

软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术研究

王艳华¹, 张明义²

1. 武汉建工富强置业有限公司, 湖北 武汉 430100

2. 武汉市勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 433022

摘要: 本文通过探讨软土地基条件下, 临近地铁车站的深基坑开挖与支护技术, 旨在为类似工程提供技术参考和借鉴。文章以新建居住、商业、公园绿地项目(崇仁路023号地块项目)B、C地块建设项目为例, 详细介绍了软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术施工流程。分析发现, 通过精确的地质勘察、科学合理的支护结构设计、严格的施工过程控制以及细致的验收与交付管理, 可以有效应对软土地基带来的挑战, 确保深基坑开挖与支护工程的安全、高效、顺利进行。

关键词: 软土地基; 地铁车站; 深基坑开挖支护技术

Research on Support Technology for Deep Foundation Pit Excavation Adjacent to Subway Station in Soft Soil Foundation

Wang Yanhua¹, Zhang Mingyi²

1. Wuhan JianGong Fuqiang Real Estate Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430100

2. Wuhan Surveying and Designing Consultants Co., Ltd. Wuhan, Hubei 433022

Abstract: This paper explores the excavation and support technology for deep foundation pits adjacent to subway stations in soft soil foundations, aiming to provide technical reference and guidance for similar projects. Taking the construction project of Blocks B and C of the newly built residential, commercial, and park greenbelt project (Chongren Road 023 plot project) as an example, the paper introduces the construction process of the support technology for deep foundation pit excavation adjacent to the subway station in detail. Through precise geological surveys, scientific and reasonable support structure design, strict construction process control, and meticulous acceptance and delivery management, it is found that the challenges brought by soft soil foundations can be effectively addressed, ensuring the safety, efficiency, and smooth progress of deep foundation pit excavation and support projects.

Keywords: soft soil foundation; subway station; deep foundation pit excavation and support technology

引言

随着城市化进程的加速, 地铁作为缓解城市交通压力、提升城市运行效率的重要基础设施, 其建设需求日益增长。然而, 在地铁车站建设过程中, 常常面临软土地基这一复杂地质条件, 尤其是在临近既有地铁线路或建筑物的区域, 深基坑开挖与支护技术成为施工中的关键技术难题。软土地基具有压缩性高、承载力低、透水性差等特点, 给深基坑开挖带来了较大的技术挑战和安全风险。因此, 深入研究软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术, 对于确保地铁车站施工安全、控制周边环境的影响、提高工程质量和效率具有重要意义。

一、工程概况

新建居住、商业、公园绿地项目(崇仁路023号地块项目)B、C地块建设项目位于硚口区崇仁路西侧, 京汉大道轨道交通1号线南侧。拟建场地基本为拆迁后空地, 整体地形较为平坦, 场地表层填土有一定厚度。场地地貌单元属长江冲积一级阶地。总建筑面积约269753.96m², 其中地上建筑面积约211097.08m², 地下建筑面积约58656.88m², 地上最高为40层, 建筑高度为124.35m, 地下整体设置2层地下室。决定基坑面积约

为35000m², 周长约860m, 整体近似矩形。基坑整体两层地下室。场地平整标高为23.40—24.20m, 两层地下室开挖深度8.90—10.55m。

二、软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术施工流程

(一) 施工准备

施工准备阶段, 进行了深入的地质勘察, 探明了地基土层的

物理力学性质，地层自上而下划分为3个单元层：第（1）单元层为填土层（Qml）；第（2）单元层为第四系全新统冲积（Q4al）一般黏性土、粉砂夹粉土、粉质黏土层及砂土层；第（3）单元层为志留系（S）粉砂质泥岩。各单元层因物理力学性质的差异又可分为不同的亚层。基于勘察结果，设计团队制定了详细的施工图纸，明确了基坑开挖面积35000m²。同时，施工团队进行了全面的技术交底，准备好施工设备与材料。现场布置方面，合理规划了施工道路、临时排水系统、施工用电与用水线路，并设置了必要的施工标识与警示标志^[1]。

（二）基坑开挖

进入基坑开挖阶段，严格按照施工图纸与施工方案进行作业。首先，采用分层开挖的方式，每层开挖深度控制在2m左右，以确保基坑边坡的稳定性。开挖过程中，配备足够的挖掘机进行协同作业，每层土方开挖完成后，立即进行支护结构的安装。在开挖过程中，加强基坑变形监测与预警机制。通过布置监测点，实时监测支护结构位移、周边建筑沉降及地下管线变形等情况，一旦发现异常立即采取措施处理^[2]。此外，注重施工安全与环保管理，严格遵守操作规程，采取有效措施减少施工对周边环境的影响。

基坑开挖至设计底标高后，首要任务是进行基坑底部的精细化处理，为后续主体结构施工奠定坚实基础。要采用挖掘机与人工相结合的方式，彻底清除基坑底部的积土、碎石、杂物及积水，确保基底干净无杂物。随后，使用平板振动器或人工方式进行整平，使基底平整度达到±20mm以内^[3]。再根据地质勘察报告，对基坑底部进行地质复核，确认土层分布、地下水位及岩土物理力学性质与设计相符。如有异常，需及时上报并调整施工方案。针对软土地基，可能需要进行地基加固处理，如换填、深层搅拌桩、注浆加固等^[4]。加固措施的选择需根据地质条件、周边环境及设计要求综合确定，确保加固效果满足承载力和稳定性要求。

（三）基坑支护方案选型

在软土地基上临近地铁车站进行深基坑开挖时，支护方案的选型是确保施工安全与稳定的关键步骤。目前，基坑可选用的支护类型有如下两种^[5]（表1）。

表1 基坑支护方案选型

支护方式或结构	支挡构件或护坡方法	适用条件
内支撑式（单层或多层）	排桩加型钢或钢筋混凝土支撑，包括各种水平撑（对顶撑、角撑、桁架式支撑），竖向斜撑；能承受支撑点集中力的冠梁或围檩；能限制水平撑变位的立柱。	适用于深度较深；支护变形较小，开挖及出土不便，总工期较长。
双排钻孔灌注桩	两排排桩结合桩间土加固，适用于支护空间宽松，满足桩顶放坡距离。	可用于多层地下室的超深基坑，单独使用时造价较高，宜配合逆作法施工使用

在软土地基条件下，为确保临近地铁车站的深基坑开挖安全与稳定，选择了双排钻孔灌注桩+1道钢筋混凝土支撑的支护方式，桩后采用三轴搅拌桩为止水止淤措施。首先，通过详尽的地质勘察，明确地基土层的物理力学性质及地下水位，为支护设计

提供基础数据。设计团队据此制定了详细的施工图纸。正式施工时，遵循“先支护后开挖”的原则，钻机按照设计图纸的布孔位置进行精确钻孔，钻孔过程中严格控制孔深、孔径及垂直度，确保符合设计要求。钻孔完成后，进行清孔处理，确保孔内无残渣。随后，下放钢筋笼并进行固定，钢筋笼的加工与安装需严格按照设计图纸与施工规范进行，确保钢筋的规格、数量、间距及焊接质量等满足要求。最后，进行混凝土的灌注作业，采用商品混凝土或现场搅拌混凝土，严格控制混凝土配合比、坍落度等性能指标。浇筑过程中，采用分层浇筑、振捣密实的方法，确保混凝土内部无空洞、裂缝等缺陷^[6]。浇筑完成后，及时进行养护，确保混凝土强度达到设计要求^[7]。

（四）围护结构设计

1. 支护桩设计

支护桩作为围护结构的主要承载部分，其设计需充分考虑软土地基的特性和基坑开挖的深度。本工程采用钻孔灌注桩作为支护桩。桩身混凝土强度等级采用C30，主筋HRB400，并加入适量的抗渗剂以提高抗渗性能。桩长根据地质勘察结果确定，需穿透软土层进入稳定岩层，一般深度约为开挖深度的1.2倍（即约30m）。施工时，采用旋挖钻机进行成孔作业，严格控制孔深、孔径及垂直度，确保成孔质量。成孔后，及时下放钢筋笼并安装注浆管，随后进行混凝土灌注，采用导管法自下而上连续灌注，确保混凝土振捣密实、无气泡^[8]。

2. 冠梁设计

冠梁作为连接支护桩的重要构件，能够有效增强支护结构的整体性和稳定性。冠梁宽度为支护桩直径向外扩0.1m；区段AB段冠梁（GL-1）尺寸为1000×800mm，AB1-1、BC、CC1、C3D、C3D3-3、DD1、EF、EF4-4、FG、GH、KA（GL-2）段冠梁尺寸为1100×800mm，BC2-2、C1C2、C2C3、D1E、GH5-5、HI、IJ、JK、JK6-6（GL-3）段冠梁尺寸为1200×800mm，支护桩桩顶伸入冠梁100mm，主筋锚入冠梁不小于30d。冠梁施工时，需先对支护桩顶进行凿毛处理，露出新拌混凝土面，并清理桩顶浮浆及杂物。随后，按照设计要求绑扎冠梁钢筋，安装模板并浇筑混凝土。浇筑过程中，应加强振捣，确保混凝土与支护桩顶紧密结合。

3. 浅部边坡支护设计

针对软土地基的特殊性，浅部边坡的支护尤为重要。本工程中，结合场地地层和周边环境条件，浅部边坡高度1.0—1.8m，采用网喷支护。混凝土模板厚度80mm，钢筋网采用HPB300φ6.5@250×250，喷射混凝土强度等级为C20；采用P.O.42.5级普通硅酸盐水泥，水灰比0.45~0.5，施工配合比为水泥：砂：石子=1:2:2。

4. 桩侧保护设计

为防止基坑开挖过程中支护桩侧土压力过大导致桩身受损，需对桩侧进行有效保护。本工程支护桩侧壁采用挂钢板网喷射混凝土保护桩间土，钢板网采用膨胀螺栓固定于支护桩上，钢筋网采用HPB300φ6.5@250×250，喷射混凝土强度为C20；厚度80mm，采用P.O.42.5级水泥。

(五) 支撑系统设计

1. 支撑设计

支撑设计需根据基坑开挖深度、地质条件、周边环境及地铁车站保护要求综合确定。本工程采用排桩+1道混凝土支撑体系(表2),以有效控制基坑变形。支撑系统设计时,利用专业的结构分析软件进行模拟计算,确保支撑体系的刚度和强度满足要求。同时,考虑施工过程中的动态调整,预留足够的调节空间。

表2 支撑设计

支撑类型	对撑	角撑	次梁
支撑编号	ZC-1	ZC-2	ZC-3
截面(宽×高)mm	1100×800	900×800	600×600
轴力标准值kN	7146	5621	1664
弯矩标准值kN·m	150	143	16
剪力标准值kN	17	29	16

2. 竖向支撑体系

竖向支撑体系是支撑系统的关键组成部分,负责将水平支撑传递的荷载分散至深层土体。本工程采用临时钢立柱及柱下钻孔灌注桩作为水平支撑体系的竖向支承构件。普通钢立柱采用4L160×16角钢格构柱,其截面为460×460,立柱桩长19m,桩径 ϕ 900,钢材牌号Q355B。钢立柱插入作为立柱桩的钻孔灌注桩中不少于3m,且穿越底板的范围内需设置止水片。

3. 换撑设计

随着地下主体结构施工的逐步推进,需对原有支撑体系进行换撑,以确保主体结构施工安全。换撑设计需结合主体结构施工进度和基坑变形监测数据,采用逐步替换的方式进行。本工程BC地块采用肥槽同底板砼标号的素砼回填至底板标高处,对底板后浇带采用H400×400×13×21,间距4.0m,牌号Q355B的H型钢换撑。

4. 坑中坑设计

对于基坑内的电梯井、集水井等“坑中坑”区域,需进行专门的支护设计。本工程采用“坑中坑”内增设水平支撑和竖向支撑的方式,形成独立的支护体系。水平支撑采用与主基坑相同的钢支撑形式,但支撑间距适当加密至2m。竖向支撑则根据“坑中坑”深度另行设计钻孔灌注桩或型钢支撑。同时,为防止“坑中坑”开挖过程中的涌水与坍塌问题,采用压力注浆法加固坑底土体,注浆压力0.2MPa-1.0MPa,水灰比0.8:1-1:1。注浆时需严格按照施工顺序进行,先施工边缘帷幕孔再施工加固孔,确保注浆效果。

(六) 基坑监测与调整

在软土地基环境下,进行地铁车站深基坑开挖与支护施工时,基坑监测与应急措施是确保施工安全、预防地质灾害的重要环节^[9]。要在支护结构上每2—3m设置一组监测点,基坑周边土体根据地形和地质条件每10—15米设置一个监测点,地下水位监测井间隔20—30m设置,周边建筑物每栋至少设置4个沉降观测点。开挖初期每日监测1次,随着开挖深度增加或监测数据出现异常时,加密至每4小时监测1次,直至基坑回填完毕。进行监测时,要使用高精度全站仪、水准仪、测斜仪、水位计等设备,按照监测方案进行连续监测,记录监测数据。再对监测数据进行及

时处理和分析,绘制监测结果曲线图,评估基坑及支护结构的稳定性。

(七) 竣工验收

主体结构施工完成后,需经过严格的验收程序,确保工程质量符合设计要求及相关规范标准,方可进行交付使用^[10]。要按照施工顺序和工程特点,对基坑开挖、支护结构、主体结构等各部分分项工程进行验收。验收内容包括工程实体质量、施工资料及安全文明施工等方面。验收合格后,方可进行下一道工序施工。再在所有分部分项工程验收合格的基础上,组织单位工程验收。验收工作由建设单位、监理单位、设计单位及施工单位共同参与,对工程质量进行全面评估。验收合格后,形成单位工程验收报告并签字盖章确认。单位工程验收通过后,最后进行项目竣工验收。竣工验收由建设单位组织相关部门和专家进行,对项目的整体质量、功能及安全性进行全面检查。验收合格后,办理竣工结算手续并进行项目交付使用。同时,做好项目档案资料的整理和归档工作,为后续运营管理提供依据。

三、结语

通过对软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术的全面研究,本文揭示了该技术在复杂地质条件下的施工难点与解决方案,提出了科学合理的施工流程和技术措施。展望未来,随着科技的进步和工程实践的不断积累,软土地基深基坑开挖与支护技术将不断创新与发展。通过引入新材料、新工艺、新技术,如高性能混凝土、智能化监测系统等,将进一步提升施工效率、降低施工成本、减少环境影响,为地铁车站等大型基础设施建设提供更加坚实的技术支撑。同时,加强行业交流与合作,共同推动技术标准的制定与完善,也是提升行业整体水平的重要途径。

参考文献

- [1] 文志成, 张开民. 建筑工程深基坑开挖与支护技术分析[J]. 中华建设, 2023, (03):134-136.
- [2] 杨沛基, 张军, 严鹏. 淤泥质基坑开挖支护方案设计及施工监测研究[J]. 华北科技学院学报, 2023, 20(01):47-55.
- [3] 曾彩云. 高层建筑深基坑密排桩+内支砼剪刀撑支护技术研究[J]. 江西建材, 2022, (10):211-213.
- [4] 于景志, 刘燕, 宋享桦, 等. 地铁基坑开挖对紧邻桥桩及支护结构变形的影响[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2023, 37(06):734-738+745.
- [5] 杨波, 肖凯成, 王长健. 近接高铁桥桩的深基坑不同开挖方案对比[J]. 南昌大学学报(理科版), 2023, 47(02):199-204.
- [6] 张立军. 桩锚式深基坑支护技术在建筑工程中的应用[J]. 江西建材, 2023, (01):181-183.
- [7] 陈俊杰, 白少华. 超深基坑桩锚支护结构技术创新与工程实践[J]. 施工技术, 2020, 49(13):84-87.
- [8] 姚金亚. 地铁明挖车站深基坑开挖及支护技术研究[J]. 科技资讯, 2023, 21(02):46-49.
- [9] 李锦, 陆善佳, 陈祥侨. 软土地区深基坑开挖对邻近既有铁路的影响分析[J]. 土工基础, 2022, 36(05):683-687.
- [10] 田子能. 房建工程中深基坑开挖与支护施工技术的应用[J]. 大众标准化, 2022, (18):155-156+159.