

建筑工程施工中深基坑支护桩技术的应用策略研究

孙 逊

安徽建工水利开发投资集团有限公司 安徽 蚌埠 233000

摘 要：本文聚焦建筑工程施工中深基坑支护桩技术的应用策略。概述了支护桩技术的定义、功能特点及适用场景，剖析其在技术选型、施工过程、成本与安全、环境影响等方面存在的关键问题。随后从技术选型、施工控制、成本控制、安全管理、绿色施工五个维度提出优化策略，并通过实际工程案例验证策略的有效性，旨在为深基坑支护桩技术的合理应用提供参考，保障施工安全与质量，实现经济效益与环境效益的统一。

关键词：建筑工程；深基坑支护桩技术；应用策略

1 建筑工程施工中深基坑支护桩技术概述

1.1 支护桩技术的定义

深基坑支护桩技术是建筑工程中为保障地下结构施工及周边环境安全，对深基坑侧壁及周围环境采取支挡、加固等保护措施的核心工程技术。该技术通过构建桩体结构体系，形成对土体侧向压力的主动或被动抵抗，防止基坑边坡失稳、土体塌陷及地下水渗漏等风险。其技术本质是通过桩体与土体的相互作用，将基坑开挖产生的应力传递至稳定地层，确保施工全过程的结构安全与环境稳定。

1.2 支护桩技术的功能与特点

支护桩技术具备三大核心功能：结构支撑功能，通过桩体刚度抵抗土体侧向压力，维持基坑边坡稳定性；防水防渗功能，桩体间设置止水帷幕或采用密排桩形式，阻断地下水渗透路径；环境防护功能，减少施工对周边建构筑物、地下管线及生态环境的扰动^[1]。技术特点呈现显著复杂性：第一，地质适应性差异显著，南方软土地层与北方砂卵石地层需采用不同桩型及施工工艺；第二，施工参数动态性强，需根据土体位移监测数据实时调整支撑刚度与预应力值；第三，空间效应突出，三维应力状态下桩体受力模式与平面应变假设存在偏差，需通过数值模拟优化设计；第四，临时性与永久性结合，部分桩体在主体结构施工完成后需保留作为永久构件。

1.3 支护桩技术的适用场景

该技术广泛应用于四类典型场景：（1）城市密集区深基坑工程，如地铁车站、地下综合管廊等周边建构筑物密集区域；（2）高地下水位软土地层，需通过桩间止水或地下连续墙解决渗流问题；（3）超深基坑工程，当开挖深度超过15米时，传统放坡开挖不可行，必须采用桩锚、内支撑等支护体系；（4）复杂地质条件区域，如岩溶发育区、断层破碎带等需通过特殊桩型处理不良地质。

2 建筑工程施工中深基坑支护桩技术应用的关键问题分析

2.1 技术选型问题

技术选型过程中往往面临三大核心矛盾。首先是地质条件与桩型匹配的矛盾，不同地质条件对桩型的要求差异显著。以深圳罗湖车站工程为例，强风化岩层本不适合采用桩锚体系，但初期选型未充分考虑地质特性，导致造价大幅激增。后续优化为土钉墙支护，成功节省了千万成本。其次是环境约束与施工效率的矛盾，北京某工程紧邻历史建筑，为控制变形采用逆作法施工，虽有效保护了周边环境，但工期却延长了40%。最后是经济性与安全性的矛盾，郑州某项目为降低成本，将钢板桩改为SMW工法桩，却因水泥掺量不足，引发支护失效事故，造成巨大损失。因此，选型决策需建立三维评估体系，涵盖地质、环境和经济维度。然而，当前普遍存在重地质轻环境、重初期投资轻运维成本的倾向，这导致技术方案系统性风险不断累积，亟待改进。

2.2 施工过程中的常见问题

施工环节中存在诸多典型缺陷，严重影响工程质量和安全。桩位偏差超标是常见问题之一，某地铁工程因测量误差导致桩位偏移12cm，进而引发支撑体系受力不均，给整个工程带来安全隐患。成桩质量缺陷也不容忽视，上海某工程钻孔灌注桩出现缩颈、离析现象，导致单桩承载力不足设计值的60%，严重影响了桩基的稳定性。预应力损失过大同样是一个棘手问题，广州某工程锚索张拉后30天预应力损失达35%，使得支护结构变形超限，威胁到周边建筑的安全。降水系统失效也会带来严重后果，武汉某工程因轻型井点降水不足引发坑底突涌，造成周边道路塌陷，影响交通和居民生活。施工顺序混乱同样不容小觑，成都某工程土方开挖与支护不同步，导致支护结构未形成整体即承受荷载，极易引发坍塌。

塌事故。这些问题根源在于施工管理失控,技术交底流于形式、过程监测数据失真、分包单位技术能力参差不齐等,都影响了工序衔接和工程质量^[2]。

2.3 成本与安全性矛盾

成本压力呈现三重叠加效应:材料成本波动,2021年钢材价格涨幅达45%,直接推高支护桩造价;工期成本攀升,超深基坑每增加1米深度,施工周期延长7-10天;安全投入不足,行业统计显示安全防护费用占建安成本比例不足2%,远低于国际通行标准。矛盾激化导致三大风险:设计冗余度降低,某工程将桩径从1.2米缩减至1.0米,安全系数下降至1.2;监测频次减少,从每日3次降至每日1次,异常变形发现滞后;应急资源储备不足,仅30%的工地配备足量应急钢板桩及液压千斤顶。

2.4 环境影响问题

施工活动引发四类环境风险:其一,土壤污染,有的工程混凝土养护废水含碱量超标,导致周边300m²土壤pH值升至9.2;其二,地下水污染,南京某工程基坑降水携带重金属离子渗入含水层,检测显示锌含量超标5.8倍;其三,噪声振动,打桩作业产生85-95dB噪声,影响半径达500米;其四,生态破坏,杭州某工程永久占用绿地1200m²,临时占地复垦率不足60%。环境管理存在三大短板:环评报告流于形式,70%的项目未开展施工期环境专项评估;污染防治措施缺失,仅15%的工地设置沉淀池及隔油池;生态修复滞后,多数项目在竣工验收后才启动植被恢复。

3 深基坑支护桩技术应用策略优化研究

3.1 技术选型优化策略

建立三维选型模型是技术优化的核心基础。地质维度采用国际通行的岩土工程分级系统,依据土体颗粒组成、密实度、抗剪强度等参数,将土体划分为9个工程地质单元,每个单元对应特定的支护桩型适配范围。环境维度引入变形控制等级标准,结合周边建构筑物保护要求、地下管线敏感程度,划分为特级(变形控制值 $\leq 10\text{mm}$)、一级(10-20mm)、二级(20-30mm)、三级(30-50mm)四个等级。经济维度构建全生命周期成本模型,涵盖设计阶段的地质勘察费用、施工阶段的材料设备采购费、运维阶段的监测维护费、拆除阶段的残值回收费等12项成本要素,通过动态折现率计算净现值^[3]。开发智能选型系统时,集成BIM+GIS技术实现三维地质模型与支护结构模型的数字孪生,确保设计参数与地质条件精准匹配;应用XGBoost机器学习算法,输入地层厚度、地下水位、环境等级等28个变量,自动生成3-5种技术经济性最优方案;建立包含200个典型工程案例的专家

知识库,涵盖软土地区、岩溶地区、砂卵石地区等不同地质条件下的成功经验。广州南沙某深基坑工程应用该系统后,通过对比灌注桩、SMW工法桩、地下连续墙三种方案,最终选择SMW工法桩,将方案比选时间从传统方式的7天缩短至2小时,选型准确率提升至92%,节约造价1800万元。

3.2 施工过程控制策略

构建五位一体管控体系需实现多维度协同管理。测量控制采用全站仪+GPS复合定位技术,通过设置双基准站和流动站,将桩位偏差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内,较传统测量方法精度提升3倍;质量监控应用超声波成孔检测仪,每2米检测一次孔径和孔斜,成桩后采用低应变动力检测法,通过分析桩顶响应速度曲线判断桩身完整性;预应力管理安装智能张拉设备,集成力传感器与位移传感器,实现张拉力 $\pm 1\%$ 精度控制和伸长量实时显示,将预应力损失控制在10%以内;降水控制设置自动化水位监测系统,通过物联网技术每10分钟上传水位数据,动态调整降水井开启数量和抽水流量,避免过度降水引发地面沉降;工序控制编制标准化施工流程卡,明确土方开挖与支护施工的时间间隔(分层开挖厚度 $\leq 1.5\text{米}$ 时,支护施工需在开挖后12小时内完成)和空间步距(相邻支护段高差 $\leq 3\text{米}$)。推广智慧工地应用时,部署包含200个传感器的物联网网络,实时采集支护结构应力、土体位移、地下水位等16项关键参数;开发基于有限元分析的施工模拟软件,预测不同工况下的结构响应,为施工参数调整提供依据;建立三级预警平台,设置黄、橙、红三级预警阈值,当监测值超过阈值时自动推送警报信息至管理人员手机APP。上海一深基坑工程应用该体系后,通过实时监测发现支护结构应力异常增长,提前12小时采取加固措施,险情发现时间从平均4小时缩短至15分钟,避免经济损失2000万元。

3.3 成本控制策略

实施价值工程分析需从全要素优化设计。功能定义阶段明确支护结构承载力、防水性、耐久性等7项核心功能;功能评价阶段采用0-4评分法量化各功能重要性系数,确定成本分配比例;方案创造阶段通过头脑风暴法生成12种备选方案,如将连续墙与主体结构外墙结合设计,利用主体结构作为永久支护,节省造价15%;推广标准化构件方面,预制桩接头采用机械连接替代焊接,损耗率从8%降至3%,单桩成本降低120元;采用装配式支撑体系,将钢支撑、冠梁等构件在工厂预制,现场拼装效率提升40%,工期缩短15天。创新采购管理模式时,建立战略采购平台整合12家核心供应商,通过集中采购钢

材、水泥等大宗材料,降低采购成本5%-8%;开发供应链金融产品,与银行合作提供应收账款质押融资,将供应商账期从60天延长至90天,减少资金占用3000万元;应用区块链技术建立材料溯源系统,记录钢材生产批次、运输路径、质量检测报告等全流程信息,实现质量追溯,降低质量事故导致的返工成本20%。

3.4 安全管理策略

构建双重预防机制需实现风险管控前置化。风险分级管控方面,通过HAZOP分析法识别出坍塌、高处坠落、物体打击等8类重大风险,制定专项管控方案,如针对坍塌风险设置双排桩+角撑的复合支护体系,增加支护结构安全储备;隐患排查治理方面建立“日巡查、周检查、月排查”制度,日巡查覆盖支护结构、施工机械、临时用电等8个重点部位,周检查使用红外热成像仪检测桩身完整性,月排查邀请第三方机构进行专项评估,隐患整改率要求达到100%,形成“排查-整改-验收-销号”闭环管理。强化应急能力建设时,编制专项应急预案明确基坑突涌、支护失效等5类事故的处置流程,如突涌事故发生后30分钟内完成反压土袋堆载、1小时内启动双液注浆加固;配备应急物资库,储备H型钢、液压千斤顶、速凝水泥等抢险材料,确保2小时内可调集50吨应急物资;开展实战演练,每季度组织1次无脚本应急演练,模拟支护结构倾斜、地下管线破裂等场景,提升现场处置能力。深圳某深基坑工程通过该机制,在2022年雨季成功处置3次基坑渗漏险情,通过及时启动应急预案,在2小时内完成渗漏点封堵,避免支护结构失稳,保障了周边3栋居民楼安全,避免经济损失5000万元。

3.5 绿色施工策略

推行清洁生产技术需实现资源循环利用。采用泥浆分离设备将钻孔泥浆中的砂石、黏土分离,分离后的清水回用于混凝土养护,废浆经压滤处理后制成免烧砖,实现泥浆零排放,废浆排放量减少70%;应用低噪声设备,在打桩机安装消声器、振动筛设置隔音罩,将噪声

值从95dB降至80dB,满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》要求;设置洗车槽与三级沉淀池,车辆冲洗废水经沉淀、过滤、消毒处理后回用,节水率达60%,年节约用水2万吨^[4]。实施生态修复工程时,施工前采用表土剥离技术保存30cm厚耕作层土壤,竣工后用于绿化覆土,避免表土资源流失;选择香樟、桂花等本地适生植物进行复垦,植被覆盖率要求达到90%以上,形成多层次植物群落;建立长期监测机制,每半年委托第三方机构检测土壤pH值、有机质含量等指标,评估生态恢复效果。杭州某深基坑工程通过该策略,施工期采用围挡喷淋系统、覆盖防尘网等措施,使扬尘浓度下降55%;竣工后1年通过补植灌木、草本植物,植被多样性指数恢复至周边自然水平,形成稳定的生态系统,获得“浙江省绿色施工示范工程”称号,提升企业社会形象。

结束语

建筑工程中深基坑支护桩技术的应用至关重要,关乎施工安全、质量及环境等多方面。本文深入探讨其应用策略,虽提出一系列优化措施并通过案例验证,但深基坑工程复杂多变,实际应用中仍需结合具体工程条件灵活调整。未来,随着技术发展,应持续创新优化支护桩技术,加强施工管理,提升安全与环保水平,推动建筑工程深基坑施工向更安全、高效、绿色的方向发展。

参考文献

- [1]柳洪强.建筑工程施工中深基坑支护施工技术的重要性及应用实践[J].中小企业管理与科技,2022(13):121-123.
- [2]韦丽明.建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理[J].建材发展导向,2022,20(12):130-132.
- [3]李宗智.建筑工程施工中深基坑支护桩技术应用策略研究[J].大众标准化,2023(06):51-53.
- [4]马骞.建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用[J].四川建材,2022,48(10):89-90.