



前撑式注浆钢管技术在深基坑工程中的应用

李 建, 宫 铭

(中建科技集团华东有限公司, 上海 200126)

摘要:为解决传统支撑技术在复杂地质条件下基坑支护结构稳定性不足的难题,文章以上海某软土地区某项目为工程实例,对前撑式注浆钢管桩技术在深基坑施工中的应用进行系统行剖析研究,从工程概况、施工工艺、关键技术控制要点及实际应用效果等多维度进行综合分析,深入探讨该技术在增强支护稳定性、控制基坑变形方面的具体作用,客观总结了技术实施中遇到的挑战,并提出了具有针对性的优化建议。研究表明:通过与智能化施工管理相结合,该技术能显著提升施工质量与效率,实现精细化过程控制。本文结果可为同类地质条件下的深基坑工程提供可靠的技术借鉴与实践指导。

关键词:深基坑; 前撑式注浆钢管支撑体系; 支撑结构; 工程应用

中图分类号:TU753

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)12-0063-05

doi:10.13402/j.gcjs.2025.12.152

Application of front braced grouting steel pipe technology in deep foundation pit engineering

LI Jian, GONG Ming

(China Construction Technology Group East China Co., Ltd., Shanghai 200126, China)

Abstract: In order to address the insufficient stability of traditional supporting technologies in foundation pit support structures under complex geological conditions, this paper takes a project in a soft soil area in Shanghai as an engineering case study. It conducts a systematic analysis of the application of front-support grouted steel pipe pile technology in deep foundation pit construction. Through a comprehensive analysis from multiple dimensions such as project overview, construction techniques, key technical control points, and practical application effects, the paper explores in depth the specific role of this technology in enhancing support stability and controlling foundation pit deformation. It objectively summarizes the challenges encountered during the implementation of the technology and proposes targeted optimization suggestions. The research shows that, when combined with intelligent construction management, this technology can significantly improve construction quality and efficiency, achieving precise process control. The findings of this paper can provide reliable technical references and practical guidance for deep foundation pit projects under similar geological conditions.

Key words: deep foundation pit; front-supported grouted steel pipe shoring system; support structure; engineering application

随着城市化进程的加速,城市建设中的高层建筑和大型地下工程日益增多,基坑工程的深度

收稿日期: 2020-09-05

基金项目: 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划(2023C03173)

作者简介: 李 建(1991—),男,工程师,从事超高层/装配式建筑方面的研究。

通信作者: 宫 铭(1996—),男,工程师,从事装配式建筑施工方面的工作。

和规模也随之增加。传统的支撑技术在面对复杂地质条件时,往往难以满足施工要求,容易出现变形过大、稳定性不足等问题^[1]。前撑式注浆钢管技术作为一种新型的支撑方式,凭借其独特的结构设计和施工工艺,逐渐在工程实践中得到了广泛应用。李郁滢^[1]通过优化前撑式注浆钢管支撑体系的结构设计和改进注浆工艺有效提升了支撑体系的稳定性和可靠性。汪宇峰^[2]分析了采用前撑式注浆钢管桩代替传统混凝土或钢内撑的设计方案、具体施工工艺以及工程监测数据,并指出其在应用中存在钢管支撑轴力不足和插入比过大等问题。李明^[3]通过改进其承载力检测方法和钢管穿墙工艺,通过对比分析基坑监测结果,客观评估支护体系的稳定性和对环境的保护效果。

本文以上海浦东新区的超大浅基坑项目为例,分析了采用前撑式注浆钢管桩代替传统混凝土或钢内撑的设计思路,针对传统工艺进行了系统改进,从结构设计、注浆工艺到智能化管理系统等多个方面入手,通过三维设计与结构设计优化进一步提高设计的科学性和可行性,使其在软土层和高地下水位的复杂条件下,基坑支护仍然表现出良好的稳定性,以期可为软土地区类似工程的施工提供有价值的参考。

1 工程概况

项目位于上海市奉贤区,是一个集住宅、商业、教育等功能于一体的大型综合居住区。总用地面积为 41 408.7 m²,总建筑面积为 132 984.32 m²,地上建筑面积为 94 363 m²,容积率为 2.2。地块内拟新建建筑功能主要为 12 幢 18~20 层的住宅楼、配套用房、地下车库等。由于项目地处城市边缘,地质条件复杂,基坑开挖深度较大,且地下水位较高,对基坑支护提出了较高的要求。

项目基坑总面积为 38 694 m²,周长为 813 m,基坑开挖最大深度约为 8.0 m。由于项目地质条件差异较大,部分区域存在软土层和砂土层的交替,给支护设计带来了挑战。在确保基坑的整体稳定性和安全性的前提下,还要满足项目施工进度总体要求,项目团队在多次论证和技术优化后,基坑围护结构采用双轴搅拌内插型钢的围护方案,围檩为钢筋混凝土结构,在基坑角部设置钢管角撑,基坑南侧采用前撑式注浆钢管斜撑支护方式,其余位置采用钢管斜抛撑支护方式。基坑支护平面布置如图 1 所示。

混凝土围檩截面为 1 100 mm × 700 mm。钢管斜抛撑支护采用 $\varnothing 609$ mm × 16 mm 钢管,底部设

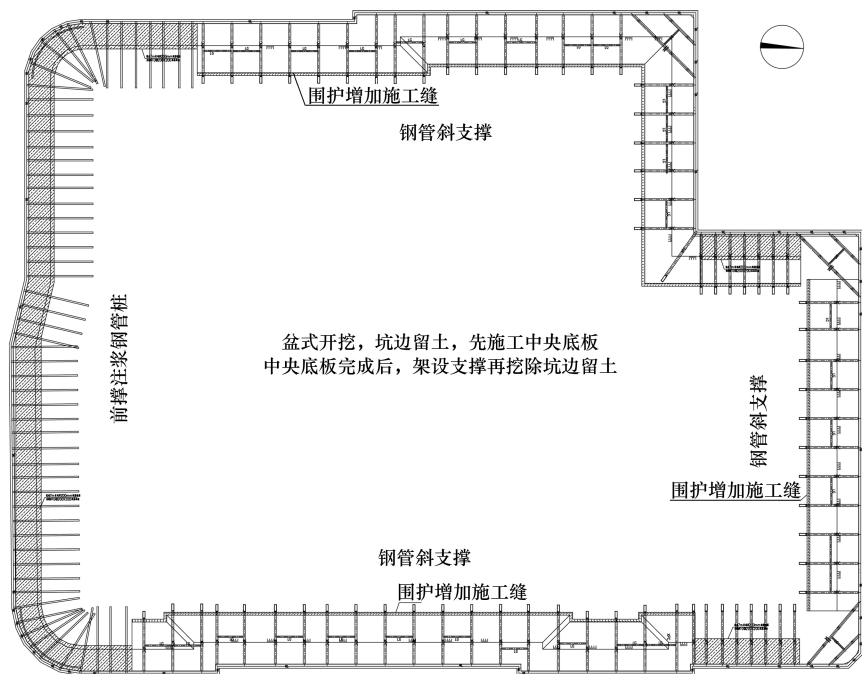


图 1 基坑支护平面布置

置混凝土牛腿。每根钢支撑应施加预应力 500 kN, 预应力分两次施加, 第一次 30%, 第二次 70%。前撑式注浆钢管斜撑支护采用 $\varnothing 325 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 钢管, 布置间距不大于 4 000 mm, 倾角角度宜为 45° 左右。前撑式注浆钢管示意如图 2 所示。

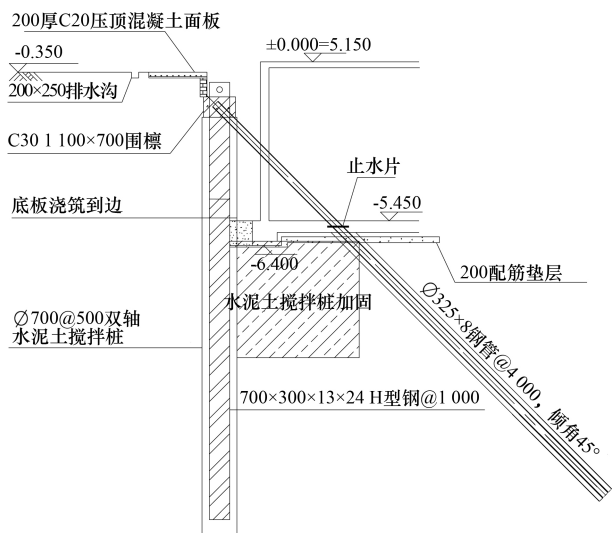


图 2 基坑围护结构示意

mm

2 施工工艺

2.1 工艺流程

前撑式注浆钢管桩支撑体系的施工流程应基于精确的工程勘察和设计, 以确保钢管桩的尺寸和布置符合地质条件和工程需求^[2]。前撑式注浆钢管桩支撑体系施工工艺流程如图 3 所示。

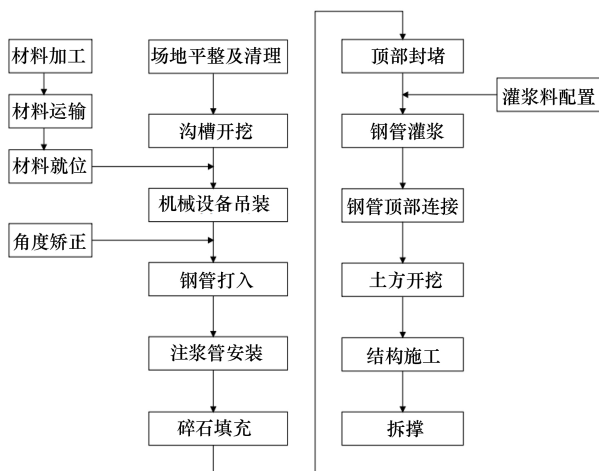


图 3 前撑式注浆钢管施工流程

2.2 施工方法

(1) 施工前, 场地必须进行彻底清理, 为施工设备和材料的进场做好准备。接下来, 利用专

业的打桩机械, 将钢管桩按照预定位置和角度精确打入地下, 直至达到设计深度。钢管桩之间通过焊接或螺栓连接形成整体结构, 以增强其整体稳定性。

(2) 在钢管桩顶部安装前撑, 形成支撑点, 并通过精确的角度设置, 为结构提供额外的稳定性。随后进行注浆准备, 选择合适的注浆材料(通常是水泥浆液), 并检查注浆设备以确保其正常运作。注浆施工是整个工艺流程的核心^[4]。施工过程中, 需要严格控制注浆的压力和注入速度, 确保注浆材料能够均匀地填充钢管周围的空隙, 提高支撑体系的整体稳定性。施工完成后, 进行必要的质量检查和验收, 包括钢管的垂直度、注浆的密实度等, 需要通过相应的检测手段确保注浆质量满足工程要求^[5]。

(3) 最后进行钢管桩的承载力测试, 以验证其是否能够承受预期的负载。整个施工过程中, 持续的监测和必要的调整是必不可少的, 以确保施工的顺利进行和最终工程质量的达标^[1]。施工完成后, 进行现场清理, 并由专业团队进行验收, 确保工程符合所有安全和质量标准。

3 关键施工技术及创新

3.1 关键施工技术

前撑式抗压注浆钢管桩技术在本项目的成功应用, 离不开施工过程中多个关键技术的创新与优化。为了确保工程质量与施工安全, 项目团队对传统工艺进行了系统改进, 从结构设计、注浆工艺到智能化管理系统等多个方面入手, 形成了一套完整且高效的施工技术体系。以下将详细介绍这些施工关键技术的具体内容及其应用效果。

(1) 精确定位: 确保钢管桩的准确位置对于整个结构的稳定性至关重要。使用先进的测量设备和技术, 确保钢管桩的垂直度和位置精度。本项目要求钢管定位偏差不大于 50 mm, 振入角度偏差不大于 1%。

(2) 钢管桩的选择与加工: 根据地质条件和设计要求选择合适的钢管材质和直径。钢管桩的加工质量直接影响到施工效果, 包括焊接质量、防腐处理等。

(3) 钢管桩的沉桩技术: 采用高效的沉桩机械, 如振动锤或液压锤, 确保钢管桩能够顺利沉入预定深度, 同时减少对周围环境的影响。

(4) 前撑的设计与安装: 前撑的设计需要考虑其与钢管桩的连接方式和承载能力。安装过程中, 确保前撑的角度和位置准确, 以提供最佳的支撑效果。

(5) 注浆材料的选择: 选择适合地质条件和工程要求的注浆材料, 如普通硅酸盐水泥浆等, 以确保注浆体的强度和稳定性。

(6) 注浆工艺的控制: 采用约束式注浆工艺, 应结合约束体位置针对性实施注浆作业, 钢管杆体沉放到位后跟进注浆。注浆过程中, 严格控制注浆压力、速度和量, 以防止过度注浆或不足注浆, 确保注浆体均匀填充并达到预期的加固效果。注浆应按约束体位置由下到上依次单独实施; 注浆最终完成的标准以单根桩水泥用量或最终注浆压力控制: 单根 $\varnothing 325$ mm 桩水泥用量不少于 7t 或最终注浆压力不小于 1.5 ~ 2 MPa; 注浆完成后钢管内填满 20 ~ 40 mm 级配碎石, 并用纯水泥浆液灌满。

(7) 实时监测与调整: 在施工过程中, 使用各种监测设备实时监测钢管桩的沉降、位移和注浆效果, 根据监测结果及时调整施工方案。

3.2 技术创新

3.2.1 结构设计改进

项目前期对前撑式抗压注浆钢管桩的结构设计进行了多项改进, 以提高施工的安全性和经济性。首先, 钢管直径与壁厚的优化设计根据基坑的不同深度和土体条件进行了调整, 以确保关键部位的支撑力, 同时减少材料浪费。其次, 对钢管接头与连接方式进行改进, 通过采用高强度螺栓连接技术和特殊设计的接头, 减少了应力集中现象, 提升了连接部位的强度和耐久性。最后, 钢管布局的三维设计与优化进一步提高了设计的科学性和可行性, 通过建立基坑的三维模型, 项目团队能够更准确地模拟钢管在不同施工阶段的受力情况, 从而提前发现并解决潜在问题。

3.2.2 注浆工艺的改进

注浆工艺的改进是前撑式抗压注浆钢管桩技术

的核心创新之一。在本项目中, 项目团队通过数值模拟和现场试验, 优化了注浆孔的布置与孔径设计。针对不同深度和土体性质, 采用不同孔径的注浆孔, 并合理调整孔间距和数量, 以确保注浆材料在土体中的均匀分布。此外, 注浆材料配方也进行了优化, 以提高其适应复杂地质条件的能力。通过这些改进, 注浆工艺不仅提升了桩体的抗压性能, 还显著提高了施工的稳定性和效率。

3.2.3 智能化管理系统的结合

随着施工技术的发展, 智能化管理系统逐渐成为提高施工质量和效率的重要工具。在本项目中, 项目团队结合了智能化施工监控系统, 实时监测注浆压力、钢管位移等关键参数, 并通过大数据分析对施工过程进行动态调整。智能化管理系统的引入不仅减少了施工误差, 还确保了结构设计和注浆工艺的优化能够得到有效实施。此外, 智能化管理系统还提供了可靠的数据支持, 为后续类似工程的优化和改进提供了依据。

4 应用效果及建议

前撑式注浆钢管支撑技术在本项目的实际工程应用中所展现出的卓越性能。该技术通过其独特的设计和施工方法, 不仅显著提升了工程结构的稳定性和承载力, 增强了基坑周边土体的整体稳定性, 确保了施工安全和邻近建筑物的安全, 而且在多个方面展现了其高效性和可靠性。

4.1 强化支撑体系稳定性

通过前述的结构设计改进, 支撑体系在实际施工中的稳定性得到了显著提升。即使在软土层和高地下水位的复杂条件下, 基坑支护仍然表现出良好的稳定性。经过多次荷载测试和监测, 钢管桩未出现明显的位移或变形, 充分证明了该技术在提升基坑稳定性方面的有效性。

4.2 加快工程进度

前撑式抗压注浆钢管桩技术不仅提高了施工质量, 还显著加快了工程进度。由于钢管的优化设计和施工工艺的改进, 支撑体系的安装与拆除时间得以大幅缩短。相比于传统支撑技术, 施工周期缩短了约 30%, 为项目的顺利推进赢得了宝贵的时间。

4.3 节约施工成本

尽管前期设计和施工监控投入较大,但在整体工程中,前撑式抗压注浆钢管桩技术的应用显著降低了施工成本。一方面,钢管的优化设计减少了材料浪费;另一方面,智能化施工管理提高了施工效率,减少了人工成本和施工误差。综合计算,项目总成本较传统技术降低了约 15%。

4.4 减小环境影响

本项目注重施工过程中的环境保护。通过采用前撑式抗压注浆钢管桩技术,施工过程中产生的噪音和振动得到了有效控制。同时,减少了大量土方开挖和回填工作,对周围环境的扰动降至最低。这种绿色施工理念,为项目赢得了良好的社会效益和环保评价。

4.5 施工优化建议

尽管前撑式抗压注浆钢管桩技术在本项目中取得了显著的应用效果,但在实际施工过程中仍然存在多方面需要改进的问题,此类问题在一定程度上限制了该技术的广泛推广和应用。为了进一步提升该技术的可靠性和施工效率,还需对该技术进行改进与优化。

(1) 钢管加工精度的提升。钢管的加工精度在一定程度上影响了支撑体系的安装效率。未来可以考虑引入更高精度的加工设备,或采用预制组件以减少现场加工的时间和误差。

(2) 注浆材料配方的优化。虽然现有的注浆材料配方已能够满足工程需求,但在复杂地质条件下,注浆效果的稳定性仍具有提升空间。在这基础上的研究可以以更具自适应性的注浆材料为开发方向,设计并投入使用能够根据不同土质自动调整性能的注浆材料。

(3) 智能化监控系统的完善。虽然项目中已应用了智能化监控系统,但系统在实时性和数据分析能力方面仍有改进空间。该模块的改进方向包括提高系统的数据处理能力,引入更多的传感器以获得更全面的施工数据,以提高施工的智能化水平。

5 结 论

前撑式抗压注浆钢管桩技术在本项目中的成功应用,展示了该技术在提升基坑工程稳定性、加快施工进度、降低施工成本以及减少环境影响等方面的显著优势。通过对结构设计的改进和施工工艺的优化,克服了复杂地质条件带来的挑战,为基坑工程的支护体系提供了可靠的解决方案。同时,随着工程需求的不断变化,该技术也需要在钢管加工精度、注浆材料配方、智能化监控系统以及施工标准化等方面不断改进,以适应未来更多元化的应用场景。

参考文献:

- [1] 李郁滢. 前撑式注浆钢管支撑体系在大型基坑工程中的应用[J]. 上海建设科技, 2024(3): 65-67.
- [2] 汪宇峰. 前撑式注浆钢管桩技术在基坑工程中的应用研究[J]. 价值工程, 2024, 43(19): 146-149.
- [3] 李明. 前撑式注浆钢管桩在软土地区基坑工程中的应用[J]. 建筑施工, 2023, 45(5): 849-851; 855.
- [4] 尚宁洲. 复杂环境下大型深基坑板式支护结合前撑式注浆钢管设计与施工技术研究应用[J]. 工业建筑, 2023, 53(增刊2): 556-561.
- [5] 霍红伟, 潘昌盛, 蓬金高, 等. 基于前撑注浆钢管支撑体系的基坑施工效率提升研究[J]. 建筑施工, 2023, 45(11): 2157-2159.