

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.059

某城市核心区软土超深基坑支护设计方法与实践

宗军良

(上海黄浦江越江设施投资建设发展有限公司, 上海市 200093)

摘 要:城市核心区的软土深基坑工程面临着地质条件差、环境保护要求高、地下水控制困难等难题,需要合理选择基坑围护和支撑方案。以上海市某深基坑项目为例,针对基坑周边环境复杂、承压水层相互连通等特点,采用地下连续墙加高压旋喷桩加内支撑的支护设计,并对承压含水层采取止降结合的技术措施,并通过有限元分析的方法模拟了基坑开挖对周围环境的影响。监测成果表明,基坑及周边环境的变形均满足设计要求,验证了支护方案的可靠性,可为类似软土超深基坑工程提供参考。

关键词:城市核心区;软土地区;超深基坑;支护设计

中图分类号: TU47

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)11-0245-05

0 引 言

近年来,随着我国城市化的快速发展,城市内高楼林立,地下管线众多,城市核心区的基坑建设也面临着巨大的挑战^[1-2]。与传统基坑相比,城市核心区深基坑周边存在大量建(构)筑物,导致施工场地受限,环境保护要求也更加严格。基坑周边管线众多,基坑施工的难度与风险也大大增加。此外,地下水控制也是软土地区基坑开挖的重难点,如果设计施工不当,可能存在坑底承压水突涌等风险^[3-4]。因此,研究适用于城市核心区软土深基坑开挖的支护技术,对城市的可持续发展意义重大。

针对以上问题,众多专家已开展了相关研究工作与工程实践。王海成等^[5-6]以武汉市某复杂环境下的软土基坑工程为例,研究了复杂条件下软土基坑设计的重难点与应对措施。居晨等^[7]研究了常规的角撑加对撑的支护体系的受力特点,总结了位移和轴力等的变化规律。吴旭君等^[8]以广东某基坑支护工程为例,采用钻孔护坡桩加预应力锚索的支护方案,有效解决了软土基坑支护中流砂控制难题。刘合寨等^[9]针对软土地区深基坑支护的特点,介绍了大面积不规则深基坑支护的重难点,并指出控制基坑变形的关键在于合理布置支撑体系。付宪章等^[10]通过研究软土深基坑施工的力学特性,采用钻孔灌注桩+大直径预应力锚索的支护方案,有效控制了基坑

及周边建(构)筑物的沉降。李夕林等^[11]采用地下连续墙加多道内支撑的方法,在城市核心区环境保护要求较高的情况下,严格控制了周边环境的变形沉降。

上述研究从不同方面研究了复杂条件下软土基坑的支护设计方法。本研究以上海市某工作井基坑工程为例,分析该工程难点及应对措施,采用地下连续墙加高压旋喷桩加内支撑的支护方案,采用 Plaxis 有限元软件对基坑开挖进行模拟,并结合监测数据验证支护方案的可靠性,对类似工程具有一定的借鉴意义。

1 工程概况

1.1 基坑工程概况

该项目工作井位于中春路以东的蒲汇塘(现状河道)南侧,为盾构接收井。基坑呈长方形,开挖宽度约 15~25 m,开挖深度约 28 m。基坑周边环境较为复杂,北侧紧邻蒲汇塘河道,周边存在既有住宅、桥梁和驳岸结构,具体见表 1、图 1。

表 1 基坑周边环境情况说明

方位	周边环境情况
基坑 北侧	沿东西走向蒲汇塘(现状河道),河道驳岸结构最近距离工作井基坑约 10.6 m,驳岸为复式断面,桩基采用两排 C30 钢筋混凝土预制方桩,均为 250 mm×250 mm×7 500 mm,桩间距 1 m,桩尖标高 -6.3 m
基坑 南侧	1 倍基坑深度范围以内为七宝镇 373 西地块项目,工作井距离该项目两层地下室最近约 15.6 m,基础型式为 PHC400 桩基础,桩长 25 m
基坑 东侧	3 倍基坑深度范围以内分别有一座水清年华臻景观桥及水清年华臻景观 11 层住宅,距离分别为 56.3 m、63.2 m
基坑 西侧	宝虹中心 2 层结构,距离基坑边约 38.3 m。此外,西侧中春路既有管线已全面进行迁排

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 宗军良(1980—),男,博士,高级工程师,主要从事市政道路工程技术管理工作。

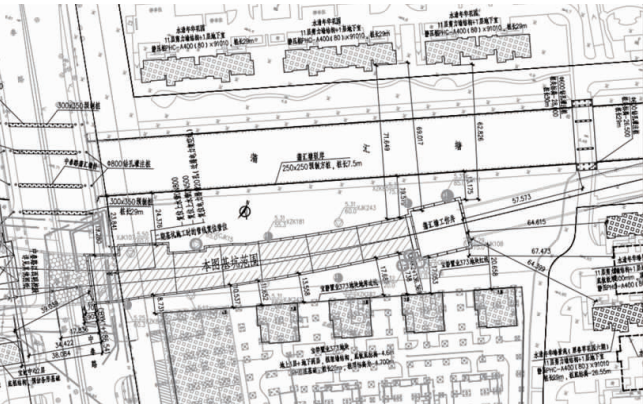


图 1 穿越房屋平面布置图

1.2 工程地质与水文地质条件

工程沿线属于滨海平原地貌类型,场地总体平坦,标高在 5.2~5.4m 左右。根据工程勘察结果,场地深度 85m 以内分布的土层自上而下可划分为九大层和若干亚层,其中①₁₁层为杂填土,②₁层~⑤₁层为全新世 Q₄ 沉积层,⑥层~⑨层为晚更新世 Q₃ 沉积层。各土层空间分布及主要特性见表 2。

表 2 土层参数一览表

层序	土层名称	重度 / (kN·m ⁻³)	剪切强度(固快)		静力触探 P _s /MPa	地基承载力特 征值 F _d /kPa
			C _k / kPa	φ _k /(°)		
② ₁	褐黄~灰黄色粉质黏土	18.7	18.9	17.6	0.958	80
② _{3A}	灰色黏质粉土	18.2	5.0	28.0	1.335	100
③	灰色淤泥质粉质黏土	17.6	11.9	16.2	0.626	55
④	灰色淤泥质黏土	17.0	10.5	11.1	0.661	55
⑤ ₁	灰色粉质黏土	17.9	14.2	14.9	0.961	70
⑥	暗绿~灰黄色粉质黏土	19.7	49.6	17.2	2.81	180
⑦ ₁	草黄~灰黄色砂质粉土	19.5	3.8	30.5	8.619	180
⑦ ₂	灰黄~灰色粉细砂	20.4	4.1	33.8	14.25	200
⑧ ₁	灰色粉质黏土夹粉砂	18.9	38.3	15.7	1.950	220
⑧ _{1IT}	灰色粉质黏土与粉砂互层	19.7	2.1	20.4	12.85	220
⑨	灰色粉细砂	19.4	0.6	36.1	13.98	240

本工程地下水主要包括潜水和承压水。其中,地下潜水赋存于浅部土层中,水位埋深为 2.1~2.3 m (高程 3.15~2.93 m),受潮汐、降水量、季节、气候等因素的影响而变化。承压水赋存于⑦层、⑧_{1IT}层、⑨层,之间相互连通。

1.3 工程难点与应对措施

(1) 管线保护

工程难点:根据物探报告基坑范围内存在既有市政管线,基坑开挖之前大部分管线废除,部分 1 倍基坑深度范围内中春路南北走向管线须改迁。

解决思路:严格按管线变形保护要求选择合理的基坑围护体系,并在施工期间做好管线的位移监测,确保将基坑和周边管线的变形均在控制范围内。

(2) 建(构)筑物保护

工程难点:根据物探报告,邻近基坑范围周边存在既有住宅、桥梁及驳岸结构,基坑开挖施工过程中环境保护要求较高。

解决思路:严格按建(构)筑物变形保护要求选择合理的基坑围护体系,严格控制基坑与周边沉降变形,并在施工期间做好围护结构位移监测。

(3) 地下水控制

工程难点:拟建场地存在⑦层、⑧_{1IT}层和⑨层的承压水层(相互连通),在基坑开挖过程中,可能存在坑底承压水突涌等风险。

解决思路:开挖深度 14 m 以上的基坑,对⑦承压水层采取降承压水措施;施工期间设置水位观察井,严格监测施工期间的水位。

2 基坑支护方案

根据基坑安全等级和环境保护等级,结合工程范围内地质条件和上海地区成熟的施工经验,综合考虑施工周期、经济性和技术可行性,合理选择基坑围护和支撑方案。

2.1 支护体系

为了确保基坑围护体系的稳定,本工程选用整体性好、刚度大、受力好、对控制位移有较大作用的内支撑体系:工作井基坑采用 5 道钢筋混凝土支撑。首道支撑尺寸 800 mm×800 mm,其余混凝土支撑尺寸分别采用 1 000 mm×1 000 mm、1300 mm×1 200 mm。钢格构柱整体截面尺寸 610 mm×610 mm,采用 4L200×20 角钢拼接,560×400×14@600 方形缀板焊接,格构柱插入立柱桩 3.0 m;立柱桩采用 φ1 000 钻孔灌注桩,格构柱在穿越结构底板范围内需设置止水片。

由于本工程工作井基坑坑底位于⑥层粉质黏土层,为提高坑底被动区土压力,减少基坑侧壁变形和坑底隆起,工作井区段采用 φ1 000@700 高压旋喷桩加固,加固深度为每道钢筋混凝土支撑下 2.5 m。典

型支护剖面图如图 2 所示。

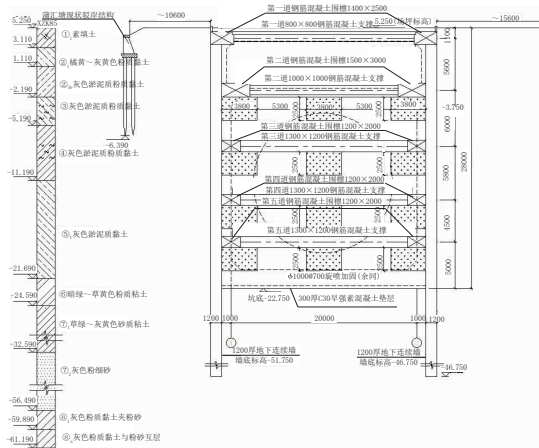


图 2 盾构姿态实时监控方案示意图

2.2 基坑降水和排水

根据地质勘察报告，基坑范围内存在相互连通的⑦₁、⑦₂承压含水层，且由于基坑开挖较深，导致基坑范围抗承压水突涌稳定性要求在基坑施工期间均无法满足，故基坑施工期间需长期大量抽降承压水。为了减小降承压水对周边环境的影响，本工程采取“止降结合”的技术对策，增大承压水的流通路径。

基坑内外设置集水明排系统，主要包括排水明沟和集水井，使雨水和污水可及时排出基坑。排水明沟设置于坡顶周围，坑内设置临时排水沟和集水井。主要排水路径为：先将坑内积水及井点降水排至集水井，再使用潜水泵将集水井中的水排至排水明沟，经沉淀后排入周边道路的排水系统中。为不使实际开挖深度增加，坑内排水系统排水沟距离围护结构至少 2 m。

3 数值模拟分析

综合考虑基坑开挖深度及周边建(构)筑物距离，选取基坑各区段典型断面，采用 Plaxis 有限元软件模拟计算工作井基坑开挖对蒲汇塘驳岸结构和宝静置业房屋的影响。

本次基坑开挖对周边环境的影响分析采用平面应变分析模型。本次分析模型主要包含土体、围护体系、支撑体系、隧道结构等，水平方向为 X 向，竖直方向为 Y 方向。水平方向按照实际的基坑尺寸建模，模型两侧考虑一定的开挖影响范围，水平方向总长取 160 m。竖直方向综合考虑围护结构的设计长度，取地表以下 55 m。基坑两侧边界施加 X 向位移约束，基坑底边界施加 X、Y 向约束。采用三角形单元模拟土体，采用梁单元模拟围护体系、支撑体系和主体结构。土体本构模型采用小应变硬化土(HSS)模型。该

弹塑性模型能考虑软黏土硬化特征，能区分加荷和卸荷的区别、其刚度依赖于应力历史和应力路径，能反映土体在小应变时的变形特征，主要参数见表 2。围护体系和主体结构采用线弹性模型。

3.1 蒲汇塘驳岸结构影响分析

本段基坑周边主要构筑物为工作井北侧蒲汇塘现状驳岸结构，最近距离约 10.6 m；工作井基坑开挖深度 28 m，外包尺寸长 25.4 m、宽 24.4 m。采用 1 200 mm 厚地下连续墙及 5 道钢筋混凝土支撑型式。

图 3 为工作井基坑开挖对驳岸结构影响的典型断面计算模型，按照实际施工工况进行模拟。

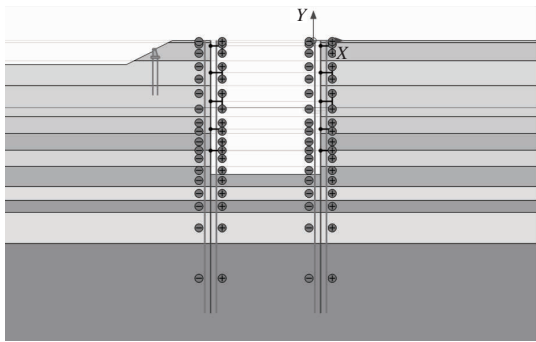


图 3 驳岸结构影响计算模型

土体与驳岸结构位移如图 4 所示。分析结果表明，基坑邻近驳岸竖向位移最大水平侧移 2.2 mm，沉降 6.5 mm(基坑开挖)+3 mm(降水引起)，小于 10 mm，满足驳岸结构沉降控制要求。

3.2 宝静置业房屋影响分析

图 5 为工作井基坑开挖对邻近建筑影响的典型断面计算模型，选取最不利位置进行分析，基坑距离宝静置业结构最近 15.6 m，基坑开挖深度 28 m。

土体与邻近宝静置业位移如图 6 所示。分析结果表明，基坑邻近宝静置业房屋结构竖向最大水平侧移 12.4 mm；沉降 12.3 mm(基坑开挖)+2.5 mm(降水引起)，小于 20 mm；倾斜 0.68‰，小于 1‰，满足建(构)筑物沉降与倾斜控制要求。

4 基坑监测数据分析

为实时掌握基坑各组成部分的变形和周围环境的变形情况，减少基坑开挖对周边环境的影响，需要对基坑开挖全过程实施监测。主要的监测内容包括围护桩墙顶的水平位移和竖向位移、围护墙桩的深层水平位移、支撑立柱沉降、周边建(构)筑物沉降。

根据现场基坑监测结果，基坑东侧宝静置业的最大沉降约为 5.7 mm，驳岸最大沉降约为 4.2 mm，均满足结构控制要求。

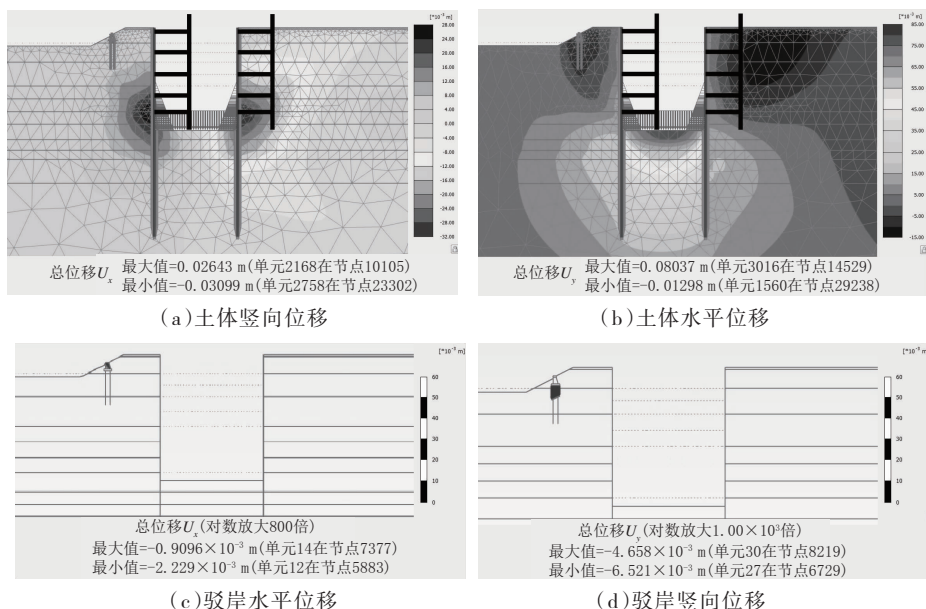


图4 土体与驳岸结构位移

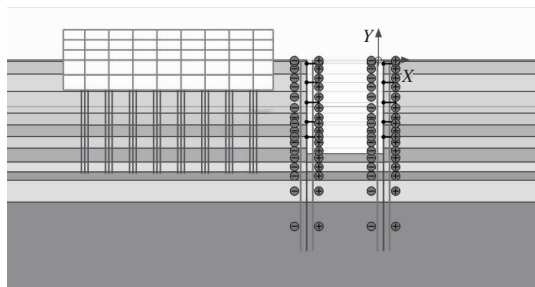


图5 邻近建筑影响计算模型

图7显示了变形趋于稳定后基坑典型剖面水平位移监测结果。从中可以看出,基坑南侧、北侧最大水平位移约45 mm,东侧最大水平位移约23 mm,满足规范要求。东侧基坑变形较小是由于基坑西侧与明挖段连接,刚度相对较高,对变形有一定的限制。由此可见,采用地下连续墙加高压旋喷桩加内支撑的支护方法使本工程具有良好的可靠度。

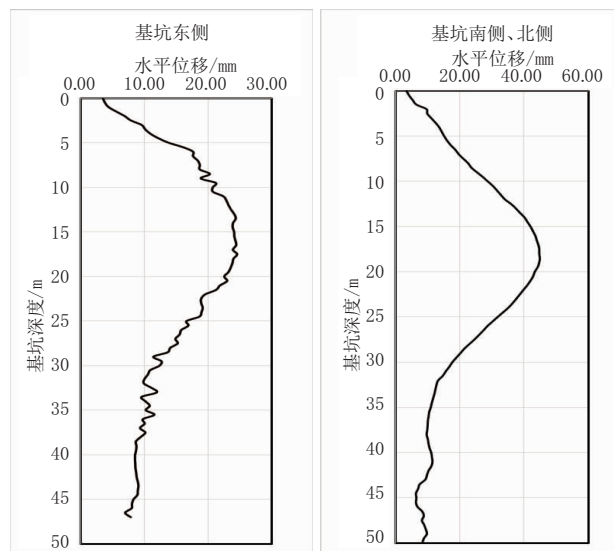


图7 基坑典型剖面水平位移图

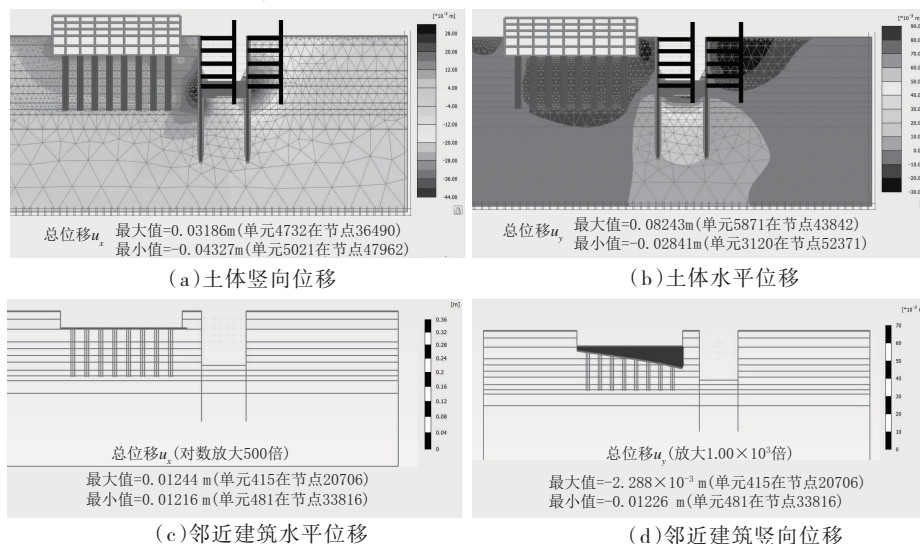


图6 土体与邻近建筑位移

5 结 论

本研究以上海市蒲汇塘工作井基坑工程为例,分析该工程难点与应对措施,采用地下连续墙加高压旋喷桩加内支撑的支护方案,采用 Plaxis 有限元软件对基坑开挖进行模拟,并结合监测数据验证支护方案的可靠性。主要结论如下:

(1)对于基坑较深、周边环境要求较高的基坑,选取地下连续墙加围护桩加内支撑或其他类似基坑围护方案是一个合适的选择。

(2)采取“止降结合”的技术对策,增大承压水的流通路径,可有效减小承压水降水对周围环境的影响。

(3)采用数值模拟和监测数据对基坑围护体系可靠性进行验证,可为类似工程提供参考。

参考文献:

[1] 王笃礼,匡健,沈宇鹏.临近建筑物的基坑支护结构体系设计研究[J].岩土工程技术,2017,31(4):173-179.

[2] 张戈,毛海和.软土地区深基坑围护结构综合刚度研究[J].岩土力学,2016,37(5):1467-1474.
[3] 罗战友,刘薇,夏建中.基坑内土体加固对围护结构变形的影响分析[J].岩土工程学报,2006(S1):1538-1540.
[4] 殷一弘.深厚软土地层紧邻地铁深大基坑分区设计与实践[J].岩土工程学报,2019,41(S1):129-132.
[5] 王海成,刘秀珍,张龙.复杂环境下软土基坑支护设计实践与分析[J].岩土工程技术,2022,36(2):160-164.
[6] 王海成,王卫,张龙.某软土基坑支护设计实践与分析[J].土工基础,2022,36(2):168-172.
[7] 居晨,李俊才,周小俊.深厚饱和软土区基坑支护设计与监测成果分析[J].建筑科学,2012,28(3):107-110.
[8] 吴旭君,郑平,赵伟,等.滨海地区软土地层超深基坑支护设计实例[J].岩土工程学报,2010,32(S1):388-391.
[9] 刘合寨,周元,尤波.软土地区大面积不规则深基坑支护设计实践与分析[J].岩土工程技术,2018,32(4):212-217.
[10] 付宪章,武登辉,赵庆亮,等.滨海软土地区深基坑支护设计与施工[J].施工技术,2020,49(17):75-79.
[11] 李夕林,魏祥,梁志荣.软土地区深基坑变形控制设计实践与分析[J].岩土工程学报,2014,36(S1):160-164.

(上接第 237 页)

响盾构管片上浮的因素很多,本文未能考虑完全,而这些都将在以后的研究工作中进一步完善。

参考文献:

[1] GB 50299—1999,地下铁道工程施工验收规范[S].
[2] 沈征难.盾构掘进过程中隧道管片上浮原因分析及控制[J].现代隧道技术,2004,41(6):51-56.

[3] 王才庆.盾构施工壁后注浆 C_S 浆液的研制与应用[J].市政技术,2006,24(3):163-167.
[4] 范钦珊.理论力学[M].北京:高等教育出版社,2000.
[5] 谷超豪,李大潜,陈恕行,等.数学物理方程[M].北京:高等教育出版社,2002.
[6] 张强.盾构隧道通缝拼装管片的上浮和错台研究[D].上海:上海交通大学,2007.