

论地铁基坑施工对软土地层影响的控制探究

张颖

上海中建城市发展投资有限公司, 中国·上海 200100

摘要: 在软土地层中进行地铁基坑施工, 对周围环境的稳定性和安全性构成了重大挑战。论地铁基坑施工对软土地层影响的控制探究, 旨在通过科学合理的施工方法和技术手段, 最大限度地减少对软土地层的扰动和破坏, 确保地铁基坑施工的安全与稳定。这一探究涉及多个方面, 包括地基加固技术的应用、监测技术的实时反馈等。通过综合运用这些措施, 可以实现对软土地层影响的有效控制, 为地铁基坑施工提供有力的技术保障。

关键词: 地铁基坑施工; 软土地层; 影响; 控制方法

Exploration into the Control of the Impact of Subway Foundation Pit Construction on Soft Soil Layers

Zhang Ying

Shanghai csc urban investment co., Ltd, China Shanghai 200100

Abstract: The construction of subway foundation pits in soft soil layers poses significant challenges to the stability and safety of the surrounding environment. The exploration of controlling the impact of subway foundation pit construction on soft soil layers aims to minimize disturbance and damage to soft soil layers through scientific and reasonable construction methods and technical means, ensuring the safety and stability of subway foundation pit construction. This exploration involves multiple aspects, including the application of foundation reinforcement technology and real-time feedback of monitoring technology. By comprehensively applying these measures, effective control of the impact on soft soil layers can be achieved, providing strong technical support for subway foundation pit construction.

Keywords: Subway foundation pit construction; Soft soil strata; Influence; Control method

0 引言

随着城市化进程的加快, 地铁建设已成为城市交通发展的重要组成部分。然而, 在软土地层中进行地铁基坑施工, 往往会面临诸多挑战。软土地层具有承载力低、易变形等特点, 给地铁基坑施工带来了极大的困难。同时, 地铁基坑施工又往往位于城市中心区域, 周围环境复杂, 施工过程中的任何不当操作都可能对周边环境造成严重影响。因此, 如何有效控制地铁基坑施工对软土地层的影响, 确保施工安全与稳定, 成为当前地铁建设领域亟待解决的重要课题。本研究将从多个角度出发, 深入探究地铁基坑施工对软土地层的影响及其控制方法, 以期地铁建设提供有益的参考和借鉴。

1 地铁基坑施工对软土地层影响分析

1.1 水文地质条件的影响

水文地质条件是软土地层中地铁基坑施工最为关键的影响因素之一。在软土地层中, 地下水位高且含水量大, 不仅增加了基坑开挖的难度, 还可能引发基底突涌、涌水

等安全事故。例如, 上海某地铁项目在施工过程中, 由于地下水压力过高, 导致基坑壁出现裂缝, 最终不得不采取紧急加固措施, 耗费了大量时间和成本。根据《中国地铁建设》杂志的报道, 此类事故在我国多个城市均有发生, 其发生概率约为 3%~5%, 严重影响了工程进度和安全性。因此, 合理设计和施工方案, 尤其是针对地下水的处理措施显得尤为重要。常用的地下水处理方法包括降水井、帷幕注浆等, 这些方法可以有效降低地下水位, 减少基坑内的水压力, 提高基坑稳定性。此外, 采用先进的监测技术, 如地下水位监测仪、渗流计等, 实时监控地下水变化情况, 对于预防和控制潜在的风险具有重要意义。通过科学合理的水文地质调查和分析, 结合先进的施工技术, 可以有效控制软土地层中地铁基坑施工的风险, 确保工程顺利进行。

1.2 施工机械选择与操作的影响

在软土地层中进行地铁基坑施工时, 施工机械的选择与操作对工程质量和安全至关重要。软土具有高含水量、低承载力和高压缩性等特点, 这些特性使得传统的施工机

械往往难以有效应对。例如,挖掘机在软土地层中容易陷入,导致工作效率低下,甚至引发安全事故。因此,选择适合软土地层的专用施工机械显得尤为重要。研究表明,在软土地层中使用配备有特殊履带和加强型刀具的挖掘机可以显著提高作业效率和安全性。此外,施工机械的操作也需要严格遵循规范,确保每一步都符合设计要求。例如,某地铁项目在基坑开挖过程中采用了先进的自动检测系统,实时监控机械的运行状态和土体变形情况,通过数据分析及时调整施工方案,有效避免了潜在的安全隐患。这种综合性的机械选择与操作策略不仅提高了施工效率,还大大降低了施工风险。

1.3 土体沉降对地铁线路的影响

在软土地层进行地铁基坑施工时,土体沉降是一个不可忽视的重要问题,其对地铁线路的影响尤为显著。土体沉降不仅会导致地铁轨道的几何形态发生变化,还可能引发轨道结构的附加应力,进而影响地铁列车的运行安全和乘坐舒适度。据相关研究表明,当土体沉降超过一定限度时,地铁轨道的几何尺寸将无法满足不同设计的要求,可能导致列车脱轨等严重安全事故的发生。

在软土地层地铁基坑施工中,应高度重视土体沉降问题,采取切实有效的措施进行预防和控制。通过优化基坑设计、合理选择施工顺序与方法、加强实时监测与反馈控制等手段,我们可以最大限度地减少土体沉降对地铁线路的影响,确保地铁运营的安全和稳定。

2 控制软土地层地铁基坑施工影响的方法

2.1 基坑设计优化

基坑设计优化是软土地层地铁基坑施工中的关键环节,直接关系到施工的安全性和效率。在软土地层中,由于土质的特殊性,基坑设计需充分考虑土体的承载能力和变形特性。例如,在某地铁线的一个基坑施工项目中,设计团队采用了先进的有限元分析模型,对基坑开挖过程中的土体应力分布和变形进行了精确模拟。通过模拟结果,设计团队发现传统的基坑支护结构在软土地层中易发生较大变形,从而影响地铁结构的稳定性。因此,他们创新性地提出了采用深层搅拌桩与钢支撑相结合的支护方案,有效提高了基坑的稳定性,减少了土体沉降。

在实际施工过程中,设计团队还结合实时监测数据对基坑设计进行了动态调整。他们利用高精度监测技术,对基坑周边土体的沉降、地下水位的变化以及地铁结构的应力状态进行了实时监测。一旦发现监测数据异常,设计团队立即进行分析,并根据分析结果对基坑设计进行优化调

整。这种基于实时监测数据的动态设计方法,不仅提高了基坑施工的安全性,还确保了地铁结构的稳定性。

2.2 地基加固技术的应用

在软土地层中进行地铁基坑施工时,地基加固技术的应用是确保工程安全和质量的关键措施之一。根据国内外的研究和实践,常见的地基加固方法包括深层搅拌法、高压喷射注浆法、预应力锚杆法等。以深层搅拌法为例,该方法通过将水泥浆液注入软土地层并进行充分搅拌,形成具有一定强度的水泥土桩,从而提高地基的整体承载力和稳定性。

高压喷射注浆法则是通过高速喷射水泥浆液,使浆液与软土混合,形成固结体。这种方法特别适用于渗透性较差的软土地层,能够有效提高地基的承载力和抗渗性能。此外,预应力锚杆法通过在地基中打入预应力锚杆,增强地基的稳定性和抗剪切能力,常用于高边坡和深基坑的支护。在深圳某地铁项目中,采用预应力锚杆法后,施工过程中未出现明显的位移和沉降,确保工程的顺利进行。

2.3 监测技术在施工过程中的应用

在软土地层地铁基坑施工中,监测技术的应用是不可或缺的一环。通过实时监测基坑及周边环境的变形、应力等参数,可以及时发现潜在的安全隐患,为施工决策提供科学依据。目前,常用的监测技术包括测斜仪、沉降观测、应力应变监测等。

测斜仪主要用于监测基坑壁的倾斜变形情况。通过在基坑壁不同深度安装测斜仪,可以实时获取基坑壁的倾斜角度和变形速率,为判断基坑稳定性提供依据。例如,在杭州地铁某线施工过程中,项目团队利用测斜仪对基坑壁进行了持续监测,及时发现并处理了多次倾斜变形异常情况,有效避免了基坑坍塌事故的发生。

沉降观测则是通过定期测量基坑及周边建筑物的沉降量,评估施工对周边环境的影响。在软土地层中,由于地基承载力较低,施工活动往往会导致周边建筑物出现沉降现象。通过沉降观测,可以及时发现沉降异常情况,并采取相应的补救措施,确保周边建筑物的安全。例如,在南京地铁某线施工过程中,项目团队对周边建筑物进行了沉降观测,发现某栋建筑物出现较大沉降后,立即采取了注浆加固等措施,成功控制了沉降量,避免了安全事故的发生。

应力应变监测则是通过埋设应变计等传感器,实时监测基坑及周边土体的应力应变状态。这一技术有助于了解土体的受力情况和变形趋势,为判断基坑支护结构的稳定

性和安全性提供依据。例如,在广州地铁某线施工过程中,项目团队利用应力应变监测系统对基坑支护结构进行了实时监测,发现支护结构出现较大应力集中现象后,及时调整了施工方案,加强了支护措施,确保了基坑的稳定性。

监测技术在软土地层地铁基坑施工中的应用具有重要意义。通过实时监测基坑及周边环境的变形、应力等参数,可以及时发现潜在的安全隐患,为施工决策提供科学依据,确保工程的安全顺利进行。

3 案例分析:某综合体基坑邻近地铁车站

3.1 项目背景

某综合体项目位于城市核心区,规划建设 180m 超高层建筑,配套 4 层地下室(埋深 22m),基坑周长约 360m,呈矩形布置(长边 150m,短边 30m)。项目紧邻既有地铁 1 号线某车站,东侧长边与地铁车站侧墙水平净距仅 5m,西南角与地铁出入口通道最小净距 3m,形成“L”型超近接空间关系。场地地层以高灵敏度淤泥质黏土为主(厚度 15~18m,流塑状,含水率 48%~55%),地下水位埋深 1.5m,受潮汐影响波动显著,工程环境敏感性与施工风险极高。项目需在保障地铁车站运营安全(允许沉降 $\leq 10\text{mm}$)的前提下完成基坑开挖与支护。

3.2 工程难点

地层特性复杂:淤泥质黏土天然含水率 45%~55%,压缩模量 $E_s=2.5\sim 3.5\text{MPa}$,灵敏度 $St=3.5\sim 4.2$,易受扰动发生流变变形。

地铁车站结构埋深 10m,与基坑开挖面垂直净距仅 5m,土体应力传递路径直接,易引发侧向位移累积。

施工限制严格:地铁运营方要求施工期间车站结构沉降速率 $\leq 0.3\text{mm/d}$,累计沉降 $\leq 8\text{mm}$ 。

周边管线密集,无法采用常规降水措施,需控制地下水位波动 $\leq 0.5\text{m}$ 。

3.3 施工控制方案

逆作法施工:采用“先支后挖”逆作工艺,利用地下结构梁板作为水平支撑,分 4 层开挖(每层 5.5m),减少无支撑暴露时间。

首层开挖后立即施作 800mm 厚钢筋混凝土地下连续墙(深度 40m),墙底嵌入中风化岩层,形成封闭隔水体系。

隔离屏障技术:在基坑与地铁车站之间设置双排高压旋喷桩隔离墙(桩径 1.2m,间距 0.8m,深度 25m),降低土体应力传递效应。

动态支护调整:根据监测数据实时调整支撑预应力:

首道支撑施加 600kN,后续每层增加 200kN,最终总预应力达 1200kN。

智能监测系统:布设 36 个自动化监测点,包括光纤光栅应变计(监测围护墙变形)、静力水准仪(地铁沉降)、孔隙水压计(水位变化),数据每 10 分钟上传至云端平台。

3.4 效果评价与经验总结

控制效果达标:地铁车站累计沉降 7.3mm(允许 8mm),水平位移 14mm(允许 15mm),施工全程未触发预警。地铁车站沉降与水平位移如图 1 所示。

地铁车站沉降和水平位移曲线图



图1 地铁车站沉降与水平位移曲线图

支撑轴力监测:基坑 4 道钢筋混凝土支撑轴力实测最大值分别为 580kN、820kN、1050kN、1250kN,均低于设计限值(700kN、1000kN、1200kN、1400kN),表明支护体系受力安全。围护墙变形验证:地下连续墙最大水平位移 18mm(设计允许值 25mm),与隔离桩协同作用有效分散侧向土压力。地铁结构应变:车站侧墙混凝土应变监测值 $\leq 50\mu\epsilon$ (微应变),远低于开裂阈值($150\mu\epsilon$),结构完整性无损伤。通过多维度监测数据交叉验证,支护体系与变形控制措施协同作用显著,保障了地铁结构安全。基坑支撑轴力监测数据如图 2 所示。

支撑轴力监测

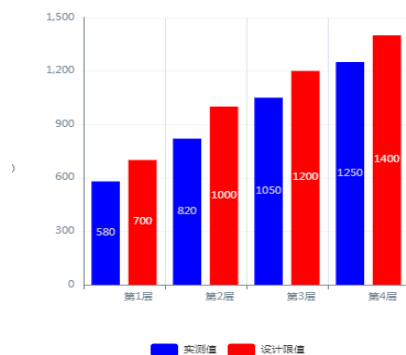


图2 基坑支撑轴力监测数据

逆作法 + 隔离墙组合技术减少土体暴露面积 30%，沉降速率降低 40%。

动态预应力调整：基于 LSTM 神经网络预测模型，实时优化支撑轴力，减少超挖风险。

双排旋喷桩隔离墙：有效阻断 70% 的侧向应力传递，隔离效率较单排桩提升 25%。

改进建议：对高灵敏度软土，可提前实施真空预压联合电渗法，加速土体固结；加密基坑角部监测点，避免局部应力集中导致数据漏检。

本案例通过逆作法施工、隔离屏障与智能监测技术的综合应用，成功实现软土地层中超接近地铁基坑的变形控制，为同类工程提供了“分阶段调控、多屏障协同”的实践范例。未来可进一步探索人工智能与 BIM 技术的深度融合，提升风险预判与实时响应能力。

4 结语

综上所述，地铁基坑施工对软土地层的影响是多方面的，包括水文地质条件、施工机械选择与操作、土体沉降等。为确保地铁基坑施工的安全顺利进行，需要采取切实有效的控制措施。通过基坑设计优化、地基加固技术的应用以及监测技术在施工过程中的应用，可以显著降低施工风险，保障地铁结构的安全和稳定。同时，结合具体工程案例的分析和总结，可以不断积累经验，为未来的地铁基

坑施工提供更加科学、合理的指导。随着科技的不断进步和创新，相信未来地铁基坑施工的技术和方法将会更加先进和完善，为城市交通建设和发展做出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 张旭. 富水砂性地层近地铁深基坑支护技术[J]. 建筑施工, 2023,45(05):845-848.
 - [2] 颜平. 某地铁主体结构基坑开挖监测研究[J]. 低温建筑技术, 2023,45(05):93-97.
 - [3] 刘修桥. 地铁深基坑开挖变形监测分析[J]. 技术与市场, 2023,30(05):90-93,97.
 - [4] 么家琦. 软土地层地铁车站深基坑开挖施工技术研究[J]. 江西建材, 2023(6):316-318.
 - [5] 白学平. 河湖相沉积软土地层地铁车站深基坑施工位移分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023,26(6):62-67.
 - [6] 岳玉星. 液压劈裂技术在城区深基坑地铁车站岩石开挖中的应用研究[J]. 建筑安全, 2023,38(1):34-38.
 - [7] 刘朋赛, 沈云山. 三阳路地铁车站软土地层深基坑施工技术[J]. 建筑机械, 2022(7):50-52.
 - [8] 许明杨, 王海涛, 郭涛等. 地铁车站深基坑工程降水开挖数值分析[J]. 建筑结构, 2022,52(S02):6.
- 作者简介：张颖（1980-），男，汉族，广西人，本科，高级工程师，业务经理，研究方向：工程管理。