

文章编号: 1007-2993(2022)03-0179-06

管桩结合双半圆支撑体系在基坑工程中的应用

许冠曾 婕 成怡冲 王洁栋 吴才德
(浙江华展工程研究设计院有限公司, 浙江宁波 315012)

【摘要】 结合某项目基坑, 开展了预应力管桩的工程应用研究, 比较了不同支护体系的优缺点, 介绍了预应力管桩结合双半圆内支撑体系的设计施工要点、工艺参数、结构剖面以及双圆环内支撑的变形特性。预应力管桩区域变形超过报警值, 但桩身未产生裂缝, 验证了预应力管桩作为支护桩的安全性和可靠性。

【关键词】 预应力管桩; 双半圆支撑; 深基坑工程; 软土; 变形

【中图分类号】 TU 473

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2022.03.002

Application of Pipe Pile Combined with Double Semicircular Support System in Foundation Pit Engineering

Xu Guan Zeng Jie Cheng Yichong Wang Jiedong Wu Caide
(Zhejiang Huazhan Institute of Engineering Research & Design, Ningbo 315012, Zhejiang, China)

【Abstract】 Combined with the foundation pit of a project, the engineering application of prestressed pipe pile was carried out, and the advantages and disadvantages of different supporting systems were compared. The design and construction points, process parameters, structural section and deformation characteristics of double-ring internal support system of prestressed pipe pile were introduced. The regional deformation of prestressed pipe pile exceeds the alarm value, but there is no crack in the pile body, which verifies the safety and reliability of prestressed pipe pile as a supporting pile.

【Key words】 prestressed concrete pipe; double semicircular support; deep foundation pit engineering; soft soil; deformation

0 引言

先张法预应力管桩(以下简称预应力管桩)指的是采用先张法预应力工艺, 并掺加高效减水剂, 经过高速离心成型和蒸汽养护而成的空心圆筒体细长混凝土预制构件^[1]。按照混凝土强度等级又分为普通预应力混凝土灌桩(代号为 PC, 混凝土强度等级不低于 C50)和预应力高强度混凝土管桩(代号为 PHC, 混凝土强度等级不低于 C80)。常用的预应力管桩外径有 400 mm、500 mm、550 mm 和 600 mm 等规格, 按预应力管桩的抗弯性能分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型^[2]。预应力管桩常规的施工方法有静压法、锤击法以及插入水泥搅拌墙中形成复合支护墙的方法。

随着国家产业结构的调整, 粗放式、高耗能的传统基坑支护结构与施工技术逐渐向低排放、少污染的方向发展^[3], 预应力管桩采用工厂化生产, 且具备

绿色环保的优势。此外, 预应力管桩桩身混凝土强度高, 再加上使用了高强度、低松弛的预应力钢筋使桩身具有较高的有效压力, 从而提高了其抗弯和抗拉性能, 将其应用于支护工程中在经济上更具有竞争性^[4]。因此, 预应力管桩在基坑工程中应用的越来越多^[5-10], 但预应力管桩大范围挤土施工对土体造成扰动, 可能影响后期基坑的安全性。

宁波地区常用的支撑体系有对撑、角撑和圆环撑等。相比于对撑和角撑体系, 圆环支撑体系具有较强的整体性, 内力分布更均匀, 适用于形状不规则基坑^[11-12]; 此外, 圆环支撑体系可较大程度减少支撑覆盖面积, 节约成本费用, 方便土方开挖和地下室施工, 极大地提高出土效率, 节约施工工期^[13-14]。但是圆环顶部刚度较小, 需采取有效的加强措施。

本文结合宁波民和·惠风和畅文化产业园项目,

开展了预应力管桩结合双半圆内支撑体系的工程应用研究,对不同支护体系及不同支护桩的优缺点进行了对比分析,并介绍了预应力管桩和双半圆内支撑体系的设计和施工要点,分析了基坑监测数据,验证了预应力管桩结合双半圆内支撑体系的可靠性。

1 工程概况

民和·惠风和畅文化产业项目总用地面积 34896 m²,总建筑面积 117957 m²,其中地上建筑面积 88614 m²,设有一层地下室,地下建筑面积 29343 m²。基坑周圈开挖深度为 5.5 m,局部坑中坑开挖深度达到 7.0 m。

基坑周边环境较复杂。南侧和西侧紧邻现状道路和市政管线。南侧杨帆路距离地下室侧壁 6 m,杨帆路上由近到远分别埋设有电力管线、给水管和雨水管;西侧院士路距离基坑边约 20 m,院士路上由近到远分别埋设有电力管线、电信管和给水管,基坑周圈管线情况见表 1。施工道路、材料堆场和临时用房设置在基坑的东侧和北侧,东侧施工道路距离基坑最近约 6.5 m,临时用房距离基坑 15 m,北侧材料堆场距离基坑边最近约 5 m,施工道路距离基坑边约 15 m。基坑西侧为本工程临设用地。基坑与周边环境相对关系见图 1。

表 1 基坑周圈既有管线情况一览表

方位	管线类型	规格	走向	埋深/m	与基坑距离/m
基坑南侧	供电管	塑N1000×1000	东西	0.5~1.0	7
	给水管	铸铁DN300	东西	0.5~1.0	6.5~12.0
	雨水管	塑DN800	东西	1.5~2.5	14~20
基坑西侧	供电管	塑840×650	南北	0.5~1.0	4~10
	电信管	塑DN300×200	南北	2.5~6.0	12~16
	给水管	钢DN1000	南北	1.5	14

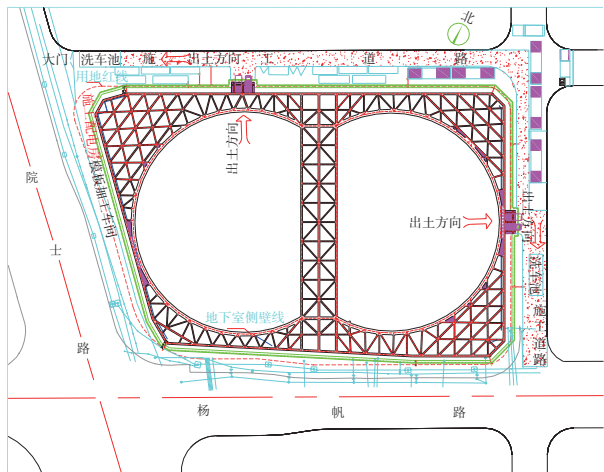


图 1 基坑与周边环境相对关系图

2 工程地质情况

根据岩土工程勘察报告,基坑支护范围内土层主要包括 2-1 层淤泥质黏土、2-2 层淤泥质粉质黏土、3-1 层含黏土粉砂和 3-2 层含黏土粉砂。基坑坑底落在 2-1 层淤泥质黏土中。3 层含黏土粉砂为微承压含水层,赋水性和透水性较好,有一定的水量,勘察期间实测水位埋深 2.0 m,渗透系数为 1.2×10^{-6} cm/s,经计算,基坑抗突涌稳定性满足规范^[15]要求。土层物理力学参数见表 2,地层分布见图 2。

3 基坑支护设计

3.1 基坑的特点和难点

通过工程概况和地质条件分析,本工程存在以下特点和设计难点:

(1) 基坑周边环境复杂

周边紧邻重要市政道路、燃气管线、电力管线和给水管线等,基坑开挖要考虑对周边环境的影响,基坑变形控制要求高。

(2) 基坑开挖面积大,地下室形状不规则

基坑开挖面积大,达到 30000 m²,地下室形状不规则,支撑体系的布置难度大。

(3) 分布有深厚软土层

本工程位于软土地区,基坑支护结构范围内分布 11 m 厚的流塑状淤泥质土,作用在支护结构上的水土压力大,控制变形难度大。

(4) 基坑周边用地紧张

红线内可利用的场地较少,基坑周边不满足坑外大量卸土条件,支护结构的选型受限。

(5) 基坑开挖体量大,出土效率较低

基坑开挖面积大,开挖深度较深,土方量大,软土层较厚,若采用常规的对撑+角撑体系,存在挖土效率低的问题。

3.2 基坑支护方案选型

针对本项目的特点和难点,支护设计采取了以下几个方面的方案比选。

(1) 支护结构选型比较分析

地下室基坑周圈开挖深度为 5.5 m,土体物理力学性质较差,基坑周边可利用的场地较少,且周边环境变形控制要求较高,适用于本基坑的支护结构形式主要包括排桩+1 道支撑和排桩+2 道锚索。支护体系比选见表 3。由表 3 可知,排桩+1 道支撑支护体系优点为安全性高,控制变形能力强,缺点为造价较高;排桩+2 道锚索优点为造价相对较低,缺点为控制变形能力较弱,二者施工周期相差不大。因此,本基坑工程选取排桩+1 道支撑的支护结构形式。

表2 土层物理力学参数

土层编号	土层名称	层厚/m	土性状态	压缩模量/MPa	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\phi/(\text{°})$	含水量/%
1	黏土	0.50 ~ 2.50	可塑为主,局部软塑	3.57	18.4	25.5	11.4	37.6
2-1	淤泥质黏土	2.70 ~ 5.50	流塑	2.72	17.7	16.5	8.4	44.6
2-2	淤泥质粉质黏土	4.40 ~ 8.40	软塑	2.5	17.3	15.2	8.7	50.1
3-1	含黏土粉砂	1.10 ~ 5.00	稍密,局部黏粒含量较高	9.87	19.5	13.5	29.2	24.7
3-2	含黏土粉砂	1.20 ~ 6.10	松散~稍密,黏粒含量很高	9.2	19.7	12.8	29.3	22.9

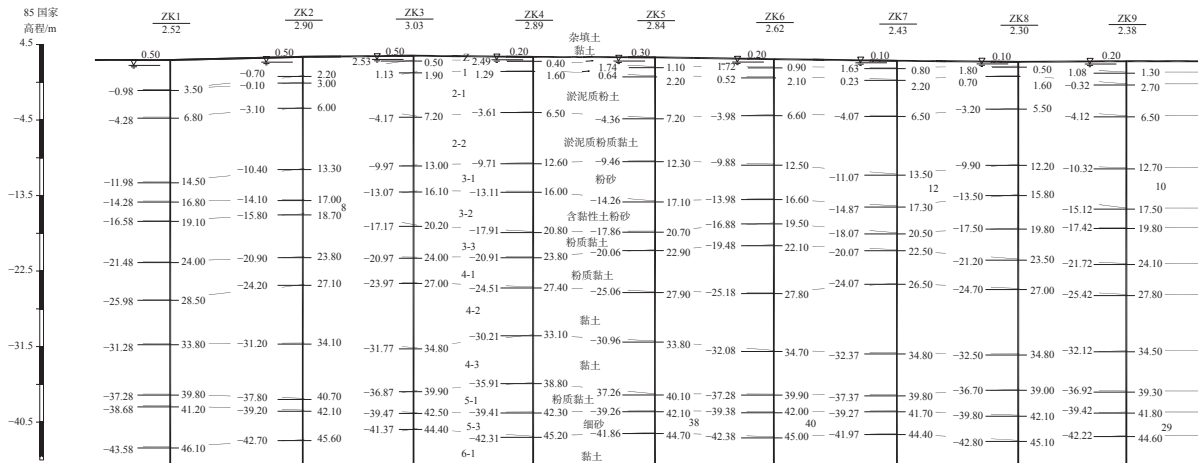


图2 基坑范围内典型地质剖面图

表3 支护体系比选表

支护类型	施工顺序	安全性	施工便利性	经济性
排桩+1道内支撑	1)施工支护桩; 2)挖土至围梁、支撑底标高,施工围梁和支撑; 3)分层放坡挖土至坑底; 4)完成底板浇筑,拆除围梁支撑,继续上部结构的施工	属于刚性结构,刚度大,安全性较高,控制变形能力较强,变形预估30 ~ 60 mm	1)排桩+支撑施工工艺成熟,施工单位经验丰富,宁波地区可参考的成功案例多; 2)支撑覆盖面积大,挖土比较不便,挖土周期长	10000 ~ 12000元/延米
排桩+2道锚索	1)施工支护桩,挖土至一道围梁底和锚索标高; 2)施工一道锚索,一道锚索强度达到设计要求后挖至二道围梁底; 3)施工二道锚索,二道锚索强度达到设计要求后挖至坑底; 4)完成底板浇筑,继续上部结构的施工	属于柔性结构,锚杆锚固段全部位于底淤泥质土层中,不能提供足够的抗拔力,控制变形能力一般; 变形预估60 ~ 100 mm, 现有道路路面出现较大裂缝的可能性较大	1)排桩+锚杆施工工艺成熟,施工单位经验丰富,宁波地区可参考的成功案例多; 2)无支撑覆盖,挖土方便,但1、2道锚索均需强度达到后,方可开挖其下方土方,挖土周期长	8000 ~ 10000元/延米

(2) 支护桩桩型比较分析

本基坑工程为一层地下室,可采用的支护桩桩型包括钻孔灌注桩、SMW工法桩和预应力管桩,对三种桩型比较分析见表4。由表4可知,钻孔灌注桩和预应力管桩造价相对较低,两者相比,预应力管桩施工效率高,但施工对周边环境影响较大。综合考虑,为了能够较好地控制和减小对临近市政道路和地下管线的影响,在基坑的西侧和南侧采用钻孔灌注桩;为提高整体施工效率,在基坑北侧和东侧采用预应力

管桩。

(3) 支撑体系比较分析

基坑开挖面积大,支撑体系需综合考虑安全、施工便利和工程投资等各方面因素,对支撑的布置要求较高。相比常规对撑+角撑支撑体系,对撑+半圆环支撑体系一方面具有较强的整体性,使得内力分布较均匀,有利于对支护结构变形的控制;另一方面减少了支撑覆盖面积,节约了成本费用,方便土方开挖,极大地提高了出土效率。

表4 支护桩桩型比选表

桩型	优点	缺点	经济性	备注
钻孔灌注桩	1)单桩水平承载力较强; 2)钻孔桩施工比较方便,可选择单位比较多; 3)不属于挤土桩,打桩对周边环境影响较小	1)有泥浆排放,污染环境; 2)施工速度较慢,周期较长; 3)单方造价较高	每延米造价:¥5000元	
SMW工法桩	1)安全性高,控制变形能力强,整体性好; 2)无额外的止水帷幕,防漏土效果好; 3)无泥浆作业,节能环保; 4)施工速度较快,可节约部分工期	1)SMW工法桩可选择单位相对较少; 2)地下室完成后需拔除型钢; 3)单方造价高	每延米造价:¥6000元	SMW工法桩型钢租赁期暂按5个月计算
预应力管桩	1)单方造价较低; 2)无泥浆排放; 3)预制桩的质量有保障; 4)施工速度较快,可节约部分工期	1)属于挤土桩,打桩对周边环境影响较大; 2)单桩水平承载能力较弱	每延米造价:¥3500元	

3.3 基坑支护设计

(1)平面支撑体系设计

平面支撑采用对撑+半圆环的支撑体系,支撑平面图见图3。

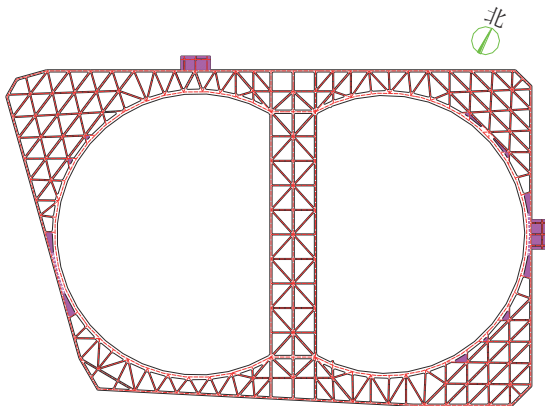


图3 支撑平面布置图

两个半圆环内支撑直径均为125m,圆环弧顶及拱脚区域采取多种措施以确保安全,包括:(1)圆弧和拱脚位置设置钢筋砼板带,加强这些区域的整体刚度;(2)适当增加拱脚支撑刚度,增加圆环的约束;(3)适当增加圆环的宽度和配筋,确保圆环受力可靠;(4)基坑东侧坑外设置桩、钢筋砼梁板结构形成施工平台,同时也对东侧弧顶起到了加固作用。围梁和支撑结构混凝土强度等级为C25,具体内支撑构件尺寸和截面见表5。

表5 内支撑尺寸及截面表

圆环/(m×m)	对撑/(m×m)	角撑/(m×m)	围梁/(m×m)
2.0×0.7	0.9×0.7	0.7×0.7(0.6×0.6)	1.0×0.6

(2)竖向支护体系设计

围梁及支撑面标高降到自然地坪以下1.5m处,一方面改善墙身内力分布,减少墙身变形,另一方面也给挖土施工作业提供了足够的空间。典型支护剖面见图4。

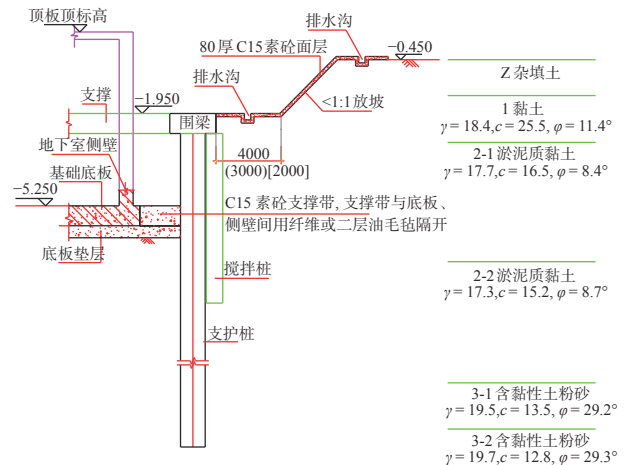


图4 基坑典型支护剖面图

(3)支护桩设计

根据基坑计算,支护桩长度13~15m,嵌固比约1:2,墙底进入3-1层含黏土粉砂层,满足各项稳定性计算要求。基坑西侧和南侧采用钻孔灌注桩,桩径600mm,桩体纵向受力钢筋按内力包络图沿墙体纵向分段配置,此法大大减小了桩体的配筋量,提高了钻孔灌注桩的经济性。基坑东侧和北侧采用预应力管桩,桩型分别为PC600AB130-14和PC550AB110-14(其中“PC”表示普通预应力管桩,600和550表示桩外径,AB为管桩型号,130和110为管桩壁厚,“14”表示桩长)。预应力管桩相关构造示意图

与工艺参数分别见图5和表6。预应力管桩和围梁或连梁连接见图6。

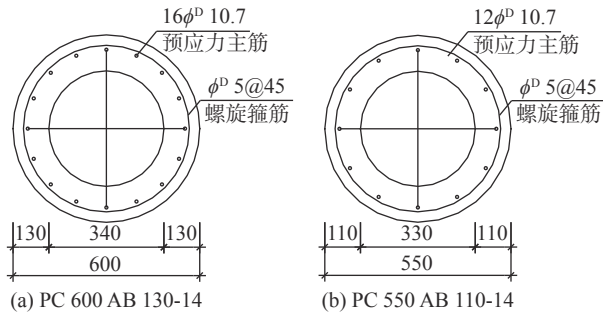


图5 预应力管桩结构示意图(单位:mm)

表6 预应力管桩工艺参数

外径 D/mm	壁厚 /mm	型号	预应 力筋	抗裂弯矩 $M_{cr}/(kN\cdot m)$	极限弯矩 $M_{uk}/(kN\cdot m)$	抗剪承载力 设计值 V_u/kN
600	130	AB	16 ϕ 10.7	223	374	417
550	110	AB	12 ϕ 10.7	154	254	302

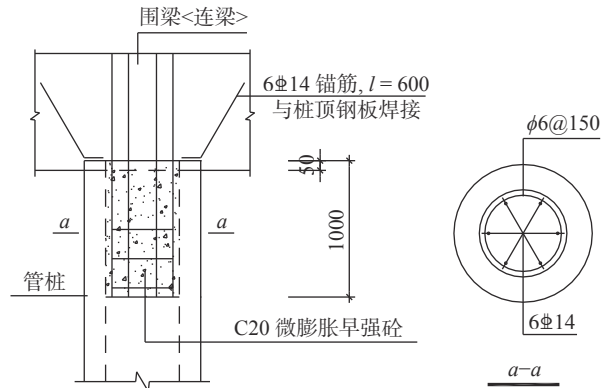


图6 管桩与围梁(连梁)连接详图(单位:mm)

4、止水帷幕设计

基坑外采用 $\phi 500$ 密排水泥搅拌桩作为止水挡漏土措施。

4 基坑施工与监测

为减少预应力管桩施工对周边环境及工程桩的影响,采取了以下措施:(1)合理安排管桩施工线路,控制日沉桩数量;(2)先施工管桩,再施工工程桩;(3)必要时采取取土、植桩、挖隔震沟、孔隙水压力释放孔等措施。本项目从支护桩施工开始到地下室顶板施工结束共历时约8个月,由于基坑东侧和北侧采用预应力管桩,施工效率高,较完全采用钻孔灌注桩减少了1个月工期。图7为施工开挖现场图。

基坑设计布置了比较全面的基坑支护监测体系,主要监测内容有:深层土体位移、支撑轴力、地表沉降、地下水位、立柱沉降、桩顶水平位移和桩顶沉降。图8为深层土体位移监测平面布置,表7为深层土体位移最大值统计表。



图7 基坑开挖现场图

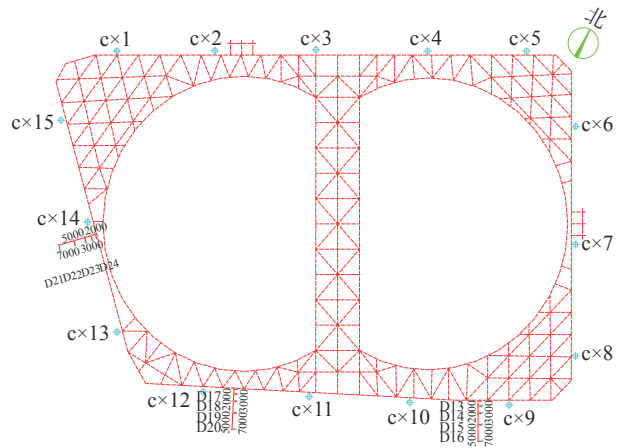


图8 基坑监测平面布置图

表7 深层土体位移最大值统计表

孔号	位移 最大值/mm	孔号	位移 最大值/mm	孔号	位移 最大值/mm
CX1	67.2	CX6	72.7	CX11	53.4
CX2	67.4	CX7	76.7	CX12	58.9
CX3	64.9	CX8	78.4	CX13	60.0
CX4	64.9	CX9	57.6	CX14	71.1
CX5	66.6	CX10	55.4	CX15	65.8

由表7可知,因为基坑面积大,空间效应不明显,各测点深层土体位移最大值均较大。基坑东侧和北侧变形均超出了设计报警值(60 mm),这是因为基坑东侧和北侧材料堆场和施工道路距离基坑较近(未按设计要求布置),且预应力管桩的抗变形能力较钻孔灌注桩弱。预应力管桩变形虽超出报警值,但管桩表面未产生裂缝,说明桩身实际承受弯矩小于抗裂弯矩值,安全性较好。

基坑西侧的深层土体位移监测点CX14和CX15的变形也超出了报警值,原因分析为,基坑开挖至坑底标高后,未及时施工基础加固垫层,增加了基坑的暴露时间,导致基坑变形持续发展,此外,监测

点 CX14 位于圆环弧顶位置, 支撑刚度相对较弱, 故变形相对较大。

基坑南侧和西侧地表沉降曲线见图 9。由图 9 可见, 基坑南侧沉降最大值约为 15.5 mm; 基坑西侧沉降最大值约为 34.5 mm, 最大值发生在距离基坑最近的监测点处。基坑西侧和南侧道路上地表沉降值均小于设计报警值, 管线变形和道路沉降控制效果较好。

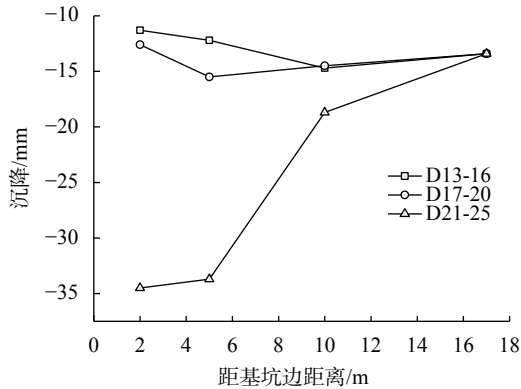


图 9 监测地表沉降曲线图

5 结论

本文结合民和·惠风和畅文化产业项目基坑工程, 介绍了预应力管桩结合双半圆支撑体系在软土深大基坑工程中的应用情况, 并得出以下结论和建议:

(1) 软土地区的深基坑变形控制难度大, 采用排桩+1道支撑进行支护, 由于支撑体系整体性好, 可较好地控制基坑支护结构变形。

(2) 平面支撑采用对撑+两个半圆环撑的支撑体系, 有效地减小了支撑覆盖率, 提高了基坑出土效率, 加快了工程施工进程。

(3) 对于周边环境简单的基坑可选用预应力管桩作为支护桩, 其具有造价低、工期短、无泥浆排放、绿色环保等优点, 其缺点是施工过程有挤土效应, 但可通过合理安排沉桩线路和顺序来降低不良影响。

(4) 本项目基坑工程预应力管桩区域变形虽超出报警值, 但管桩表面未产生裂缝, 说明桩身实际承受弯矩小于抗裂弯矩值, 预应力管桩作为支护桩使用安全性较好。

(5) 基坑开挖到底后应立即施工基底垫层以封闭

槽底, 避免因槽底土层长时间暴露而导致基坑变形加剧。

参考文献

- [1] 周建凡. PHC管桩在深基坑工程中的应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [2] 浙江省建筑标准设计结构标准图集. 先张法预应力混凝土管桩[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [3] 宋永生, 杨博, 卫龙武, 等. 预应力管桩复合支护结构在软土超大深基坑工程中的设计与监测研究[J]. 施工技术, 2017, 46(1): 32-35.
- [4] 黄广龙, 李勇. 预应力混凝土管桩在深基坑支护工程中的应用研究[J]. 建筑施工, 2005, 27(4): 2-4.
- [5] 吴连祥. 某软土深基坑支护桩入土深度分析[J]. 岩土工程技术, 2021, 35(4): 228-232, 237.
- [6] 党智荣, 张晓波, 苏立保. 勘察技术在北方湿陷性黄土地区预应力管桩施工中的应用[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(5): 231-236.
- [7] 蔡磊, 梁世德, 顾明, 等. 预制高性能混合配筋预应力混凝土管桩在某深基坑支护中的应用[J]. 工程勘察, 2018, (12): 25-29.
- [8] 赵升峰, 黄广龙, 马世强, 等. 预制混凝土支护管桩在深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S1): 91-96.
- [9] 韩建强, 高玉斌, 万志勇, 等. 某基坑支护与基础设计及预应力管桩在特殊地质中的应用[J]. 建筑结构, 2012, 42(11): 127-131, 127.
- [10] 张仕, 李欢秋, 王爱勋. 提高PHC管桩在深基坑支护中应用的技术途径[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(S2): 1643-1647.
- [11] 龚昕, 丁文其, 赖允瑾. 双圆环形支撑体系在基坑工程中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(1): 179-183.
- [12] 赵升峰, 范钦建. 超大混凝土圆环内支撑在深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程技术, 2013, 27(1): 17-20, 28.
- [13] 王涛. 双圆环形支撑在不规则深基坑工程中的分析与应用[J]. 岩土工程技术, 2013, 27(3): 115-117, 121.
- [14] 秦立标, 陈永康. 深基坑圆环形支撑施工技术运用[J]. 建筑施工, 2007, 29(9): 677-679.
- [15] 2019甬DX—06 宁波市建筑基坑工程技术细则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

收稿日期: 2020-12-24