

深基坑支护技术在市政工程施工中的应用研究

王 拓

(安徽聚合投资有限公司, 安徽 淮南 232000)

摘 要 为解决市政工程深基坑支护面临的地质复杂、空间受限及环境敏感等技术难题, 本文以淮南煤化工产业园项目为例, 对支护技术适配性、空间优化及绿色施工等关键问题进行了研究, 针对粉质黏土层弱膨胀潜势, 提出分级支护策略与动态监测体系; 在狭窄作业环境下开发复合支护结构与低净空施工工艺; 融合可回收材料与资源循环技术实现绿色建造; 建立地质参数—支护响应的映射模型, 形成经济性与安全性的量化平衡方法, 以期为类似城市密集区深基坑工程提供技术参考。

关键词 深基坑支护; 市政工程; 动态响应机制; 绿色施工; 智能化监测

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.016

0 引言

深基坑工程作为市政建设的关键环节, 面临地质条件复杂、施工环境受限、环保要求严格等多重挑战。传统支护技术已难以满足现代工程的高标准需求, 亟需探索更加安全、高效、绿色的技术路径。以淮南煤化工产业园项目为例, 该工程涉及弱膨胀性粉质黏土、高地下水位等复杂地质条件, 同时受限于城市密集区的狭小作业空间, 对支护技术的适配性和创新性提出更高要求。近年来, 智能化监测、新材料应用及跨学科技术融合为深基坑支护带来了新的发展机遇。BIM 技术、物联网和数字孪生等数字化手段逐步应用于工程实践, 推动支护设计从经验依赖向数据驱动转变。同时, 绿色施工理念的深化促使可回收材料、低环境影响工艺得到广泛应用, 使工程经济性与生态可持续性得以兼顾。

1 市政工程施工中深基坑支护技术的特性分析

1.1 复杂地质条件下的技术适配性

复杂地质条件下的技术适配性表现为支护方案必须与地层特性形成动态响应机制。在淮南煤化工产业园项目中, 场地内分布的粉质黏土层具有弱膨胀潜势, 其自由膨胀率达到 41.5% 至 53.0%, 这种特殊土质要求支护结构预留足够的变形空间。针对不同深度土层的力学特性差异, 设计采用分级支护策略: 浅层土体使用土钉墙控制变形, 深层不稳定层位则布置微型桩提供刚性支撑。当地下水位埋深在 1.05 米至 2.35 米波动时, 降水井的成孔深度需穿透粉土层进入下部相对隔水层, 形成完整的降水帷幕。技术适配性的本质是建立地质参数与支护参数的映射关系, 通过实时监测

数据的反馈调节, 使支护体系始终与地层变形保持协同。这种动态平衡既避免了支护不足导致的安全隐患, 又防止了过度支护造成的资源浪费。

1.2 城市化背景下的空间约束挑战

城市化背景下的空间约束挑战推动支护技术向立体化、集约化方向发展。化工物流园项目西侧紧邻经八路, 南侧距煤化工大道仅 37 米, 这种狭窄的作业环境迫使支护结构必须实现最小占地。解决方案是采用复合支护体系: 临近道路侧布置排桩结合内支撑, 内部开阔区域采用土钉墙, 形成“刚柔相济”的空间布局。施工期间设置自动化监测系统, 当支护结构位移超过预警值时, 可立即启动预应力补偿装置。空间约束还催生了新型施工工艺, 如使用折叠式支护模板减少材料堆放空间, 开发低净空作业设备适应受限场地。这些技术创新不仅解决了空间不足的难题, 更重塑了城市密集区深基坑工程的技术范式。

1.3 深基坑支护的经济性与安全性平衡

经济性与安全性的平衡需要建立全生命周期的价值评估模型。传统支护设计往往偏重初期建设成本, 而忽视后期维护费用和 risk 成本。现代工程管理将安全性能量化为经济参数, 如将支护失效概率与损失强度相乘得到 risk 期望值。在污水处理池基坑项目中, 虽然增加一道土钉会使直接成本上升 15%, 但可将坍塌 risk 降低 60%, 这种投入产出比成为决策依据。平衡的实质是通过精确计算找到安全边际与经济效益的拐点, 在这个临界点上, 每增加单位安全投入获得的边际效益开始递减。智能化监测技术的应用使这种平衡更加

精准,通过实时数据可以动态调整安全储备,避免资源错配。

1.4 环境因素对支护设计的影响

环境因素对支护设计的影响呈现多尺度特征。微观层面要考虑地下水的弱腐蚀性,这要求钢筋保护层厚度增加 20%,混凝土掺入抗硫酸盐外加剂。中观层面需评估周边水系的影响,如经八路水系明渠导致的地下水位波动,需要通过设置观测井实时监控水力梯度。宏观层面则要响应区域气候特征,淮南地区降雨集中在 6-8 月,这就要求在雨季前完成关键支护工序。环境响应型设计不是被动防护,而是将环境参数转化为设计输入条件,通过材料优选、构造改良和工艺创新,实现工程建设与生态环境的共生发展。这种设计理念正在从附加选项转变为基本准则,重塑着深基坑工程的技术伦理。

2 市政工程施工中深基坑支护技术的应用策略优化

2.1 多维度支护体系设计

多维度支护体系设计需要突破传统单一技术路径的局限,建立基于地质条件、结构形式和环境影响的协同决策机制。在淮南煤化工产业园项目中,针对 7.2 米深基坑的支护设计采用了分级控制策略:浅层土体采用土钉墙控制变形,深层不稳定层位布置微型桩提供刚性支撑^[1]。临近水系暗渠的区段增设高压旋喷止水帷幕,形成立体防渗体系。这种复合支护体系通过土钉与微型桩的协同工作,既确保了结构安全,又避免了过度设计造成的资源浪费。设计过程中采用三维地质建模技术,模拟不同开挖阶段的土体应力重分布,预判潜在风险区域。动态监测数据的实时反馈使支护参数能够随施工进度优化调整,实现技术方案与经济性的最佳平衡。多维度设计的核心在于将支护体系视为动态响应系统,其性能需随施工进度和环境变化不断调整优化,这种设计理念显著提升了复杂环境下深基坑工程的安全性和经济性。

2.2 绿色施工理念的融合实践

绿色施工理念的融合实践体现在资源循环利用和环境保护的系统性优化措施上。项目采用可回收式预应力锚杆替代传统钢筋锚杆,减少地下遗留物对后续开发的限制。喷射混凝土掺入 30% 矿渣微粉,在降低水泥用量的同时提升面层抗渗性能。基坑降水系统设置三级沉淀装置,处理后的地下水用于现场降尘和混凝土养护,实现水资源循环利用。施工期间配置低噪

声设备和定向照明系统,将施工噪声控制在 65 分贝以下,光污染限制在作业区域范围内。绿色施工不是简单的环保措施叠加,而是通过材料优选、工艺创新和设备升级,将环境因素转化为工程决策的核心参数。这种施工模式在保证工程质量的前提下,实现了经济效益与生态效益的双赢,为类似工程提供了可参考的环保实践方案。

2.3 施工工艺的标准化管

施工工艺的标准化管

2.4 协同作业的高效组织

协同作业的高效组织需要打破专业壁垒,实现施工要素的有机整合。基于 BIM 技术的协同平台集成地质数据、支护设计和施工进度信息,为测量、土方、支护等专业团队提供统一的工作界面^[3]。开发的工序冲突预警系统,当土方开挖与支护施工出现空间重叠时,自动生成优化后的施工流程。现场配置的多功能支护机械集成钻孔、注浆、喷射功能,减少设备转场时间损耗 30% 以上。高效组织的本质是通过信息共享和资源整合,将离散的施工活动转变为连续的价值创造过程。项目建立的每日协调会制度,确保各专业施工无缝衔接,关键路径工期压缩 15%。随着物联网和数字孪生技术的发展,深基坑工程正从经验驱动转向数据驱动,为协同作业提供更强大的技术支撑,这种组织模式将成为未来复杂工程施工管理的主流方向。

3 市政工程施工中深基坑支护技术创新方向探讨

3.1 智能化技术的应用前景

在市政工程深基坑支护施工中,智能化技术正展现出广阔的应用前景。智能化监测系统可实时采集基

坑的位移、沉降、应力等关键数据,借助传感器与智能算法,对数据进行快速分析处理。例如:通过在基坑周边布置高精度位移传感器,能精确获取支护结构的微小变形信息,一旦变形接近预警值,系统立即发出警报,为施工人员争取处理时间,有效预防事故发生。智能化施工设备同样为深基坑支护带来了变革^[4]。自动化的钻孔设备可依据预设参数精准作业,确保土钉、锚杆的成孔位置、角度和深度符合设计要求,极大地提高了施工精度与效率。同时,智能起重机能够自动识别吊运材料的重量和位置,优化吊运路径,避免碰撞,保障施工安全。智能化技术还能实现对基坑施工全过程的数字化模拟。在施工前,通过建立三维模型,模拟不同施工阶段基坑的力学响应和变形情况,提前发现潜在问题并优化施工方案。在施工过程中,将实际监测数据与模拟结果实时比对,及时调整施工参数,实现动态化、精细化施工管理,提升深基坑支护的整体质量和安全性。

3.2 新材料与新工艺的探索

新材料的研发和应用为市政工程深基坑支护技术注入新活力。高强度、耐腐蚀的新型钢材逐渐应用于支撑结构,其优异的力学性能可有效提高支护体系的承载能力,延长使用寿命。例如:新型复合材料制成的土钉和锚杆,重量轻但强度高,能更好地适应复杂地质条件,减少施工难度。在新工艺方面,一些创新的支护方法不断涌现^[5]。例如:采用旋挖扩底灌注桩工艺,可扩大桩底面积,增加桩的承载能力,提高基坑稳定性。冻结法支护工艺则利用人工制冷技术使基坑周围土体冻结,形成坚硬的冻土帷幕,起到挡土和止水的双重作用,特别适用于富水软土地层。此外,将绿色环保理念融入新工艺中成为趋势。如采用可回收的支护材料,在基坑施工完成后可回收再利用,减少资源浪费和环境污染。一些生态友好型的土体加固材料也在研发应用,既能实现土体加固的目的,又能降低对周边生态环境的影响,为可持续发展的市政工程建设提供有力支持。

3.3 跨领域技术融合的可能性

跨领域技术融合为市政工程深基坑支护技术发展开辟了新方向。与岩土工程领域融合,借助先进的岩土力学研究成果,可更准确地分析基坑周边土体的力学特性和变形规律,为支护设计提供更科学的依据。结合地质雷达等地球物理探测技术,可详细了解地下土体结构和隐患,提前制定针对性的支护措施。此外,

引入机器学习算法分析地质数据,可快速识别高风险区域,优化支护方案。与计算机科学和信息技术融合,可推动深基坑支护技术向智能化、信息化方向发展。利用大数据分析技术处理海量的监测数据,挖掘数据背后的潜在规律,实现对基坑安全状态的精准评估和预测。借助虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术,施工人员可在虚拟环境中进行施工模拟和培训,提高施工操作的准确性和安全性。未来,区块链技术的应用还可实现施工数据的不可篡改和透明共享,提升工程管理的可信度。与航空航天领域的技术融合也具有潜力,借鉴航空航天领域的轻量化材料设计理念和制造工艺,开发更高效、更轻质的基坑支护材料^[6]。跨领域技术融合不仅提升了深基坑支护的技术水平,还为城市基础设施建设的韧性和安全性提供了新的解决方案。

4 结束语

市政工程深基坑支护技术发展需突破传统思维局限,淮南项目实践表明,地质动态响应机制与立体化支护体系能有效应对复杂环境挑战。将智能化监测、绿色材料与跨领域技术有机融合,构建了全生命周期价值评估模型。研究成果验证了分级控制策略在弱膨胀土层的适用性,空间集约化设计缓解了城市施工场地约束,环境响应型工艺为可持续发展提供了新思路。未来,应进一步探索新材料性能与数字孪生技术的深度应用,推动深基坑工程向精准化、生态化方向演进,为市政工程建设奠定技术基础。

参考文献:

- [1] 郑轩. 市政工程中深基坑开挖支护技术的重要性及应用分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(05): 34-36.
- [2] 丁军明. 建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理[J]. 居业, 2025(02): 171-174.
- [3] 刘松柏, 李云, 单良. 建筑工程深基坑支护技术及施工要点分析[C]//《施工技术(中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 中建八局浙江建设有限公司, 2024.
- [4] 史燕娜. 大型市政工程深基坑支护设计优化与应用探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(24): 190-192.
- [5] 侯宝山. 市政工程深基坑支护技术及施工要点分析[J]. 建筑与预算, 2023(07): 77-79.
- [6] 金仁菊. BIM技术支持下的泵站工程深基坑支护防渗方法[J]. 建材发展导向, 2025, 23(04): 76-78.