

建筑土木工程施工中的基坑支护技术应用探讨

田彦虎

宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司, 宁夏 固原 756000

[摘要] 基坑支护技术是现代建筑工程安全实施的关键支撑体系, 其科学选型与精准控制决定着工程结构稳定性与全周期效益。文章系统解析支护技术的力学响应特征与环境适配机理, 阐明不同工艺的适用边界与协同作用机制, 创新性提出地质智能判识、多目标优化决策与风险动态管控的集成方法体系, 构建“勘察-设计-施工-监测”全链条技术路径, 为复杂城市环境下基坑工程的绿色建造与智能运维提供理论范式与实践指南。

[关键词] 建筑土木工程; 基坑支护; 支护技术; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16471

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Discussion on Application of Foundation Pit Support Technology in Civil Engineering Construction

TIAN Yanhu

Ningxia Hui Autonomous Region No. 4 Construction Engineering Co., Ltd., Guyuan, Ningxia, 756000, China

Abstract: Excavation support technology is a key support system for the safe implementation of modern construction engineering. Its scientific selection and precise control determine the stability and full cycle benefits of the engineering structure. The article systematically analyzes the mechanical response characteristics and environmental adaptation mechanisms of support technology, clarifies the applicable boundaries and collaborative mechanisms of different processes, innovatively proposes an integrated method system for geological intelligent identification, multi-objective optimization decision-making, and risk dynamic control, and constructs a "survey-design-construction-monitoring" full chain technical path, providing theoretical paradigms and practical guidelines for green construction and intelligent operation and maintenance of foundation pit engineering in complex urban environments.

Keywords: architecture and civil engineering; excavation support; support technology; technical application

引言

城市化进程的加速催生了密集的高层建筑群与复合型地下空间开发, 这使得基坑工程面临深度持续增加、环境约束日趋严苛、地质条件愈发复杂的多重挑战。现代基坑支护体系需在有限施工场地内实现力学稳定、环境扰动最小化与资源集约化的三重目标, 其设计逻辑已从单一承载力控制转向“安全-经济-生态”多维协同优化。当前工程实践中, 支护选型与地层特性的适配偏差、动态施工荷载的预判不足, 以及传统经验决策的局限性, 常导致支护结构效能冗余或局部失效风险。本文突破传统“结构-土体”二元分析范式, 将水文地质条件、环境敏感度、施工扰动效应纳入系统考量, 通过耦合数值模拟、智能监测反馈与风险概率评估, 揭示不同支护技术的空间效应传递规律与失效演化机制。研究成果将形成融合地质智能判识、多目标优化算法与全周期风险管控的决策框架, 为复杂工况下的支护技术选择提供理论支撑, 推动基坑工程从“被动防御”向“主动适应”的智能化转型, 助力城市地下空间开发的安全可持续发展。

1 建筑土木工程基坑支护施工特征及重要性

基坑支护体系作为临时性工程结构, 其设计与施工需遵循“动态适应、协同优化”原则, 贯穿于土方开挖至地下结构完工的全生命周期。支护结构的力学响应具有显著

时空差异性——随着开挖深度增加, 土体应力路径改变引发支护荷载重分布, 需通过动态设计调整预应力和支护刚度。在复杂城市环境中, 支护体系需兼顾地下管线避让、既有建筑保护及交通疏解等多重约束, 形成“结构-土体-环境”协同作用机制。技术特征上表现为多学科融合性, 需综合岩土力学、结构工程、流体力学等理论, 结合数值仿真与现场监测数据迭代优化方案。其重要性不仅体现在工程安全层面, 更延伸至社会经济效益维度: 科学支护可降低土方回填量 30% 以上, 缩短工期 15%~20%, 并通过控制地面沉降保护周边建筑使用功能。在生态层面, 新型可回收支护构件的应用减少建筑垃圾产生, 推动绿色施工技术发展。随着智能传感与 BIM 技术的集成应用, 支护体系正从被动承载体向具备自感知、自适应的智能结构演进, 为数字孪生技术在土木工程中的深度应用提供实践载体。

2 建筑工程施工中常用的基坑支护施工技术

2.1 排桩支护

排桩支护以钢筋混凝土灌注桩或预制桩的等距布设为核心, 形成空间协同受力的挡土体系。施工中采用旋挖钻机或冲击钻成孔, 通过泥浆护壁工艺保障桩体垂直度, 桩端嵌入稳定岩层以增强抗拔承载力。桩间通过喷射混凝土或砌筑挡板形成连续支护面, 顶部设置钢筋混凝土冠梁实现桩体刚性连接, 优化整体抗弯性能。针对地下水位波

动区,常与高压旋喷桩止水帷幕组合应用,形成“挡土-截水”双重防护体系。该技术对周边土体扰动较小,可有效控制基坑开挖引起的地表沉降,尤其适用于邻近地铁隧道、历史建筑等敏感区域的深基坑工程。施工中需重点控制桩位偏差、桩身完整性及冠梁节点连接质量,通过超声波检测与低应变法评估桩体缺陷。在软土地层中,可间隔设置预应力锚杆优化桩体受力状态,形成排桩-锚索复合支护结构,提升深基坑支护的经济性与安全性。

2.2 钢板桩支护

钢板桩支护通过热轧型钢的锁口咬合形成连续挡土墙体,其施工效率与可回收性在临时性工程中具有显著优势。U型或Z型截面的钢板桩通过高频振动锤或静压设备贯入土层,锁口结构的密闭性可有效阻断浅层地下水渗透。该技术适用于砂土、粉土等自立性较好的地层,尤其适合河道围堰、管沟支护等短期工程。施工中需重点控制桩体垂直度与锁口咬合紧密性,采用全站仪实时监测桩身偏斜,并通过注浆填充锁口间隙以提升止水性能。在邻近敏感建筑区域,优先选用静压沉桩工艺减少振动传导,同步布设土体位移传感器与建筑物倾斜监测点,动态调整沉桩顺序与速率^[1]。钢板桩回收时需采用专用拔桩设备,避免因锁口变形导致二次利用效能降低。对于存在承压水或深层软土的地层,可结合内支撑体系优化受力状态,或通过注浆加固桩端持力层提升抗倾覆稳定性。

2.3 土钉墙支护

土钉墙支护通过植入土体的加筋杆件与喷射混凝土面层形成复合重力式挡墙,其核心机理在于激活土体自稳能力。施工中采用分层开挖、分段支护的作业流程:每层开挖后立即钻孔植入钢筋或钢绞线土钉,注入水泥浆形成加固体,随后挂设钢筋网并喷射混凝土形成刚性面层。该技术适用于黏性土、粉质黏土等具有自立性的地层,尤其适合较浅或中等深度的基坑工程。施工需严格控制开挖步距与支护时序,避免暴露时间过长引发局部塌落。土钉长度、倾角及水平间距的设计需通过极限平衡法与数值模拟综合确定,并在现场开展抗拔力试验验证参数合理性。在富水地层中,需增设排水管或结合轻型井点降水措施,防止孔隙水压力削弱土钉锚固效果。土钉墙的经济性优势显著,但其变形控制能力相对较弱,故在邻近重要设施或变形敏感区域需设置预应力锚杆补强。

2.4 深层搅拌桩支护

深层搅拌桩支护通过专用搅拌机械将水泥浆液与地基土体强制混合,形成连续搭接的水泥土加固墙体。施工时采用双轴或三轴搅拌桩机,通过钻杆叶片旋转切削土体并注入水泥浆,在竖向连续搅拌过程中形成均匀的水泥土柱体。该技术对淤泥、饱和软黏土等流塑性地层具有显著改良效果,其形成的止水帷幕可有效阻断潜层承压水渗透路径。施工过程中需精确控制钻头提升速率与搅拌次数,

确保土体破碎程度与浆液渗透范围的均匀性。针对含砂夹层或有机质土层,需调整固化剂掺入比例或添加外掺剂(如膨润土、粉煤灰)以优化桩体抗渗强度。在邻近地下管线的区域,采用跳打施工工艺减少累计挤土效应,通过测斜仪监测桩体垂直度偏差。桩体养护期间需避免机械振动干扰,待水泥土龄期达到设计强度后,通过钻孔取芯与无侧限抗压试验验证桩身质量^[2]。该技术的局限性在于难以穿透硬塑黏土或密实砂层,此时需结合高压旋喷注浆工艺进行补强。

2.5 地下连续墙支护

地下连续墙支护是一种在建筑工程深基坑施工中常用的支护技术。其基本做法是利用挖槽机械沿基坑周边轴线开挖出狭长而深的槽段,随后吊放钢筋笼并灌注水下混凝土,从而形成一道连续的钢筋混凝土墙体。该墙体具备良好的截水、防渗和承重性能。为了确保地下连续墙能有效发挥挡土、挡水和支撑作用,施工过程中需重点控制导墙施工、槽段开挖、泥浆护壁以及水下混凝土灌注等关键环节。科学管理和精细施工能够充分体现其支护刚度大、变形小、抗侧压能力强等技术优势。

2.6 挡墙+内撑支护

挡墙与内撑支护体系通过刚性挡土结构与水平支撑构件的协同作用,形成三维空间受力网络,有效改善传统悬臂式支护的侧向变形缺陷。挡墙通常采用地下连续墙或排桩结构承担主要土压力,内撑构件则根据基坑平面形状选择钢支撑、混凝土支撑或组合式桁架体系,其布置需结合基坑几何特征进行拓扑优化——对撑式布局适用于狭长基坑,角撑与环形支撑则利于复杂多边形基坑的受力均衡。施工中严格遵循“分层开挖、先撑后挖”原则,每层土方开挖后立即架设预应力支撑并施加设计轴力的30%~50%作为预加载,通过液压千斤顶动态调整消除支撑与围檩间的安装间隙。钢支撑凭借轻质高强特性可实现快速安装,但需通过温度补偿算法抵消昼夜温差引起的轴力波动;混凝土支撑虽施工周期较长,但其整体刚度优势可显著抑制深层土体位移。支撑轴力监测系统采用光纤光栅传感器或液压轴力计实时采集数据,结合有限元反演分析预测荷载变化趋势,当监测值偏离设计阈值时,通过智能张拉设备实施多级补偿加载。针对开挖过程中土压力重分布现象,建立“监测-预警-调控”动态响应机制:在软土地层中采用伺服控制系统实现支撑轴力自适应调节,在岩质地层中则通过可拆卸式预应力锚杆补充受力。

3 建筑工程施工中基坑支护施工技术的应用要点

3.1 加强现场勘察工作

基坑支护工程的现场勘察需构建“多维度、全周期”的立体化勘察体系,涵盖地质结构、水文条件、环境约束等多重参数的综合解析。采用地质雷达、静力触探与标准贯入试验等原位测试手段,精准识别土层分布特征与力学行为,结合室内三轴试验测定土体抗剪强度与固结特性,

重点探明软弱夹层、透镜体及溶洞等隐蔽性地质缺陷的空间展布规律。针对地下水影响,布设分层水位监测井与渗透试验孔,分析承压水头变化与渗流路径,利用数值反演技术预测降水开挖对周边含水层的扰动范围。引入无人机倾斜摄影与激光雷达扫描技术,建立厘米级精度的地表微地形模型,同步整合既有地下管线、邻近建筑基础等环境数据,构建“地质-水文-环境”耦合的三维可视化分析平台。勘察成果需与支护设计动态交互——通过有限元软件模拟不同支护方案下的土体应力应变响应,结合 BIM 模型预演开挖工序对周边设施的变形影响,实现勘察数据向设计参数的精准转化。

3.2 选用合适支护技术

基坑支护技术的科学选型需构建“地质适配-环境兼容-经济优化”三位一体的决策框架。在基础地质适配层面,针对流塑状淤泥地层优先选用深层搅拌桩形成重力式挡墙,而在岩土互层区域则采用地下连续墙穿越软弱夹层锚入稳定基岩。环境兼容性评估需量化分析振动敏感度、变形控制阈值与地下水位波动幅度——邻近地铁隧道时采用刚度较高的灌注桩+内支撑体系,历史建筑保护区则选用静压植入的钢板桩减少施工扰动。经济性优化通过全寿命周期成本分析法,综合比较临时支护拆除成本、材料回收率及工期压缩效益,例如可回收锚杆与装配式支撑的应用可显著降低工程废弃率。技术比选过程中,引入机器学习算法对历史工程数据进行特征挖掘,建立支护形式与地层参数、环境约束的关联模型,辅助生成候选方案集^[3]。对于特殊工况(如坑中坑、异形基坑),采用排桩-锚索-内撑复合支护体系,通过拓扑优化算法确定最优支撑布局。数值模拟阶段运用离散元-有限元耦合方法,再现土体渐进破坏过程与支护结构协同作用机理,重点验证极端工况(暴雨入渗、机械振动)下的体系鲁棒性。

3.3 把握施工技术要点

基坑支护施工需构建“精细化控制-动态调整-全周期验证”的技术管理体系。排桩支护的成桩质量通过全站仪实时监测垂直度偏差,采用自动纠偏系统调整钻机姿态,确保桩体空间定位精度满足结构协同受力要求。土钉注浆施工中,通过智能压力监测设备控制注浆流量与压力梯度,采用分段后退式注浆工艺保障浆液在锚固段的均匀扩散,避免注浆不足或浆脉集中现象。分层开挖工序遵循“时空效应”理论,根据土层特性动态调整每层开挖深度与暴露时间——在流塑性地层中采用分条开挖法,配合速凝早强材料缩短支护间歇期;岩质地层则通过预裂爆破技术减少对保留岩体的扰动。预应力锚杆施工需建立“初张拉-锁定-补偿张拉”的多级调控机制,采用荷载传感器监测锁定力衰减趋势,结合土体蠕变本构模型计算二次张拉时机

与补偿量值。对于钢支撑体系,通过液压伺服系统实现预应力施加的毫米级精度控制,并采用温度应变补偿算法消除昼夜温差引起的轴力波动。施工顺序优化方面,优先施作角部支撑形成空间刚度核心区,随后对称扩展中部支撑网络,避免局部应力集中导致的体系失衡^[4]。全过程引入数字孪生技术,通过 BIM 模型与现场监测数据的实时映射,动态验证施工参数合理性,例如在锚杆钻孔偏位时,基于模型反演重新计算锚固角度对支护效能的敏感性。

3.4 强化施工过程管控

施工过程管控需构建“感知-分析-决策-执行”的全链条闭环管理体系。部署智能传感网络实时捕捉支护结构位移、支撑轴力及地下水位变化,结合边缘计算设备实现监测数据的本地化预处理与异常信号识别。通过 BIM+GIS 平台构建数字孪生体,动态映射基坑变形趋势与周边环境影响,利用机器学习算法预测潜在风险演变路径。建立三级预警响应机制:一级预警触发数据复核与人工巡检,二级预警启动专家会诊与方案预调整,三级预警立即执行支撑补强或土体加固。引入智能注浆机器人、预应力自动张拉设备等智能化施工装备,通过预设工艺参数确保应急措施的实施精度。同步完善施工日志区块链存证系统,实现人员操作、材料验收及监测数据的不可篡改追溯,形成覆盖“设计-施工-运维”的全生命周期质量档案。

4 结语

基坑支护技术的创新融合是工程安全与可持续建设的核心。未来应聚焦智能材料研发与数字孪生技术集成,构建自感知、自适应支护体系,发展低碳可回收结构体系与智能建造装备,通过边缘计算与 AI 协同实现风险自主预警,为高密度城市空间开发提供韧性支撑。

[参考文献]

- [1]哈志刚,杜娜.建筑土木工程施工中的基坑支护技术应用探讨[Z]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(二).平凉天正基础工程有限责任公司;甘肃金正信工程项目管理咨询有限公司;2024:26-27.
 - [2]戴志超.建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用研究[J].广东建材,2023,39(12):94-96.
 - [3]张志荣.基坑支护技术在建筑工程施工中的应用[J].江西建材,2021(9):155-156.
 - [4]魏海昆.深基坑支护技术在建筑土木工程施工中的应用分析[J].科技创新导报,2020,17(20):139-140.
- 作者简介:田彦虎(1977.12—),毕业院校:宁夏大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司,就职单位职务:经理,职称级别:中级。