

# 深基坑支护结构施工优化及其施工监测技术的研究

赖蓝

422103\*\*\*\*\*821X

**摘要:**深基坑工程作为地下空间开发的关键环节,其支护结构施工质量直接影响周边环境安全与工程整体进度。随着城市建设向深层地下空间拓展,深基坑支护面临地质条件复杂、周边建筑物密集及环境保护要求严格等挑战,传统施工方法与监测手段难以满足精细化管控需求。本文围绕深基坑支护结构施工优化与施工监测技术展开系统研究,首先分析了深基坑支护结构的施工难点;其次从设计参数优化、施工工艺改进及材料性能提升三方面探讨了支护结构施工的优化路径;重点研究了施工监测技术的体系构成、关键监测指标及数据反馈机制;最后提出了施工优化与监测技术协同应用的实施策略。研究表明,通过施工过程的动态优化与实时监测反馈,可有效提升深基坑支护结构的安全性与经济性,为类似工程提供理论与技术参考。

**关键词:**深基坑工程;支护结构;施工优化;监测技术;数据反馈

**DOI:** 10.64216/3080-1508.25.12.006

## 引言

深基坑工程通常处于城市中心区域,周边存在密集的既有建筑物、地下管线及道路设施,且地质条件复杂多变(如软土、砂层、岩溶等),传统支护结构施工方法易受施工扰动、材料性能波动及环境因素影响,导致支护结构变形过大、周边地层沉降超标等问题。与此同时,建设单位对工程进度与成本控制的要求日益严格,亟需通过施工优化与精准监测技术提升支护结构施工的科学性与可靠性。本文聚焦深基坑支护结构施工全流程,研究施工优化方法与监测技术的协同应用机理,以期为工程实践提供技术支撑。

## 1 深基坑支护结构的施工难点分析

深基坑支护结构施工的复杂性主要体现在以下方面:其一,地质适应性要求高。不同地质条件(如高灵敏度软土、大粒径卵石层、富水砂层)对支护结构的嵌入深度、材料强度及防水性能提出差异化要求,例如软土地区需重点控制支护结构的抗隆起稳定性,砂层地区则需强化止水帷幕的密实性;其二,周边环境约束严格。基坑周边常分布既有建筑物基础、地下管线及交通道路,支护结构施工产生的土体变形(如水平位移、竖向沉降)可能引发邻近结构物开裂或管线破损,需将环境变形控制在极小范围内;其三,施工过程干扰因素多。基坑开挖与支护结构施工通常交叉进行,土方开挖顺序、降水速率及施工机械振动等因素均可能影响支护结构的受力状态,例如过早开挖或超挖易导致支护结构应力集中,

降水不当可能引发基坑底部土体隆起。

## 2 深基坑支护结构施工的优化路径研究

### 2.1 设计参数的精细化优化

设计参数是支护结构施工的基础依据,其合理性直接影响结构安全性与经济性。优化过程需重点关注以下参数:一是支护结构嵌入深度。通过极限平衡理论或数值模拟方法,结合基坑深度、土层分布及地下水位,计算满足抗倾覆、抗滑移及抗隆起稳定性的最小嵌入深度,避免因嵌入过浅导致支护结构失稳,或嵌入过深造成材料浪费;二是支护构件截面尺寸。针对排桩或地下连续墙,根据基坑周边土压力分布(主动土压力、被动土压力及静止土压力),优化桩径、桩间距或墙厚,确保截面承载力满足侧向荷载要求的同时,减少混凝土用量;三是内支撑或锚索的布置方案。对于需要设置内支撑的基坑,优化支撑的层数、间距及截面形式(如钢支撑的直径与壁厚、混凝土支撑的配筋率),平衡支撑体系的刚度与施工便利性;对于采用锚索的基坑,调整锚索长度、倾角及预应力值,确保锚固段充分嵌入稳定土层并提供足够的抗拔力。参数优化需结合工程地质勘察报告、周边环境限制条件及施工可行性综合确定,必要时通过有限元软件(如PLAXIS、MIDAS-GTS)模拟不同参数组合下的支护结构受力状态,选择最优方案。

### 2.2 施工工艺的改进与创新

施工工艺的合理性直接影响支护结构的成型质量

与受力性能。针对不同类型支护结构，可采取以下改进措施：对于排桩支护，优化成孔工艺（如旋挖钻机替代冲击钻机）减少孔壁坍塌风险，控制桩身垂直度偏差（不超过1/100）以确保桩间咬合效果；对于地下连续墙，改进槽段划分方式（如采用“直线段+圆弧段”组合槽段）提升接头止水性能，加强钢筋笼吊装过程中的变形控制（如设置临时支撑点）避免笼体变形；对于土钉墙或复合土钉墙，优化土钉长度与间距（根据土层抗剪强度确定合理间距，避免过密或过疏），改进注浆工艺（如采用二次注浆提高浆液扩散半径）增强土钉与土体的粘结力；对于内支撑或锚索施工，严格控制支撑构件的安装精度（如钢支撑的轴线偏差不超过20毫米），优化预应力施加工艺（如分阶段张拉锚索并监测位移变化），确保支撑体系及时发挥作用。此外，推广装配式支护结构（如预制混凝土板桩、模块化内支撑节点）可减少现场湿作业时间，提升施工效率与质量稳定性。

### 2.3 支护材料的性能提升与应用

支护材料的力学性能与耐久性是保障结构长期稳定的关键。对于混凝土支护结构（如排桩、地下连续墙），可通过掺加高效减水剂、矿物掺合料（如粉煤灰、矿渣粉）优化配合比，提高混凝土的抗压强度与抗渗等级（如达到P8及以上），同时降低水化热减少大体积混凝土开裂风险；对于钢材类支护构件（如钢支撑、锚索），选用高强度低松弛钢材（如Q345B以上级别），并通过防腐涂层（如环氧富锌底漆+聚氨酯面漆）或阴极保护技术提升耐久性；对于土体加固材料（如水泥土搅拌桩的注浆浆液），研发改性水泥浆（如添加膨润土、早强剂）改善浆液流动性与早期强度，针对特殊地质条件（如高渗透性砂层）可采用化学注浆（如聚氨酯灌浆）提高止水效果。材料性能的提升需结合工程实际需求与环境条件，通过试验验证（如混凝土试块抗压强度测试、钢材耐腐蚀性试验）确保其可靠性<sup>[1]</sup>。

## 3 深基坑支护结构施工监测技术的体系研究

### 3.1 监测技术的基本体系构成

深基坑支护结构施工监测是实时掌握结构受力状态与环境变形情况的重要手段，其体系主要由监测对象、监测内容、监测方法及数据传输处理四部分构成。监测对象包括支护结构本身（如排桩、地下连续墙、内支撑）、

周边环境（如既有建筑物基础、地下管线、道路路面）及基坑底部土体；监测内容涵盖位移监测（水平位移、竖向沉降）、应力/应变监测（支护结构内力、土体压力）、变形监测（基坑周边地层沉降、坑底隆起）及环境监测（周边建筑物倾斜、裂缝开展）；监测方法根据监测内容选择，例如位移监测采用全站仪、测斜仪或静力水准仪，应力监测采用钢筋应力计、混凝土应变计或锚索测力计，环境监测采用倾斜仪、裂缝计或沉降板；数据传输处理则通过传感器实时采集数据，经无线传输（如GPRS、LoRa）或有线网络汇总至监测平台，利用数据分析软件（如MATLAB、Python）进行趋势分析与预警判断。完整的监测体系需实现“监测-传输-分析-反馈”的闭环管理。

### 3.2 关键监测指标与控制标准

深基坑支护结构施工监测的关键指标需根据工程风险等级与周边环境敏感程度确定，主要分为以下几类：一是支护结构位移指标，包括桩（墙）顶水平位移（控制值通常为基坑深度的0.15%–0.3%，且不超过30–50毫米）、桩（墙）体深层水平位移（最大位移点位置及位移量，一般要求不超过基坑深度的0.5%）及竖向沉降（不超过基坑深度的0.1%）；二是周边环境变形指标，包括邻近建筑物基础沉降（差异沉降不超过1/1000）、地下管线水平位移（不超过管线直径的1/50）及道路路面沉降（不超过20–30毫米）；三是支护结构内力指标，如排桩或地下连续墙的弯矩（不超过设计值的80%）、内支撑轴力（不超过构件承载力的70%）及锚索拉力（不超过设计预应力的90%）；四是基坑底部土体隆起指标（不超过20–30毫米），防止因坑底土体隆起导致支护结构底部失稳。各项指标的控制标准需结合现行规范（如《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120）、工程地质条件及周边环境要求综合确定，并在施工前明确预警阈值（如黄色预警为控制值的70%、红色预警为控制值的90%）<sup>[2]</sup>。

### 3.3 监测数据的实时反馈与动态调整

监测数据的价值在于为施工优化提供实时反馈。通过建立“监测-分析-反馈-调整”的动态机制，可实现支护结构施工的精准控制：首先，监测平台实时采集各传感器数据并自动生成趋势曲线（如位移-时间曲线、

应力-深度曲线），直观展示关键指标的变化状态；其次，数据分析人员对比监测值与控制标准，当监测值接近预警阈值时（如桩顶水平位移达到控制值的60%），发出分级预警信号（黄色预警提示加强观察，红色预警要求立即停工排查）；再次，将监测结果反馈至施工管理团队，结合支护结构受力分析（如有限元模拟）判断偏差原因（如土方开挖过快、降水速率过大），针对性调整施工参数（如减缓开挖速度、优化降水井布置）；最后，将调整后的施工状态再次纳入监测范围，验证优化措施的有效性，形成“监测-调整-再监测”的闭环循环。通过这一机制，可及时发现潜在风险并采取措施，避免支护结构失稳或周边环境破坏等重大事故的发生。

## 4 施工优化与监测技术的协同应用策略

### 4.1 优化设计与监测需求的联动

施工优化需与监测需求紧密结合，确保监测方案能够精准反映优化措施的效果。例如，当设计参数优化（如调整排桩嵌入深度或内支撑布置）时，需在对应部位增设监测点（如桩体深层位移监测点、支撑轴力监测点），重点跟踪优化区域的受力状态变化；当施工工艺改进（如采用新型注浆工艺加固土钉墙）时，需加强对土体变形（如桩间土位移、坑壁收敛）的监测，验证工艺改进对支护效果的改善程度；当支护材料性能提升（如使用高强度混凝土或防腐钢材）时，需监测材料的实际工作状态（如混凝土应变、钢材应力），评估材料性能是否达到预期目标。通过优化设计与监测需求的联动，可实现“设计-施工-监测”的全过程协同<sup>[3]</sup>。

### 4.2 监测数据驱动的动态优化调整

监测数据是施工动态优化的核心依据。当监测数据显示某项指标异常（如桩顶水平位移增速突然加快），需立即分析可能的原因（如邻近土层存在软弱夹层、支护结构局部缺陷），并针对性调整施工方案（如在该区域增加锚索或加密支撑）；当监测数据反映支护结构受力状态趋于紧张（如内支撑轴力接近设计承载力的70%），需优化后续土方开挖顺序（如减小单次开挖深度、调整开挖方向）以降低结构荷载；当周边环境监测指标超标（如邻近建筑物基础沉降速率增大），需暂停基坑内可能影响该区域的施工活动（如停止该侧降水或开挖），

并采取补偿措施（如对建筑物基础进行注浆加固）。通过监测数据驱动的动态优化，可使施工过程始终处于可控状态，提升工程安全性与经济性。

### 4.3 技术协同的实施保障措施

为确保施工优化与监测技术的有效协同，需建立完善的实施保障体系：一是组织保障，成立由设计、施工、监测及监理单位共同参与的协同工作组，明确各方职责（如设计单位提供优化方案、施工单位落实调整措施、监测单位实时反馈数据）；二是技术保障，采用统一的BIM平台或信息化管理系统集成设计模型、施工进度计划及监测数据，实现多源信息的可视化共享与交互；三是制度保障，制定监测数据管理制度（如数据校核、存档及异常报告流程）、优化方案审批制度（如重大调整需经专家论证）及应急响应预案（如监测值超过红色预警时的紧急处置措施）。通过上述保障措施，可推动施工优化与监测技术的深度融合，为深基坑支护结构施工提供全方位技术支撑<sup>[4]</sup>。

## 5 结束语

深基坑支护结构施工是地下工程建设的核心环节，其优化与监测技术的应用直接关系到工程安全与效益。本文研究表明，通过设计参数精细化优化、施工工艺改进及材料性能提升可实现支护结构施工质量的提升；构建包含多类型监测指标与实时反馈机制的监测技术体系，能够精准掌握支护结构受力状态与环境变形情况；施工优化与监测技术的协同应用，通过数据驱动的动态调整与闭环管理，可有效应对复杂地质条件与周边环境约束，提升工程的安全性、经济性与适应性。

## 参考文献

- [1] 王晓明,高智鑫,吕品,程李.紧邻地铁深基坑开挖变形控制研究[J].建筑机械化,2024,45(1):80-83.
- [2] 龙志强,欧明喜,李强,张鹏.基于数值模拟的深基坑桩锚支护优化分析[J].广东土木与建筑,2024,31(3):23-27.
- [3] 钟智勇.深基坑开挖过程中变形监测分析[J].工程技术研究,2023,8(18):60-62.
- [4] 徐俊杰.基坑监测技术在深基坑施工中的应用[J].科技创新与生产力,2023,44(10):124-126.