

高层建筑深基坑支护技术优化探讨

刘苗苗

合肥科技职业学院安徽合肥 231202

摘要：随着城市化进程加速，高层建筑向“高空化、深地基”方向发展，深基坑支护作为保障工程安全与周边环境稳定的核心工序，其技术合理性直接决定工程质量、施工安全与综合效益。当前深基坑支护技术面临复杂地质条件适应性不足、成本与环保协同失衡、监测管控滞后等问题，制约了高层建筑工程的可持续发展。本文提出针对性的优化路径，为高层建筑深基坑工程的高质量施工提供理论支撑与实践借鉴。

关键词：高层建筑；深基坑支护；技术优化；协同控制；施工安全

Discussion on Optimization of Deep Foundation Pit Support Technology for High-Rise Buildings

Miaomiao Liu

Hefei Science and Technology Vocational College, Hefei, Anhui, 231202

Abstract: With the acceleration of urbanization, high-rise buildings are developing towards the direction of “higher altitude and deeper foundation”. As a core process to ensure project safety and the stability of the surrounding environment, the technical rationality of deep foundation pit support directly determines project quality, construction safety and comprehensive benefits. At present, deep foundation pit support technology is faced with problems such as insufficient adaptability to complex geological conditions, unbalanced coordination between cost and environmental protection, and lagging monitoring and control, which restrict the sustainable development of high-rise building projects. This paper puts forward targeted optimization paths, providing theoretical support and practical reference for the high-quality construction of deep foundation pit projects for high-rise buildings.

Keywords: High-Rise Buildings; Deep Foundation Pit Support; Technical Optimization; Collaborative Control; Construction Safety

引言

在城市土地资源日趋紧张的背景下，高层建筑成为缓解城市居住与商业需求的核心载体。深基坑作为高层建筑的基础工程，其开挖深度不断增加，施工环境愈发复杂——不仅要应对软土、岩溶、富水等多样化地质条件，还需规避周边建筑物、地下管线、交通设施等敏感环境要素的影响。深基坑支护技术的核心功能是通过构建支护结构，平衡基坑侧壁土压力与水压力，防止基坑坍塌、变形，保障施工过程安全与周边环境稳定。近年来，国内外学者针对深基坑支护技术开展了大量研究，在单一支护技术改进、施工工艺优化等方面取得了一定成果。但实践中，传统支护技术仍存在诸多局限：方案选型依赖经验判断，缺乏多因素系统耦合分析；结构设计与地质条件适配性不足，易出现过度设计或安全储备不足；施工工艺粗放，环保性与资源利用率偏低；监测体系不完善，动态调控能力薄弱。这些问题不仅增加了工程成本与安全风险，还可能引发地质灾害与环境破坏，与当前绿色建筑、高质量发展的要求存在差距。

1. 高层建筑深基坑支护技术核心内涵与常用类型

1.1 深基坑支护技术的核心内涵

深基坑支护技术是指在深基坑开挖过程中，为保障基坑侧壁稳定、周边建（构）筑物及地下管线安全，所采用的结构体系与施工技术的总称。其核心目标包括三个维度：一是安全性，通过支护结构抵御土压力、水压力等荷载，防止基坑边坡坍塌、位移超标；二是适应性，根据地质水文条件、基坑深度、周边环境等因素，选择适配的支护形式，满足复杂工程场景需求；三是协同性，在保障安全的前提下，实现成本控制、工期优化与环境保护的协同统一。深基坑支护技术的核心要求体现在“动态平衡”与“精准管控”。动态平衡指支护结构需与基坑开挖过程同步适配，随着开挖深度增加实时调整受力状态，避免局部应力集中导致结构破坏；精准管控则要求支护方案设计、施工工艺实施、监测数据应用等环节形成闭环，确保每个流程都符合技术标准与工程实际需求。

1.2 高层建筑深基坑常用支护技术类型

高层建筑深基坑支护技术种类繁多，需根据工程实际条件科

学选型,以下为当前应用最广泛的几类技术:

土钉墙支护技术,通过在基坑边坡土体中设置土钉,与土体形成复合受力体系,增强边坡稳定性。该技术具有施工便捷、成本较低、工期短等优势,适用于粉质黏土、砂土等地质条件,基坑深度一般不超过12米。但其抗侧移能力较弱,在软土、富水地层或周边环境敏感区域应用受限。

排桩支护技术,由钢筋混凝土灌注桩或预制桩排列形成支护结构,可结合止水帷幕实现挡土与止水双重功能。该技术承载能力强、抗侧移效果好,适用于深基坑(深度10~20米)、复杂地质及周边建筑物密集区域。但施工工艺相对复杂,成本较高,成桩质量对支护效果影响显著。

地下连续墙支护技术,通过泥浆护壁成槽、浇筑混凝土形成连续的地下墙体,具有刚度大、防渗性好、对周边环境影响小等特点。适用于超深基坑(深度超过20米)、软土富水地层及城市核心区域工程。其核心优势是整体性强、抗变形能力突出,但施工设备复杂、周期长、成本较高,对施工技术水平要求严格。

钢板桩支护技术,采用热轧或冷弯成型的钢板桩拼接形成支护结构,兼具挡土与止水功能。该技术施工速度快、可重复利用、环保性较好,适用于临时支护或工期紧张的工程。但钢板桩刚度相对较小,易产生变形,在坚硬地层或深基坑中应用效果有限。

组合支护技术,结合两种及以上单一支护技术的优势,如“土钉墙+排桩”“地下连续墙+内支撑”等,通过协同作用提升支护体系的适应性与稳定性。该技术可根据工程地质、环境、深度等多因素灵活配置,适用于复杂条件下的深基坑工程,但方案设计与施工协调难度较大,需精准把控各技术的协同配合。

2. 高层建筑深基坑支护技术应用现存问题

2.1 技术选型与地质环境适配性不足

当前深基坑支护方案选型多依赖工程经验,缺乏系统性的多因素耦合分析。部分工程未充分勘察地质水文条件,盲目选用主流支护技术,导致技术与实际需求不匹配。例如,在软土富水地层中采用土钉墙支护,因土体承载力低、抗渗性差,易出现边坡滑移、渗水等问题;在周边管线密集区域采用大开挖配合钢板桩支护,因钢板桩施工振动大,可能造成管线变形破坏。地质勘察数据精度不足也制约了选型合理性。部分工程为缩短工期、降低成本,简化地质勘察流程,导致勘察数据无法全面反映地层分布、地下水赋存状态等关键信息。

2.2 结构设计与参数优化欠缺科学性

支护结构设计存在“过度设计”或“设计不足”双重问题。部分设计人员为规避安全风险,盲目增大支护结构尺寸、增加材料用量,导致工程成本大幅上升,资源浪费严重;反之,部分设计忽视荷载计算的复杂性,简化受力分析模型,导致支护结构强度、刚度不足,施工过程中出现变形超标、结构开裂等问题。参

数设计缺乏动态优化意识。深基坑施工是一个动态过程,土体应力状态、周边环境影响随开挖深度不断变化,但当前多数支护结构参数设计基于静态计算,未考虑施工过程中的动态变化。

2.3 施工工艺与绿色施工要求脱节

施工工艺粗放导致支护质量控制难度大。部分施工单位为追求进度,简化施工流程,如土钉墙施工中钻孔深度不足、注浆不饱满,排桩施工中桩位偏差过大、混凝土浇筑质量不合格,地下连续墙施工中槽壁垂直度控制不佳等。这些问题直接影响支护结构的整体性与承载能力,降低支护体系的安全储备。施工过程环保性不足,与绿色建造理念不符。深基坑施工产生的泥浆、渣土、扬尘、噪音等污染问题突出。部分工程未配套泥浆回收处理设备,直接排放含泥废水,污染土壤与地下水;渣土运输未采取密闭措施,引发道路扬尘;大型施工设备运行产生的高频噪音,影响周边居民生活。此外,施工过程中材料浪费现象严重,钢材、混凝土等主材损耗率超出合理范围,资源利用效率偏低。

3. 高层建筑深基坑支护技术优化路径

3.1 基于多因素耦合的支护技术选型优化

构建多因素综合选型指标体系。以地质水文条件、基坑深度、周边环境、工程成本、工期要求、环保标准为核心指标,建立层次化评价模型。采用模糊综合评价法、熵权法等数学方法,量化各指标权重,对候选支护技术进行综合评分,实现选型科学化、精准化。例如,在城市核心区超深基坑工程中,综合考虑周边建筑物密集、环保要求高、基坑深度大等因素,优先选用地下连续墙+内支撑组合支护技术;在地质条件较好、周边环境简单的中浅基坑工程中,选用土钉墙支护技术,兼顾安全与经济性。强化地质勘察精度与数据应用。优化地质勘察方案,根据工程规模、地质复杂程度,合理布置勘察孔密度与深度,采用钻探、物探、原位测试等多种勘察手段相结合,全面获取地层分布、土体物理力学性质、地下水水位及流向等数据。利用BIM技术构建地质信息模型,将勘察数据可视化,为支护方案选型提供直观、精准的技术支撑。

3.2 支护结构与参数动态优化设计

采用精细化受力分析模型优化结构设计。结合工程实际地质条件,引入数值模拟技术(如FLAC3D、MidasGTS等),建立三维非线性有限元模型,全面模拟基坑开挖过程中土体与支护结构的相互作用、应力应变分布规律。通过模拟不同结构形式、尺寸参数的支护效果,优化支护结构类型与布置方式,避免过度设计或设计不足。例如,通过数值模拟优化内支撑布置间距,在保证支护稳定性的前提下,减少内支撑数量,降低工程成本。

建立参数动态优化机制。根据施工过程中的地质反馈、监测数据,实时调整支护结构参数。在基坑开挖过程中,每完成一层开挖,结合该层地质条件检测结果、支护结构变形监测数据,利

用数值模拟工具重新计算受力状态,优化下一层开挖对应的支护参数。例如,当监测发现边坡位移偏大时,可适当缩短内支撑间距、增加土钉密度或加固边坡表层土体,确保支护体系始终处于安全状态。

3.3 施工工艺与绿色施工协同优化

推广精细化施工工艺,提升支护质量。针对不同支护技术特点,优化施工流程与操作标准:土钉墙施工中,采用精准钻孔定位技术,确保钻孔深度、角度符合设计要求,采用高压注浆工艺,保证注浆饱满度;排桩施工中,采用GPS定位配合激光测距,控制桩位偏差,采用水下混凝土导管浇筑技术,提升桩身混凝土质量;地下连续墙施工中,采用液压抓斗成槽机配合超声波测壁仪,控制槽壁垂直度,采用接头刷壁技术,增强墙体接头防渗性。

融入绿色施工理念,优化施工工艺。推广泥浆回收利用技术,在地下连续墙、排桩施工中,配套泥浆分离设备,将废弃泥浆处理后重复利用,减少废水排放与资源消耗;采用干法施工技术,在地下水丰富区域采用高压旋喷桩止水帷幕配合干法成孔工艺,替代传统湿法施工,降低泥浆污染;加强扬尘与噪音控制,在施工现场设置喷淋降尘系统、隔音屏障,选用低噪音施工设备,渣土运输采用密闭式车辆并定期清洗。

提升施工设备智能化水平。引入自动化、精准化施工设备,如智能成槽机、自动化注浆设备、激光导向钻机等,通过设备智能化提升施工精度与效率。利用BIM技术进行施工模拟,提前规划施工路线、协调各工序衔接,避免交叉施工冲突,减少返工与资源浪费。

3.4 监测体系与动态管控机制优化

构建多维度、全周期监测体系。明确核心监测指标,包括基坑边坡水平位移、竖向位移,支护结构(排桩、地下连续墙、内支撑)应力应变,地下水水位、水压,周边建筑物沉降、倾斜,地下管线变形等。根据施工进度动态调整监测频率,基坑开挖阶段加密监测频次(如每天1~2次),基坑成型后适当降低频次(如每周1~2次),确保关键节点监测数据全覆盖。

推进监测技术智能化升级。采用物联网、大数据、云计算等技术,构建智能监测平台。通过在支护结构、周边建筑物、管线等关键部位安装传感器,实时采集监测数据,经无线传输至云端

平台进行分析处理。利用数据挖掘技术识别异常数据特征,建立预警模型,当监测指标超出阈值时,自动发出分级预警信号,实现“监测-分析-预警”实时化。

建立监测-反馈-调控闭环机制。明确监测数据反馈流程,监测人员实时将数据上传至智能平台,技术人员、施工管理人员、设计人员共享数据,及时召开分析会议。当出现预警信号时,快速制定调控措施,如调整开挖速度、增加临时支撑、优化支护参数等,并跟踪调控效果,直至监测指标恢复正常。同时,将监测数据与施工记录、地质资料相结合,为后续类似工程提供数据支撑。

4. 结论

高层建筑深基坑支护技术优化是保障工程安全、提升综合效益、推动绿色建造的关键环节。本文通过分析深基坑支护技术的核心内涵与常用类型,指出当前技术应用中存在的选型适配性不足、设计科学性欠缺、施工工艺粗放、监测管控不完善等问题,并从选型优化、设计优化、施工优化、监测管控优化四个维度,提出系统性的优化路径。未来,高层建筑深基坑支护技术优化应进一步聚焦智能化、绿色化、模块化方向。通过人工智能、大数据等技术提升方案选型与设计的精准度,研发新型环保支护材料与工艺,推广模块化支护结构以提高施工效率与资源利用率。同时,需加强行业标准与规范的完善,推动优化技术的标准化、常态化应用,为高层建筑工程的高质量、可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 王梦恕.深基坑支护技术发展与展望[J].岩土工程学报,2018,40(1):1-10.
- [2] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [3] 张顶立,李鹏飞.城市深基坑支护技术现状与发展趋势[J].工程地质学报,2020,28(3):521-530.
- [4] 陈祖煜.岩土工程数值分析与优化设计[M].北京:中国水利水电出版社,2019.
- [5] 交通运输部公路科学研究院.深基坑绿色施工技术指南[M].北京:人民交通出版社,2022.