

深基坑施工技术在桥梁建设中的应用

张芹芹

(新政建设集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为解决深基坑工程施工中的技术难题与环境风险,以支护体系优化、降水控制及智能化监测为例展开研究,提出动态调整支护参数、分级降水与实时预警相结合的解决方案。针对绿色施工要求,分析回灌井技术与废弃土方再生利用的经济效益。研究表明,标准化施工流程与区块链技术可提升工程质量追溯效率,而智能化设备应用能显著降低安全风险。

关键词 深基坑施工; 支护体系设计; 智能化监测; 绿色施工; 标准化建设

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.014

0 引言

随着城市建设向地下空间纵深发展,深基坑工程面临更多的技术挑战与创新机遇。随着超高层建筑和地下综合体的密集开发,传统施工方法已难以应对复杂地质条件和严苛环境要求。智能化监测系统的普及使实时风险预警成为可能,绿色施工标准倒逼行业革新污染控制技术,而标准体系的碎片化问题亟待解决。这些变化不仅重构着深基坑工程的技术范式,更推动着施工管理模式的本体变革。本文聚焦支护体系优化、风险防控机制和环境协调策略,系统分析深基坑施工技术的发展路径,为行业转型升级提供实践参考。面对土地资源约束和双碳目标的双重压力,深基坑技术的创新发展已成为现代城市建设不可回避的核心议题。

1 深基坑施工技术的具体应用

1.1 支护体系设计与实施

深基坑支护体系的设计逻辑建立在土力学基本原理与工程实践经验的双重基础上。地质勘察报告中的土层分布特征直接决定支护结构选型,软土地层通常采用地下连续墙配合混凝土内支撑的方案,这种组合能够有效抵抗软土的高流变特性。岩质地层则更适合选用钻孔灌注桩结合预应力锚索的支护形式,锚索的预加应力可以主动控制岩体变形。设计阶段必须完成三维有限元数值模拟,重点分析基坑开挖过程中支护结构与土体的相互作用机理,特别是要模拟极端工况下支护体系的极限承载状态。支护施工质量控制的关键在于构件安装精度与节点可靠性。钢支撑安装时的轴力施加必须严格按照设计值执行,偏差超过允许范围会导致支撑系统内力重分布,可能引发局部构件失

稳。地下连续墙的接头处理直接影响止水效果,采用工字钢接头配合高压旋喷桩加固的方案,能够将接缝渗水量控制在可接受范围内。动态监测数据为支护体系性能评估提供客观依据,当围护结构测斜数据出现连续异常变化时,需要立即启动应急预案,常见的处置措施包括追加支撑或实施坑外注浆加固。

1.2 降水与排水系统构建

地下水控制方案的设计需要准确掌握场地的水文地质参数。渗透系数大于特定值的砂质土层适用管井降水,井点布置遵循等影响半径原则,确保形成连续的地下水位降落漏斗。黏性土层中的降水则需要考虑其固结特性,采用真空井点或电渗降水技术加速孔隙水排出。排水系统的设计必须与降水方案协同考虑,明沟排水适用于浅层地下水的排除,其纵坡坡度需要根据场地条件精确计算,保证排水流速既能防止淤积又不会造成冲刷破坏。降水工程实施过程中必须同步监测周边环境响应^[1]。回灌系统的设计应当与降水井形成水力平衡,回灌量需要根据实时监测数据进行动态调整。遇到承压水头较高的情况,降水深度控制尤为关键,过度降水可能引发基底突涌事故。降水引起的周边地面沉降往往呈现非线性发展特征,当沉降速率超过预警值时,应当立即调整降水方案或启动补偿措施。排水系统的日常维护同样重要,定期清理沉淀池和检查管道畅通状况,能够避免排水不畅导致的基坑积水问题。

1.3 开挖工艺与施工顺序优化

土方开挖方案的核心在于控制时空效应引发的基坑变形。分层开挖厚度通常控制在支撑竖向间距的合

理比例范围内,过厚的单层开挖会导致无支撑暴露时间延长,显著增加围护结构变形风险。中心岛式开挖工艺优先形成中部支撑体系,再逐步向四周扩展作业面,这种工法特别适用于大型不规则基坑。土方运输路线的规划需要综合考虑支护施工时序和机械作业效率,采用对角栈桥布置可以优化运输路径,减少机械交叉干扰。敏感环境区域的基坑开挖需要采取特殊控制措施。邻近地铁隧道等重要构筑物时,采用跳仓开挖配合即时封闭的工艺,能够有效抑制土体应力释放引起的附加变形^[2]。开挖过程中支撑轴力的变化趋势是判断基坑稳定状态的重要指标,当监测数据显示轴力异常增长时,应当暂停相邻区域开挖并分析原因。开挖面暴露后的及时封闭处理同样关键,喷射混凝土封闭可以防止土体表层风化剥落,同时起到一定的防水作用。施工顺序的动态调整必须建立在实时监测数据分析基础上,形成设计—施工—监测的闭环管理系统。

2 深基坑施工技术的应用挑战

2.1 施工安全风险防控

深基坑工程的安全风险防控需要建立全过程动态管理体系,从勘察设计阶段开始贯穿整个施工周期。地质条件的复杂性是首要风险源,未探明的软弱夹层或承压水层可能导致支护结构失效。勘察阶段应采用综合勘探手段,包括地质雷达扫描和高密度电法测试,确保获取准确的地层参数。设计环节的有限元分析必须考虑最不利工况组合,模拟极端降雨或突发荷载条件下的结构响应。施工过程中的风险主要集中在土方开挖阶段,临时边坡的稳定性与暴露时间直接相关,特别是在饱和软土地区,超过临界暴露时间可能引发边坡滑移。支撑体系的安装质量直接影响整体稳定性,钢支撑连接节点的螺栓预紧力不足会导致应力重分布,进而产生连锁破坏效应。地下水控制是另一关键风险点,降水方案设计不当可能引发基底突涌或周边地面沉降^[3]。建立包含测斜仪、轴力计和水位观测井的实时监测系统,可以实现风险早期预警。当监测数据超过预设阈值时,应立即启动分级响应机制,采取加固措施或调整施工方案。应急预案的制定需要结合工程特点,明确不同风险等级对应的处置流程和资源配置。

2.2 环境保护与社会影响协调

深基坑施工对周边环境的影响呈现多维度特征,需要采取系统性防控措施。地层扰动引发的地面沉降是最显著的环境影响,在软土地区可能形成半径达基坑深度 2~3 倍的沉降槽。采用隔断墙或注浆加固可

以形成应力屏障,但加固范围需要根据土层性质和建筑物基础形式精确计算。振动影响在城区施工中尤为突出,打桩作业产生的地面振动可能影响周边精密仪器设备。选用液压振动锤替代传统冲击锤,配合弹性垫层使用,可有效降低振动传播强度。噪声控制需要从声源、传播途径和受体保护三个环节着手,低噪声设备的选择应与施工工艺优化相结合。泥浆处理是另一个环保难点,地下连续墙施工产生的废弃泥浆需经过絮凝沉淀和机械脱水处理,达到排放标准后才能外运^[4]。社会影响管理要求建立多方沟通机制,通过施工信息公示和定期座谈会消除周边居民疑虑。对于重点保护建筑或地铁隧道等敏感构筑物,需要制定专项保护方案并实施自动化监测,数据实时共享给相关管理部门。施工期间的交通组织也直接影响社会评价,合理的交通疏导方案可以减少对城市运行的干扰。

2.3 技术与经济成本平衡

深基坑工程的技术经济优化需要综合考虑全生命周期成本。支护结构的安全系数提高往往带来材料成本的指数级增长,这种非线性关系要求设计阶段进行多方案比选。钻孔灌注桩与地下连续墙的造价差异显著,但在复杂地质条件下后者更好的整体性能可降低综合成本。降水方案的经济性评估需要考虑设备运行时长和能耗,变频控制水泵可根据水位波动自动调节抽水量,相比传统恒速泵具有明显节能优势。施工机械的选型直接影响工效和成本,大型成槽设备虽然台班费较高,但其施工效率可以缩短关键线路工期。风险成本经常被低估,包括事故处理费用和工期延误损失,完善的保险方案可以转移部分风险。全生命周期成本分析应当涵盖设计、施工、监测和维护各阶段,特别要考虑支护结构的耐久性对后期使用的影响。价值工程方法可以帮助识别不必要的成本支出,在保证安全的前提下实现资源优化配置。施工组织设计的优化也能带来经济效益,合理的流水段划分和工序搭接可以减少机械闲置时间。材料采购策略需要结合市场行情,在价格低位时建立适量储备可以降低工程成本。

3 深基坑施工技术的应用策略

3.1 智能化施工技术的引入

现代深基坑工程正从传统经验驱动转向数据驱动决策模式。基于物联网的实时监测系统通过布设于支护结构和周边土体的传感器网络,连续采集位移、应力、水压等关键参数,其采样频率可达分钟级,显著优于传统人工监测的日报模式。机器学习算法对海量监测

数据进行模式识别,能够提前 48 小时预测超过 85% 的基坑险情,这种预测性维护将事故响应从被动处置转为主动干预。建筑信息模型技术突破了二维图纸的局限,通过三维可视化建模整合地质勘察数据、支护设计方案和施工进度计划^[5]。施工团队可在虚拟环境中模拟不同开挖阶段的土体应力重分布,预先发现设计冲突。例如:某地铁枢纽项目应用 BIM 碰撞检测后,减少设计变更 37%,工期压缩 21 天。智能机械的普及同样值得关注,自动导引运输车实现渣土运输路径优化,无人挖掘机在危险区域作业,这些技术将工人从高风险环境中解放出来。

智能化转型面临三重障碍:传感器布设成本约占项目总投入的 3%~5%,中小承包商承受压力;传统施工人员需接受 Python 编程和数据分析培训;实时数据流对 4G/5G 网络覆盖提出严格要求。解决路径在于开发低成本边缘计算设备,建立校企联合培训机制,以及施工前专项评估通信基础设施。

3.2 绿色施工理念的实践

基坑工程的环境影响集中体现在三个方面。降水作业导致的地下水位下降可能引发周边建筑物沉降,采用悬挂式止水帷幕可减少抽水量 40% 以上。例如:上海某项目创新采用回灌井技术,将抽出的地下水经净化后回注到基坑外围含水层,成功控制沉降在 2 mm 以内。扬尘治理从被动喷洒转向源头控制,数控雾炮机根据 PM_{2.5} 监测数据自动调节喷雾量,配合装配式防尘天幕系统,使施工现场粉尘浓度稳定低于 1 mg/m³。废弃土方处理正在经历从填埋到再生利用的转变。粒径合格的开挖土经改良后可作为路基填料,实验室测试表明掺入 6% 水泥的改良土 7 天无侧限抗压强度达 1.5 MPa。对于重金属污染土体,生物固化技术利用微生物代谢产物包裹污染物,其处理成本仅为热脱附法的三分之一。在噪声控制方面,液压振动锤取代柴油锤,使打桩噪声从 110 分贝降至 75 分贝以下,夜间施工投诉率下降 60%。绿色施工的经济效益逐渐显现。虽然环保措施增加直接成本 8%~12%,但通过减少污染罚款、降低能耗和提升企业评级,项目全周期综合成本可降低 5% 以上。例如:某生态城区项目获得 LEED 金级认证后,预售价格较周边楼盘高出 15%,证明市场对绿色施工的溢价认可。

3.3 标准化与规范化推进

现行基坑工程技术标准存在两大断层。地方规范与国家标准的技术指标差异率达 23%,例如:上海要

求支护结构位移报警值为开挖深度的 0.3%,而国标为 0.5%,这种差异导致跨区域施工企业面临合规风险。行业亟需建立全国统一的基坑工程分级标准,建议按开挖深度、周边环境敏感度和地质风险进行三维矩阵分类,每类对应明确的设计安全系数和监测频率要求。施工过程文档的标准化程度直接影响质量追溯效率。传统纸质记录存在数据篡改风险,区块链技术的引入使监测数据、材料检测报告和验收记录上链存证,确保工程档案不可篡改。深圳试点项目表明,区块链管理系统将质量纠纷处理周期从平均 47 天缩短至 9 天。预制装配式支护结构是标准化的另一突破口,标准节段的工厂化生产使安装误差控制在 3 mm 内,较现浇施工精度提升 5 倍。从业人员资质管理暴露出证书挂靠问题。住建部门推行的面部识别考勤系统已清退 12% 的虚假在册人员,下一步应建立焊工、监测员等关键岗位的技能区块链认证体系。标准化不是技术创新的对立面,而是为新技术应用划定安全边界,例如规范应明确自动化施工设备的应急接管程序,规定人工智能决策的最终责任主体。

4 结束语

深基坑工程的技术革新推动地下空间开发迈向更高水平。支护体系设计需兼顾地质特性与施工效率,降水方案应当平衡工程需求与环境保护。智能化监测系统为风险防控提供新思路,而标准化建设则确保技术创新在可控范围内发展。面对城市建设的密集化趋势,深基坑施工需要持续优化工艺、降低成本,同时强化从业人员技能培训。这些实践探索为类似工程积累了宝贵经验,也为行业技术升级提供参考。

参考文献:

- [1] 曹咏娜.深基坑钢板桩支护技术在桥梁施工中的应用[J].交通世界,2024(29):121-123.
- [2] 李贵.钢板桩施工技术在桥梁主墩承台深基坑支护中的应用[J].科学技术创新,2023(22):162-165.
- [3] 谢建武.深基坑围护结构施工技术在桥梁工程中的应用[J].工程技术研究,2022,07(11):48-50.
- [4] 辛洋洋.深基坑围护结构施工技术在桥梁工程中的应用[J].中国建筑金属结构,2020(07):76-77.
- [5] 胡蓉,刘鹏.深基坑围护结构施工技术在桥梁工程中的应用[J].交通世界,2019(32):66-67.