

文章编号:1009-6825(2010)02-0159-03

复合支护结构在基坑支护工程中的应用

石济宇

摘要:根据工程的地质、周边环境等特点,介绍了预应力管桩和钢结构支撑及加强被动区等复合支护方案在工程中的应用,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。

关键词:基坑支护,预应力管桩,钢结构支撑,被动区加固

中图分类号:TU463

文献标识码:A

1 工程概况

某工程由3栋8层住宅楼与共用地下室组成,总建筑面积约为10 511.9 m²,其中地下室建筑面积为2 810 m²,地上建筑面积为7 701 m²。地下室开挖深度为5.20 m~5.50 m;基坑占地面积为3 240 m²。

该工程东临待建规划路,东侧与已建建筑物相距约16 m~20 m;西距已建围墙5.0 m,与已有建筑物相距8 m~9 m;南距建筑红线5.0 m,红线之外为绿化带,约22 m~25 m;北侧距市政道路5.0 m。另据调查,西侧距离基坑6 m地面上有一直径100 mm的煤气管道,北侧市政道路两侧人行道面下埋设有污水管道(直径约1.2 m,埋深约2 m)等地下管线。

2 地质概况

2.1 地形地貌

原始地貌类型为港湾滩涂,后经人工回填改造成现状。现场地势较平坦开阔。

2.2 岩土体分布及其特征

受古地理环境和区域地质构造的影响和作用,场地内各岩土体的分布、埋深、厚度及性能变化较大。根据钻探揭露,各岩土体的分布及其特征自上而下分述如下:

杂填土(Q^{m1}):全场地均有分布,厚度1.2 m~4.10 m。

淤泥(Q^{m2}):全场地均有分布,厚度10.50 m~20.30 m。

粉质黏土(Q^{m3}):揭露厚度0.70 m~9.60 m。

地下底板置于淤泥层上,此层具有呈饱和、流塑状态,韧性及干强度高,切面有光泽,无摇振反应,强度低,压缩性高,工程性能差等特点。

地下水主要接受大气降水补给和相邻地下水水体的渗透补给,并大致顺地形倾向由北向南方向渗透排泄,混合地下水稳定水位埋深为1.50 m~2.50 m,标高为-0.78 m~0.37 m。

3 基坑支护方案的选择

本工程中,地质情况比较复杂(场地内人工填土及淤泥为松散软弱地层且厚度大而空间分布不均匀)且施工工期较紧,因此选择合理的基坑支护方案,是本次基坑支护工程的关键。

3.1 采用冲(钻)孔灌注桩

本场地由于淤泥层较厚,根据计算,采用冲(钻)孔灌注桩加一道钢筋混凝土支撑体系,灌注桩采用 $\phi 1000$,桩长21 m,桩间距1.6 m,周边采用搅拌桩做止水帷幕,工程造价约为550万元。本场地位于城市中心地段,周边居民住宅楼密集,冲孔灌注桩施工时噪声大,容易发生工地泥浆满地流的脏污情况,同时灌注桩施工工艺复杂,容易出现断桩、缩颈、混凝土离析和孔底虚土或沉渣

过厚等质量问题,钢筋混凝土支撑体系存在作业时间长、支撑拆除成本高、不能多次使用的缺点,因此本工程不宜采用。

3.2 采用预应力管桩加一道钢结构支撑体系、被动区采用搅拌桩进行加固

预应力管桩采用PHCAB-500-125,桩长为13 m,桩间距为800 mm,钢支撑内支撑采用 $\phi 600$ 与 $\phi 500$ 钢管,壁厚分别为16和12,腰梁采用400×400 H型钢,被动区采用搅拌桩进行加固。周边采用搅拌桩做止水帷幕,工程造价约480万元。采用本方案,其中本工程工程桩即采用静压PHC管桩,施工机械设备不用重复进退场,且PHC管桩的机械化施工程度高,施工工期短,施工速度快,不会发生泥浆满地流的脏污情况,也不会出现人工挖孔桩工地到处抽水和堆土运土的忙乱景象及井下作业的不安全感,容易做到文明施工,安全生产。另本工程采用钢支撑施工速度快,可重复利用等优点,同时被动区采用搅拌桩加固具有布置灵活,加固效果显著、噪声小、无振动、无污染、施工速度快、造价低等特点。

综合以上因素,根据本工程的现状,最终选择的基坑支护方案为预应力管桩加一道钢结构支撑体系,被动区采用搅拌桩加固。

4 基坑支护的计算

4.1 计算指标

1) 土层的物理力学性质指标见表1。

表1 土层物理力学性质指标表

土层名称	指标			
	天然重度 / kN·m ⁻³	粘聚力 C/ kPa	内摩擦角 / (°)	厚度/ m
杂填土	18.0	10.0	8.0	4.1
淤泥	15.4	7.9	0.2	13.0
粉质黏土	19.0	33.9	22.0	4.6

2) 地面荷载。

取 $q_0 = 10$ kPa。

3) 水泥搅拌桩 $q_{u28} = 1.5$ MPa, 桩径550, 相邻桩搭接100。

参考有关资料,搅拌桩的粘聚力 $C = 360$ kPa,内摩擦角 $\alpha = 22^\circ$,由于被动区加固范围为2.35 m,加固范围有限,被动土压力计算不能简单的采用加固后的水泥石参数,目前还没有比较成熟的计算方法,根据经验,有关参数按淤泥层的强度指标适当提高进行取值,其中被动区土压力的内摩擦角按提高5倍即 $0.2 \times 5 = 1.0^\circ$,粘聚力按提高10倍即 $7.9 \times 10 = 79$ kPa进行取值。

4.2 稳定性计算

1) 计算土压力强度:计算过程略。

2) 土压力强度分布如图1所示。

3) 采用平衡法进行稳定性计算。

收稿日期:2009-09-27

作者简介:石济宇(1972-),男,工程师,厦门大学基建处,福建 厦门 361005

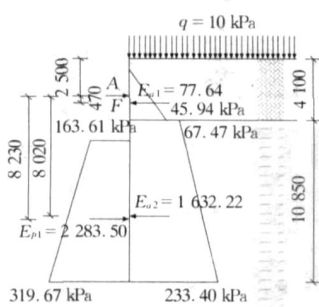


图 1 土压力强度分布图

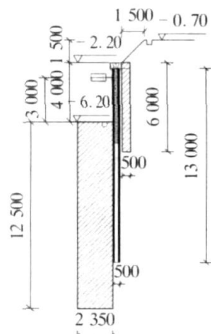


图 2 基坑支护剖面图

a. 确定桩的最小入土深度 t_{\min} 和水平每延米所需支力 F , 如图 1 所示, 取支护单位长度, 对 A 点取矩, 令 $M_A = 0$, $Z = 0$, 则:

$$M_{E_{a1}} + M_{E_{a2}} - M_{EP} = 0 \quad (1)$$

$$F = E_{a1} + E_{a2} - E_p \quad (2)$$

其中, $M_{E_{a1}}$, $M_{E_{a2}}$ 均为主动土压力合力对 A 点的力矩; M_{EP} 为被动土压力合力对 A 点的力矩; E_{a1} , E_{a2} 均为主动土压力合力; E_p 为被动土压力合力。

由式 (1), 式 (2) 求得:

$$F = 104.5 \text{ kN}.$$

$$t_{\min} = 2.5 \text{ m}.$$

考虑到坑底淤泥层较厚, 为保证被动区搅拌桩加固效果, 搅拌桩深度均应穿过淤泥层, 搅拌桩长度按 12.5 m 进行加固, 同时, 根据管桩生产的长度最长为 13 m, 因此, 管桩长度按 13 m 进行施工。

基坑支护剖面图如图 2 所示。

b. 坡角抗滑移稳定性计算。

$$K = \frac{M_{EP}}{M_{E_{a1}} + M_{E_{a2}}} = \frac{2 \times 283.5 \times 8.23}{77.64 \times 0.47 + 1 \times 632.22 \times 8.02} = 1.43$$
 满足要求。

c. 最大弯矩为:

$$M_{\max} = 144.40 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

参照 PHC 管桩力学性能指标, $\phi 500\text{AB}-125$ -极限弯矩为 234 kN·m, 管桩间距为 0.8 m, 每根管桩桩身所受最大弯矩为:

$$M_{\max} = 144.40 \times 0.8 = 115.52 \text{ kN} \cdot \text{m} < 234 \text{ kN} \cdot \text{m}, \text{ 满足要求}.$$

d. 腰梁内力计算。腰梁采用 H 型钢, 型钢规格为 H400 × 400, 水平钢支撑间距 6 m, 经验算可以满足要求。

e. 换撑。地下室底板顶面标高为 -4.80 m, 在地下室底板浇筑完成后在底板与围护桩之间浇筑厚 30 cm 的 C25 素混凝土传力带作为换撑构件, 传力带浇筑完成后方可拆除钢结构支撑, 钢结构支撑拆除后, 管桩桩身所受的最大弯矩:

$$M_{\max} = (77.64 \times 1.83 + 50.98 \times 0.34) \times 0.8 = 127.53 \text{ kN} \cdot \text{m} < 234 \text{ kN} \cdot \text{m}, \text{ 满足要求}.$$

5 基坑支护方案的实施

1) 预应力管桩采用 PHCAB-500-125, 桩长为 13 m, 桩间距为 800 mm。AB 型管桩桩身极限抗弯强度不小于 196 kN·m, 桩身强度为 C30。考虑到 PHC 管桩比较易碎, 桩芯采用 C30 碎石混凝土进行填充, 并配主筋为 4 18, 箍筋为 $\phi 8 @ 150$ 的钢筋笼, 钢筋笼长度为 5.0 m, 即深度超过基坑底深度。

2) 因静压预应力管桩施工时的挤土效应比较明显, 施工现场与周边道路、建筑物、湖岸的距离小, 为避免管桩施工造成道路、建

筑物破坏、变形, 在施工管桩前, 采用地质钻机在围护外四周先行施工一排泄压孔, 泄压孔直径 500 mm, 孔深 15 m, 孔间距 1 000 mm。

3) 因场地土层中有上层滞水分布, 为地下室需要, 场地四周应设止水措施, 止水帷幕采用 $\phi 550$ 搅拌桩, 水泥搅拌桩所需的水泥为 P.O32.5 普通硅酸盐水泥, 水灰比为 0.55 1, 水泥掺合量为 17%, 桩身水泥土 28 d 无侧限抗压强度不小于 1.5 MPa; 搭接长度为 150 mm。

4) 被动区也采用 $\phi 550$ 水泥搅拌桩进行加固, 搭接 100, 5 排, 类型同止水用的水泥搅拌桩, 加固宽度为 2 350 mm, 搅拌桩施工时尽量紧贴管桩, 减少搅拌桩与管桩之间的间隙, 充分发挥搅拌桩的作用, 减少搅拌桩与管桩之间未加固土体的变形量, 减小支护结构的位移变形量。

5) 桩顶施工一道锁口梁, 锁口梁为 800 × 500, 混凝土强度等级为 C30, 该道锁口梁在设计计算中没有考虑其受力, 其主要作用是将管桩连为一个整体, 其发挥的作用作为安全储备, 土方开挖应待锁口梁混凝土强度达到 80% 设计强度后方可进行。

6) 基坑分层进行开挖, 第一次土方开挖先将钢结构支撑施工需要的位置局部开挖至 -3.2 m, 待做好钢结构支撑后, 再进行开挖至坑底设计标高。

7) 内支撑采用 $\phi 600$ 与 $\phi 500$ 钢管, 壁厚分别为 16 和 12, 腰梁采用 400 × 400 H 型钢, 腰梁与围护桩之间的间隙采用 C30 碎石混凝土充填。待混凝土浇筑完毕养护 48 h 后进行施加预应力, 在支撑两端同步、对称、分级进行预应力施加, 为防止管桩损坏, 预应力控制在 600 kN。

8) 支撑桩采用预应力管桩, 暴露于基坑部分采用 400 × 400 H 型钢与预应力管桩焊接, 支撑桩的承载力设计值为 1 000 kN, 压桩力不小于 1 700 kN。

9) 钢支撑的拆除, 必须在地下室底板、传力带浇筑后 7 d 且混凝土强度至少达到 C20 以上方可进行, 钢支撑结构的拆除速度应缓慢进行, 并按先装后拆、后装先拆的原则进行拆除。

10) 基坑的排、降水体系。本场地地下水水位深度为 1.5 m 左右, 且场地四周已采用搅拌桩止水帷幕, 基坑内降水不会给周边环境造成不利影响, 因此本基坑采用明沟排、降水。

11) 基坑坡顶部与底面四周距离坡顶及围护桩边 50 cm 设置排水沟, 在 20 延长米 ~ 30 延长米并错开承台位置设一个集水井, 集水井截面尺寸为 1 m × 1 m × 1 m, 集水井的数量根据实际开挖的水量大小进行适当增减。

6 施工监测结果

6.1 周边环境

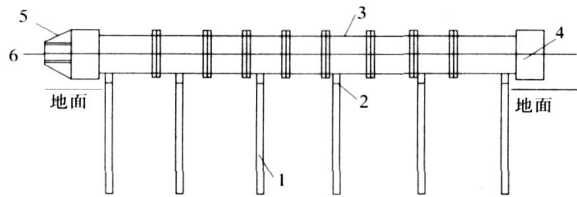
周边道路、地面稳定, 无开裂现象发生, 西侧围墙在支护桩施工时由于挤土效应部分开裂, 裂缝宽度为 7 mm, 土方开挖后裂缝变小至 2 mm; 周边建筑物的最大沉降值 5 mm, 最大倾斜值 0.02%, 在正常允许范围内; 周边的地下管道未发现变形、泄漏现象。

6.2 支护结构

支护桩顶变形观测点在锁口梁浇筑完毕后进行埋设, 埋设后进行第一次观测。观测密度根据施工进度进行, 在土方开挖至钢结构支撑拆除阶段, 每日或隔日进行观测, 在钢结构支撑拆除后直至地下室土方回填施工完毕, 每 15 天观测一次, 共观测 25 次, 桩顶最大位移 32 mm, 周边地面沉降最大为 35 mm, 钢结构支撑最大沉降为 11 mm, 均在预警值范围以内。

7 结语

1) 对本工程周边建筑、道路、支护结构的变 (下转第 165 页)



注:1—钢板桩;2—工字钢;3—纵梁;4—横梁;5—千斤顶;6—预应力筋

图 2 移动式台座构造示意图

表 1 纵梁的水平 and 竖向位移值 mm

纵梁及测试截面编号	测试方向	25% k (128.25 t)	50% k (256.5 t)	75% k (384.75 t)	100% k (513 t)
A 纵梁中间截面	水平	- 0.06	- 0.24	- 0.31	- 0.31
	竖向	0.01	0.05	0.12	0.16
A 纵梁张拉截面	水平	0.13	0.22	0.44	0.65
	竖向	- 0.09	- 0.40	- 0.85	- 1.33
A 纵梁锚固截面	水平	0.31	1.13	1.94	2.44
	竖向	- 0.85	- 1.23	- 1.68	- 2.31
B 纵梁中间截面	水平	- 0.08	- 0.27	- 0.39	- 0.39
	竖向	0.01	0.07	0.12	0.17
B 纵梁张拉截面	水平	0.13	0.22	0.44	0.65
	竖向	0.47	- 0.32	- 1.95	- 2.29
B 纵梁锚固截面	水平	0.31	1.13	1.94	2.44
	竖向	- 0.96	- 1.15	- 1.48	- 2.14

注:水平位置“+”表示向北平移,竖向位移“-”表示向下位移

从表 1 可以看出,张拉力的作用使纵梁产生了竖向和水平两个方向的弯曲变形,以 A 纵梁中间截面竖向位移值作一线性图(见图 3)。

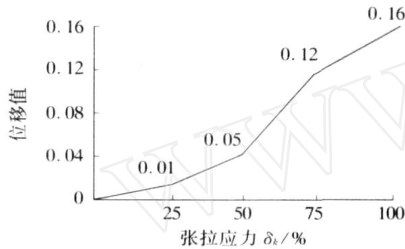


图 3 竖向位移值线性图

从图 3 分析可以看出,位移的变化与张拉力之间基本上是线性关系,由此可以得出结论:纵梁各点的位移均由纵梁的弯曲变形产生。其中水平方向位移分布为 0.65 - 0.31 - 2.44(张拉端—中—锚固端),竖向方向 A 梁为 - 1.33 - 0.16 - 2.31, B 梁

为 - 2.29 - 0.17 - 2.14。从测量截面位置分布还可看出中截面水平和竖直两个方向的位移均较小。可以推断下部基础对纵梁的约束明显有效。因纵梁的制作和安装精度均较高,没有观察到由于装配间隙产生的位移。实践证明,移动式张拉台座在生产大吨位预应力构件时其整体的稳定性较高,结构安全可靠,并具有较强的适应施工能力。

3 完善移动式张拉台座以提高其实用程度

1) 原张拉台座的工作宽度为 2 m,这样的宽度不能满足预制大体积构件所需要的工作宽度,因先张构件的断面尺寸一般为 1.1 m ~ 1.5 m,施工人员绑扎钢筋支设模板的工作台座两侧均不能低于 0.6 m,这样看 2 m 的工作宽度显然不能满足施工需要,于是将张拉台座的横梁加长,使台座工作宽度达到 3 m,设计人员采纳了我们的建议,对张拉台座横梁的长度进行了调整,这样一来张拉台座就可以充分满足预制大型先张构件所需的工作宽度了。

2) 张拉台座原基础结构形式为两端各设置一道 50 cm × 50 cm 地梁,中间每隔 17.5 m 设置打入式钢板桩基础。钢板桩与横向连接工字钢采取焊接方式连接,其上面摆放张拉台座。因施工期间正值雨季,施工现场土质结构亦较为松散,为避免台座端部因张拉受力产生沉降,地梁承载力不能满足要求,便取消台座端部的地梁,将其改为打入式钢板桩基础,提高了台座端部的稳定性。

3) 台座拼装完毕在试张拉过程中,经过试验检测发现台座跨中因受力产生较大向上的挠度,经与设计人员研究决定,将台座与下部基础用 $\phi 16$ 钢筋采用焊接的方式连接,使其成为一个整体,使下部基础既起到了支撑的作用,又可以控制台座因受力产生向上的变形,这个方法非常有效。

4 结语

由以上分析可以看出,移动式张拉台座具有结构安全,性能稳定,使用效率高,且不受冬季施工条件制约等特点,其既可进行规模化生产,又能适应小批量先张构件施工,特别是生产跨径大、吨位高的大型预应力构件具有相当大的优越性。通过本次在预应力施工过程中的应用,对于移动式张拉台座的安装以及使用取得了较为翔实的技术资料,并优化了设计方案,为此项成果的推广使用提供了可靠的技术保证。

参考文献:

[1] 王龙文. 对预应力束张拉问题的讨论[J]. 山西建筑, 2007, 33(1): 161-162.

Popularization and utilizing of the movable type stretching bed

XIAO Dong-hua HU Jin-yu

Abstract: It describes installation requirements of the movable type stretching bed, detailed introduces prestressing construction of adopting movable stretching bed, provides measures of performing the movable type stretching bed, so as to improve practical degree of the stretching bed, popularize application of the movable type stretching bed.

Key words: movable type, stretching bed, prestressing, popularization

(上接第 160 页) 形监测结果表明,本工程所采用的基坑复合支护方案是有效的,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。

On application of composite support structure in foundation pit support projects

SHI Ji-yu

Abstract: According to the characteristics of the project's geology and surrounding environment, the paper introduces the application of the composite support scheme including the prestressed pipe pile, the steel structure support and the improvement of the passive zone in the projects, so as to reduce the construction period, to decrease the investment and to ensure the security of the foundation pit and surrounding buildings.

Key words: foundation pit support, prestressed pipe pile, steel structure support, improvement of passive zone

2) 采用搅拌桩进行被动区加固,提高被动区土体的物理力学指标,改善支护桩受力性能和减少支护桩的侧向位移,这对淤泥层较厚的深基坑采用管桩作为支护具有一定的借鉴意义。