



kN 左右。

### 2.3 桩身截面设计

根据上部荷重确定扩底桩桩身截面。设计中假定作用于桩顶的弯矩(柱传来)在桩与连梁间按抗弯线刚度进行分配,当柱下有基础梁且基础梁的线抗弯刚度大于扩底桩的线抗弯刚度 5 倍以上时,桩顶可只考虑轴向力和水平力的作用<sup>[1]</sup>。此时桩身按轴向受压进行计算,即每根桩仅承受垂直荷载,不承受弯矩,由风荷载和垂直荷载引起的弯矩均由框架柱与基础梁共同承受。

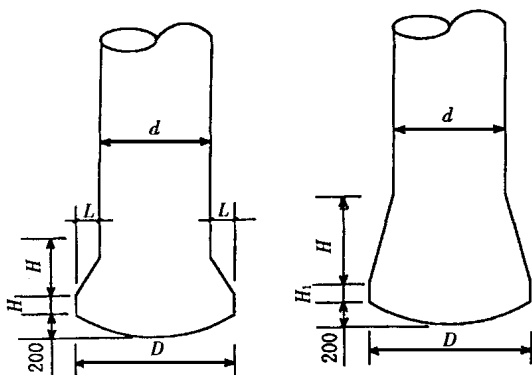
由于砼的抗压强度大于地基强度,因而采用变截面桩(扩大头)在经济上是合理的。变截面桩的桩身截面积和桩底截面积可分别用式(1)、式(2)求得。

$$A_1 = 0 N / f_c \quad (1)$$

$$A_2 = (N + G) / f \quad (2)$$

式中  $A_1$  ——由砼强度决定的桩截面积  
 $A_2$  ——由地基强度决定的桩底截面积  
 $0$  ——建筑桩基重要性系数,一级建筑 1.2, 二级建筑 1.1, 三级建筑 1.0  
 $N$  ——柱顶轴向压力设计值  
 $G$  ——扩底桩的自重  
 $f_c$  ——砼的轴心抗压强度设计值  
 $f$  ——桩端持力层的端阻力标准值

由于桩身和桩底截面积不等,需用扩大头来过渡。考虑到由于基底反力较普通刚性基础大,且由施工实践表明,采用这种突变扩大头形式,很难对扩大端侧面土层进行支护。当土质较软或地下水量充裕时,往往易在扩大处塌方,所以改用逐渐变径的扩大头形式,见图 2。



$L/H=1.2 \quad H_1=150 \sim 300 \text{ mm} \quad L/H=1.4 \quad H_1=150 \sim 300 \text{ mm}$

(a) 桩底土质较好时 (b) 桩底土质较差时

图 2 逐渐变径的扩大头形式

### 2.4 单桩垂直承载力计算

#### 2.4.1 扩底桩持力层的选择

应选择以下岩土层作为扩底桩的持力层:微风化至中等风化岩石类土;透水性较小的中密以上的碎石粘土或砾石粘土层;地基承载力大于 200 kPa 的硬粘土层;持力层厚度大于 1~1.5 倍扩大头直径且无软弱下卧层。

a. 桩底支撑在微风化至中等风化岩层上,只考虑桩底支撑力,不计算桩周的摩阻力。主要由于扩底桩支撑在岩层上,孔底清渣有保证,受荷后桩的沉降量很小,覆盖土层的压缩模量与基岩的压缩模量两者相差很大,穿过土层的桩壁摩阻力不可能充分发挥,故不考虑桩身与土层的摩阻力。桩底埋入支撑岩的深度为  $(0.5 \sim 1.0) d$  ( $d$  为非扩大头处桩径),应根据具体的地质情况来确定。

b. 桩底支撑在强风化岩层上,计算桩基的垂直承载力时,考虑桩周摩阻力和桩底承载力。计算摩阻力时,考虑护壁厚度取桩的外径,但从有关资料及试验结果得知,桩底处土层受压后收缩,桩底以上  $1.0 d$  范围内土体形成受拉区,以及扩大头处土体松动,为此,扩大头部分及以上  $1.0 \text{ m}$  范围内不计桩周摩阻力。桩底埋入持力层的深度不小于  $0.5 \text{ m}$ 。

c. 桩底支撑在硬土层(如粘性土或砂类土)上时,计算桩垂直承载力,考虑桩身的摩阻力和桩底的支撑力。桩底埋入持力层的深度不小于  $1.5 \text{ m}$ 。

#### 2.4.2 挖孔扩底桩的竖向承载力的计算

大直径扩底桩的竖向承载力计算与大直径灌注桩的计算方法基本相同,需注意的是:当桩长小于  $6 \text{ m}$  或在有效桩长范围内人工回填土厚度超过桩长的  $60\%$  时,承载力计算可不考虑桩身侧面与土体的摩阻力;当墩身长度小于  $6 \text{ m}$  时,承载力中不考虑墩身周边的摩阻力;当考虑墩身周边的摩阻力时,不考虑护壁的作用。

扩底桩的竖向承载力标准值的计算公式为:

$$Q_{UK} = Q_{SK} + Q_{PK} = U \sum_{si} q_{sik} l_{si} + p_p q_{pk} A_p \quad (3)$$

其竖向承载力设计值计算公式为:

$$R = \frac{S_P Q_{UK}}{S_P} \quad (4)$$

式中  $Q_{UK}$  ——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

$U$  ——桩身周长

$si$  ——大直径灌注桩侧阻力尺寸效应系数, 见文献[2]表 5.2.9-2

$p$  ——大直径灌注桩端阻力尺寸效应系数, 见文献[2]表 5.2.9-2

- $q_{sik}$  —— 桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值, 一般由勘察报告提供
- $q_{pk}$  —— 桩径为 800 mm 的极限端阻力标准值, 一般由勘察报告提供
- $l_{si}$  —— 穿越第  $i$  层土的桩长
- $A_p$  —— 桩端面积
- $R$  —— 单桩竖向极限承载力设计值
- $SP$  —— 桩的侧阻端阻综合群桩效应系数, 见文献[2]表 5.2.3 - 1
- $SP$  —— 桩的竖向承载力抗力分项系数, 对于大直径扩底桩取 1.65

## 2.5 桩水平承载力的计算

桩的水平承载力影响因素很多, 如桩的截面刚度、材料强度、桩侧土质条件、桩的入土深度、桩顶约束情况等。作用于桩顶的水平荷载, 可按由连梁连接的各柱水平荷载的平均值计算。当水平荷载较大, 可设整体基础底板, 将水平荷载传到左右各一跨范围内的桩共同承担。当桩身配筋率  $\mu < 0.65\%$  时, 可参照文献[2]第 5.4.2 - 1 条中公式计算单桩水平承载力。

## 2.6 护壁设计

根据我国的国情和挖孔扩底桩的特点, 目前国内扩底桩多为人工开挖方式。为了确保扩底桩施工过程中的安全, 设计中应根据地质情况确定进行护壁的设计, 以防止土体的坍塌。一般情况桩径在 1 200 mm 以内其护壁厚度上部 150 mm, 下部 75 mm, 护壁内等距放置  $\phi 8$  mm @250 mm 直钢筋, 并插入上下层护壁内各 500 mm, 使上、下护壁有钢筋拉接, 使护壁从顶部到最后一个护壁形成一个整体, 这样即使在某一段有不利土层 (如流砂、流泥等) 的情况下, 也不会造成护壁因自重而沉裂。护壁砼标号不得低于 C20, 每节护壁高度及其构造见图 3、4。当土质较好时护壁内可不配筋。护壁做成上小下大形成锯齿形台阶即可防止孔壁塌陷, 起防护作用又可供操作人员上、下蹬踏, 护壁砼达到 1 MPa, 常温下约 24 h 方可拆模。

从化纤、滨河等几个变电站看, 在桩长 10 m 左右, 桩长范围无不利土层, 周围环境较好时, 可根据现场情况和当地施工经验确定护壁的设置。在完成的几个工程中, 仅在新华变电站由于局部有砂层而进行了护壁支护。

## 2.7 桩身的构造

- a. 桩芯砼标号不低于 C15, 一般为 C20, 桩径可

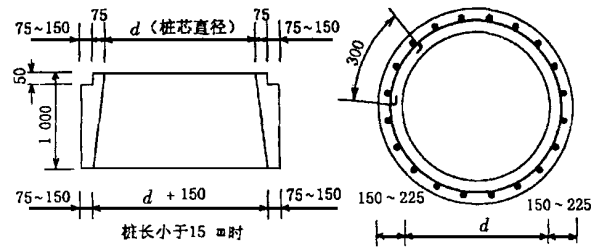


图 3 护壁模板图

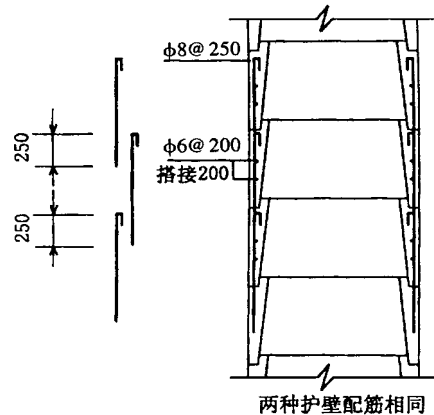


图 4 护壁配筋图

根据工程需要采用, 但不小于 0.8 m。

b. 扩底桩基础应尽可能一柱一桩。在伸缩缝或抗震缝处, 不宜作沉降缝, 采用双柱合用一桩, 上部柱垂直力由承台传递。当需采用一柱两桩时, 两桩中距应不小于 3 倍桩身直径, 且两桩扩大头间净距不小于 1.0 m。

c. 由于桩底扩大端直径加大, 致使桩底接近或相碰时, 可将 2 个桩底的标准互相错开, 即一根桩进入持力层深点, 另一根进入持力层浅点, 高差值在一倍扩大头直径以上。根据试验结果来看, 对桩的承载力的影响很小, 根据理论分析 2 根桩之间的净距大于 0.5 m, 二者之间互相影响可以忽略不计。

d. 桩的扩底直径  $D$  与桩身直径  $d$  之比不应大于 3。为了提高桩的承载力, 不论桩底有无扩大头, 桩底应挖成锅底形, 锅底中央比四周低 0.2 m, 由试验可知锅底形的桩底可以提高承载力 20% 以上。

e. 扩底桩应在纵、横方向用连梁拉接, 连梁截面宽度不小于 200 mm, 高度一般为  $(1/10 \sim 1/15)L$ ,  $L$  为桩基础间中距。配筋按拉力为被连接桩上柱最大轴向力的 0.1 倍计算。

f. 扩底桩顶部应设桩帽, 桩帽和连梁应在同一标高并能锚固和连接桩、柱和连梁。桩帽的平面每边应大于桩边不小于 200 mm。桩帽厚度不小于 1 000 mm, 上下及侧边配以  $\phi 12$  mm @150 mm 双向

钢筋。当有基础梁时可不另设桩帽。

g. 桩身的最小配筋量对于不需抗弯筋即可承受桩顶水平力的桩, 桩的配筋率可取 0.65% ~ 0.2%。对有抗震设防的房屋, 角柱或剪力墙下的桩其配筋率宜适当增多。对于人工挖孔扩底桩, 其主要表现为端承桩, 作用于桩身的竖向力沿深度递减很小, 桩长一般不大, 一般为通长配筋。

h. 箍筋采用螺旋箍或封闭单箍, 一般为  $\phi 8$  mm @200 mm, 在桩顶 1.5 m 范围内间距加密一倍, 以提高桩的抗剪强度。对于承受水平荷载较大的桩基和抗震桩基, 应在桩顶 (3 ~ 5)  $d$  范围内间距加密一倍。当钢筋笼长度超过 4.0 m 时, 为加强其钢度和整体性, 可每隔 2.0 m 设一道  $\phi 16$  mm 焊接加强箍筋。钢筋笼长度超过 8.0 m 需分段拼接, 拼接处应用焊接。

### 3 结束语

扩底桩设计阶段和施工阶段对地质勘察要求较为严格, 所以勘察单位应提供准确翔实的地质资料。

桩基施工完毕, 应根据国家规范进行测桩。扩底桩对施工质量要求较高, 因为一旦桩基出现缺陷, 将很难修复, 这就要求勘察、设计、监理、施工等各方通力配合, 严把质量关, 及时解决各个环节出现的问题。

石家庄地区地下水埋藏较深, 且上部土层多带有湿陷性和高压缩性, 设计楼面荷载较大的变电站时, 采用扩底桩可达到扬长避短的效果。据测算, 扩底桩基础造价比其他基础形式节约 20% 以上。近几年, 石家庄电业设计研究院相继在化纤、滨河、新华、大马变电站等工程中采用了扩底桩基础, 这些工程都以施工完毕或已投运, 并已取得良好的社会和经济效益。

扩底桩具有承载力高、结构传力明确、桩孔质量易检查、施工速度快、机械设备简单、造价低廉并适用于场地狭窄情况等优点, 相信会越来越受到人们的青睐。

#### 参考文献:

- [1] DB13(J)05 - 94, 河北省建筑设计统一技术措施[S].
- [2] JG94 - 94, 建筑桩基技术规范[S].

(上接第 27 页)  $((X_{B2} + X_{F2}) / (X_{NL2} + X_{NS2}))$

$$X_0 = X_{MS0} + X_{ML0} + X_{NL0} + X_{NS0}$$

对于非故障相的电流计算如下:

$$\begin{aligned} I_B &= {}^2 I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\ &= {}^2 I_{A1} - \frac{I_{A1} X_0}{X_2 + X_0} - \frac{I_{A1} X_2}{X_2 + X_0} \\ &= ({}^2 - \frac{X_0 + X_2}{X_2 + X_0}) I_{A1} \\ I_C &= I_{A1} + {}^2 I_{A2} + I_{A0} \\ &= I_{A1} - \frac{{}^2 I_{A1} X_0}{X_2 + X_0} - \frac{I_{A1} X_2}{X_2 + X_0} \\ &= (-\frac{{}^2 X_0 + X_2}{X_2 + X_0}) I_{A1} \end{aligned}$$

将系统参数代入上述有关公式, 可以得出:

$$I_{A1} = \frac{E_{eq}}{X_1 + (X_2 // X_0)} = \frac{E_M - 0.96 E_N}{j(0.35 + 0.24)} = \frac{0.099 - j0.59}{j0.59} = 0.168 - j27.6^\circ$$

$$\text{有名值为: } 0.168 \times 502 - 27.6^\circ = 84.3 - 27.6^\circ \text{ A}$$

$$I_{A2} = \frac{-X_0 I_{A1}}{X_2 + X_0} = \frac{-0.82}{0.34 + 0.82} \times 0.168 - 27.6^\circ = -0.119 - 27.6^\circ$$

$$\text{有名值为: } -0.119 \times 502 - 27.6^\circ = -59.7 - 27.6^\circ \text{ A}$$

$$I_{A0} = \frac{-X_2 I_{A1}}{X_2 + X_0} = \frac{-0.34}{0.34 + 0.82} \times 0.168 - 27.6^\circ = -0.049 - 27.6^\circ$$

$$\text{有名值为: } -0.049 \times 502 - 27.6^\circ = -24.6 - 27.6^\circ \text{ A}$$

所以, 110 kV 线路中流过的零序电流有名值为:  $3 \times (-24.6 - 27.6^\circ) = -73.8 - 27.6^\circ \text{ A}$   
220 kV 站主变压器感受 110 kV 侧零序电压为:

$$U_{M0} = 3 \times 0.06 \times 0.049 = 0.009 \text{ kV}$$

$$\text{有名值为: } = 1.02 \text{ kV}$$

一般情况下, 220 kV 站主变压器零压闭锁零序过流保护定值一次值为: 零压闭锁值在 3 kV 左右, 零序过流不低于 400 A, 110 kV 线路零序保护定值不低于 200 A。

### 3 结论

通过以上分析, 认为:

a. 缺相期间, 如果非故障相线路的电流不超限, 而且在变压器的可用容量之内, 是可以在较短时间内缺相运行的。

b. 为保证重要用户供电, 在一相断线故障时, 如果保护定值得合适, 是可以合环倒另 1 条 110 kV 线路供电的。