荷试验确定。对于乙级、丙级建筑桩基，则可按经验公式所估算的抗压桩侧阻力值乘以经验折减系数后作为抗拔侧阻力值。

- 单桩抗拔静载试验确定 P120
- 经验公式法确定

经验公式方法：是建立在圆柱状模型破坏模式基础上的，认为桩的抗拔侧阻力与抗压侧阻力相似，但随着上拔量的增加，抗拔侧阻力会因为土层松动及侧面积减少等原因而低于抗压侧阻力，故利用抗压侧阻力确定抗拔侧阻力时，需要引进一抗拔折减系数 λ，此系数是根据大量的试验资料统计得出的，表4-11。P120

桩基受拔情形：

①单桩基础受拔；

②群桩基础中部分基桩受拔，此时拔力引起的破坏对基础来讲不是整体性的；

③群桩基础的所有基桩均承受拔力，此时基础便可能整体受拔破坏。

(1) 单桩或群桩基础呈非整体性破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值计算式为

$$T_{uk}=\sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \tag{4—23}$$

式中 T_{uk}——单桩抗拔极限承载力标准值；

λ_i——抗拔系数，可按表 4-11 取值；

q_{sik}——桩侧第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值，kPa，可根据成桩方法与工艺按表 4-6 取值；

u_i——破坏表面周长，等直径桩为 π d。如为扩底桩，自桩底起算 5d 范围内，取 $u_i=\pi D$；自桩底起算 5d 范围外，仍按 π d 计算。

(2) 群桩基础呈整体性破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值计算式为

$$T_{gk}=\frac{1}{n}u_1\sum \lambda_i q_{sik} l_i \tag{4-24}$$

式中 u_1——群桩外围周长；

n——群桩基础的基桩数。

4.3.8 单桩竖向承载力特征值 P121

单桩承载力特征值：指单桩在外荷载作用下，不丧失稳定，不产生过大变形所能承受的最大荷载特征值（不超过静载试验Q-s曲线比例界限值），用Ra 表示。即表示正常使用极限状态计算时所采用的单桩承载力值，以发挥正常使用功能时所允许采用的单桩抗力设计值。其值取单桩竖向静载荷试验所得单桩竖向极限承载力除以安全系数K=2。

单桩竖向承载力特征值 R_a 应按下式确定：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk}$$

式中 Q_{uk}——单桩竖向极限承载力标准值；

K——安全系数，取 K=2。

《地基规范》指出，单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列规定：

(1)单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载试验确定。在同一条件下的试桩数量，不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。单桩竖向承载力特征值取单桩竖向静载荷试验所得单桩竖向极限承载力除以安全系数 2。

当桩端持力层为密实砂卵石或其他承载力类似的土层时，对单桩承载力很高的大直径端承型桩，可采用深层平板载荷试验确定桩端土的承载力特征值。

(2)地基基础设计等级为丙级的建筑物，可采用静力触探及标贯试验参数确定 Ra 值。

(3)初步设计时单桩竖向承载力特征值 Ra 可按下式估算

$$R_a = q_{pa}A_p + u\sum q_{sia}l_i$$

（4-26）

式中 q_{pa}、q_{sia}——桩端端阻力、桩侧阻力特征值，由当地静载荷试验结果统计分析算得，其他符号意义同前。

当桩端嵌入完整及较完整的硬质岩中时，可按下式估算单桩竖向承载力特征值

$$R_a = q_{pa}A_p$$

(4—27)

式中 q_{pa}——桩端岩石承载力特征值，当桩端无沉渣时，应根据岩石饱和单轴抗压强度标准值确定，或按岩基载荷试验确定。

(4)嵌岩灌注桩桩端以下三倍桩径范围内应无软弱夹层、断裂破碎带和洞穴分布；并应在桩底应力扩散范围内无岩体临空面。

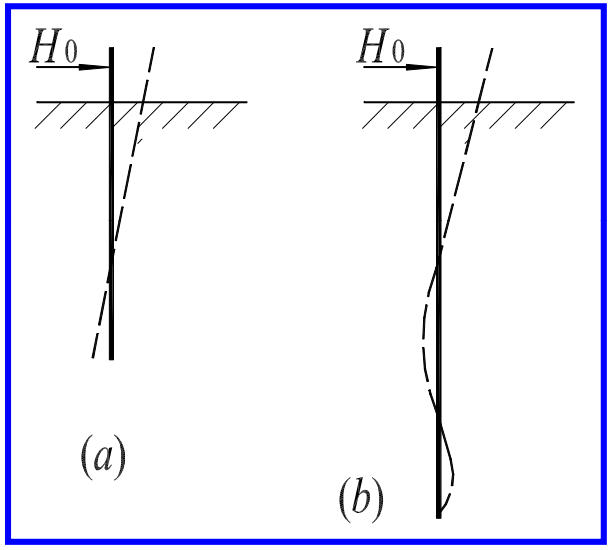
4.4 单桩水平承载力

■**作用机理：**水平荷载(力和弯矩）作用下，桩身产生横向位移或挠曲变形，并挤压桩侧土体，同时桩侧土反作用于桩，产生侧向土抗力，桩土共同作用。从保证桩身材料和地基强度与稳定性以及桩顶水平位移满足使用要求来分析和确定桩的横轴向承载力。

■**破坏模式**

✓**刚性桩(αl <4)：**桩身刚体转动破坏，承载力主要由桩的水平位移和倾斜控制

✓**柔性桩($\alpha l \geq 4$)：**桩身发生扰曲变形，破坏时桩身某点弯矩超过截面抵抗矩或土体屈服失稳，承载力由桩身水平位移及最大弯矩值控制



a)刚性桩；b)弹性桩

✓一般外荷载合力R与竖直线夹角θ≤5°时用竖直桩；当5°<θ≤15°时用斜桩；当θ>15°或受双向荷载时用叉桩，将竖直桩产生的弯矩，转化为受拉或受压。

4.4 单桩水平承载力

✓ α为桩的水平变形系数,单位是m^{-1}， l为桩实际长度， αl是换算长度

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{m\, b_0}{EI}}$$

P126

m —地基土横向抗力系数的比例系数(MN/m^4)，受桩材和刚度、土类及其性质、荷载作用方式、荷载水平、桩身水平位移等因素影响，宜通过水平静载试验确定,如无试验资料，m值可参照表4-14. 对多层地基取当量m值计算，取层厚$h_m=2(d+1)$ 范围内的m加权平均作为整个深度的m值 ,比如3层土时 ：

$$m = \frac{m_1 h_1^2 + m_2(2h_1 + h_2)h_2 + m_3(2h_1 + 2h_2 + h_3)h_3}{(h_1 + h_2 + h_3)^2}$$

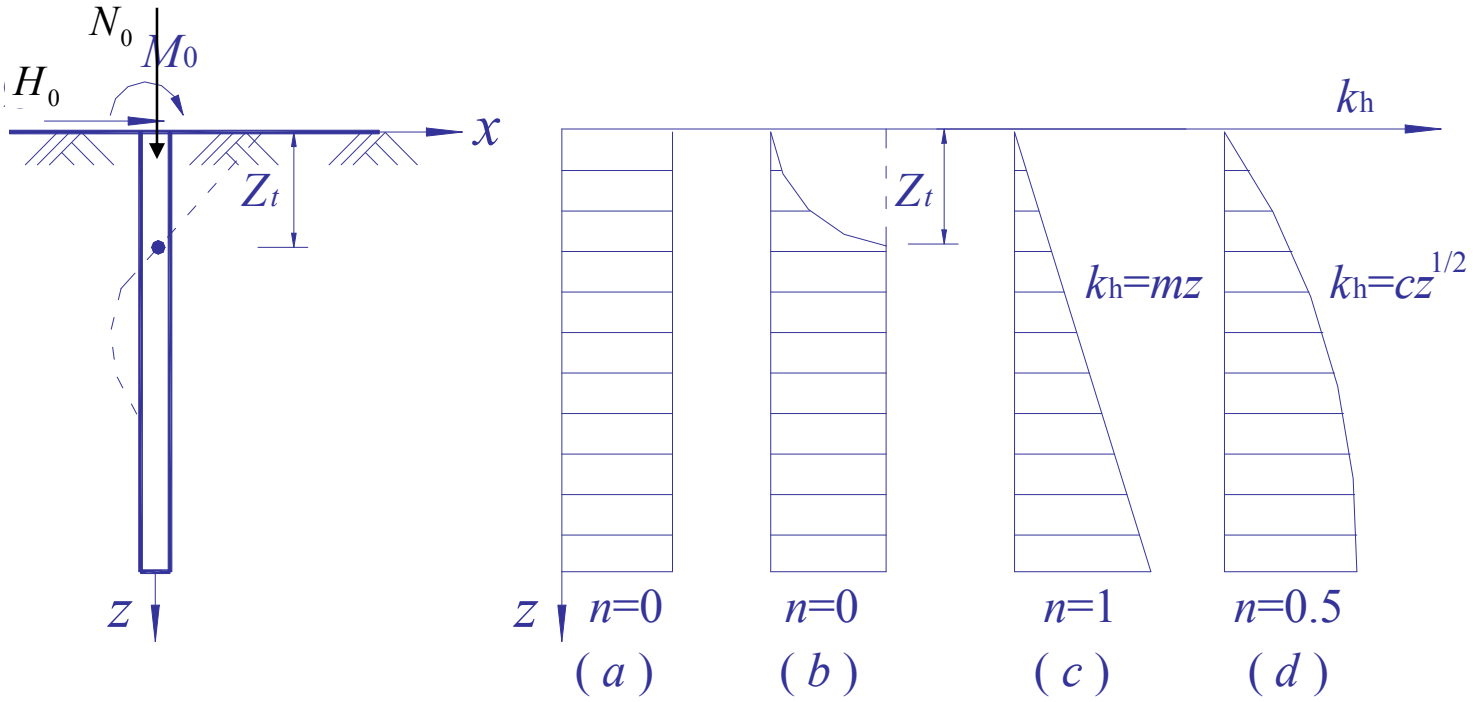
b_0 —桩身计算宽度（简化为平面受力）P125表4-12.

EI—桩身抗弯刚度，对于钢筋砼桩，取$EI = 0.85E_cI_0$(建工)或$0.80E_cI_0$(路桥)，其中E_c为砼的弹模，I_0为桩身截面惯性矩.

4.4 单桩水平承载力

■ 水平受荷桩的理论分析

多采用线弹性地基反力法，假设土的抗力**P**与桩的水平位移**x**成正比，常按文克勒假定 $p = k_h x b_0$。关键在于确定土体抗力系数 k_h 沿深度的分布，即桩侧水平抗力系数　　如何沿桩身分布，分为：**(a)**常数法；**(b)*k***法；**(c)*m***法（水平位移大用）；**(d) *c***法 （水平位移小用）



4.4 单桩水平承载力

✓ 微分方程的建立

取一基桩微元体，由平衡条件可得挠曲微分方程：

采用幂级数积分求解：

$$EI\frac{\mathrm{d}^4x}{\mathrm{d}z^4}+N_0\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}z^2}=-p(z)$$

位移 $x_z=\frac{H_0}{\alpha^3EI}A_x+\frac{M_0}{\alpha^2EI}B_x$

转角 $\varphi_z=\frac{H_0}{\alpha^2EI}A_\varphi+\frac{M_0}{\alpha EI}B_\varphi$

弯矩 $M_Z=\frac{H_0}{\alpha}A_M+M_0B_M$

剪力 $V_z=H_0A_Q+\alpha M_0B_Q$

相关系数可查表确定。

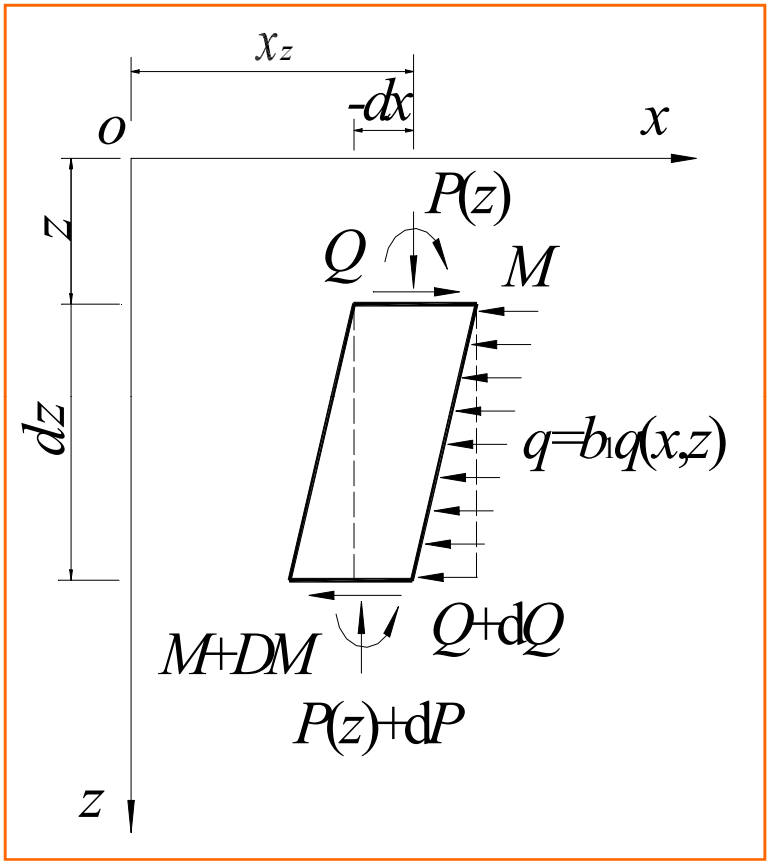


图4.24　微元体受力示意图

4.4 单桩水平承载力

✓ 桩顶的水平位移：是控制桩的水平承载力的主要因素

长桩（柔性桩）：由表4-13，查换算深度αz=0时的*Ax*和*Bx*值代入下式求得的位移就是桩顶的水平位移：

$$x_z = \frac{H_0}{\alpha^3 EI} A_x + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} B_x$$

短桩（刚性桩）：根据桩的换算长度α*l*和桩端支承条件，由表4-15，查得位移系数*Ax*和*Bx*，再代入上式求得的位移就是其桩顶的水平位移

4.4 单桩水平承载力

✓ 桩身最大弯矩M_{max}及其位置z_0：

$C_I=\alpha M_0/H_0$ ⟶ 查表4–16得$\bar{h}(=\alpha z)$ ⟶ $z_0=\bar{h}/\alpha$

$C_I=\alpha M_0/H_0$ ⟶ 查表4–16得C_{II} ⟶ $M_{max}=C_{II}M_0$

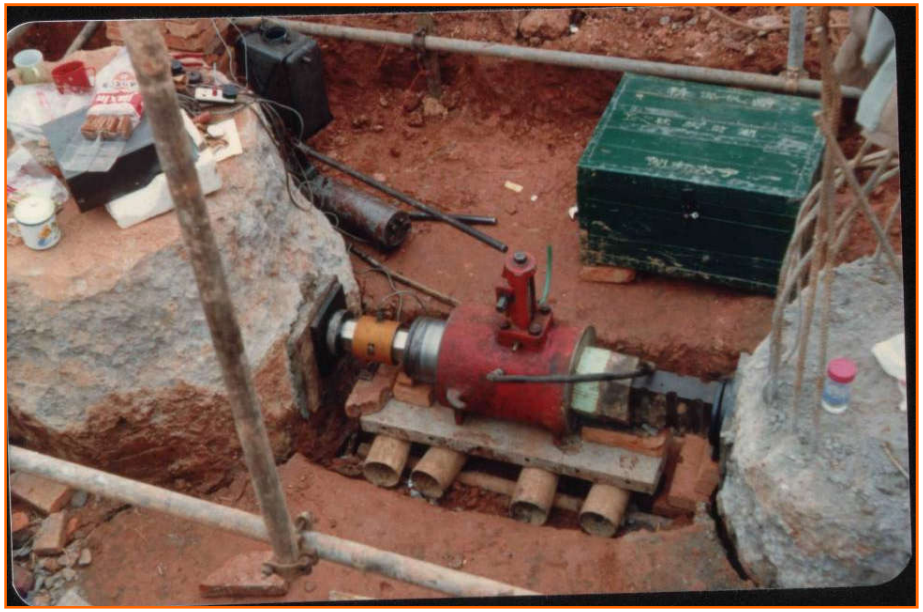
4.4 单桩水平承载力

■ 单桩水平静载荷试验

P123

✓试验装置：

- 加荷系统：千斤顶、试桩
- 位移观测：百分表



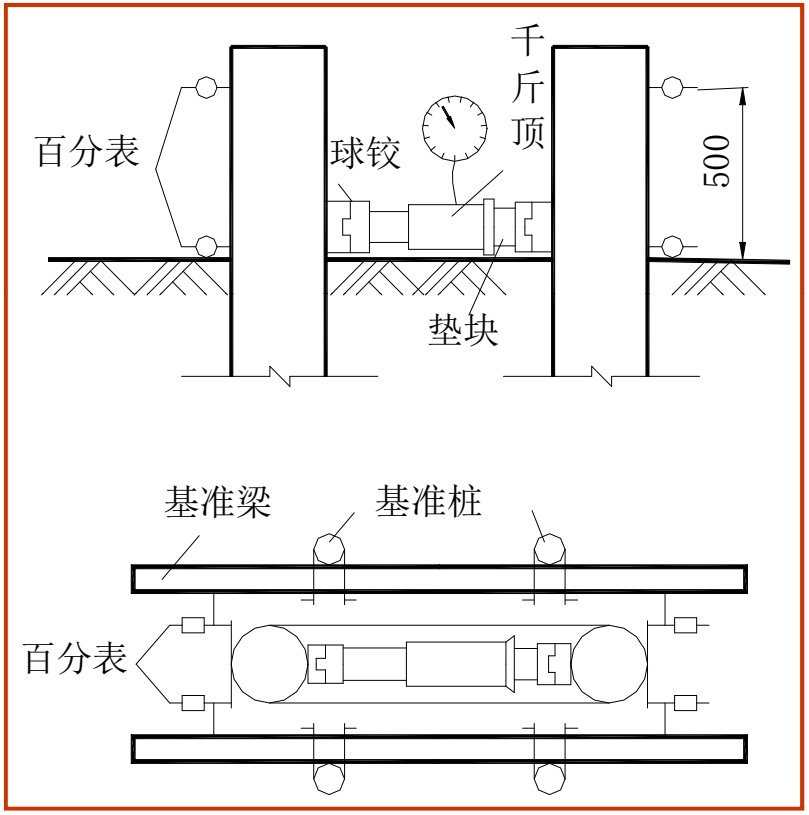


图4.20 单桩水平静载荷试验

■ 单桩水平静载荷试验

✓试验方法

- **每级荷载大小**

  约为预估水平极限承载力的（**1/10-1/15**）。

- **读数方法**

  每级加荷后恒载**4min**测读桩顶水平位移，然后卸载至零，停**2min**测读残余水平位移，如此循环**5**次，再施加下一级荷载。

- **终止加载条件**

  桩身折断

  桩顶水平位移超过**30－40mm**

  桩侧地表出现明显裂缝或隆起。

✓水平极限承载力的确定

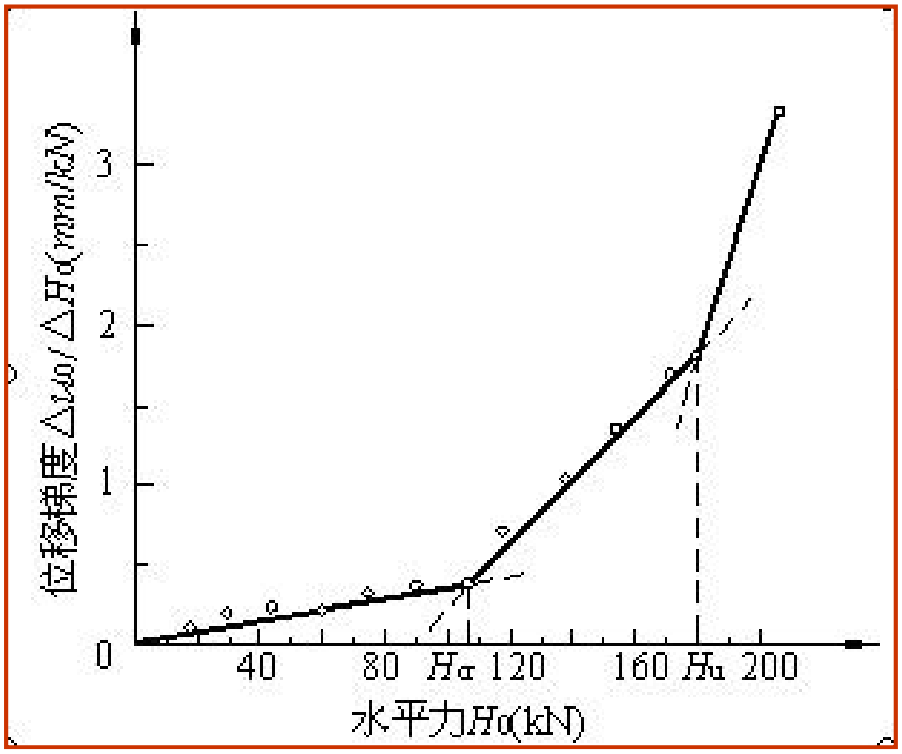


图4.21 单桩H_0—$\Delta x_0/\Delta H_0$曲线

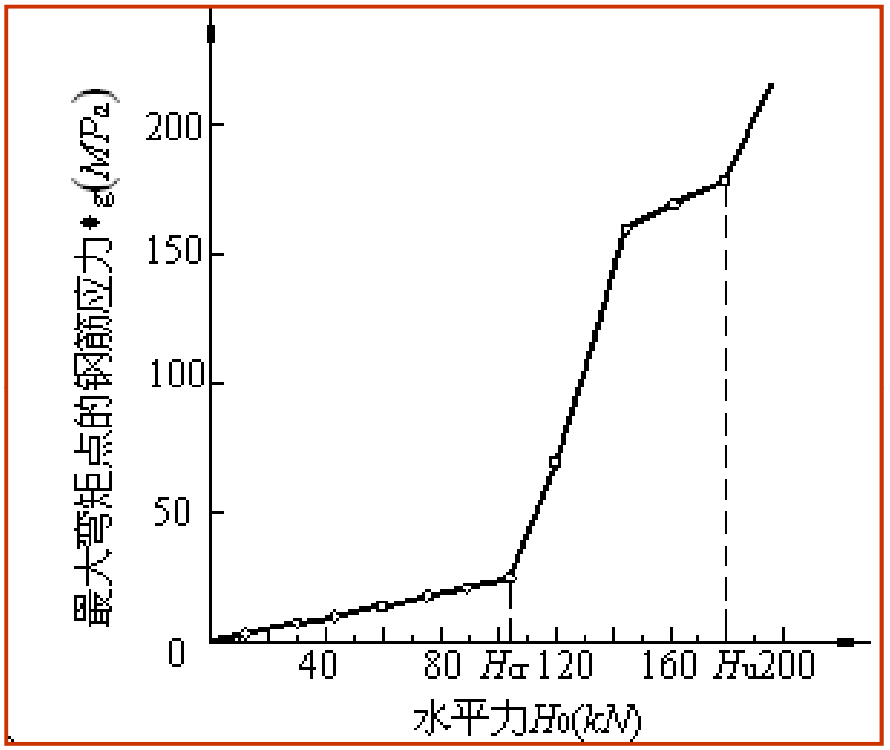


图4.22 单桩H_0—σ_g曲线

两特征点对应的荷载称为临界荷载H_{cr}和极限荷载

■ 单桩水平承载力特征值确定见书 P123-124

（1）对于受水平荷载较大的设计等级为甲级、乙级的建筑桩基，单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定；

（2）当水平承载力按桩身强度控制时，取水平临界荷载统计值为单桩水平承载力特征值R_{ha}；

（3）当桩受长期水平荷载且不允许桩身开裂时，取水平临界荷载统计值的0.8倍作为单桩水平承载力特征值R_{ha}；

（4）对于钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身全截面配筋率不小于0.65%的灌注桩，也可以根据水平静载荷试验结果，取地面处水平位移为10mm（对于水平位移敏感的建筑物取6mm）所对应荷载的75%作为单桩水平承载力特征值R_{ha}；

（5）对于桩身配筋率小于0.65%的灌注桩，可取水平静载荷试验的临界荷载H_{cr} 75%作为单桩水平承载力特征值R_{ha}；

4.5 群桩基础

4.5.1 群桩效应

应力叠加，使桩底应力增加，使承载力不足，总的沉降增加，即群桩效应。

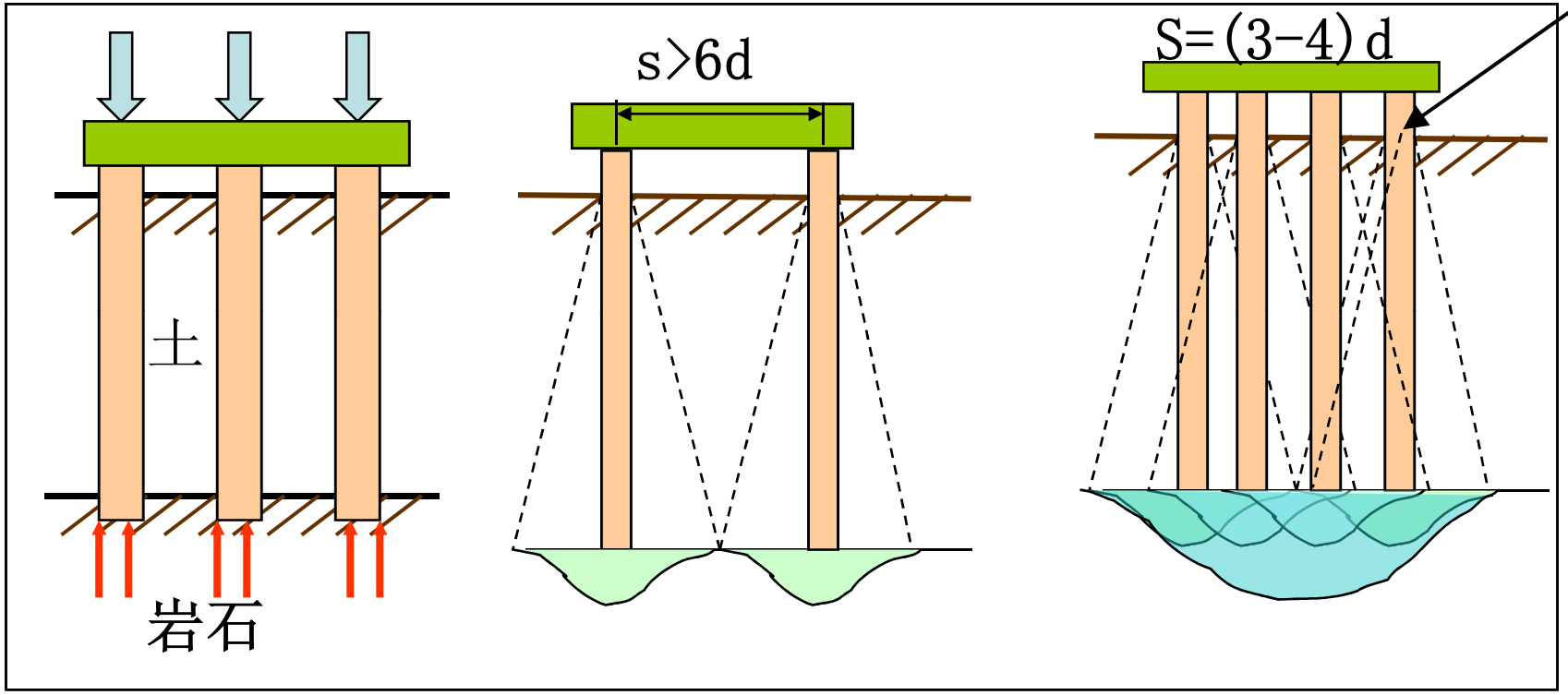


图4.25　群桩效应

群桩效应系数 η ——群桩承载力与基桩承载力之和的比值。

承台效应系数——竖向荷载下，承台底地基土承载力的发挥率。

- **端承型群桩桩的荷载传递**

  桩底持力层刚硬，桩的贯入量小。群桩承载力＝各单桩承载力之和，不必考虑群桩效应，即群桩效应 $\eta=1$。

- **摩擦型群桩的荷载传递**

  桩顶作用荷载通过侧阻传至桩周土体，并经扩散使桩底压力分布范围比桩身截面大很多。当桩距s_a小于某距离时（一般为$6d$），桩底应力扩散面积交叉重叠，与原来单桩端应力叠加，使群桩桩底地基所受压力比单桩大，故群桩承载力小于各单桩承载力之和，η可能小于1，也可能大于1，沉降量大于单桩。

■ 群桩效应确定

P132

- ✓ 影响群桩基础中桩的极限承载力因素:桩的间距、土质、桩数、桩径、入土深度以及桩的类型和排列方式等有关。通常，砂土和粉土中的桩基，群桩效应使桩的侧阻力提高；而粘性土中的桩基，在常见桩距下，群桩效应往往使侧阻力降低，考虑群桩效应后，桩端平面处压应力增加较多，极限桩端阻力相应提高。
- ✓ DEL 目前工程上考虑群桩效应的方法有两种：一种是以概率极限设计为指导，通过实测资料的统计分析对群桩内每根桩的侧阻力和端阻力分别乘以群桩效应系数，称群桩分项效应系数法；另一种是把承台、桩和桩间土视为一假想的实体基础，进行基础下地基承载力和变形验算，称实体基础法。

4.5.2 承台下土对荷载的分担作用

P132

✓复合桩基：由桩和承台底地基土共同承担荷载的桩基。

✓条　　件：桩及桩间土整体下沉，保证承台底不脱空。

✓特　　性：承台底分担荷载的作用随桩群相对于地基土向下位移幅度的加大而增强，桩身弹性压缩产生桩土相对位移也使承台底反力增加。通常，台底分担荷载的比例可从百分之十几直至百分之三十。

4.5.2承台下土对荷载的分担作用

✓不能考虑承台的荷载分担效应情况：

(1)承受经常出现的动力作用，如铁路桥梁桩基；

(2)承台下存在可能产生负摩擦力的土层，如湿陷性黄土、欠固结土、新填土、高灵敏度软土以及可液化土，或由于降水地基土固结而与承台脱开；

(3)在饱和软土中沉入密集桩群，引起超静孔隙水压力和土体隆起，随着时间推移，桩间土逐渐固结下沉而与承台脱离等。

4.5.3 复合桩基的竖向承载力特征值

对于端承桩和桩中心距大于6d的摩擦桩群桩，群桩的竖向承载力等于各单桩承载力之和，沉降量也与独立单桩基本一致，仅需验算单桩的竖向承载力和沉降即可；而对于桩的中心距≤6d的摩擦群桩，除了验算单桩的承载力外，还须验算群桩的承载力和沉降。

4.5.3复合桩基的竖向承载力特征值

- ✓ 对于端承型桩基、桩数少于4 根的摩擦型柱下独立桩基、或由于地层土性、使用条件等因素不宜考虑承台效应时，基桩竖向承载力特征值应取单桩竖向承载力特征值Ra。
- ✓ 对于符合下列条件之一的摩擦型桩基，宜考虑承台效应确定其复合基桩的竖向承载力特征值：

1 上部结构整体刚度较好、体型简单的建（构）筑物；

2 对差异沉降适应性较强的排架结构和柔性构筑物；

4. 5. 3复合桩基的竖向承载力特征值

■ **JGJ94-2008规定：**

考虑承台效应的复合基桩竖向承载力特征值可按下列公式确定：

不考虑地震作用时

$$R = R_a + \eta_c f_{ak} A_c \qquad (5.2.5\text{-}1)$$

P133 4-41

考虑地震作用时

$$R = R_a + \frac{\zeta_a}{1.25} \eta_c f_{ak} A_c \qquad (5.2.5\text{-}2)$$

P133 4-42

$$A_c = (A - nA_{ps})/n \qquad (5.2.5\text{-}3)$$

式中 η_c——承台效应系数，可按表 5.2.5 取值； P133表4.7

f_{ak}——承台下 1/2 承台宽度且不超过 5m 深度范围内各层土的地基承载力特征值按厚度加权的平均值；

A_c——计算基桩所对应的承台底净面积；

A_{ps}——为桩身截面面积；

A——为承台计算域面积。对于柱下独立桩基，A 为承台总面积；对于桩筏基础，A 为柱、墙筏板的 1/2 跨距和悬臂边 2.5 倍筏板厚度所围成的面积；桩集中布置于单片墙下的桩筏基础，取墙两边各 1/2 跨距围成的面积，按条基计算 η_c；

ζ_a——地基抗震承载力调整系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 采用。

4. 5. 3复合桩基的竖向承载力特征值

表 5.2.5　　承台效应系数 η_c

B_c/l \ s_a/d	3	4	5	6	>6
≤0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.80
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
> 0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	
单排桩条形承台	0.15~0.18	0.25~0.30	0.38~0.45	0.50~0.60	

注：1 表中 s_a/d 为桩中心距与桩径之比；B_c/l 为承台宽度与桩长之比。当计算基桩为非正方形排列时，$s_a=\sqrt{A/n}$ ，A 为承台计算域面积，n 为总桩数。

2 对于桩布置于墙下的箱、筏承台，η_c 可按单排桩条基取值。

3 对于单排桩条形承台，当承台宽度小于 1.5d 时，η_c 按非条形承台取值。

4 对于采用后注浆灌注桩的承台，η_c 宜取低值。

5 对于饱和黏性土中的挤土桩基、软土地基上的桩基承台，η_c 宜取低值的 0.8 倍。

例题4-1：P134

4.5.4 桩顶作用效用简化计算

桩顶作用效应分为荷载效应和地震作用效应，相应的作用效应组合分为荷载效应标准组合和地震效应标准组合：

✓基桩桩顶荷载效应计算：对于一般建筑物和受水平力（包括力矩与水平剪力）较小的高层建筑群桩基础，应按下列公式计算基桩桩顶作用效应：

1 竖向力

轴心竖向力作用下

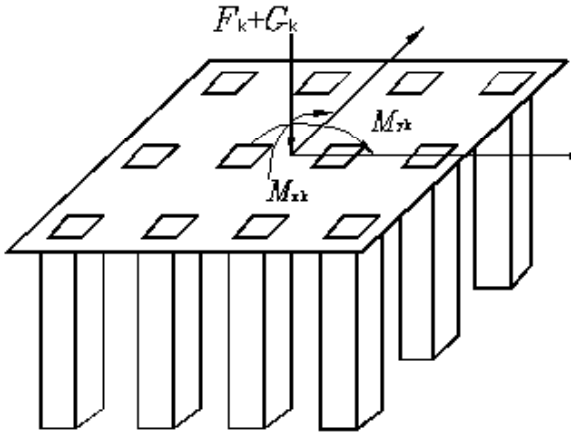
$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n}$$

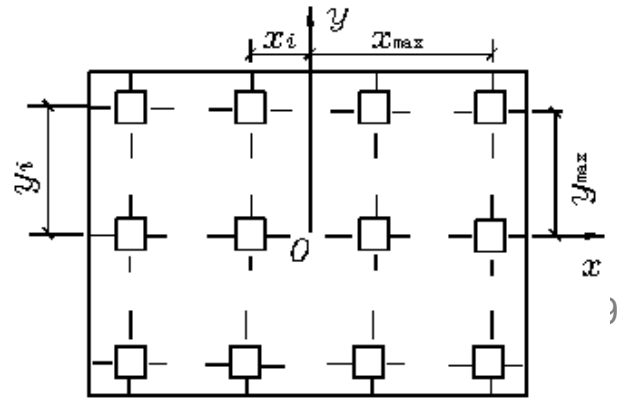
偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2}$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n}$$





4.5.4 桩顶作用效用简化计算

式中 F_k——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力；

G_k——桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力；

N_k——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{ik}——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩或复合基桩的竖向力；

M_{xk}、M_{yk}——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的 x、y 主轴的力矩；

x_i、x_j、y_i、y_j——第 i、j 基桩或复合基桩至 y、x 轴的距离；

H_k——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力；

H_{ik}——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩或复合基桩的水平力；

n——桩基中的桩数。

4.5.4 桩顶作用效用简化计算

✓地震作用效应：对于主要承受竖向荷载的抗震设防区低承台桩基，当同时满足下列条件时，计算桩顶作用效应时可不考虑地震作用：

(1)按现行《建筑抗震设计规范》规定可不进行天然地基和基础抗震承载力计算的建筑物；

(2)不位于斜坡地带和地震可能导致滑移、地裂地段的建筑物；

(3)桩端及桩身周围无可液化土层；

(4)承台周围无可液化土、淤泥、淤泥质土。

对位于8度和8度以上抗震设防区的高大建筑物低承台桩基，在计算各基桩的作用效应和桩身内力时，可考虑承台(包括地下墙体)与基桩的共同工作和土的弹性抗力作用。

自学

4.5.5 基桩竖向承载力验算 P135

5.2.1 桩基竖向承载力计算应符合下列要求：

1 荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$N_k \le R \qquad (5.2.1\text{-}1)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{k\max} \le 1.2R \qquad (5.2.1\text{-}2)$$

2 地震作用效应和荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \le 1.25R \qquad (5.2.1\text{-}3)$$

偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{Ek\max} \le 1.5R \qquad (5.2.1\text{-}4)$$

式中 N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

$N_{k\max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

$N_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值。

4-5-6 桩基软弱下卧承载力验算 P136

当桩端平面以下受力层范围内存在软弱下卧层时，应进行下卧层承载力验算，根据软弱下卧层发生强度破坏的可能性，分整体冲剪破坏和基桩冲剪破坏两种情况，验算要求如下：

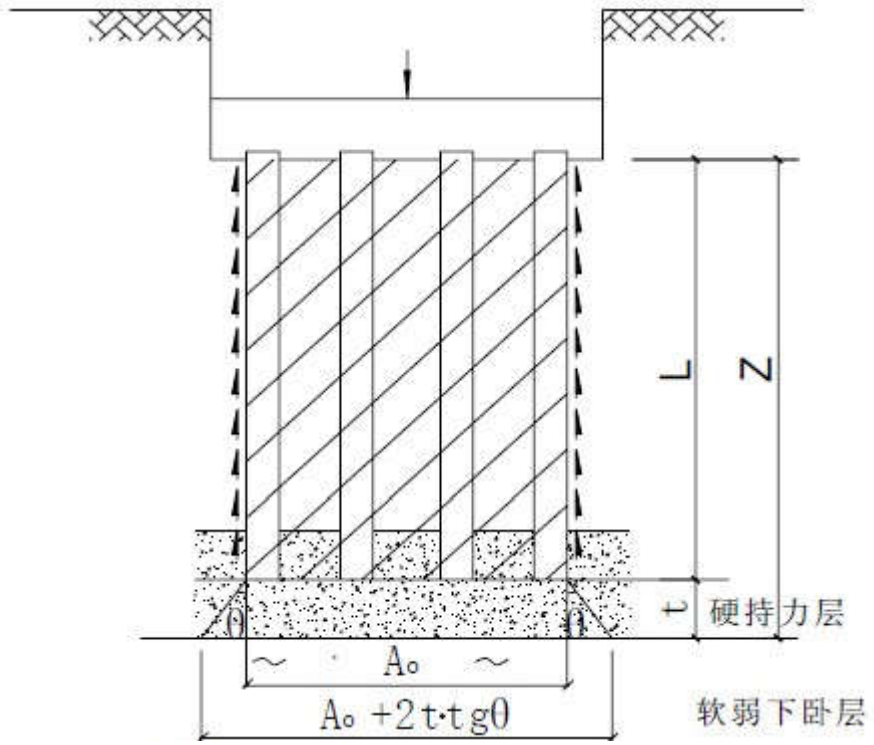
$$\sigma_z + \gamma_m z \le f_{az} \tag{4-50}$$

✓对于桩距Sa≤ 6d的群桩基础，桩端持力层下存在承载力低于桩端持力层承载力1/3 的软弱下卧层时，一般作整体冲剪破坏，可按下列公式计算下卧层顶面处的附加应力：

$$\sigma_z = \frac{(F_k + G_k) - 3/2(A_0 + B_0)\cdot\sum q_{sik} l_i}{(A_0 + 2t\cdot tg\theta)(B_0 + 2t\cdot tg\theta)} \tag{4-51}$$

σ_z——作用于软弱下卧层顶面的附加应力；
γ_m ——软弱层顶面以上各土层重度(地下水位以下取浮重度)的厚度加权平均值；
t ——硬持力层厚度；z——地面至软弱下卧层顶面的深度
f_{az}——软弱下卧层经深度z 修正的地基承载力特征值；
A_0、B_0——桩群外缘矩形底面的长、短边边长；
q_{sik} ——桩周第i 层土的极限侧阻力标准值，无当地经验，按表4-6 取值；
θ ——桩端硬持力层压力扩散角，按表4-18 取值。

4-5-6 桩基软弱下卧承载力验算



软弱下卧层承载力验算——整体冲剪破坏

✓对于桩距Sa>6d ，且各桩的压力扩散线不相交于硬持力层时的群桩或单桩基础，应作基桩冲剪破坏考虑，可按P136公式4-52计算σ_z，然后按公式4-50验算。

4-5-7 桩基竖向抗拔承载力验算

P137

承受拔力的桩基，应按下列公式同时验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力：

$$N_k \le T_{gk}/2 + G_{gp}$$

$$N_k \le T_{uk}/2 + G_p$$

N_k ——按荷载效应标准组合计算的基桩拔力；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值，

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值，

G_{gp} ——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数，地下水位以下取浮重度；

G_P ——基桩自重，地下水位以下取浮重度，对于扩底桩应按本规范表**5.4.6-1** 确定桩、土柱体周长，计算桩、土自重

4-5-8 桩基水平承载力验算

P137

对于受水平力的竖直桩，在一般建筑桩基中，当外荷载与竖直线的夹角≤5°时，竖直桩的水平承载力能满足设计要求，可不设斜桩。

受水平荷载的一般建筑物和水平荷载较小的高大建筑物单桩基础和群桩中基桩应满足下式要求：

$$H_{ik} \leq R_h$$

式中 H_{ik}——在荷载效应标准组合下，作用于基桩 i 桩顶处的水平力；

$\boldsymbol{R_h}$——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值，对于单桩基础，可取单桩的水平承载力特征值$\boldsymbol{R_h}= R_{ha}$，群桩基础$\boldsymbol{R_h}= \eta_h R_{ha}$，其中$\eta_h$为群桩效应综合系数，见规范。

✓当缺少单桩水平静载试验资料时，可按下列公式估算桩身配筋率小于0.65%的灌注桩的单桩水平承载力特征值：

$$R_{ha}=\frac{0.75\alpha\gamma_m f_t W_0}{\nu_M}(1.25+22\rho_g)\left(1\pm\frac{\zeta_N\cdot N}{\gamma_m f_t A_n}\right)$$

式中

α —— 桩的水平变形系数，按本规范第 5.7.5 条确定；

R_{ha} —— 单桩水平承载力特征值，±号根据桩顶竖向力性质确定，压力取“+”，拉力取“-”；

γ_m —— 桩截面模量塑性系数，圆形截面 γ_m=2，矩形截面 γ_m=1.75；

f_t —— 桩身混凝土抗拉强度设计值；

W_0 —— 桩身换算截面受拉边缘的截面模量，圆形截面为：$W_0=\frac{\pi d}{32}\left[d^2+2(\alpha_E-1)\rho_g d_0^2\right]$

方形截面为：$W_0=\frac{b}{6}\left[b^2+2(\alpha_E-1)\rho_g b_0^2\right]$，其中 d 为桩直径，d_0 为扣除保护层厚度的桩直径；b 为方形截面边长，b_0 为扣除保护层厚度的桩截面宽度；α_E 为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

ν_M —— 桩身最大弯距系数，按表 5.7.2 取值，当单桩基础和单排桩基纵向轴线与水平力方向相垂直时，按桩顶铰接考虑；

表 5.7.2　　桩顶（身）最大弯矩系数 ν_m 和桩顶水平位移系数 ν_x

桩顶约束情况	桩的换算埋深 (αh)	ν_M	ν_x
铰接、自由	4.0	0.768	2.441
	3.5	0.750	2.502
	3.0	0.703	2.727
	2.8	0.675	2.905
	2.6	0.639	3.163
	2.4	0.601	3.526
固　　接	4.0	0.926	0.940
	3.5	0.934	0.970
	3.0	0.967	1.028
	2.8	0.990	1.055
	2.6	1.018	1.079
	2.4	1.045	1.095

注：1 铰接（自由）的 ν_M 系桩身的最大弯矩系数，固接的 ν_M 系桩顶的最大弯矩系数；

2 当 $\alpha h > 4$ 时取 $\alpha h = 4.0$ 。

ρ_g —— 桩身配筋率；

A_n —— 桩身换算截面积，圆形截面为：$A_n = \dfrac{\pi d^2}{4}\left[1+(\alpha_E-1)\rho_g\right]$；

方形截面为：$A_n = b^2\left[1+(\alpha_E-1)\rho_g\right]$

ζ_N —— 桩顶竖向力影响系数，竖向压力取 0.5；竖向拉力取 1.0；

N ——在荷载效应标准组合下桩顶的竖向力（kN）。

✓对于混凝土护壁的挖孔桩，计算单桩水平承载力时，其设计桩径取护壁内直径。

✓当桩的水平承载力由水平位移控制，且缺少单桩水平静载试验资料时，可按下式估算预制、钢桩、桩身配筋率不小于0.65%的灌注桩单桩水平承载力特征值：

$$R_{ha} = 0.75\frac{\alpha^3 EI}{\nu_x} x_{0a} \qquad (5.7.2\text{-}2)$$

式中 EI —— 桩身抗弯刚度，对于钢筋混凝土桩，$EI = 0.85E_c I_0$；其中 I_0 为桩身换算截面惯性矩：圆形截面为 $I_0 = W_0 d_0 / 2$；矩形截面为 $I_0 = W_0 b_0 / 2$；

x_{0a} —— 桩顶允许水平位移；

ν_x —— 桩顶水平位移系数，按表 5.7.2 取值，取值方法同 ν_M。

✓验算永久荷载控制的桩基的水平承载力时，应将上述方法确定的单桩水平承载力特征值乘以调整系数0.80；验算地震作用桩基的水平承载力时，宜将按上述方法确定的单桩水平承载力特征值乘以调整系数1.25。

4-5-9 桩基负摩阻力验算

P139

✓对于摩擦型基桩可取桩身计算中性点以上侧阻力为零，并可按下式验算基桩承载力

$$N_k \le R_a$$

✓对于端承型基桩除应满足上式要求外，尚应考虑负摩阻力引起基桩的下拉荷载 Q_g^n ，并可按下式验算基桩承载力：

$$N_k + Q_g^n \le R_a$$

✓当土层不均匀或建筑物对不均匀沉降较敏感时，尚应将负摩阻力引起的下拉荷载计入附加荷载验算桩基沉降。

✓注：本条中基桩的竖向承载力特征值**Ra**只计中性点以下部分侧阻值及端阻值。

4-5-9 桩基负摩阻力验算

✓考虑群桩效应的基桩下拉荷载可按下式计算

$$Q_g^n = \eta_n \cdot u \sum_{i=1}^{n} q_{si}^n l_i = \eta_n Q_n$$

$$\eta_n = s_{ax} \cdot s_{ay} \Big/ \left[\pi d \left(\frac{q_s^n}{\gamma_m} + \frac{d}{4} \right) \right]$$

单桩下拉荷载

式中 n——中性点以上土层数；

l_i——中性点以上第 i 土层的厚度；

η_n——负摩阻力群桩效应系数；

s_{ax}、s_{ay}——分别为纵横向桩的中心距；

q_s^n——中性点以上桩周土层厚度加权平均负摩阻力标准值；

γ_m——中性点以上桩周土层厚度加权平均重度（地下水位以下取浮重度）。

对于单桩基础或按式（5.4.4-5）计算的群桩效应系数 η_n>1 时，取 η_n=1。

q_{si}^n——第 i 层土桩侧负摩阻力标准值，一般取正摩阻力标准值进行设计。

4-5-10桩基沉降验算（自学）

4.6 桩基础设计

P141

■ 要求

✓ 和浅基础一样，桩基设计也应符合安全、合理和经济的要求。

■ 基本原则

✓ 对桩和承台—有足够的强度、刚度和耐久性；

✓ 对地基（主要是桩端持力层）—有足够的承载力和不产生过量的变形。

$$\text{基桩承载力}\begin{cases} N_K \le R_a \\ N_{K\max} \le 1.2R_a \end{cases} \qquad \text{桩基沉降} \quad s \le [s]$$

4.6 桩基础设计

■ 设计荷载取值

计算桩数：按正常使用极限状态，荷载效应的标准组合

计算变形：按正常使用状态，荷载效应的准永久组合，不计入风荷载和地震作用

确定承台高度、计算基础内力及配筋：按承载力极限状态，荷载效应基本组合

4.6 桩基础设计

■ 桩基础验算内容

- ✓ 竖向承载力验算
- ✓ 软弱下卧层承载力验算
- ✓ 竖向抗拔承载力及负摩阻力验算
- ✓ 水平承载力验算
- ✓ 沉降验算

4.6 桩基础设计

■设计步骤

- ✓ 收集有关资料；
- ✓ 确定桩基持力层；
- ✓ 选择桩材，确定桩型、外形尺寸和构造；
- ✓ 定单桩承载力特征值；
- ✓ 初拟桩的数量和平面布置；
- ✓ 初拟承台的轮廓尺寸及承台底标高；
- ✓ 验算作用于单桩上的竖向和横向荷载；
- ✓ 验算承台尺寸及结构强度；
- ✓ 必要时验算桩基整体承载力和沉降量，若桩端下有软弱下卧层，验算软弱下卧层地基承载力；
- ✓ 单桩设计，绘制桩和承台的结构及施工详图。

4.6.1 收集设计资料

P142

- 包括建筑类型（上部结构型式、平面、使用上要求）、荷载及其性质、工程地质勘察资料、材料来源及施工技术设备、建筑场地条件（如交通、周边建筑物、管线设施）等情况，并尽量了解当地使用桩基的经验。
- 详细勘察除满足现行勘察规范有关要求外，勘探间距和勘探深度还有要求。

4.6.2 桩型、桩长和截面尺寸选择 P142

- **桩型选择**（在了解各种桩型优缺点基础上）

桩型选择的原则

1）地质条件——选择桩型首要因素
2）建筑条件——决定桩型的重要因素
3）施工对周围环境的影响
4）施工的可行性——选择桩型的前提条件
5）经济分析

4.6.2 桩型、桩长和截面尺寸选择

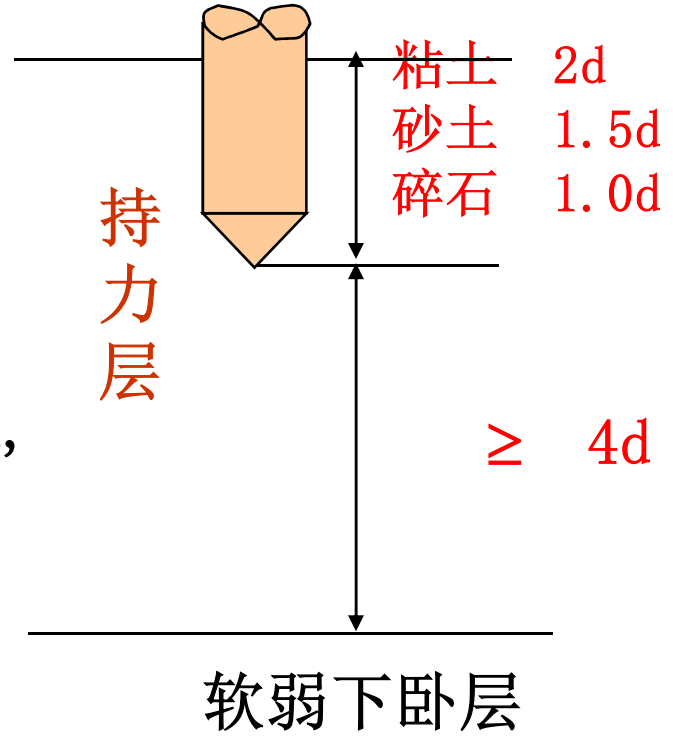
桩长选择：

关键是桩端持力层的选择（见P142）

桩端全断面进入持力层深度，依据各土类别而有所不同，一般为1~3倍桩径；

坚硬持力层较厚且施工条件允许，宜达桩端阻力的临界深度：砂、砾为(3～6)d，对于粉土、粘性土为(5～10)d；

持力层较薄且有软弱下卧层，桩端下坚实土层厚度不宜小于4倍桩径；嵌岩灌注桩的周嵌入微风化或中等风化岩体的最小深度不宜小于0.5m.



4.6.2 桩型、桩长和截面尺寸选择 P142

- **截面尺寸：**可根据4—1节内容或表4—1桩型与受荷大小定出桩的截面尺寸等。
- **承台埋深：**平面尺寸根据桩数、桩位及构造要求定，承台底面标高，一般从结构要求和方便施工的角度选择。

4.6.3 桩数及桩位布置

P143

■ 桩数

- ✓ 初估桩数时，先不考虑群桩效应，根据单桩竖向承载力特征值***R***定桩数***n*** 。
- ✓ 轴心受压时，可按下式估算：

$$n \geq \frac{F+G}{R}$$

F—作用在承台上的竖向压力设计 值；
G—承台及其上方填土的重力。

- ✓ 偏心受压时，分为两种情况：
- 若群桩重心与荷载合力点重合，桩数仍可按上式确定。
- 若不能满足，则应增加**(10-20)**%桩数。

4.6.3 桩数及桩位布置

■ 桩中心距：

一般桩的最小中心距为（3～4）*d*，具体应符合规范表4-20规定。对大面积桩群，尤其是挤土桩，桩最小中心距应按表列数值适当加大。

桩距太大会增加承台的面积，使其体积和用料加大而不经济；桩距太小则会使摩擦桩基承载力降低，沉降加大，且给施工造成困难。 桩的边距**s1**（桩的中心至承台边的距离）一般不小于桩的直径，亦不得小于**300mm**。

4.6.3 桩数及桩位布置

■ 桩位布置 ——确定承台尺寸

在确定桩数、桩距和边距后，根据布桩的原则，选用合理的排列方式，尺寸，见p144。

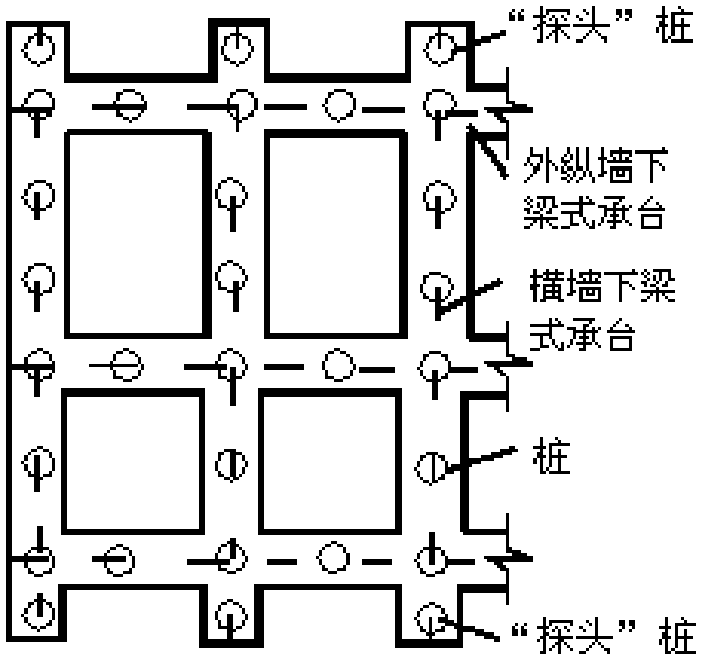
（1）布置原则：

①力求使桩基中各桩受力比较均匀：作用在板式承台上荷载的合力作用点，应与群桩横截面的重心相重合或接近；

②桩基在承受水平和弯矩较大方向有较大的抵抗矩，以增强桩基的抗弯能力。

外密内疏（桩承台外围布桩间距较小、而内部布桩间距较大）

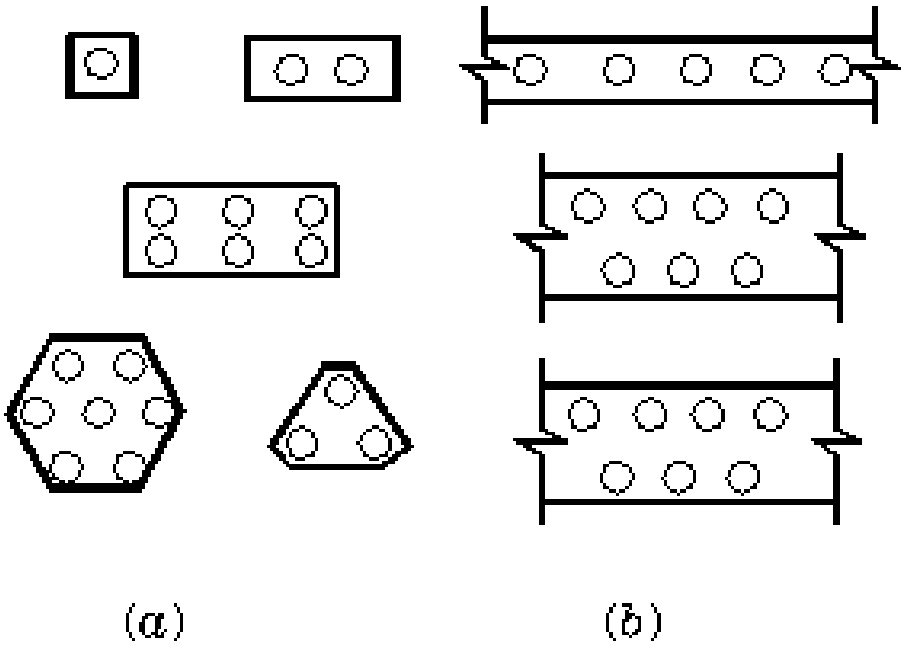
布置探头桩（横墙下桩基）



横墙下“探头桩”的布置

（2）排列方式

- 行列式
- 梅花式



桩的平面布置示例

（a）柱下桩基；（b）墙下桩基

■ 桩基承载力验算 DEL

1. 桩顶荷载计算

1 竖向力

轴心竖向力作用下

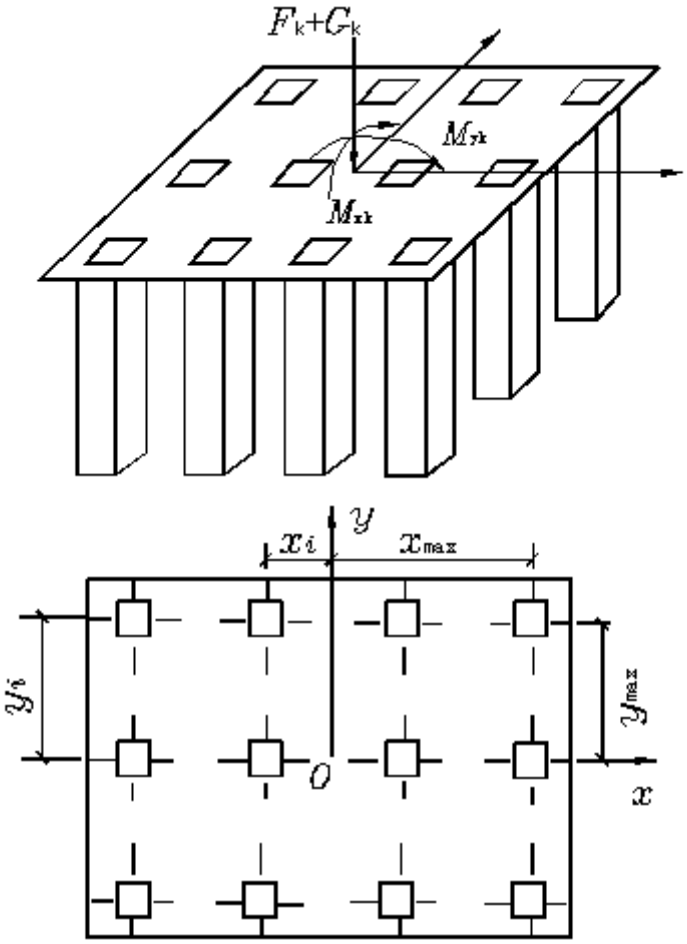
$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n}$$

偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2}$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n}$$



桩顶荷载简图

2. 单桩承载力验算

（1） 荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$N_k \le R \qquad (5.2.1\text{-}1)$$

偏心竖向力作用下除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{k\max} \le 1.2R \qquad (5.2.1\text{-}2)$$

（2） 地震作用效应和荷载效应标准组合：

轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \le 1.25R \qquad (5.2.1\text{-}3)$$

偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

$$N_{Ek\max} \le 1.5R \qquad (5.2.1\text{-}4)$$

式中 N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

$N_{k\max}$ ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

$N_{Ek\max}$ ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值。

3. 群桩验算

对于桩数较多，桩距较小的摩擦群桩，桩端处地基中各桩传来的压力将互相重合，桩端处压力比单桩时大得多，桩端以下压缩土层的影响深度也比单桩大。此时群桩中各桩的工作状态与单桩时迥然不同，其承载力不等于各单桩承载力之和，沉降量则大于单桩的沉降量。这就是所谓的群桩效应。由于具有群桩效应，除验算单桩承载力外还应进行桩端地基的强度和变形验算。

4. 软弱下卧层的验算

因**Sa≤ 6d**，按整体基础验算

4.6.4 桩身截面强度计算

■ 预制桩要求见 P145

- ✓ 混凝土强度等级宜≥C30
- ✓ 主筋(纵向)按计算选用4~8根φ14~25mm的钢筋。最小配筋率ρ_{min}宜≥0.8%
- ✓ 箍筋可取φ6～8㎜@200mm，桩顶桩端应加密
- ✓ 打入法沉桩时，桩顶应设置三层ϕ6@40~70㎜的钢筋网，层距50㎜。桩尖所有主筋应焊接在一根圆钢上，或在桩尖处用钢板加强
- ✓ 主筋的混凝土保护层应≥30mm，桩上需埋设吊环，位置由计算确定。

4.6.4 桩身截面强度计算

■ 灌注桩要求　见　P145

✓ 混凝土强度等级应≥C20，混凝土预制桩尖应≥C30。

✓ 当桩顶轴向力和水平力满足规范条件时，可按构造要求配置桩顶与承台的连接钢筋笼。

✓ 对一级建筑桩基，主筋为6-10根ϕ12-14，ρ_{min}≥0.2％，锚入承台30d_g（主筋直径），伸入桩身长度≥10d；

✓ 对二级建筑桩基，可配置4-8根ϕ10-12的主筋，锚入承台30d_g，且伸入桩身长度≥5d，对于沉管灌注桩，配筋长度不应小于承台软弱土层层底厚度；

✓ 对三级建筑桩基可不配构造钢筋。

4.6.4 桩身截面强度计算

■ 桩身截面强度计算　见 P146

✓钢筋混凝土轴心受压桩正截面受压承载力计算见P109

1）当桩顶以下5d 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于100mm

$$N \le \psi_c f_c A_{ps} + 0.9 f_y' A_s'$$

2）当桩身配筋不符合上述1）款规定时：

$$N \le \psi_c f_c A_{ps}$$

4.6.4 桩身截面强度计算

■ 桩身截面强度计算　见 P146

✓偏心荷载作用下（M和H），计算偏心受压混凝土桩正截面受压承载力时，先求出桩身最大弯矩及其相应位置见P130，再根据《混凝土结构设计规范》按偏心受压计算桩身截面所需的主筋面积，但需满足最小配筋率。

桩身最大弯矩M_{max}及其位置z_0：

$C_I=\alpha M_0/H_0$ ⟶ 查表4–16得$\bar{h}(=\alpha z)$ ⟶ $z_0=\bar{h}/\alpha$

$C_I=\alpha M_0/H_0$ ⟶ 查表4–16得C_{II} ⟶ $M_{max}=C_{II}M_0$

✓预制桩除满足计算要求外，还应考虑运输、起吊和锤击过程中的各种强度要求等。

4.6.5 承台设计

P147

桩基承台的设计包括确定承台的材料、底面标高、平面形状及尺寸、剖面形状及尺寸以及进行受弯、受剪、受冲切和局部受压承载力计算，并应符合构造要求

4.6.5 承台设计

■ 1 外形尺寸及构造要求---P147

✓桩基承台平面尺寸由上部结构、桩数及布桩形式决定，其构造，应满足抗冲切、抗剪切、抗弯承载力和上部结构要求，尚应符合下列要求：

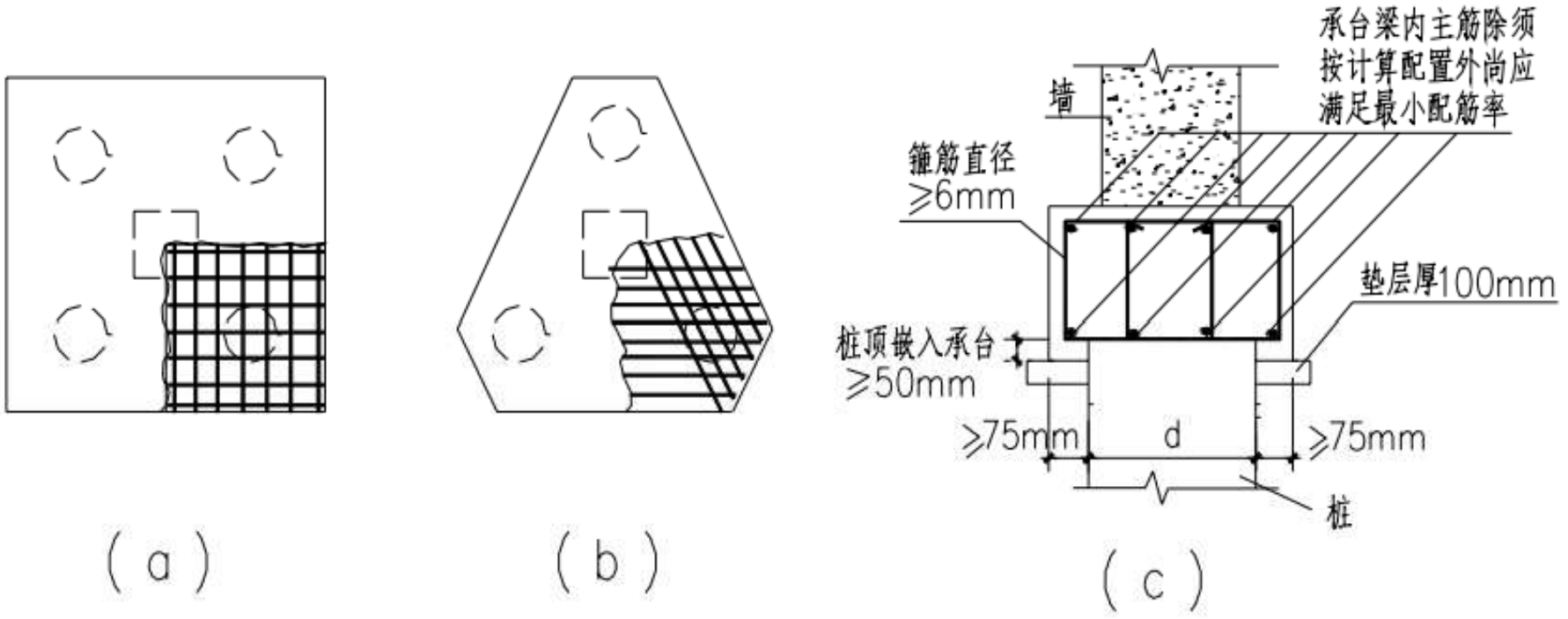
✓独立柱下桩基承台一般为板式，最小宽度不应小于 500mm，边桩中心至承台边缘的距离不应小于桩的直径或边长，且桩的外边缘至承台边缘的距离不应小于 150mm。墙下条形承台为梁式，桩的外边缘至承台梁边缘的距离不应小于 75mm。承台的最小厚度不应小于 300mm, 埋深应≥600mm.

✓柱下独立桩基承台纵向受力钢筋应通长配置，对四桩以上（含四桩）承台宜按双向均匀布置，对三桩的三角形承台应按三向板带均匀布置，且最里面的三根钢筋围成的三角形应在柱截面范围内。纵向钢筋锚固长度自边桩内侧算起，不应小于 35d ；承台纵向受力钢筋的直径不应小于 12mm，间距不应大于 200mm。柱下独立桩基承台的最小配筋率不应小于 0.15%。

✓承台混凝土强度等级不应低于C25，承台底面钢筋的混凝土保护层厚度，当有混凝土垫层时，不应小于50mm，无垫层时不应小于 70mm；此外尚不应小于桩头嵌入承台内的长度。

4.6.5 承台设计

■ 1 外形尺寸及构造要求---P147



承台配筋示意

（a）矩形承台配筋　（b）三桩承台配筋　（c）墙下承台梁配筋图

4.6.5 承台设计

■ 1 外形尺寸及构造要求---P147

✓桩与承台的连接构造：桩嵌入承台内的长度对中等直径桩不宜小于 50mm；对大直径桩不宜小于 100mm；混凝土桩的桩顶纵向主筋应锚入承台内，其锚入长度不宜小于 35 倍纵向主筋直径；对于大直径灌注桩，当采用一柱一桩时可设置承台或将桩与柱直接连接。

✓柱与承台的连接构造：对于一柱一桩基础，柱与桩直接连接时，柱纵向主筋锚入桩身内长度不应小于 35 倍纵向主筋直径；对于多桩承台，柱纵向主筋应锚入承台不应小于 35 倍纵向主筋直径；当承台高度不满足锚固要求时，竖向锚固长度不应小于 20 倍纵向主筋直径，并向柱轴线方向呈 90°弯折；

✓承台与承台之间的连接构造：一柱一桩时，应在桩顶两个主轴方向上设置联系梁。当桩与柱的截面直径之比大于2 时，可不设联系梁；两桩桩基的承台，应在其短向设置联系梁；联系梁顶面宜与承台顶面位于同一标高。联系梁宽度不宜小于 250mm，其高度可取承台中心距的 1/10~1/15，且不宜小于 400mm；联系梁配筋应按计算确定，梁上下部配筋不宜小于 2 根直径 12mm 钢筋；位于同一轴线上的联系梁纵筋宜通长配置。

4.6.5 承台设计

■ 2 承台的内力计算

✓柱下独立桩基承台配筋不足时将产生弯曲破坏，最大弯矩产生于屈服线处，只需计算承台正截面最大弯矩，P148, 具体分为：

- 柱下多桩矩形承台
- 柱下三桩三角形承台
- 柱下或墙下条形承台梁

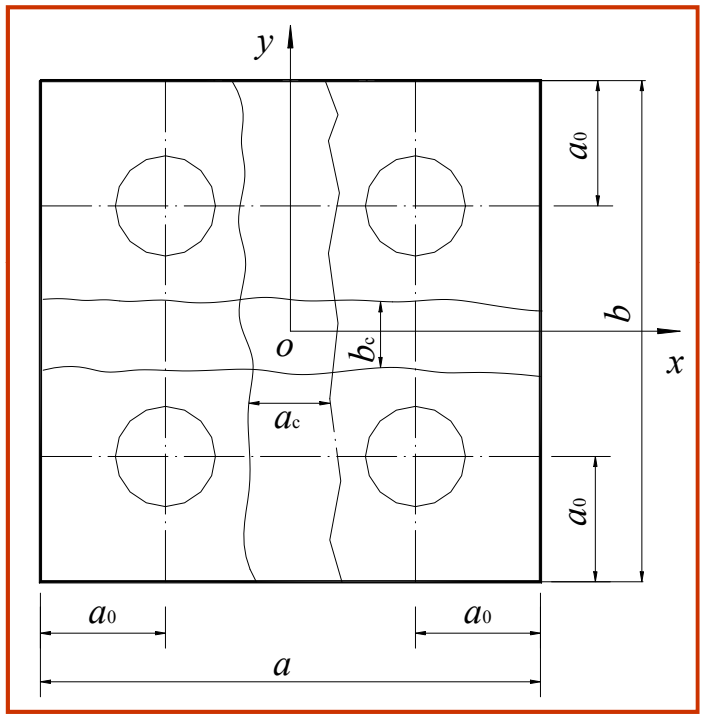
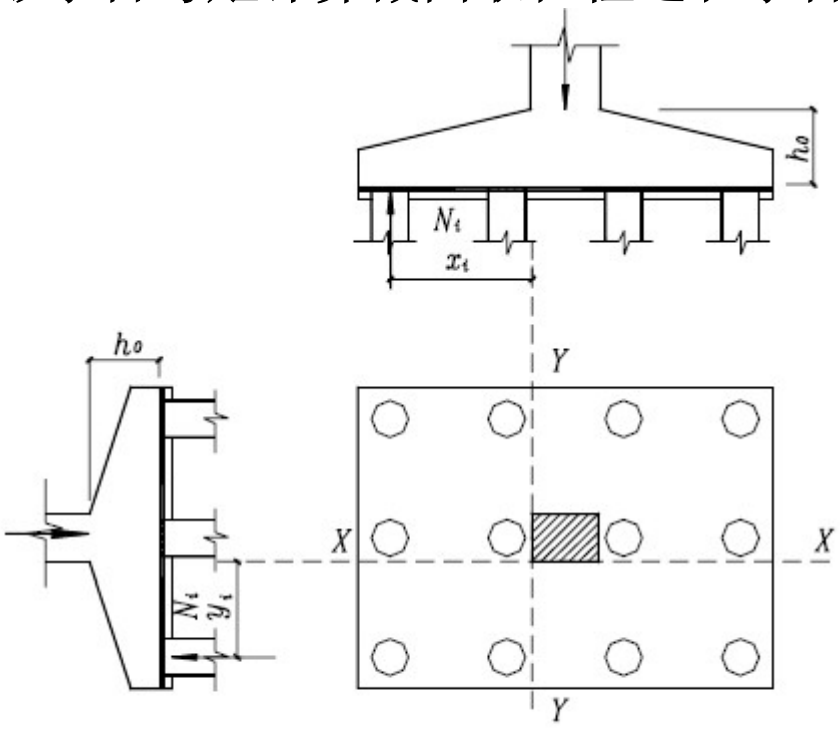


图4.27 四桩承台弯曲破坏模式

✓两桩条形承台和多桩矩形承台弯矩计算截面取在柱边和承台变阶处，可按下列公式计算：

$$M_x = \Sigma N_i y_i$$
$$M_y = \Sigma N_i x_i$$



式中 ：

M_x、M_y —— 分别为绕X 轴和绕Y轴方向计算截面处的弯矩设计值；

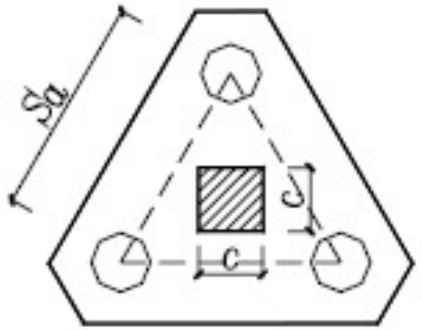
x_i、y_i——垂直Y 轴和X 轴方向自桩轴线到相应计算截面的距离；

N_i ——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合下的第i 基桩或复合基桩竖向反力设计值。

✓三桩承台的正截面弯距值应符合下列要求：

1）等边三桩承台

$$M = \frac{N_{max}}{3}(s_a - \frac{\sqrt{3}}{4}c)$$



式中：

M ——通过承台形心至各边边缘正交截面范围内板带的弯矩设计值；

N_{max}——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合下三桩中最大基桩或复合基桩竖向反力设计值；

s_a——桩中心距；

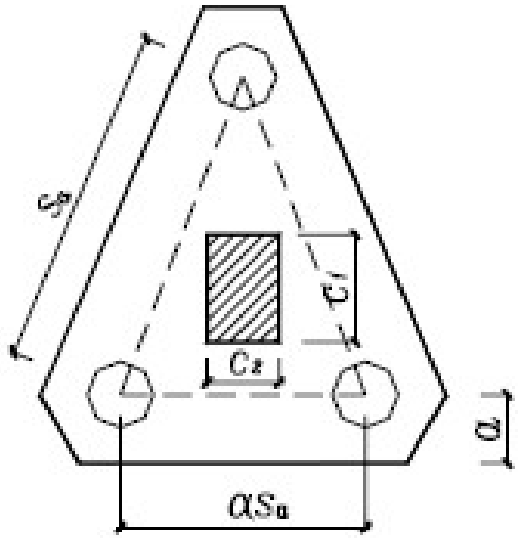
c ——方柱边长，圆柱时**c=0.8d(** d 为圆柱直径)。

✓三桩承台的正截面弯距值应符合下列要求：

2）等腰三桩承台

$$M_1 = \frac{N_{max}}{3}\left(s_a - \frac{0.75}{\sqrt{4-\alpha^2}}c_1\right)$$

$$M_2 = \frac{N_{max}}{3}\left(\alpha s_a - \frac{0.75}{\sqrt{4-\alpha^2}}c_2\right)$$



式中：

M_1、M_2——分别为通过承台形心至两腰边缘和底边边缘正交截面范围内板带的弯矩设计值；

s_a——长向桩中心距；

α——短向桩中心距与长向桩中心距之比，当α小于0.5时，应按变截面的二桩承台设计；

c_1、c_2——分别为垂直于、平行于承台底边的柱截面边长。

✓柱下条形承台梁的弯矩可按下列规定计算：

1 ）可按弹性地基梁（地基计算模型应根据地基土层特性选取）进行分析计算；

2 ）当桩端持力层深厚坚硬且桩柱轴线不重合时，可视桩为不动铰支座，按连续梁计算。

✓砌体墙下条形承台梁，可按倒置弹性地基梁计算弯矩和剪力，并应符合附录G 的要求。对于承台上的砌体墙，尚应验算桩顶部位砌体的局部承压强度。

4.6.5 承台设计

■ 3 承台厚度及强度计算

承台计算包括受弯、受剪、受冲切及局部受压承载力计算:

受弯计算的结果 → 承台的钢筋配置

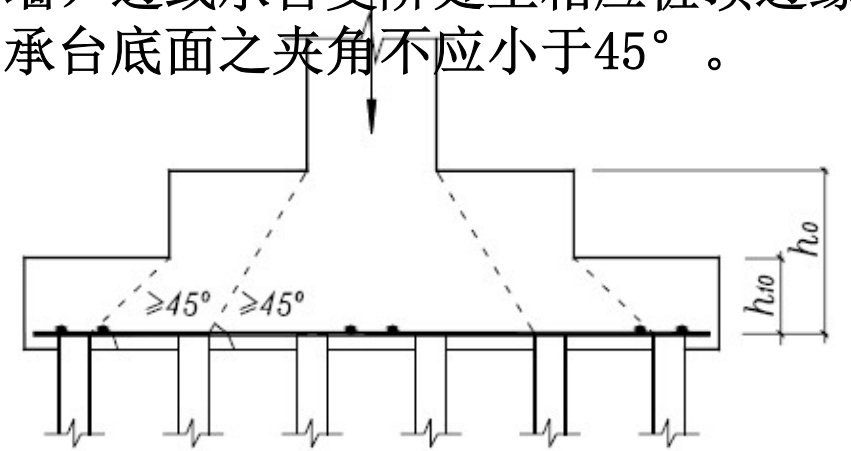
受冲切和受剪计算 → 承台的厚度(一般可先按冲切计算，再按剪切复核)

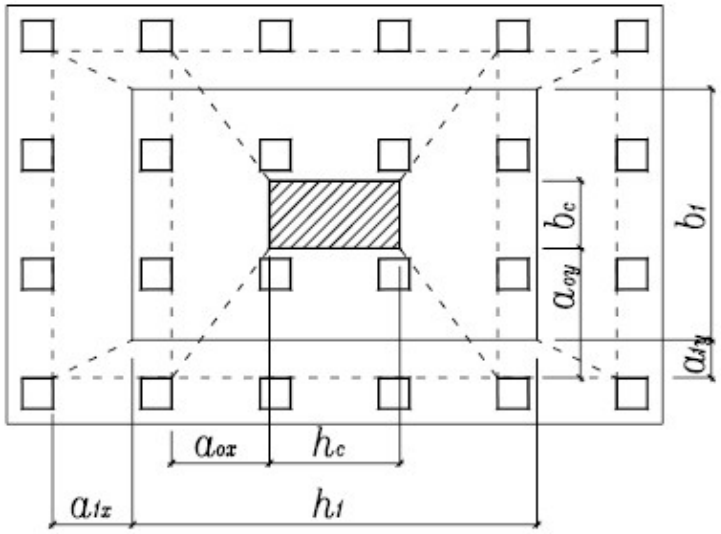
(1)受弯计算 P148：同前面叙述的方法

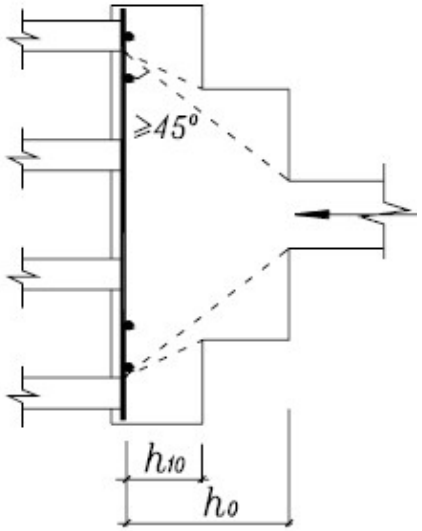
(2) 受冲切计算

✓柱对承台的冲切

轴心竖向力作用下桩基承台受柱（墙）的冲切， 冲切破坏锥体应采用自柱（墙）边或承台变阶处至相应桩顶边缘连线所构成的锥体，锥体斜面与承台底面之夹角不应小于45°。







(2) 受冲切计算

✓柱对承台的冲切

P149
4-72
4-73
4-74

1)受柱（墙）冲切承载力可按下列公式计算：

$$F_l \le \beta_{hp}\beta_0 u_m f_t h_0$$

$$F_l = F - \sum Q_i$$

$$\beta_0 = \frac{0.84}{\lambda + 0.2}$$

式中 F_l——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合下作用于冲切破坏锥体上的冲切力设计值；

f_t—— 承台混凝土抗拉强度设计值；

β_{hp}——承台受冲切承载力截面高度影响系数，当$h \le 800mm$ 时，β_{hp} 取1.0，$h \ge 2000mm$ 时，β_{hp} 取0.9，其间按线性内插法取值；

u_m—— 承台冲切破坏锥体一半有效高度处的周长；

h_0——承台冲切破坏锥体的有效高度；

β_0——柱（墙）冲切系数；

λ——冲跨比，$\lambda = a_0 / h_0$，a_0 为柱（墙）边或承台变阶处到桩边水平距离；当$\lambda < 0.25$时，取$\lambda = 0.25$；当$\lambda > 1.0$ 时，取$\lambda = 1.0$；

F——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合作用下柱（墙）底的竖向荷载设计值；

ΣQ_i——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合下冲切破坏锥体内各基桩或复合基桩的反力设计值之和

(2) 受冲切计算

2)对于柱下矩形独立承台受柱冲切的承载力可按下列公式计算

$$F_l \le 2\left[\beta_{ox}(b_c + a_{oy}) + \beta_{oy}(h_c + a_{ox})\right]\beta_{hp} f_t h_0$$

$$\beta_0 = \frac{0.84}{\lambda + 0.2}$$

式中：

β_{0x}、β_{0y} ——$\lambda_{0x} = a_{0x}/h_0$，$\lambda_{0y} = a_{0y}/h_0$；$\lambda_{0x}$、$\lambda_{0y}$ 均应满足**0.25～1.0** 的要求；

h_c、b_c—— 分别为x、y 方向的柱截面的边长；

a_{xo}、a_{yo}——分别为x、y 方向柱边离最近桩边的水平距离。

(2) 受冲切计算

3)对于柱下矩形独立阶形承台受上阶冲切的承载力可按下列公式计算

$$F_l \le 2\left[\beta_{1x}(b_1 + a_{1y}) + \beta_{1y}(h_1 + a_{1x})\right]\beta_{hp} f_t h_{10}$$

$$\beta_0 = \frac{0.84}{\lambda + 0.2}$$

式中：

β_{1x}、β_{1y}——$\lambda_{1x} = a_{x1}/h_{10}$，$\lambda_{1y} = a_{1y}/h_{10}$；$\lambda_{1x}$、$\lambda_{1y}$ 均应满足0.25～1.0 的要求；

h_1、b_1—— 分别为x、y 方向承台上阶的边长；

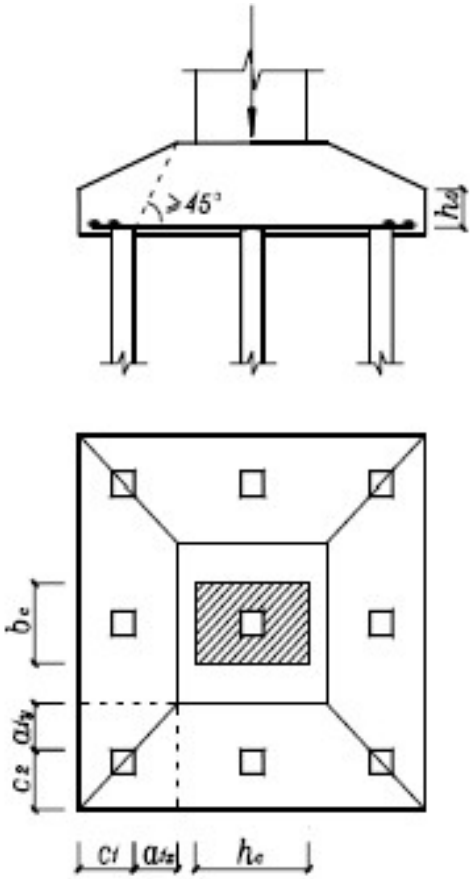
a_{1x}、a_{1y}——分别为x、y 方向承台上阶边离最近桩边的水平距离。

对于圆柱及圆桩，计算时应将其截面换算成方柱及方桩，即取换算柱截面边长$b_c = 0.8d_c$（d_c 为圆柱直径），换算桩截面边长$b_p = 0.8d$（d 为圆桩直径）；

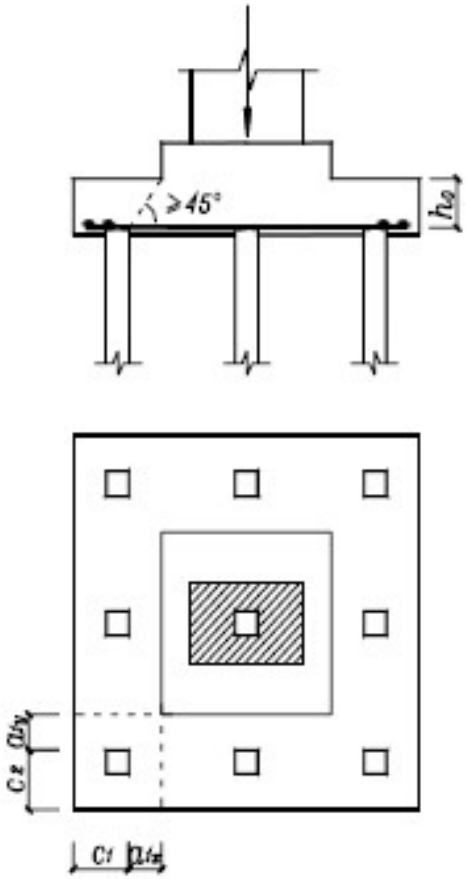
对于柱下两桩承台，宜按深受弯构件（$l_0/h<5.0$，$l_0 = 1.15\,l_n$，l_n 为两桩净距）计算受弯、受剪承载力，不需要进行受冲切承载力计算。

(2) 受冲切计算

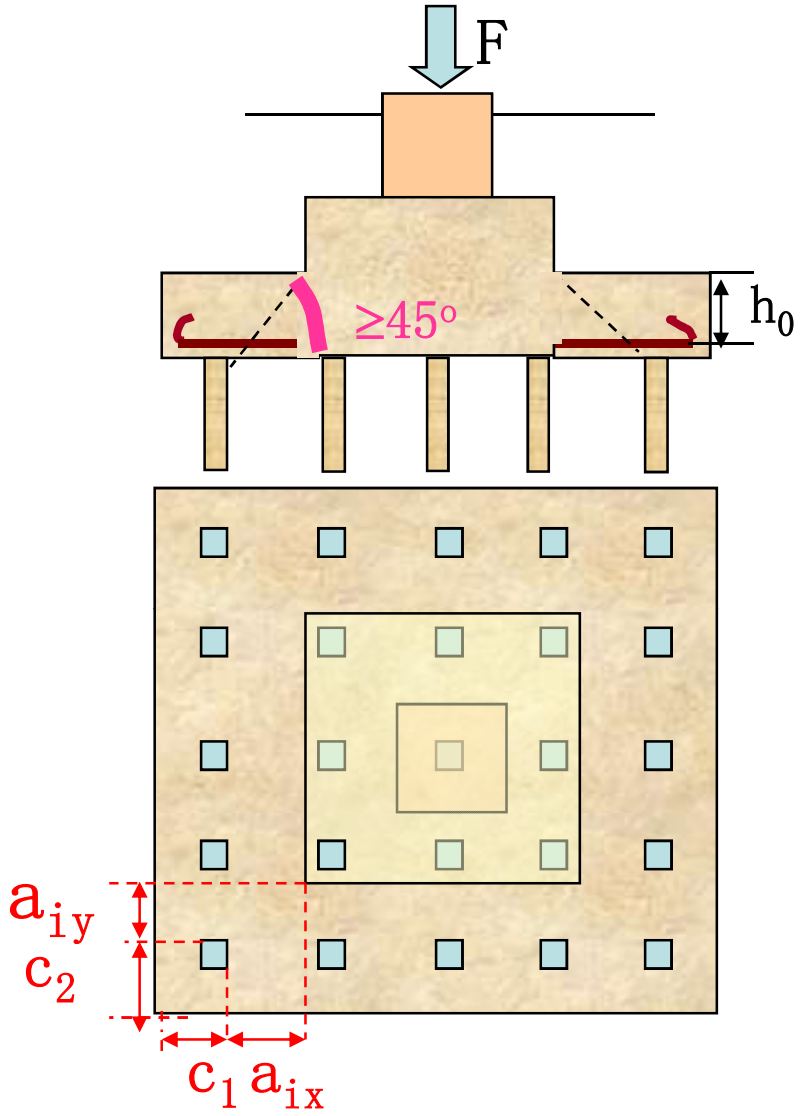
✓角桩对承台的冲切



（a）锥形承台；



(b)阶形承台



四桩以上（含四桩）承台角桩冲切计算示意

(2)受冲切计算

✓角桩对承台的冲切

1 ）四桩以上（含四桩）承台受角桩冲切的承载力可按下列公式计算

$$N_l \le \left[\beta_{1x}(c_2 + a_{1y}/2) + \beta_{1y}(c_1 + a_{1x}/2)\right] \beta_{hp} f_t h_0$$

$$\beta_{1x} = \frac{0.56}{\lambda_{1x} + 0.2}$$

$$\beta_{1y} = \frac{0.56}{\lambda_{1y} + 0.2}$$

式中 ：

N_l ——不计承台及其上土重，在荷载效应基本组合作用下角桩（含复合基桩）反力设计值；

β_{1x}， β_{1y}——角桩冲切系数；

a_{1x}、 a_{1y} —— 从承台底角桩顶内边缘引45°冲切线与承台顶面相交点至角桩内边缘的水平距离；当柱（墙）边或承台变阶处位于该45°线以内时，则取由柱（墙）边或承台变阶处与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线；

h_0 ——承台外边缘的有效高度；

λ_{1x} 、 λ_{1y} ——角桩冲跨比， $\lambda_{1x} = a_{1x}/h_0$ ， $\lambda_{1y} = a_{1y}/h_0$ ，其值均应满足0.25～1.0的要求。

(2) 受冲切计算

✓角桩对承台的冲切

2)对于三桩三角形承台可按下列公式计算受角桩冲切的承载力（图5.9.8-2）：

●底部角桩：

$$N_l \le \beta_{11}(2c_1 + a_{11})\beta_{hp} tg\frac{\theta_1}{2} f_t h_o$$

$$\beta_{11} = \frac{0.56}{\lambda_{11} + 0.2}$$

●顶部角桩：

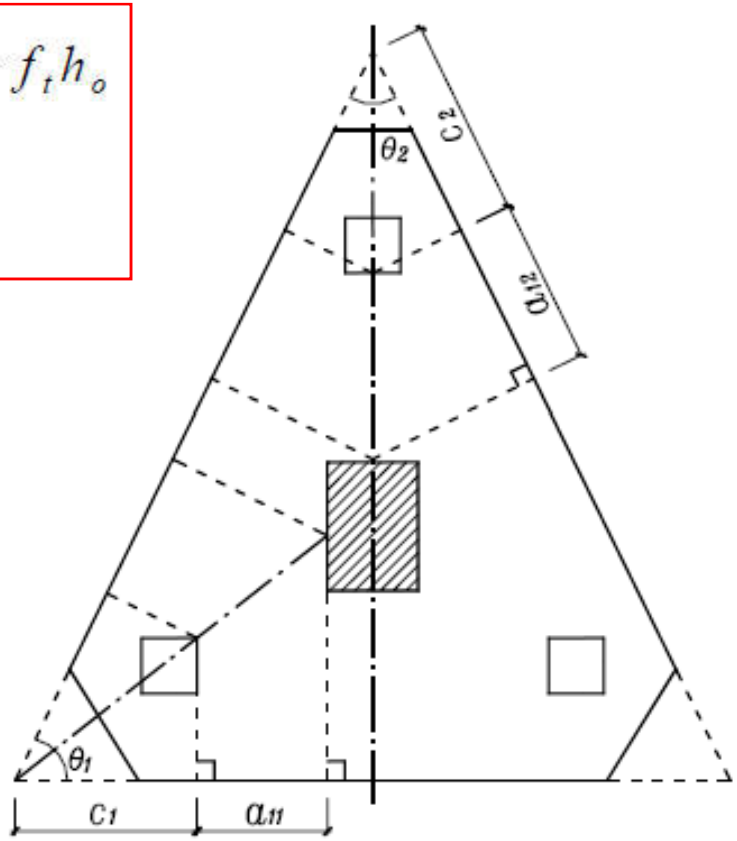
$$N_l \le \beta_{12}(2c_2 + a_{12})\beta_{hp} tg\frac{\theta_2}{2} f_t h_o$$

$$\beta_{12} = \frac{0.56}{\lambda_{12} + 0.2}$$

式中：

λ_{11}、λ_{12}——角桩冲跨比$\lambda_{11} = a_{11}/h_0$，$\lambda_{12} = a_{12}/h_0$，其值均应满足0.25～1.0的要求；

a_{11}、a_{12}——从承台底角桩顶内边缘引45°冲切线与承台顶面相交点至角桩内边缘的水平距离；当柱（墙）边或承台变阶处位于该45°线以内时，则取由柱（墙）边或承台变阶处与桩内边缘连线为冲切锥体的锥线。

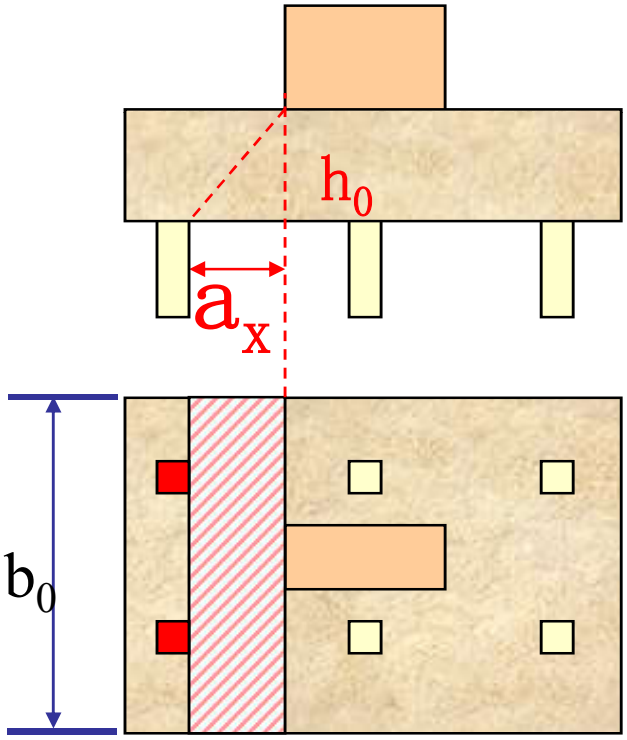


三桩三角形承台角桩冲切计算示意

(3) 受剪切计算

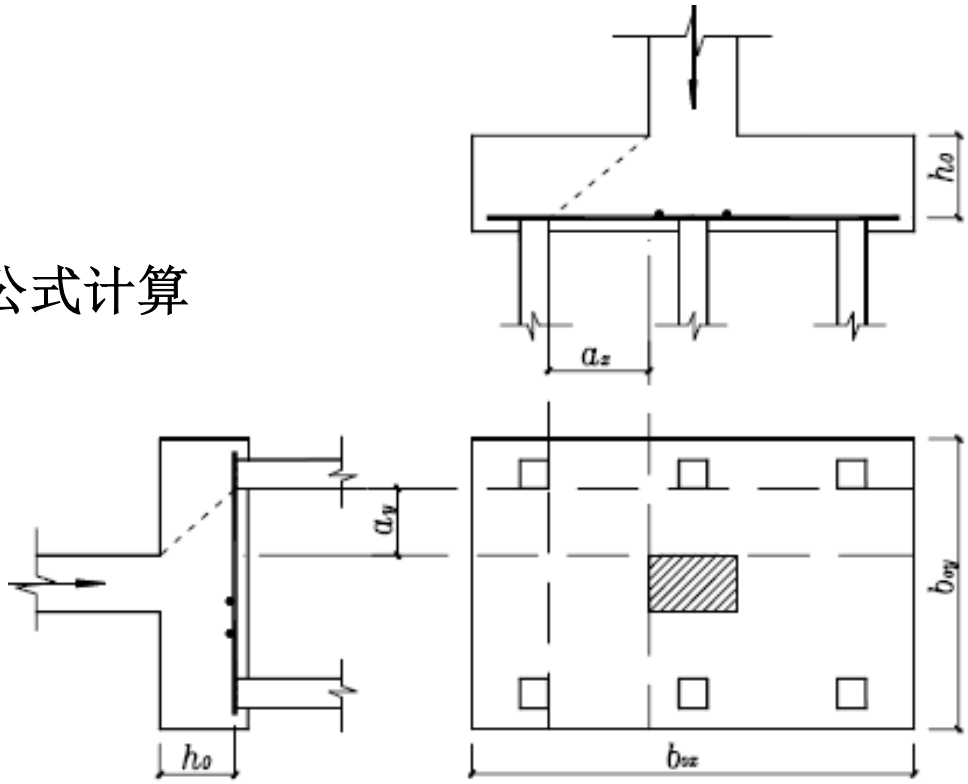
柱下桩基独立承台应分别对柱边、变阶处和桩边连线形成的斜截面进行受剪计算。当柱边外有多排桩形成多个剪切斜截面时，尚应对每个斜截面进行验算。

桩基承台的抗剪计算，类似于小剪跨比条件下深梁。



$$\lambda = \frac{a_x}{h_0}$$

(3)受剪切计算



✓承台斜截面受剪承载力可按下列公式计算

$$V \le \beta_{hs} \alpha f_t b_0 h_0$$

$$\alpha = \frac{1.75}{\lambda + 1} \qquad \beta_{hs} = \left(\frac{800}{ho}\right)^{1/4}$$

式中：

V——不计承台及其上土自重，在荷载效应基本组合下，斜截面的最大剪力设计值；

f_t—— 混凝土轴心抗拉强度设计值；

b_0——承台计算截面处的计算宽度；

h_0——承台计算截面处的有效高度；

α——承台剪切系数；

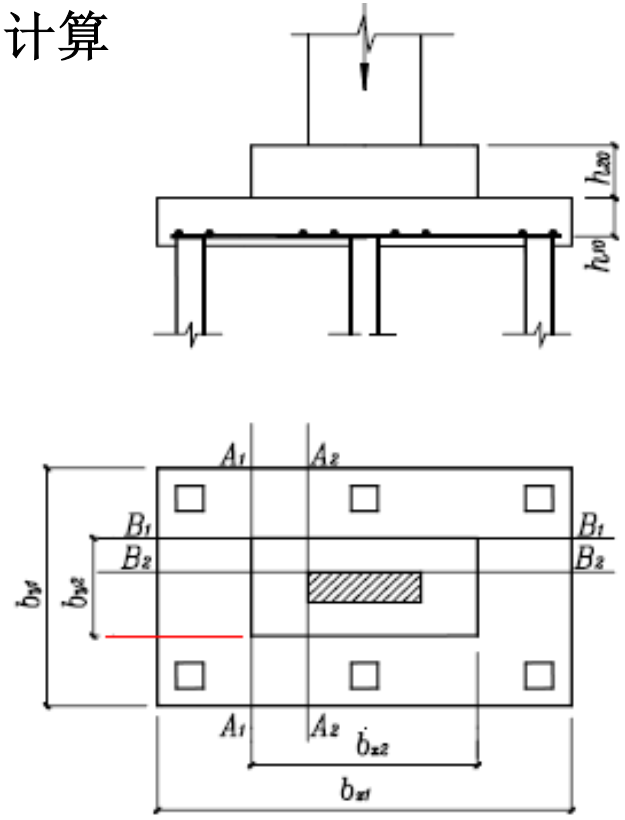
λ——计算截面的剪跨比，$\lambda_x = a_x / h_0$，$\lambda_y = a_y / h_0$，此处，a_x，a_y 为柱边（墙边）或承台变阶处至 y、x 方向计算一排桩的桩边的水平距离，当$\lambda<0.25$ 时，取$\lambda=0.25$；当$\lambda>3$ 时，取$\lambda=3$；

β_{hs} – 受剪切承载力截面高度影响系数：当 $h_0 < 800mm$ 时，取 $h_0 = 800mm$；当 $h_0 > 2000mm$ 时，取 $h_0 = 2000mm$；其间按线性内插法取值。

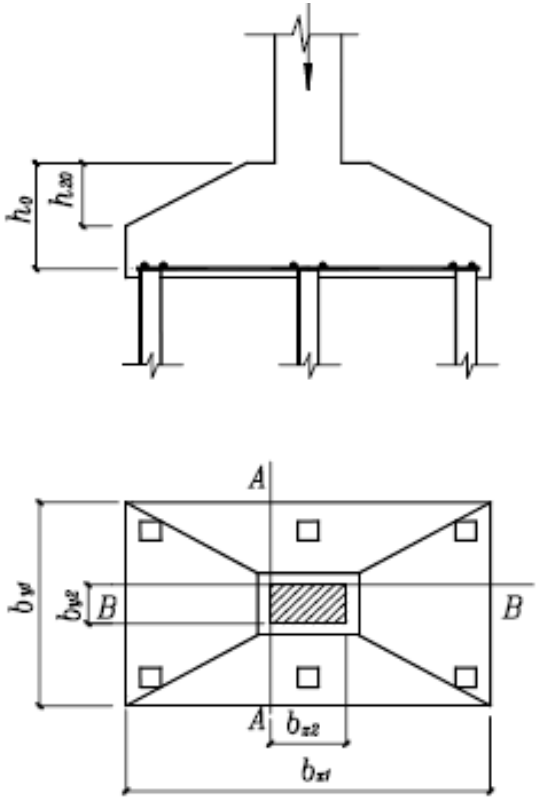
(3)受剪切计算

✓对于阶梯形承台应分别在变阶处（A1-A1,B1-B1）及柱边处（A2-A2,B2-B2）进行斜截面受剪承载力计算

✓对于锥形承台应对变阶处及柱边处（A-A 及B-B）两个截面进行受剪承载力计算



阶梯形承台斜截面受剪计算示意



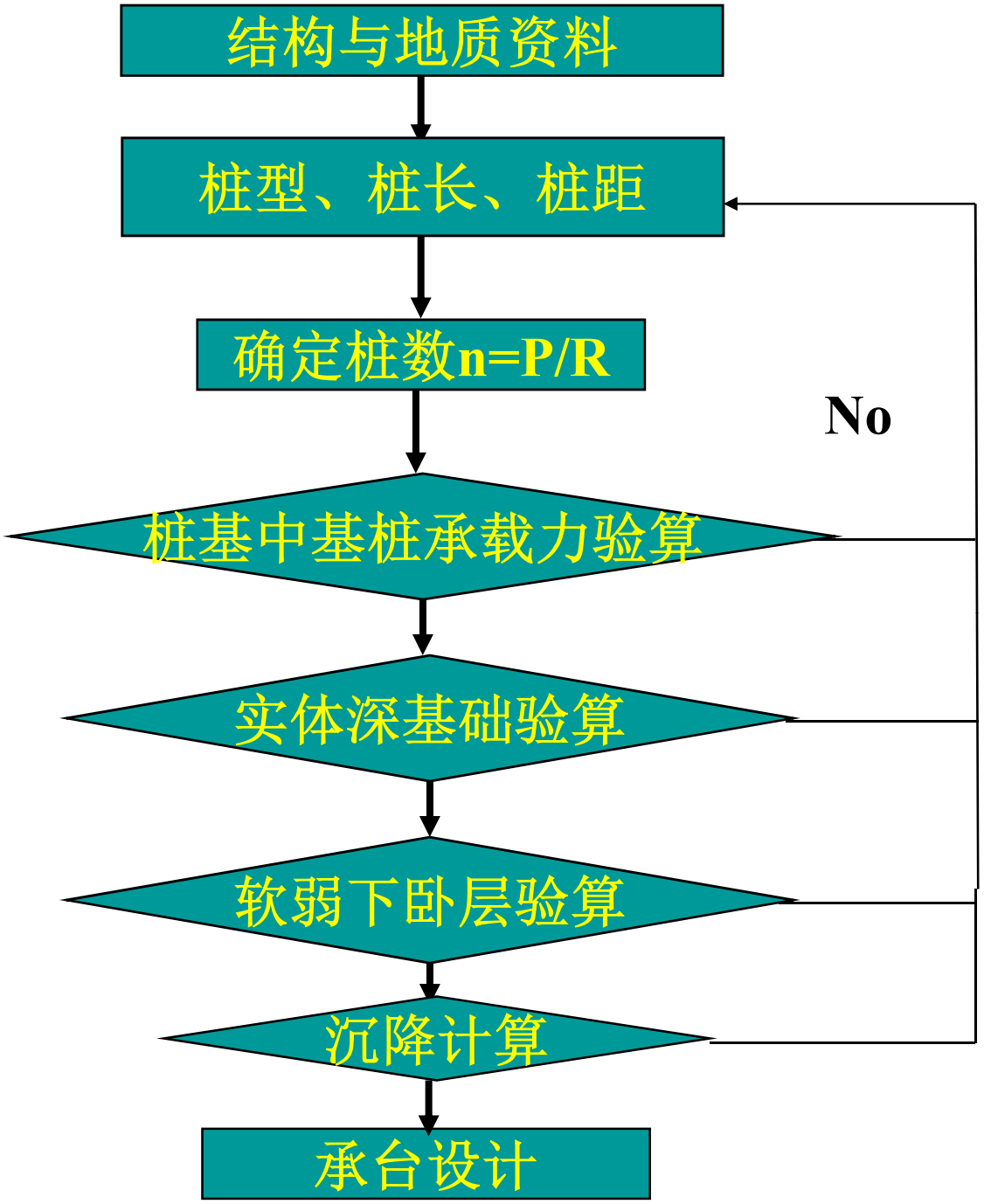
锥形承台斜截面受剪计算示意

(4)局部受压计算

对于柱下桩基承台，当混凝土强度等级低于柱的强度等级时，应按现行结构设计规范要求验算承台的局部受压承载力。

桩基础设计例题4-2 --P150

桩基础的设计步骤


结构与地质资料
桩型、桩长、桩距
确定桩数n=P/R
No
桩基中基桩承载力验算
实体深基础验算
软弱下卧层验算
沉降计算
承台设计

补充：桩基础质量检验

通常均涉及到下述三方面内容：

一、桩的几何受力条件检验

二、桩身质量检验

三、桩身强度与单桩承载力检验

一、桩的几何受力条件检验

桩的几何受力条件主要是指有关桩位的平面布置、桩身倾斜度、桩顶和桩底标高等，要求这些指标在容许误差的范围之内。例如桩的中心位置误差不宜超过50mm，桩身的倾斜度应不大于1/100等，以确保桩在符合设计要求的受力条件下工作。

二、桩身质量检验

桩身质量检验是指对桩的尺寸、构造及其完整性进行检测，验证桩的制作或成桩的质量。

沉桩（预制桩）制作时应对桩的钢筋骨架、尺寸量度、混凝土强度等级和浇筑方面进行检测。

检测的项目有主筋间距、箍筋间距、吊环位置与露出桩表面的高度、桩顶钢筋网片位置、桩尖中心线、桩的横截面尺寸和桩长、桩顶平整度及其与桩轴线的垂直度、钢筋保护层厚度等。

钻孔灌注桩的尺寸取决于钻孔的大小，桩身质量与施工工艺有关，因此桩身质量检验应对钻孔、成孔与清孔、钢筋笼制作与安放、水下混凝土配制与灌注三个主要过程进行质量监测与检查。

检测的项目有：检验孔径应不小于设计桩径；孔深应比设计深度稍深：摩擦桩不小于设计规定，柱桩不小于0.05m；孔内沉淀土厚度应不大于设计规定。对于摩擦桩，当设计无要求时，对直径1.5m的桩，≤300mm；对桩径>1.5m或桩长>40m或土质较差的桩≤500mm；成孔有否扩孔、颈缩现象；钢筋笼顶面与底面标高比设计规定值误差应在±50mm范围内等。

成孔后的钻孔灌注桩桩身结构完整性检验方法很多，常用的有以下几种方法 ：

（二）抽芯法

（一）开挖检查法

（三） 声波透射法

（四）高、低应变动测法

三、桩身强度与单桩承载力检验

桩的承载力取决于桩身强度和地基强度。桩身强度检验除了保证上述桩的完整性外，还要检测桩身混凝土的抗压强度，预留试块的抗压强度应不低于设计采用混凝土相应的抗压强度，对于水下混凝土应高出20%。钻孔桩在凿平桩头后应抽查桩头混凝土质量检验抗压强度。对于大桥的钻孔桩有必要时尚应抽查，钻取桩身混凝土芯样检验其抗压强度。

国内外工程实践证明，用静力检验法测试单桩竖向承载力，尽管检验仪器、设备笨重、造价高、劳动强度大、试验时间长，但迄今为止还是其它任何动力检验法无法替代的基桩承载力检测方法，其试验结果的可靠性也是无容质疑的。

对于动力检验法确定单桩竖向承载力，无论是高应变法还是低应变法，均是近几十年来国内外发展起来的新的测试手段，目前仍处于发展和继续完善阶段。大桥与重要工程，地质条件复杂或成桩质量可靠性较低的桩基工程，均需做单桩承载力的检验。

The end

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