

桩锚支护结构在湖南运达国际广场 深基坑工程中的应用

吴晓恩¹, 杨平园², 李爱民³

(1. 湖南省电力勘测设计院, 湖南 长沙 410007; 2. 湖南省交通规划勘察设计院, 湖南 长沙 410008; 3. 广东省电力设计研究院, 广东 广州 510663)

摘要:结合湖南运达国际广场深基坑支护工程实例, 采用桩锚支护结构解决了施工场地复杂的支护难题, 并对桩锚支护结构的设计计算作了详实的分析, 经实践证明, 效果良好。

关键词:深基坑; 桩锚支护; 分析设计

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)12-0050-04

Application of the Anchor-pile Retaining Structure in a Deep Foundation Pit/WU Xiao-en¹, YANG Ping-yuan², LI Ai-min³ (1. Hunan Electric Power Design Institute, Changsha Hunan 410007, China; 2. Hunan Provincial Communications Planning Survey & Design Institute, Changsha Hunan 410008, China; 3. Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou Guangdong 510600, China)

Abstract: Combined with the engineering examples of the retaining and protecting for foundation excavation in Hunan Yunda Internation Square, the difficult problem of the retaining for the foundation was resolved by the use of anchor-pile structure

This article introduced the design for anchor-pile structure of the foundation pit in detail.

Key words: deep foundation pit; anchor-pile support; analysis and design

1 工程概况

湖南运达国际广场基坑位于长沙市芙蓉北路与展览馆路交叉的西南角。场区地形较为平坦, 地坪标高在 42.95~44.15 m 之间。基坑东侧为芙蓉路, 北侧为展览馆路, 西侧有一座 16 层高的混凝土建筑, 南侧有一座 6 层高的混凝土建筑。基坑距四周围道与建筑的距离均较远(均超过 15 m)。拟建建筑采用钢筋混凝土框架-剪力墙结构, 由毗邻的 2 座 30 层高的塔楼组成, 两座塔楼之间及周边局部设有 5 层裙楼, 地面以下设 3 层地下室。建筑物总高度为 99.8 m, ±0.00 标高相当于绝对标高为 43.00 m。地下室基坑开挖面积约 7000 m², 基坑开挖周长 350 m, 开挖深度 15.3 m, 土石方量约为 11 万 m³。

2 场地工程地质条件

2.1 地层

场地岩土工程条件较为复杂, 层位变化较大, 原始地貌单元属湘江东岸冲积二级阶地。根据钻探揭露, 拟建场地内地层可分为 9 层。各地层物理力学

参数如表 1。

表 1 地层物理力学参数表

层号	地层	承载力特征值 /kPa	压缩模量 /MPa	抗剪强度 内摩擦角/(°)	粘聚力 /kPa	天然重度/(kN·m ⁻³)	锚固体的 土层粘结强度/kPa
①	杂填土	/	/	8	7	19.0	60
②	粉质粘土	310	10.5	18	45	19.4	60
③	粉土	180	5.9	21	10	19.2	60
④	中砂	120	8	25	6	20.0	20
⑤	粉质粘土	280	9.5	16	40	19.4	60
⑥ ₁	强风化泥质砂岩	350	32.0 (E ₀)	20	60	23.0	60
⑥ ₂	中风化泥质砂岩	900	视为不压缩层	25	42	25.0	60
⑦ ₁	强风化板岩	400	35.0 (E ₀)	22	65	24.0	60
⑦ ₂	中风化板岩	1200	视为不压缩层				60

2.2 地下水

根据含水层的性质及赋存条件, 本场区地下水可分为 2 种类型: 上部填土层中的上层滞水和下部砂性土层中的弱孔隙承压水。上层滞水主要接受大

收稿日期: 2008-04-03

作者简介: 吴晓恩(1983-), 男(汉族), 湖南洪江人, 湖南省电力勘测设计院, 地质工程专业, 硕士, 从事岩土工程勘察设计工作, 湖南省长沙市劳动西路 471 号湖南省电力勘测设计院科鑫公司, wuxue@hepdi.com; 杨平园(1982-), 女(侗族), 湖南靖州人, 湖南省交通规划勘察设计院, 中南大学土木建筑学院岩土工程专业在读博士, 地质工程专业, 从事岩土工程勘察设计工作, 湖南省长沙市开福区芙蓉北路二段 158 号湖南省交通规划勘察设计院岩土工程一公司。

气降水和生活排水的补给。场区下部砂性土层中地下水稳定水位埋深在 4.5~7.5 m 之间。第四系粉土及中砂层属于透水性地层,是拟建场地内主要含水层。渗透系数为 $(3.6 \sim 5.4) \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。

3 基坑支护方案选择

基坑支护的方案较多,各种方案都有其优点和局限性,因此,选择合理的方案是保证基坑支护工程质量的关键。本次设计在研究已有工程地质、水文地质资料和周边环境条件的基础上,参照成功的设计及施工经验,进行多种方案的分析、论证和优化,并着重考虑以下因素:(1)基坑支护时,不能对其周

边建(构)筑物造成破坏;(2)基坑开挖至 -10 m 左右深度后,基坑壁局部会揭露出中砂层,由于场地中的中砂层属于透水性地层,如不进行有效的隔水帷幕,基坑支护施工就无法进行;(3)人工挖孔桩成孔时,应采取有效的护壁、防水措施及安全施工措施,并注意施工对周边环境的影响;(4)场地靠芙蓉路一侧的地下光缆已经进行了移位,在施工时应注意锚杆与光缆的位置,以免造成对光缆的破坏。

因此,本基坑支护工程设计采用三重管高压摆喷施工隔水帷幕,采用桩锚支护结构。支护结构平面图如图 1 所示。

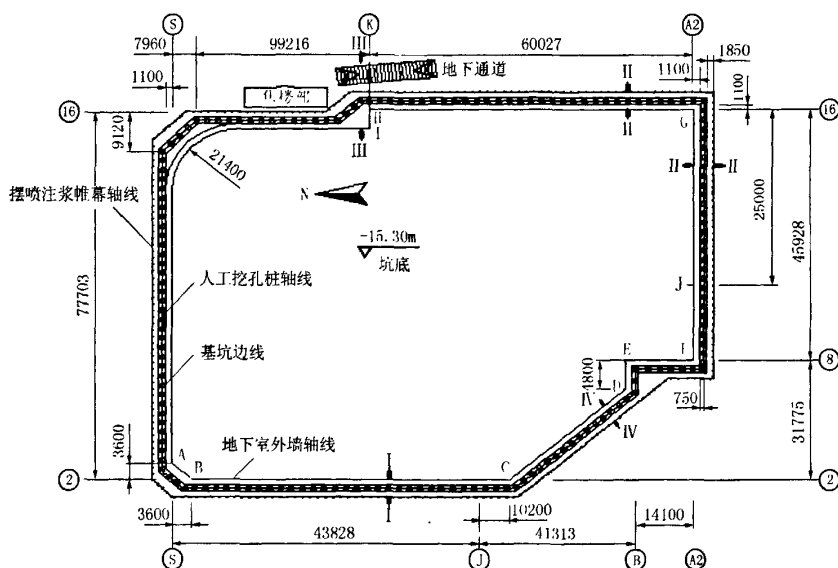


图 1 基坑支护结构平面图

4 方案设计计算过程^[1]

4.1 设计原则

土压强采用朗肯理论。考虑到隔水帷幕整体性能和阻水作用,采用水土合算方法。基坑工程重要等级为一级,重要性系数取 $\gamma_0 = 1.1$ 。采用分段平衡法计算。地面超载取 20 kPa。

4.2 设计参数选定

锚杆参数:设置 4 排锚杆,锚杆位置距离基坑顶面为 2.5、5.5、8.5 和 11.5 m,锚杆水平间距为 2 m;

桩的参数:桩型采用人工挖孔灌注桩,桩径取 1.0 m,间距 2 m。

4.3 计算过程

4.3.1 根据土压力相等的概念来计算等效内摩擦角 φ_D 值

有粘聚力的土压力计算式:

$$E_{a1} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 2cH \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (1)$$

按照等效内摩擦角土压力计算式:

$$E_{a2} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_D}{2}) \quad (2)$$

令 $E_{a1} = E_{a2}$,求得 $\varphi_D = 36.4^\circ$ 。

4.3.2 计算第一道锚杆的支点力和支护结构最大弯矩

(1)第一次开挖至第二层锚撑处,即距离基坑顶面 5.5 m。计算支护结构两侧主动土压力强度与被动土压力强度,叠加后找出土压力强度零点,如图 2 所示。利用下式确定土压力强度零点,设土压力强度零点距离开挖面距离为 x_1 。

$$\gamma x_1 K_p = \gamma (h_1 + x_1) K_a + q K_a \quad (3)$$

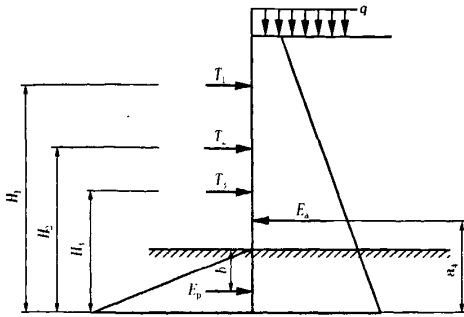


图2 桩锚计算简图

式中: h_1 ——基坑顶面距开挖面距离, m; K_p 、 K_a ——分别为主动土及被动土压力系数; q ——地面超载。

由式(3)可知 $x_1 = 0.5$ m。

(2) 对 O_1 取矩, 可解得 R_1 , 即:

$$R_1 = (E_{a1}a_1 - E_{p1}b_1)/H_1 \quad (4)$$

式中: E_{a1} ——梁段上的各土层主动土压力, kN; a_1 ——主动土压力的力臂, m; E_{p1} ——梁段上的被动土压力, kN; b_1 ——被动土压力的力臂, m; R_1 ——锚杆水平支点力, kN; H_1 ——第一道锚杆对土压力强度零点的力臂, m。

由式(4)可知 $R_1 = 78.8$ kN。

(3) 从受力图上, 设剪力为零点距离基坑土顶面距离为 Y_1 , 利用下式:

$$R_1 = (1/2)\gamma K_a Y_1^2 + qK_a Y_1 \quad (5)$$

由式(5)可知 $Y_1 = 4.6$ m。

(4) 求最大弯矩 $M_{\max}$:

$$M_{\max} = M_{R_1} - M_{a_1} \quad (6)$$

式中: M_{R_1} ——支点力 R_1 对剪力零点的弯矩, kN·m; M_{a_1} ——主动土压力对该剪力零点的弯矩, kN·m。

由式(6)可知 $M_{\max} = 29$ kN·m。

4.3.3 计算第二~第四道锚杆的支点力和支护结构最大弯矩

由以上方法可知 $R_2 = 95.7$ kN, $M_{\max} = 84$ kN·m; $R_3 = 149$ kN, $M_{\max} = 143$ kN·m; $R_4 = 236$ kN, $M_{\max} = 296$ kN·m。

4.3.4 插入深度 t

$$t = \sqrt{6R_{04}/[\gamma(K_p - K_a)]} \quad (7)$$

式中: R_{04} ——第4道锚杆设置时所求零点反力, 是桩后主动土压力和锚杆支点力之差, kN; γ 、 K_p 、 K_a ——分别为土重度、主动土压力系数、被动土压力系数。

由式(7)可知 $t = 3.87$ m, 因此桩长 $L = 15.3 + 1.4 + 1.2 \times 3.87 = 21.5$ m。

4.3.5 锚杆参数计算

锚杆的自由段长度 L_f , 如图3所示。

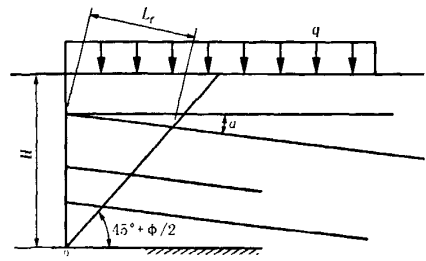


图3 锚杆参数计算简图

$$L_f = \frac{(H - d_i) \sin(45^\circ - \varphi/2)}{\sin(45^\circ + \varphi/2 + \alpha)} + 1 \quad (8)$$

式中: d_i ——每道锚杆距离基坑顶面的距离, m; H ——基坑深度, 为15.3 m; α ——锚杆和水平面的夹角, 取15°。

通过式(9)分别求出锚杆轴向拉力设计值, 锚固段长度和锚杆钢筋。

$$\left. \begin{aligned} N_i &= R_i S / \cos \alpha \\ L_a &= K_B N_i / (\pi d \tau) \\ A &= 1.3 N_i / f_{py} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中: N_i ——锚杆轴向拉力设计值, kN; R_i ——第 i 根锚杆水平拉力计算值, kN; L_a ——锚杆锚固段长度, m; K_B ——安全系数, 取1.8; d ——锚杆的锚固段直径, 取1.2D, D为锚杆钻孔直径, 取130 mm; τ ——土体与锚固段的极限摩阻力标准值, 按岩土工程勘察报告或参照规范及地区经验取值; f_{py} ——钢筋强度设计值, MPa。

4.3.6 外部稳定性验算

4.3.6.1 支护结构的抗水平平移验算

$$K_H = (E_p + \sum_{i=1}^3 R_i) / E_a \geq 1.40 \quad (10)$$

式中: K_H ——抗滑移安全系数; E_p ——护坡桩入土深度范围内桩前被动土压力合力, kN; E_a ——护坡桩入土深度范围内桩前主动土压力合力, kN。

由式(10)可知 $K_H = 2.3$, 满足要求。

4.3.6.2 抗倾覆验算

抗倾覆安全系数 K_0 :

$$K_0 = (E_p b + \sum_{i=1}^3 R_i H_i) / (E_a a) \geq 1.3 \quad (11)$$

式中: K_0 ——抗倾覆安全系数; E_p ——护坡桩入土深度范围内桩前被动土压力合力, kN; E_a ——护坡桩入土深度范围内桩前主动土压力合力, kN; b ——护坡桩入土深度范围内桩前被动土压力力臂, m; a ——护坡桩入土深度范围内桩前主动土压力力臂, m。

由式(11)可知 $K_0 = 1.7$, 满足要求。

5 基坑支护最终设计

5.1 基坑支护设计

5.1.1 桩锚设计

基坑采用桩锚支护形式。其中 GH 段和 GJ 段采用放坡及桩锚联合支护体系,放坡坡度 1: 1,台阶宽 3 m,坡面素喷砼,在距坑顶 3 m 处开始设置桩锚支护。其余段均不具备放坡条件,故直接采用桩锚支护体系。人工挖孔桩直径选用 1.0 m,桩心距 2 m,GH 段桩长 18.5 m,其余段桩长 21.5 m(放坡部分桩长 18.5 m),入土深度 6.2 m,桩身配筋 16 Φ 25,箍筋 Φ 8@200,加强筋 Φ 14@2000,桩心砼标号 C25。护壁圆形钢筋 Φ 6.5@200,竖向钢筋 Φ 8@200。锚杆在 GH 段分 3 层设置,其余段分 4 层设置,水平距离 2 m,砂浆强度 M20。主要设计参数如表 2、表 3。

表 2 GH 段和 GJ 段主要设计参数

锚杆 排号	距坑顶 距离/m	锚杆孔 径/m	水平倾 角/(°)	长度 /m	拉筋 /mm	自由段 长度/m	锚固段 长度/m
第一排	-5.5	D130	15	20	36	6	14
第二排	-8.5	D130	15	19	36	5	15
第三排	-11.5	D130	15	18	36	4	14

表 3 其余段主要设计参数

锚杆 排号	距坑顶 距离/m	锚杆孔 径/m	水平倾 角/(°)	长度 /m	拉筋 /mm	自由段 长度/m	锚固段 长度/m
第一排	-2.5	D130	15	20	36	6	14
第二排	-5.5	D130	15	19	36	5	15
第三排	-8.5	D130	15	18	36	4	14
第四排	-11.5	D130	15	18	36	3	15

5.1.2 连梁设计

连梁截面尺寸 1000 mm $\times$ 400 mm,配筋 8 Φ 20,箍筋 Φ 8@200,砼标号 C20。要求桩主筋入连梁 300 mm。

5.1.3 桩间土处理

人工挖孔灌注桩桩间土可以采用素喷砼,厚度 50 mm,也可根据现场施工工艺,采用砌砖的办法。

5.1.4 排水设计

在距基坑顶 1.0 m 处修筑排水沟一条,尺寸 300 mm $\times$ 300 mm,按 3% 坡度流入集水井中,排水沟用 M10 水泥砂浆抹面,厚度 $\geq$ 10 mm;根据基坑内实际情况,布置一定数量的集水井,以方便底板施工。

5.2 基坑隔水帷幕设计

(1)采用三重管高压摆喷灌浆方法进行基坑隔水帷幕,防渗板墙轴线距基坑边缘尺寸详见图 1。帷幕防渗施工地层为基坑壁四周的粉土层和中砂层,使其形成四周封闭系统。

(2)布孔形式为单排,孔距 1.4 m,分二序进行施工,连续喷射作业。

(3)摆喷墙深度:摆喷墙顶部深入粉质粘土上部 0.2 m,底部进入粉质粘土和(或)强风化泥质粉砂岩 0.5 m。平均厚度为 5.5 m。

(4)灌浆材料为 32.5 普通硅酸盐水泥,浆液水灰比 0.8。

(5)施工主要参数:水压 32~35 MPa,排量 70~75 L/min;空气压力 0.60~0.80 MPa,排量 1.4~2.0 m³/min;浆液压力 0.55~0.75 MPa,排量 70~85 L/min;摆速 9~11 r/min,提升速度 6~12 cm/min;密度 1.6~1.65 kg/L;摆喷角度 15°~200°,起摆角 50°。

(6)误差要求:浆液密度 $\geq$ $\pm$ 0.1 kg/L,钻孔偏差 $\geq$ $\pm$ 10 cm,钻孔偏斜度 $\geq$ 1.5%。

(7)高压摆喷所形成的防渗墙的渗透系数要求达到 $i \times 10^{-5}$ cm/s 级。

6 施工要求

(1)场地地下水水量较大,施工顺序为先进行帷幕隔水施工,然后进行人工挖孔灌注桩及圈梁施工,土方开挖应自上至下分层进行,分层高度原则上以每层锚杆以下 0.5 m 为基准,施工顺序为:挖第一层土 $\rightarrow$ 第一排锚杆施工 $\rightarrow$ 槽钢安装 $\rightarrow$ 锚杆锁定 $\rightarrow$ 第二层土方开挖。开挖与支护循环进行。各工序衔接时间必须满足技术间歇期。

(2)锚杆锁定预紧力为 10~20 kN。

(3)锚杆施工时如遇障碍物或其它困难达不到设计要求时,立即通知设计单位调整设计和采取相应的措施。

(4)锚杆施工严格按照规程规范进行,先成孔、清孔、安装拉筋,然后对锚杆注浆。锚杆自由段应在钢筋上涂抹黄油,并外套塑料薄膜。

7 结语

本基坑工程面积和深度均较大且地质条件和周边环境复杂,采用了桩锚支护结构。施工过程中,对基坑进行了全程监测。施工结果表明,基坑周围管线及其它市政设施均完好无损,基坑各观测点沉降均较小,最大沉降部位为东侧基坑,其值为 10 mm。护壁最大水平位移发生在西侧,其值为 25 mm,满足变形控制指标要求。人工挖孔桩附加锚杆——桩式锚杆支护技术显示了其优越性,只要条件适合,桩锚支护结构在深基坑中的运用将有良好的发展前景。

参考文献:

[1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].