

复合土钉墙支护技术 在青岛福林大厦基坑支护中的应用

李明, 魏一祥

(青岛地矿岩土工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要:介绍了复合土钉墙技术在青岛福林大厦基坑设计、施工中的应用,分析了复合土钉作用机理,对复合土钉墙的设计、施工工艺进行了较详细的阐述。

关键词:土钉墙;复合土钉;基坑支护;变形观测

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)06-0063-04

土钉墙施工技术自 20 世纪 70 年代产生以来,因其造价较其他基坑围护体系低,施工周期短,安全性基本满足基坑稳定性及变形要求,在基坑工程中得到广泛的认可和应用。由于土钉墙对地层的依赖性很大,通常仅适用于地下水位低、自立性好的地层。在高水位的软土地层中,因其自立性差,易产生流砂和管涌,其应用受到了一定的限制。近年来,经过工程技术人员在各种基坑围护工程中的理论设计研究和实践分析研究,总结出一种新的土钉墙施工技术——复合型土钉墙支护,其原理主要是:通过水泥土搅拌桩对边坡土体进行土体加固,解决土体自立性、隔水性以及喷射面层与土体的粘结问题;以相对较深的搅拌桩插入深度解决坑底的抗隆起、管涌和渗流问题。因此,复合型土钉支护技术能适用于砂性土、粉土、粘性土、淤泥土及淤泥质土等较复杂地层。

1 工程概况及环境特征

青岛福林大厦工程位于青岛市福州路与江西路交界口东北侧,占地面积约 2400 m²,拟建建筑物为 2 栋 22~24 层的高层建筑,该工程由青岛城市建设集团股份公司兴建,青岛三圆建筑设计有限公司设计,根据工程需要,设地下室 2 层,基坑开挖深度约为 10.0 m。本基坑工程按二级安全等级进行支护方案设计,基坑使用时间 6 个月。

基坑位于繁华的闹市,周边可利用场地不大,场区南侧 7~8 m 为住宅楼,东西两侧为城市主要道路,汽车流量大,对基坑周边有较大的震动荷载影

响;且场地狭小,不能放坡开挖。其基坑平面图见图 1。

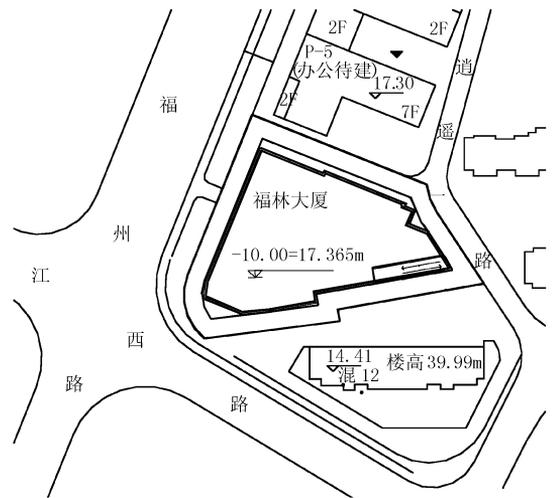


图 1 基坑平面图

2 场地工程地质条件与水文地质条件

据地质报告,场地内岩土层由上而下为:

- ①素填土,褐色,以粘性土为主,含有少量碎石,层厚 0.4~1.9 m;
- ②砾砂,黄褐色,湿,稍密,颗粒矿物成分以石英、长石为主,层厚 0.0~3.5 m,土体容重 $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 0 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 33^\circ$;
- ③粉质粘土,灰褐色,软~可塑,层厚 0.0~3.3 m,土体容重 $\gamma = 19.8 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 32 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 13^\circ$;
- ④含粘性土砾砂碎石,褐黄色,饱和,以长石、石英为主,层厚 0.4~5.1 m,土体容重 $\gamma = 19.9 \text{ kN/}$

收稿日期:2007-12-25

作者简介:李明(1973-),男(汉族),山东邹平人,青岛地矿岩土工程有限公司工程师,岩土工程专业,从事岩土工程勘察、建筑地基与基础设计、施工和检测等工作,山东省青岛市徐州路 79 号,lmqd@sohu.com。

m³,粘聚力 $c = 10 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 40^\circ$;

⑤强风化花岗岩,层厚 0.5 ~ 3.8 m,土体容重 $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 0 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 45^\circ$;

⑥中风化花岗岩,土体容重 $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 0 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 55^\circ$ 。

勘察场区地下水类型主要为第四系孔隙水,稳定水位为 1.8 ~ 3.0 m,第②层为本区主要含水层。

3 复合土钉支护结构设计

场区地下水位较高,在水头压力差作用下,第②层砾砂极易产生流砂及管涌,在自重荷载下,砂更无自立的可能性,极易产生坍塌。在这种地层里,针对基坑支护的功能特点,结合本工程的实际情况,经充分研究及综合对比,本着安全、经济、可行的原则,确定主要采用土钉、喷锚网和深层搅拌桩止水帷幕相结合的复合土钉支护方案(见图 2)。

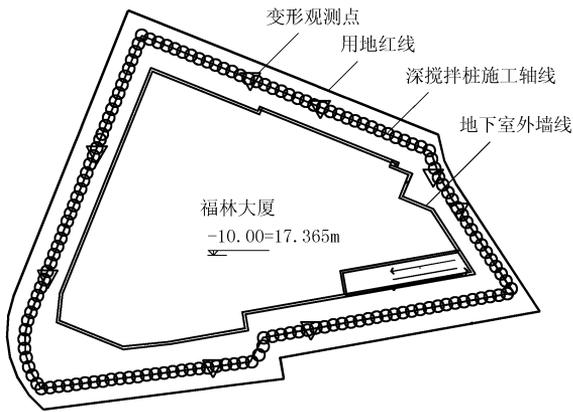


图 2 基坑支护平面示意图

3.1 搅拌桩止水帷幕设计

采用水泥搅拌桩止水,桩径 550 mm,搭接 150 mm,桩端进入碎石层不少于 500 mm,见图 3。钻进速度 1.0 m/min,水泥用量 30 + 1 kg;提升速度 0.5 m/min,水泥用量 30 + 1 kg。

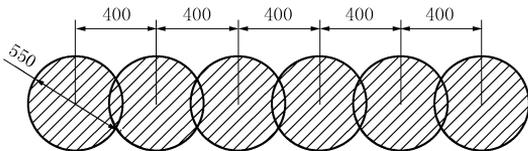


图 3 搅拌桩大样图基坑平面图

3.2 土钉支护设计

由于基坑已经作搅拌桩帷幕,对土层物理力学性质有一定的改善,该土钉结构主要利用搅拌桩体良好的抗渗透性和一定的强度,解决基坑开挖后存在临时无支撑条件下的自立稳定性问题,使得能立即做喷射混凝土土钉支护。垂直开挖后布置 5 排土

钉加喷锚网支护,长度分别为 9.0、6.0、6.0、4.5 和 4.5 m,水平间距 1.5 m,梅花形布置(见图 4);坡面喷射强度为 C20 的细石混凝土,厚度 80 mm,其中配置 $\text{O}6@200$ 的钢筋网片,沿土钉方向横向布置二道 $\text{O}20$ mm 的加强筋。对于砂层较厚的部位,根据地质特点,如果成孔困难,土钉可更换成 $\text{O}48$ mm 钢管,钢管壁钻孔,高压注浆加固土体,然后挂网喷射混凝土面层,确保边坡稳定。

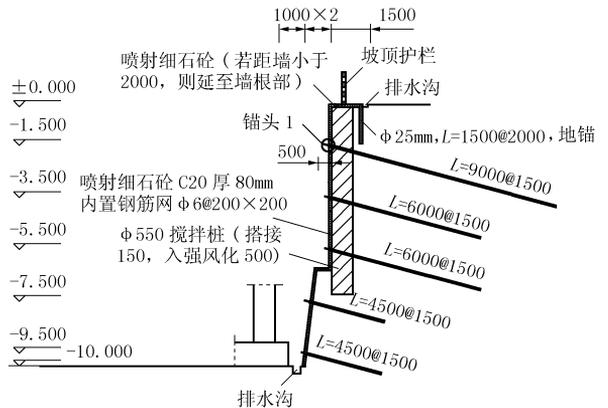


图 4 基坑支护剖面图

3.3 基坑开挖安全稳定性验算

3.3.1 土钉长度计算验算

根据土体侧压力计算土钉的拉力及验算抗拔所需的锚固长度。

3.3.1.1 每一层土钉设计内力

$$N = q_0 S_v S_h / \cos\theta$$

式中: N ——每层土钉设计内力; θ ——土钉的倾角,按照 $\theta = 15^\circ$ 设计; S_v 、 S_h ——土钉水平、垂直间距,水平间距 1.5 m,垂直间距 2.0 m; q_0 ——土钉长度中点所处深度位置上的侧压力。

作用在土钉面层上的土压力用经验土压力图形,土压力计算公式为:

$$K_a = \text{tg}^2 [45^\circ - (\varphi/2)] = 0.49$$

$$K_0 = 1 - \sin\varphi = 0.66$$

$$K = (1/2)(K_a + K_0) = 0.57$$

$$q_0 = m_c K \gamma h$$

式中: m_c ——工作条件系数,取 1.0; K ——土压力系数; K_0 ——静止土压力系数; K_a ——主动土压力系数; h ——土压力作用点距坡顶距离,当 $h \leq H/2$ 时, h 取实际值, $h > H/2$ 时, $h = 0.5H$ 。

根据上述公式代入数据得到: $N_1 = 84.14 \text{ kN}$, $N_2 = 96.47 \text{ kN}$, $N_3 = 89.20 \text{ kN}$, $N_4 = 72.44 \text{ kN}$ 。

3.3.1.2 土钉长度

$$L \geq l_1 + F_{s,d} N / (\pi d_0 \tau_f)$$

$$T_j = \pi d_0 l_b \tau_r / S_b$$

式中: $F_{s,d}$ ——土钉局部稳定性安全系数,取 1.2 ~ 1.5; l_1 ——土钉与最危险滑弧线的交点至土钉外端点的距离,对于滑弧圆心,半径的确定采用人工计算较困难,本次设计计算全部采用大力神基坑支护软件辅助设计求得; l_b ——土钉在滑动面外约束区的长度; d_0 ——土钉孔径; T_j ——第 j 层土钉抗拔力; τ_r ——土钉与土体之间的界面粘结强度,该值主要通过现场各层土钉抗拔试验与地区经验相结合确定。

根据上述公式,不断调整土钉长度,使其抗拔安全系数均大于 1.4,代入数据得到:

$$L_1 = 9 \text{ m}, \text{土钉抗拔力 } T_1 = 126.42 \text{ kN};$$

$$L_2 = 6 \text{ m}, \text{土钉抗拔力 } T_2 = 115.78 \text{ kN};$$

$$L_3 = 6 \text{ m}, \text{土钉抗拔力 } T_3 = 115.78 \text{ kN};$$

$$L_4 = 4.5 \text{ m}, \text{土钉抗拔力 } T_4 = 101.32 \text{ kN};$$

$$L_5 = 4.5 \text{ m}, \text{土钉抗拔力 } T_5 = 101.32 \text{ kN}.$$

3.3.1.3 土钉钢筋直径

$$d \geq \sqrt{4F_{s,d}N / (1.1\pi f_{yk})}$$

式中: f_{yk} ——钢筋抗拉强度标准值。

代入最大设计内力得:

$$d \geq \sqrt{4 \times 1.4 \times 140000 / (1.1 \times 3.14 \times 310)} = 22.1$$

采用 1 根 $\text{O}25 \text{ mm}$ 钢筋可满足设计要求。

3.3.2 边坡整体稳定验算

土钉墙应根据施工期间不同开挖深度及基坑底面以下可能的滑动面采用圆弧滑动简单条分法进行整体稳定性验算,该法假定土坡滑动面形状为圆弧形,土体为“刚塑性”材料,考虑了土条之间的作用力,并同时考虑了力和力矩平衡。土钉支护结构的安全系数:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{1}{m_{ai}} [cb + (W_i + qb) \tan \varphi] + \sum_{j=1}^n T_j \sin \beta_j \tan \varphi}{\sum_{i=1}^m (W_i + qb) \sin \alpha_i + \sum_{j=1}^n (T_j d_j / R)}$$

$$= 1.686$$

$$m_{ai} = (\tan \varphi \sin \alpha_i / F_s) + \cos \alpha_i$$

式中: q ——为地表均布荷载; b ——第 i 条土宽度; c ——土条底部土体的粘聚力; φ ——土体底部土体的内摩擦角; β ——土钉的倾角; W_i ——第 i 条土自重; T_j ——第 j 层土钉的抗拔力; d_j ——第 j 层土钉轴线到圆心的距离; R ——圆弧半径; m ——土条数; n ——土钉层数。

经验算,对应基坑开挖至 -2.0、-4.0、-6.0、-8.0 和 -10.0 m,基坑稳定性安全系数均大于

1.40,满足规范要求。

4 基坑围护施工

4.1 深层搅拌桩施工

4.1.1 定位放线

施工前,将建设单位及规划单位提供的控制点采用 Nikon 全站仪精确转测到场区和建筑物周围,并设多处固定点做为施工控制依据。场地整平后,将控制点放回。

根据施工图纸和施工方案,进行技术交底,开工前,组织工程技术人员全面熟悉和掌握施工图纸的内容及设计意图,参加设计交底和图纸会审会议,并提出我公司在技术准备过程中对工程的合理建议。

4.1.2 钻机安装、就位

深层搅拌桩钻孔施工时,用钻机塔身的前后和左右的垂直标杆检查塔身导杆,校正位置,使钻杆垂直对准桩位中心,确保桩身垂直度偏差 $\geq 1.0\%$ 。

4.1.3 钻进成孔

钻孔开始时,关闭钻头阀门,向下移动钻杆至钻头触及地面时,启动马达钻进。一般应先慢后快,这样能减少钻杆摇晃,又容易检查成孔偏差,以便及时纠正。

在成孔过程中,如发现钻杆摇晃或难钻时,应放慢进尺,否则较易导致桩孔偏斜、位移,甚至钻杆、钻具损坏。钻进的深度取决于设计桩长或持力层的位置。施工时需考虑施工工作面的标高差异,做相应增减。

4.1.4 质量保证措施

(1) 设专职测量员负责工程的轴线、标高测设。

(2) 控制点应避开路面且方便施工,在请监理复核确认后,加以保护,并设明显标志。

(3) 成孔质量检查,当设备出现明显的轻微晃动,进尺缓慢,设备仪表电流明显增大,钻机推进困难、有时出现自动停机现象时,可停止钻进。

(4) 进场材料必须符合国家标准,主管工程师向操作工人进行书面技术交底,工人要严格按技术交底内容施工。

(5) 深层搅拌机达到一定深度后,开始按设计确定的配合比搅拌水泥浆,待压浆前将水泥浆倒入集料斗中。

(6) 深层搅拌机下沉到设计深度后,开启灰浆泵将水泥浆压入地层中,并且边喷浆、边旋转,同时严格按照设计确定的提升速度提升。

4.2 土钉墙施工

(1)放线:根据设计图纸,确定基坑开挖边线,用木桩和白灰作出开挖线标记。

(2)土方开挖:分5次开挖,第一次至-2.0 m,第二次至-4.0 m,第三次至-6.0 m,第四次至-8.0 m,第五次至-10.0 m。边开挖边支护,分层开挖,分层支护,挖完亦支护完。土方开挖必须和支护施工密切配合,前一层土钉完成注浆3天以上方可进行下一层边坡面的开挖。开挖时铲头不得撞击网壁和钉头,开挖进程和土钉墙施工形成循环作业。

(3)修坡:要求坡面修理平整,确保喷射砼质量。

(4)土钉制作、成孔:土钉按照设计方案制作,钢管四周开注浆小孔,小孔直径8 mm,小孔在钢管上呈螺旋状布置,小孔间距50 mm,钢管口部1 m范围不设注浆孔,钢管末端封闭。土钉位置、间距及角度根据设计图纸要求,用空压机带动冲击器将加工好的土钉分段焊接打入土中。

(5)编制钢筋网:将 $\phi 6.5$ mm 钢筋拉直,钢筋网片按照设计的间距绑扎。土钉成孔后,端部用 $\phi 16$ mm 螺纹联系筋、井字加强筋焊接压在钢筋网上,使钢筋网片、土钉连成整体。土钉与加强筋、联系筋之间均焊接联接,焊缝长度符合规范要求。钢筋网绑扎长度及相临搭接接头错开长度符合规范要求,在不能满足规范要求的,必须用电焊焊接牢固。

(6)喷射砼:在土方开挖、修坡和钢筋网编焊完成后,进行混凝土喷射,一次喷射总厚度 ≥ 100 mm,石子粒径5~10 mm,最大粒径 < 12 mm,专用喷射混凝土速凝剂掺入量 $\leq 5\%$ 。喷射砼在每一层、每一段之间的施工搭接之前,将搭接处泥土等杂质清除,确保喷射砼搭接良好,保证喷射砼质量,不发生渗漏水现象。

(7)土钉注浆:在面层喷射砼达到一定强度时才能注浆。对于土钉注浆,注浆前将注浆管插入土钉底部,从土钉底部注浆,边注浆边拔注浆管,再到口部压力灌浆。水泥浆按照设计拌制,搅拌充分,并用细筛网过滤,然后通过挤压泵注浆。土钉注浆注浆压力控制在0.1 MPa,单管注浆量控制在80 L左右。为防止土钉端部发生渗水现象,在土钉成孔之后,喷射砼施工之前,将土钉周围用粘土及水泥袋填塞捣实,喷射砼时先将土头喷射填塞密实,注浆饱满,即可避免出现土钉头渗水现象。

5 基坑监测

信息化施工是复合土钉墙支护技术的一个特点,为了确保基坑安全,不影响周围建筑物,要求随时掌握开挖及支护施工过程中边坡的动态变化,因此必须在支护施工过程中实施信息化施工,并把获得的信息通过修改设计反馈到施工工作中去,以指导施工。监测点设置在基坑变形最大位移的坡顶,共设置8处,每边各2处。经监测,本工程最大位移为18.80 mm,最大沉降为9.9 mm,位移及沉降量在土钉墙施工完成10天便趋于稳定(见表1),并在雨季经受住了大雨的考验,保证了工程施工的安全。

表1 位移观测成果表

观测点号	最大位移量/mm	最大沉降量/mm
B1	12.11	4.1
B2	12.91	5.5
B3	13.80	8.6
B4	14.22	9.9
B5	16.63	5.1
B6	15.76	6.1
B7	16.02	6.4
B8	18.80	5.4

6 结语

(1)青岛福林大厦基坑支护工程采用复合土钉墙支护充分发挥搅拌桩超前支护作用,成功解决了垂直开挖时基坑边坡的强度和稳定问题。

(2)本工程基坑及周边建筑、道路的变形监测结果表明,本工程所采用的基坑支护综合处理方案是有效的,达到了施工周期短、投资少和保证基坑及周边建筑安全的目的。复合型土钉支护在此工程中的位移变形较小,为坑内施工提供了安全保障,是一种成功的基坑围护体系。

(3)该支护体系成本低,仅为桩锚体系造价的30%~50%,随着城市建设的发展,复合土钉支护的应用范围越来越广泛,复合土钉墙作为一种经济型的基坑围护结构,值得在其他深基坑围护中推广。

参考文献:

- [1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] GB 5007-2001,建筑地基与基础设计规范[S].
- [3] 徐至钧,等.高压喷射注浆法处理地基[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [5] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].