

预应力管桩施工中应注意的几个问题

胡煜

(深圳市建筑工务署)

摘要: 预应力管桩作为一种经济、可靠的基础处理技术, 目前已得到广泛应用。本文介绍了锤击沉桩的桩锤选择方法、静压桩施工时静压力与单桩承载力的区别和联系、挤土效应及防治措施、时间效应及承载力检验的休止时间、基坑开挖等预应力管桩施工时应注意的问题。

关键词: 预应力管桩; 桩锤选择; 挤土效应; 时间效应

预应力管桩的强度高、耐打性好、穿透力强、承载力高, 是一种广泛被采用的桩型。韩金田等人在《广东省桩基应用调查分析研究》一文中指出: “预应力管桩由于其综合评价得分第一位, 且其技术因素和经济因素得分均处于第一位, 因此是最优先推广使用的桩型。”^[3]

1 沉桩方法的选择

在深圳地区, 预应力管桩的沉桩方法主要有锤击和静压两种方式, 一般情况下, 只要能采用锤击的, 就不采用静压。同一场地、同一规格的桩, 锤击的承载力相对来说更高。锤击沉桩就像用手锤将钉子打入木中一样, 是一种碰撞现象, 碰撞力非常巨大, 作用时间极短 ($1/10000 \sim 1/1000$ 秒)。如有一手锤质量 $m = 3\text{kg}$, 以速度 $V = 6\text{m/s}$ 与钉帽接触, 经历 $\Delta t = 0.001$ 秒后撞击结束, 锤速降为 $V_0 = 1\text{m/s}$, 碰撞在钉上后, 两者一起运动, 为简化起见, 把运动粗略地当作匀减速的, 即 $V = V_0 - a \Delta t$

根据动力第二基本定律, 作用在锤上的力为:

$$F - p = ma = \frac{P}{g} \cdot \frac{V - V_0}{\Delta t} = 3 \times \frac{6 - 1}{0.001}$$

$$= 15000\text{N} \approx 1530\text{kg}$$

由此可见, $F \gg p$ 。从碰撞理论上讲, 锤重/桩重越大, 沉桩的效率越高, 在实践中选择桩锤的方法有两种, 按桩重选择和按桩锤冲击力选择。

1.1 选择桩锤的原则

选择合适的锤型和锤级(锤重)必须对桩的重量、入土深度、地层岩(土)分布、厚度作综合分析, 再按照桩锤的特性进行选择, 但无论如何都必须选用使用锤击能力大于沉桩阻力的桩锤, 有时几种锤配合使用更有效, 例如上海金茂大厦钢管桩(主楼 $\Phi 914.4 \times 20$, 设计桩长 65m, 送桩深度 17.5m)基础施工时, 先用日本神钢的 KB-60 锤施打第一节 25m 长桩打至第 5 层, 接着 23m 长的第 2 节桩用荷兰 IHC 公司的 SC-1500 液压锤打入 ⑦-2 层约 10m, 再接 17m 的第 3 节桩用法国 D-100 锤打至第 ⑧层, 最后插 18.5m 长的送桩, 用英国 BSP 公司生产的 HH-30 液压锤将桩送至 -78.5m。打桩阻力包括桩尖土体阻力、桩侧面动摩擦阻力和桩的弹性位移所产生的能量损失。锤重与桩重比必须相适应, 一般情况下锤重与桩重比越大, 打桩的效率也越高。如果锤重不足则沉桩困难, 且易于引起桩头损坏。但当用大型锤打小断面的桩时, 也会使桩产生纵向压曲或局部破坏。

综上所述, 选择桩锤的原则如下:

- 1) 保证桩能穿过场地的各岩(土)层(包括硬夹层), 进入持力层一定深度;
- 2) 管桩的锤击压应力不宜超过桩身砼抗压强度的 50%, 锤击拉应力不宜超过桩身砼的抗拉强度和桩的有效预压应力之和, 以防止桩身疲劳和破坏;

- 3) PC 桩总锤击数不宜超过 2000, 最后 1m 锤击数不宜超过 250; PHC 桩总锤击数不宜超过 2500, 最后 1m 锤击数不宜超过 300;

胡煜, 1973. 8, 男, 浙江台州人, 一级注册结构工程师, 从事施工及工程管理的专业技术工作

地址: 圳市振兴路建艺大厦 8 楼 邮编: 518029

电话: 83686678

有关资料表明,柴油锤与蒸汽锤的锤击波型不同,具有同级别的冲力时,蒸汽锤的冲击能量要比柴油锤高1.2~1.4倍,按沉桩总贯入阻力计算所需的冲击力来选择锤型时,应考虑桩锤能量相当这个因素。

1.2 按桩重量选择桩锤

锤重一般应大于桩重,落锤施工中锤重与桩重的比为1.5~2.5为佳,落锤高度通常为1~3m,对于柴油锤,锤重与桩重的比为1~1.5(丹麦规范中规定,最小锤重与桩重之比为0.8),以重锤低落距打桩为好。若用轻锤,即使落距再大,也难以将桩打入土体,且容易击碎桩头,根据碰撞理论可知:

$$T_0 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \quad (2)$$

其中 T_0 —— 碰撞开始两物体动能之和;
 T —— 碰撞结束时两物体动能之和;
 m_1 、 m_2 —— 分别为两物体的质量;
 v_1 、 v_2 —— 分别为两物体碰撞前的速度;
 u_1 、 u_2 —— 分别为两物体碰撞后的速度;
 (1)-(2)得:

$$T_0 - T = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \right) \quad (3)$$

改写(3)得:

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_1 (v_1^2 - u_1^2) + \frac{1}{2} m_2 (v_2^2 - u_2^2)$$

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_1 (v_1 + u_1)(v_1 - u_1) + \frac{1}{2} m_2 (v_2 + u_2)(v_2 - u_2) \quad (4)$$

$$\text{由于 } v_1 - u_1 = (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad (5)$$

$$v_2 - u_2 = -(1+k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad (6)$$

将(5)、(6)代入(4)得

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_1 (v_1 + u_1)(1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) + \frac{1}{2} m_2 (v_2 + u_2) \left[-(1+k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \right]$$

$$T_0 - T = \frac{1+k}{2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) [(v_1 - v_2) + (u_1 - u_2)] \quad (7)$$

$$\text{由于 } u_1 - u_2 = -k(v_1 - v_2) \quad (8)$$

将(8)代入(7)得

$$T_0 - T = \frac{1+k}{2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) [(v_1 - v_2) - k(v_1 - v_2)] = \frac{1+k}{2} \cdot \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2 (1-k)$$

$$T_0 - T = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (1-k^2) (v_1 - v_2)^2 \quad (9)$$

对于非弹性碰撞, $k=0$; 对于打桩或锻造, 则 $v_2=0$, 则(9)变为:

$$T_0 - T = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} v_1^2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \cdot \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$\text{即 } T_0 - T = \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \cdot T_0 \quad (10)$$

由式(10)可知,碰撞中动能损失是初始动能的一部分,损失的多少,取决于两碰撞物体(锤和桩)质量 m_1 与 m_2 的比值。

当 $m_2 \gg m_1$ 时,初始的动能几乎完全消耗在碰撞中,这样对锻压金属最适合,动能损失大,一方面可使锻件变形大、效率高,另一方面使碰撞后的速度小,减弱了对厂房结构的振动。因此,在锻造金属时应该选用比锻锤重很多倍的砧座,一般砧座的重量为锻锤锤重的15~20倍。

$$\text{当 } m_2 \ll m_1 \text{ 时, } \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \rightarrow \infty, \quad \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \rightarrow 0$$

则 $T_0 - T \approx 0$ ，即初始动能几乎没有损失，这对打桩工程最为适合，动能损失少，一方面不致将桩打裂，另一方面使碰撞（锤击）的桩具有较大的速度，使桩迅速下沉。所以，我们在打桩时应选用重量较大的桩锤。桩锤重的选用，可参见表 1。^[8]

1.3 按锤冲击力选用桩锤

只有当选用的桩锤冲击力 P_k 大于桩的总贯入阻力 P_u 时，桩才能穿透土层打入设计规定的深度或岩（土）层。试验资料表明，PC 桩当锤击应力为砼强度的 75% 时，锤击 819 次产生疲劳破坏；当锤击应力为砼强度的 45%~57% 时，锤击 2400 次产生疲劳破坏。因此，过大的桩锤冲击力将会在桩身中产生过大的锤击应力，从而导致桩的破坏。为了防止打桩过程中出现锤击应力过大导致管桩的破坏，《预应力混凝土管桩基础技术规程》（DBJ/T15-22-

98）第 6.3.3 条规定：“打桩时桩帽与桩头之间应设置弹性衬垫。”其目的是为了延长锤击作用时间，降低锤击应力。同时该规程的第 6.4.6 条规定如下：总锤击数及最后 1m 沉桩锤击应符合下列规定：（1）PC 桩总锤击数不宜超过 2000，最后 1m 沉桩击数不宜超过 250；（2）PHC 桩总锤击数不宜超过 2500，最后 1m 沉桩击数不宜超过 300。

桩的总贯入阻力 P_u 的大小与土质、桩型、桩长等因素有关，可按下列公式计算：

$$\text{开口桩 } P_u = K(S_j \cdot R_d + U_o \cdot L_{Fi} \cdot f_o + U_i \cdot L_i \cdot f_i)$$

$$\text{闭口桩 } P_u = K(S \cdot R_d + U_o \cdot L_{Fi} \cdot f_o)$$

式中 S_j ——开口桩尖的折算面积（ cm^2 ），一般取桩尖环形面积的 2 倍；

S ——闭口桩尖的截面积（ cm^2 ）；

L_{Fi} ——桩侧阻力集中区的高度（ cm ），一般取 7~8 倍 D ；

D ——桩的外直径（ cm ）；

U_o ——桩的外周长（ cm ）；

U_i ——桩的内周长（ cm ）；

锤重选用参数表

表 1

| 筒式柴油锤（t） | | | 1.2t | 1.8t | 2.5t | 3.5t | 4t | 4.5t | 6t | 7t | 8t | 15t |
|-----------------|----------------------------------|------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|
| 锤冲击力（KN） | | | 600~900 | 900~1500 | 2000~3000 | 3000~4000 | 4000~6000 | 4500~7000 | 5000~8000 | 6000~10000 | 7000~12000 | 12000~18000 |
| 管桩直径（cm） | | | 25~30 | 30~40 | 35~41 | 40~50 | 45~55 | 50~60 | 55~65 | 60~70 | 65~80 | 80~100 |
| 粘性土 | 一般进入深度（m） | | 0.5~1 | 1~2 | 1.5~2.5 | 2~3 | 2.5~3.5 | 3~4 | 3.5~4.5 | 4~5 | | |
| | 桩尖可达到静力触探“P _s ”值（MPa） | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | >7 | >7 | | |
| 砂土 | 一般进入深度（m） | | <0.5 | 0.5~1 | 0.5~1 | 1~1.5 | 1~1.5 | 1.5~2 | 2~2.5 | 2~3 | 2.5~3.5 | 3.5~5 |
| | 桩尖可达到标准锤击数N值 | | 15~20 | 15~25 | 20~30 | 25~35 | 35~45 | 40~45 | 45~50 | 50 | 50 | 50 |
| 软质岩石 | 强风化 | 桩尖可进入深度（m） | | | 0.5 | 0.5~1 | 0.5~1.5 | 1~1.5 | 1.5~2.5 | 2~3 | 2.5~3 | 3~4 |
| | 中等风化 | | | | | 表层 | 表层 | 0.5 | 0.5~1 | 1~1.5 | 1.5~2 | 2~2.5 |
| 常用控制贯入度（cm/10击） | | | 2~3 | 2~3 | 2~3 | 2~3 | 3~4 | 3~5 | 3~5 | 4~8 | 4~8 | 5~10 |
| 设计单桩极限承载力（KN） | | | 250~600 | 400~2000 | 800~2600 | 1500~3000 | 2500~4000 | 3000~5000 | 4000~8000 | 5000~9000 | 7000~11000 | 10000~16000 |
| 锤的质量（t） | | | 1.2 /2.75 | 1.8 /4 | 2.5 /5.65 | 3.5 /7.50 | 4 /10 | 4.5 /10.5 | 6 /15 | 7.2 /21 | 8 /16.4 | 15 / |
| 适宜的桩质量（t） | | | 1~1.5 | 1.3~2.5 | | 2.5~6 | 3~7 | 3.5~8 | 5~10 | 6~12 | 7~15 | 10~40 |

f_i ——桩内土心的摩阻力(KPa),见表2;

f_0 ——桩侧土的摩阻力(KPa);

R_d ——桩内土心的摩阻力(KPa);

N ——标准贯入击数;

K ——桩身阻力系数,开口桩可取 $K=1.05\sim 1.15$;闭口桩可取 $K=1.2\sim 1.3$;

根据上式计算所得的 P_u 值,参考表1,按锤冲击力,选用筒式柴油锤。

1.4 按技术规程、规范选择打桩锤

《预应力混凝土管桩基础技术规程》(DBJ/T15-22-98)在附录C中给出了选择筒式柴油打桩锤参数表,详见表3。

2 静力压入预应力管桩

静力压入沉桩不会产生锤击沉桩时的噪音,桩身不会出现锤击动应力,施工比较文明。桩的极限承载力与静力压桩的最后压桩力之间的关系是工程界很感兴趣的问题。沉桩的压桩力(终压力)不等于桩的极限承载力,两者之间的关系随着地基岩(土)性质的不同而不同,无确定的比值。尽管如此,对某一地区或某一类型的地层条件,是有规

律的,例如广东地区,终压力与极限承载力的关系如下:

$$Q_u = (1.25 - 14/\lambda) P_{ze}$$

Q_u ——静压桩单桩的极限承载力;

λ ——静压桩的长细比, $\lambda=L/d$ 或 L/b ,其中 L 为静压桩入土深度, d 为静压管桩的直径, b 为静压方桩的边长;

P_{ze} ——静压桩的终压力值。

不同地区、不同地层岩(土)性静压桩的终压力与单桩承载力的关系不同,有学者对此进行了对比试验分析,其结果见表4。^[9]从表4可以看出,桩的截面尺寸相同,入土深度几乎相等,试桩3终压力为713KN,比试桩2高出46%,但试桩2和试桩3的极限承载力均为1687KN,说明桩的极限承载力与最终压桩力没有直接对应关系式,而与桩的入土深度和桩端处的岩(土)层性质有关。粘性土、粉土层地基上的摩擦型静压桩的承载力与终压力没有直接关系,但桩端处于坚硬土层时,最终压桩力越大,桩的承载力越高。

静压桩的施工终压力与极限承载力是两个不同

土体的动力强度(KPa)

| 土质 | 灰粘土(N=7~10) | 灰粘土(N=20~25) | 粉砂(N=30~50) |
|-------|-------------|--------------|-------------|
| f_i | 250 | 250~300 | 350 |
| R_d | 3000~4000 | 4000~5000 | 6000~8000 |

表2

选择筒式柴油打桩锤参数表

| 柴油锤型号 | 25 [#] | 32 [#] ~36 [#] | 40 [#] ~50 [#] | 60 [#] ~62 [#] | 72 [#] | 80 [#] |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 冲击锤质量(t) | | | 4 | | | |
| | 2.5 | 3.2 | 4.5 | 6.0 | 7.2 | 8.0 |
| | | 3.5 | 4.6 | 6.2 | | |
| | | 3.6 | 5 | | | |
| 常用冲程(m) | 1.5~2.2 | 1.6~3.2 | 1.8~3.2 | 1.9~3.6 | 1.8~2.5 | 2.0~3.4 |
| 锤体总质量(t) | 5.6~6.2 | 7.2~8.2 | 9.2~11 | 12.5~15 | 18.4 | 17.4~20 |
| 适用管桩规格 | $\phi 300$ | $\phi 300$ | $\phi 400$ $\phi 500$ | $\phi 500$ $\phi 550$ | $\phi 550$ $\phi 600$ | $\phi 600$ $\phi 800$ |
| | | $\phi 400$ | | $\phi 600$ | | |
| | | | | | | |
| 单桩竖向承载力设计值 适用范围(KN) | 600~2000 | 800~1200 | 1300~2400 | 1800~3300 | 2200~3800 | 2600~4500 |
| 桩尖可进入的岩土层 | 密实砂层 | 密实砂层 | | | | |
| | 坚硬土层 | 坚硬土层 | 强风化岩 | 强风化岩 | 强风化岩 | 强风化岩 |
| | 全风化岩 | 强风化岩 | | | | |
| 常用控制贯入度mm/10击) | 20~40 | 20~50 | 20~50 | 20~50 | 30~70 | 30~80 |

表3

试验桩的最终压桩力、极限荷载表

| 试桩号 | 截面尺寸(cm) | 入土深度(m) | 最终压桩力(KN) | 复压间隔时间(h) | 复压力(KN) | 极限荷载(KN) |
|-----|----------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 试桩1 | 35×35 | 22.3 | 488 | 54 | 1435(桩未动) | 1522 |
| 试桩2 | 35×35 | 22 | 488 | | | 1687 |
| 试桩3 | 35×35 | 22.3 | 713 | | | 1687 |

表4

的概念,不仅性质不同,而且数值大小也不同,静压桩的压桩力主要是克服桩体冲剪土体向下穿透的桩端阻力(抗冲剪阻力)和桩侧表面与桩周土体的滑动摩擦力。压桩力与单桩承载力的区别见表5。

3 挤土效应及防治措施

3.1 挤土效应

在沉桩过程中,相当于桩体积的土体向四周排挤,使周围的土受到严重的扰动,主要表现为径向位移,桩尖和桩周一定范围内的土体受到不排水剪切以及很大的水平挤压,桩周土体接近于“非压缩性”,产生较大的剪切变形,形成具有很高孔隙水压力的扰动重塑区,降低了土的不排水抗剪强度,促使桩周会邻近土体因不排水剪切而破坏,与桩体积等量的土体在沉桩过程中向桩周发生较大的侧向位移和隆起。在地面附近的土体是向上隆起,而在地面以下较深层土体,由于覆盖上层压力作用不能向上隆起,就向水平方向挤压。由于群桩施工中的迭加作用,会使已打入桩和邻近管线产生较在侧向位移和上浮。桩群越密越大,土的位移也越大,有资料揭示,地面隆起可达50~60cm,有的甚至达到70~80cm。

3.2 防治措施

1) 合理安排沉桩顺序。沉桩施工顺序对超静水压力的形成及其水力梯度大小和方向也有明显关系,且直接影响沉桩区及附近地区地基的分布规律。一般原则是:先内后外,由中心逐渐向外侧对称施工;先密后疏,先打较密的群桩,后打较疏的群桩;当在已有建筑物或构筑物附近打桩时,应沿着背离建筑物或构筑物的方向进行。

2) 控制每日打桩的数量,减少孔隙水压力的迭加。

3) 采用先开挖基坑后沉桩的施工工序,可减少地基浅层软土的侧向位移和隆起,有利于降低沉桩所引起的超静孔隙水压力,从而减少地基深层土体变位。

4) 在场地设置袋装砂井或塑料排水板,创造排水条件以降低孔隙水压力,加快孔隙水压力的消散和减少挤土作用。

5) 预钻孔辅助沉桩。预钻孔的直径宜为桩径的70%左右,深度宜为1/3~1/2的桩长。国外资料认为:钻孔深度不超过桩长的2/3(国内一般取不超过桩长的1/2),孔截面不超过桩截面的2/3,

静压力与单桩承载力的区别

表5

| | 压桩力 | 单桩承载力 |
|------|---|--|
| 概念 | 沉桩过程中使桩能贯入土层所施加的静压力。 | 沉桩完成后桩能保持正常使用可承受的最大荷载。 |
| 性质 | 来自压桩机克服的桩尖处土层的抗冲剪阻力,桩尖直接使土体产生冲剪破坏,同时桩周土体也产生剪切挤压破坏,是一种破坏土层的极限荷载。 | 来自桩侧土的摩擦阻力和桩端的支承力(端阻力),是一种利用土层支承力和摩擦力的允许荷载。 |
| 数值大小 | 包括桩尖土层阻力(冲剪)和桩侧滑动摩擦力(非常小,同一土层基本保持不变,不随入土深度的增加而累计增加),主要是桩尖土层阻力(抗冲剪阻力)。 | 包括桩尖土支承力和桩侧土摩擦力,一般桩侧阻力大于桩端支承力,在广东地区,桩端支承力(端阻力)约为终压力的40%~50%。 |
| 作用效果 | 会使桩尖处土体冲切破坏,挤压桩周土体形成具有很高孔隙水压的扰动重塑区,其厚度为0.5~1.5倍桩径。在很强的挤压作用下,被扰动和重塑并变得密实,浅层土会向上隆起。 | 要靠消散孔隙水压力,使紧贴桩身的扰动重塑区产生再固结而逐渐恢复土体的抗剪强度后形成。 |

休止时间表

表6

| 规 范 | 土 的 类 别 | | |
|-----------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| | 砂土 | 粉土及粘性土 | 饱和软粘土 |
| 《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) | $\geq 7d$ | $\geq 15d$ | $\geq 25d$ |
| 《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003) | $\geq 7d$ | 粉土 $\geq 10d$; 非饱和粘土 $\geq 15d$ | $\geq 25d$ |
| 《深圳地区基桩质量检测技术规程》(SJG09-99) | $\geq 10d$ | $\geq 15d$ | $\geq 25d$ |
| 《建筑基桩技术规范》(JGJ94-94) | $\geq 10d$ | $\geq 15d$ | $\geq 25d$ |
| 《建筑地基基础设计规范》(DBJ15-31-2003) | $\geq 7d$ | 粉土 $\geq 10d$ | $\geq 25d$ |

对桩的承载力影响不大,但在预钻孔桩深度范围内地基土体内的超静孔隙水压力值可减少40%~50%,地基变位值可减少30%~50%,其影响深度可达钻孔深度以下2~3m的范围,并可明显减少地基表面的隆起值,减少对已打桩的挤拔和挤压影响,有利于防止和减少对邻近建筑物和构筑物的损害。

4 时间(或歇后)效应和承载力检验的休止时间

在沉桩过程中不可避免地扰动桩周土体,挤土产生很高的孔隙水压力,降低土体强度,打桩结束后,沉桩挤土产生的孔隙水压力随时间消散,桩周土体中有效应力相应增加,这一过程被称为土的再固结。

再固结作用,以桩基造成两方面的影响,一是使桩向土面下沉,造成长桩基础承台与土面脱离;二是桩侧有效应力随时间而增长。研究资料表明,时间效应可使桩的承载力比初始值增长40%~400%,其变化规律一般是初期增长速度较快,随后渐慢,待达到一定时间后趋于相对稳定,其增长的快慢和幅度与土性及类别有关。为了科学、公正地检测桩的承载力,检测桩的休止时间应按表6相关规范的规定进行。

5 基坑开挖

基坑土方开挖应符合分层、分段、对称、平衡、适时的原则。特别注意不平衡开挖,深圳市某预制方桩基础工程,开挖土方后,桩向同一方向整体倾斜,甚至有的桩接头处断裂,垂直偏差在3.1~5%有23根,垂直偏差 $>5.1\%$ 的桩有19根,最大垂直度偏差为11%。基坑开挖时,严禁边打桩边开挖,同时还应考虑时空效应,解决好开挖土方与支护结构施工的关系。

参考文献

- [1]《桩基工程手册》编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995. Pile foundation engineering manual editing committee. Pile foundation engineering manual[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1995
- [2]张群贤. 打桩施工中的危害与防治[J]. 工程建设与设计, 2003. Zhang qun-xian. The prevention and cure the endanger in the piling construction[J]. Construction & design for project, 2003
- [3]韩金田, 郭贱苟等. 广东桩基应用调查分析研究[A]. 广东省土力学与基础工程98年学术交流大会论文集[C], 广东省土木建筑学会土力学与基础工程学术委员会, 1998. Han jin-tian, Guo jian-gou. An analysis of the application of pile foundation in Guangdong[A]. Proceedings of the Academic Meeting of Guangdong Soil Mechanics and Foundation Engineering Society in 1998[C], Guangdong Soil Mechanics and Foundation Engineering Society, 1998
- [4]林本海, 王离等. 静压桩承载性能的分析研究[J]. 建筑结构学报, 2004. Lin ben-hai, Wang li. Research on bearing capacity mechanism of statically pressed precast concrete piles[J]. Journal of building structures, 2004
- [5] JGJ106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S]. JGJ106-2003, China academy of building research. Technical code for testing of building foundation piles[S].
- [6]胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997. HU Zhong-xiong. Soil Mechanics and Environmental Geotechnics [M]. Shanghai: Tongji University Press, 1997.
- [7]韩选江. 静压桩的压桩力和承载力的试验报告[J]. 建筑结构学报, 1996. Han xuan-jiang. Experimental study on stastic pressure and bearing capacity of stastic pressure pile[J]. Journal of building structures, 1996
- [8]李世华. 现代施工机械实用手册[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1999. Li shi-hua. Modern construction Equipment application manual[M]. guangzhou: South China University of Technology Press, 1999
- [9]张明义, 邓安福. 静力压入桩的荷载试验分析[A]. 见: 21世纪高层建筑基础工程[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. zhang Ming-yi, Deng An-fu. Loading Test Analysis for Static Driving Pile[A]. In: The 21st Century High-rise Groundwork[C]. Beijing: China Construction Industry Press, 2000 ■