

高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点

刘 斌

(深圳华创建筑装饰股份有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要 在城市化进程不断加速的背景下, 深基坑支护工程的施工安全与质量保障面临多重技术挑战。复杂地质条件下的支护结构选型、周边建筑变形控制要求、地下水文环境影响等因素交织, 使得传统施工经验难以满足现代工程需求。在当前行业实践中, 支护方案设计与现场施工的衔接断层、监测数据与工艺调整的反馈迟滞等问题直接影响了工程风险管控效能。构建动态化的风险管控体系, 实现勘察、设计、施工的全过程协同, 成为提升深基坑工程质量的关键突破口。本文对高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点进行研究, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 高层建筑; 深基坑支护工程; 喷锚网支护施工; 护坡桩施工; 土钉支护施工

中图分类号: TU753; TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.018

0 引言

高层建筑基础工程的安全性和经济性达到平衡状态, 这就对深基坑支护技术提出了更高的要求, 在软土地区, 支护结构会出现变形超标的情况, 而在富水地层进行降水作业时, 又会引发周边沉降等一系列问题, 这些问题充分暴露了传统施工方法存在的技术局限性, 由于支护体系和土体之间存在相互作用的动态特性, 施工过程控制成为保障质量的核心环节。构建全周期监控与预警体系, 在保证工程安全的同时还可以实现资源的优化配置, 这已然成为行业技术实现升级的一个关键方向。

1 高层建筑工程深基坑工程特点

1. 风险性。深基坑开挖深度较大且地质条件复杂多变, 施工时很容易碰到地下水渗漏、土体失稳以及基坑隆起等风险情况, 这些风险对施工现场人员的生命安全构成威胁, 也可能致使周边建筑和地下管线遭受损害, 甚至引发更广泛的环境问题, 风险防控成为深基坑工程首要任务, 要借助科学的地质勘察、精细的设计计算以及严格的施工管理来降低风险。

2. 区域性。区域性特点表现在深基坑工程受地理位置、气候条件、地质构造等自然因素影响较大, 不同地区地质条件差别极大, 像软土地区容易出现流变现象, 硬岩地区则可能面临爆破方面的难题, 深基坑

工程的设计与施工要充分考量地域特性, 根据实际情况采取相应措施, 保障工程的安全与稳定。

2 高层建筑深基坑支护工程施工技术

2.1 喷锚网支护施工

喷锚网支护施工属于一种复杂的地质工程技术, 它的核心价值在于达成对不稳定地质体的精确加固以及系统性控制, 这个过程并非单纯的技术操作, 而是一个囊括地质力学、材料科学和工程力学的多学科交叉综合性技术体系, 从施工的微观技术路径来讲, 喷锚网支护要建立一个以地质条件精准评估为根基、以结构力学计算为指引的全过程动态管理系统, 其技术实现路径可被概括为地质体—支护系统—受力机制的复杂耦合过程。在具体施工技术实践当中, 借助地质雷达、三维扫描等高精度感知技术, 对基坑地质结构展开精确测绘以及稳定性评估, 为后续支护设计提供科学依据, 施工时, 钢筋网的安装不只是简单的网格铺设, 还得基于有限元分析方法, 依据不同地质条件和应力分布特征, 进行针对性的网格布局以及受力点优化设计。锚杆作为支护系统的关键受力单元, 其深度、角度、间距的设计要综合考量地层岩性、裂隙分布、地下水位等多重复杂因素, 借助精密的地质力学模型模拟, 确定最优的锚固参数, 混凝土喷射阶段是一个高度精细化的施工过程, 要求喷射设备有高精度的喷

射控制能力,还需要对混凝土的配合比、喷射压力、喷射角度等参数进行实时动态调控,保证喷射质量的均匀性以及结构的整体性。在养护环节,要建立基于多参数监测的动态养护管理体系,依靠温度、湿度、应力等多维度传感器,实时监测混凝土的养护过程,并根据实时数据动态调整养护策略,最终来构建一个有高度适应性、智能感知和自我优化能力的地质工程支护技术系统。

2.2 护坡桩施工

护坡桩施工是高层建筑深基坑支护体系里的关键部分,其技术复杂程度以及工程安全状况直接和基坑稳定性与周边环境安全有关联,这项技术借助科学地布置倾斜或者垂直的钢筋混凝土桩或者钢桩,在基坑周边打造出一道有高强度承载能力的连续屏障,其主要作用是阻断土体滑移的路径并且平衡侧向土压力,以此有效地抑制基坑壁坍塌的风险,保证邻近建筑物以及地下管线的结构完整。在实施期间,桩体参数设计要综合考虑地质勘察数据、基坑开挖深度以及周边荷载分布,依靠三维有限元分析来确定最优的桩长、直径以及间距组合,像软土地区大多时候会采用大直径桩体来提高抗剪能力,钻孔阶段要依据地层特性选择合适的工艺,对于松散砂层适宜采用泥浆护壁法,借助动态调整泥浆比重一般控制在 1.15 g/cm^3 至 1.3 g/cm^3 来维持孔壁稳定性,而对于岩层地层则建议使用旋挖钻机配合护筒跟进技术,保证成孔垂直度偏差小于等于 $1/100$ 。

钢筋笼制作需严格遵循抗震设计规范,主筋连接采用机械套筒或焊接工艺,箍筋间距误差控制在 $\pm 20\text{ mm}$ 以内。混凝土灌注环节需采用分层振捣技术,确保桩身混凝土密实度达到 95% 以上,同时预埋声测管用于后期桩身完整性检测。值得注意的是,桩间土开挖应遵循“分层分段、对称平衡”原则,单次开挖深度不宜超过 2 m ,且需配合锚杆或内支撑系统形成协同受力体系^[1]。

2.3 土钉支护施工

高层建筑深基坑土钉支护是现代工程地质技术里的核心解决办法,其有的复杂性与精确性比传统支护方法高出许多,从开展地质勘察一直到最终进行施工,每一个环节都得有严格的科学论证以及精细的工程管理,依据相关工程数据的统计情况,在复杂地质条件下,土钉支护技术可把基坑变形控制在 $5\sim 8\text{ cm}$ 的范围之

内,能有效降低工程风险系数大概 62%。地质勘察阶段不光要开展常规的岩土工程调查工作,还要借助先进的地球物理勘探技术,像电阻率剖面法、地震波透射法等,精准测定地层结构、岩土体物理力学特性以及地下水动态变化,在支护设计方面,工程师要综合考量土质类型、地下水位、周边建筑物荷载等多种复杂因素,运用有限元分析方法精准计算土钉的最佳布置密度、角度以及锚固长度。以典型的黏土地层当作例子,土钉的有效锚固长度一般需要控制在 $8\sim 12\text{ m}$,锚固角度维持在 $15\sim 30$ 度,并且要选择抗拉强度不低于 600 MPa 的高强度钢材,以此保证支护结构的整体稳定性。在施工过程中,土钉支护的关键技术囊括精确的分层开挖、分段支护、锚杆安装以及喷射混凝土面层施工。现代土钉支护已经广泛运用智能化监测技术,比如采用光纤光栅传感器、高精度 GPS 变形监测系统以及多点位移计,实现对基坑壁变形、土体应力的实时动态监控,水文地质条件的复杂性促使工程师采用系统性的降水技术,凭借深井降水、管井降水以及电渗等办法,将地下水位精准控制在设计允许的范围之内^[2]。

2.4 逆作拱墙施工技术

逆作拱墙施工技术是深基坑工程领域的一种创新性支护方式,它借助构建预应力自平衡拱形结构体系,把传统的被动支护转变为主动受力模式,这种技术适用于高水位软土地区或靠近敏感建构物的深基坑工程,其核心优势是利用拱结构力学特性,将侧向土压力转化成轴向压力,降低支护结构弯矩,提高材料利用效率。具体实施时要依据三维地质模型进行拱墙参数化设计,使用有限元软件模拟不同工况下拱脚反力分布,确定最优拱轴线方程,一般采用悬链线或抛物线型,拱墙厚度要根据跨度大小按照 $0.08\sim 0.12\text{ L}$ 动态调整,混凝土强度等级不应低于 C35 以保证抗裂性能^[3]。

施工流程遵循“分段跳槽、随挖随支”原则,初期开挖导槽宽度应控制在 $1.5\sim 2$ 倍墙厚范围内,采用跳槽法间隔施工相邻拱段,避免应力集中导致拱脚失稳。模板支撑系统需设置双向可调节螺杆,确保拱形模板轴线偏差 $\leq 5\text{ mm}$,混凝土浇筑时采用分层分段对称浇筑工艺,每层浇筑高度不超过 800 mm ,并通过附着式振捣器实现密实度 $\geq 97\%$ 的质量控制标准。拱墙接缝处应预埋注浆管,在混凝土初凝后实施压力注浆,确保接缝抗剪强度达到母体强度的 85% 以上^[4]。

3 高层建筑深基坑支护工程施工质量控制要点

3.1 加强施工队伍的培训和管理

在高层建筑深基坑支护工程里,施工团队素质以及管理体系的构建需要进行系统规划并且全面实施,首先要创建分层次、多维度的培训机制,把理论学习和实操演练有机融合在一起,除了包含常规施工技术与安全规范外,还要着重强调深基坑特有的风险识别以及应对策略,培训内容应该有土体力学基础知识、支护结构设计原理、监测数据解读技能、机械设备操作规程以及应急处置流程等专业内容,同时也要兼顾BIM技术应用、绿色施工理念以及质量标准体系等前沿知识,保证施工人员在技术层面实现“知其然”与“知其所以然”的统一。培训方式要突破传统单向灌输模式,引入情景模拟、案例分析、虚拟现实等互动教学手段,并且建立定期考核与技能认证制度,形成“培训—实践—评估—再培训”的闭环机制,在管理体系构建方面,要以项目为中心,构建扁平化、网格化的组织结构,明确各层级职责与权限边界,建立透明高效的沟通渠道^[5]。

3.2 提高深基坑支护施工材料的质量

在深基坑支护工程里面,材料质量控制要实行全生命周期管理策略,从把控源头来说,要建立供应商资质评估以及动态管理体系,经过实地考察、样品测试以及历史业绩分析等多个维度进行评价,挑选出技术实力强、信誉度高的材料供应商,并且和其建立战略合作关系,材料选择要遵循适用性、耐久性、经济性相平衡的原则,依据基坑深度、周边环境敏感性以及地质水文条件,精准挑选符合工程特性的支护材料。比如对于深度超过20 m的基坑,混凝土强度等级不能低于C30,而且要选用抗渗性能不低于P8的配方,对于地下水丰富的区域,就需要采用防水性能优良的止水材料以及经过防腐处理的钢材,进场验收环节,要构建供方检验、发货检验、到货检验的“三检制”和专业检验、第三方检测、项目部复核的“三级把关”相结合的质量控制网络,重点检测钢材的屈服强度、伸长率以及冷弯性能,混凝土的坍落度、含气量以及立方体抗压强度,土钉与锚杆的拉拔力等关键指标^[6]。存储与养护阶段,要根据材料特性采取针对性保护措施,像钢材要放在通风干燥的地方并且进行防锈处理,水泥要采用先进先出的原则并且防止受潮结块,混凝土要根据气温条件确定养护周期和方式。在使用过程中,要实施动态检测以及适时调整策略,定期抽样送检并且追踪材料实际性能表现,及时发现并纠正偏差^[7]。

3.3 加强支护结构变形控制的监测和防范

在高层建筑深基坑支护工程当中,构建结构变形控制的监测与防范系统时要遵循多维度且全方位的设计理念,监测体系要包含时空维度,也就是要对支护结构施工的整个过程以及空间的全部范围开展动态跟踪,特别要留意开挖阶段以及降水过程里的变形响应特性。监测数据处理不能只局限于单点观测值的比对,要结合有限元分析、统计模型以及人工智能算法,建立起变形预警阈值动态调整机制,达成对潜在风险的早期识别。监测成果要和施工过程紧密相连,凭借建立闭环反馈机制,及时优化支护参数以及施工工艺,像调整支撑预应力、优化开挖顺序或者增设临时加固措施,针对不同的地质条件以及周边环境,监测重点也有差异,软土地区更注重地面沉降与隆起,砂性土地区要密切关注渗流与管涌风险,岩石地区则需监控节理裂隙扩展情况。防范体系建设方面,最关键的是把“被动响应”转变为“主动预防”,借助多级预警机制与分层次应急预案,针对不同预警等级采取相应防范措施,保证支护结构一直处于可控状态^[8]。

4 结束语

高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制是确保工程安全与质量的关键。通过不断优化施工技术、加强质量控制要点管理,可以有效提升深基坑支护的稳定性和安全性。未来,随着建筑技术的不断进步和管理的日益完善,高层建筑深基坑支护工程将实现更高水平的安全与效益。

参考文献:

- [1] 刘凯.高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点[J].中国建筑装饰装修,2025(03):124-126.
- [2] 赵晖.深基坑支护技术在高层建筑工程施工中的应用分析[J].建材发展导向,2024,22(12):79-81.
- [3] 张庆,贺海利.深基坑支护技术在高层建筑工程施工中的应用[J].工程机械与维修,2023(05):210-212.
- [4] 黄维.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工问题研究[J].石油化工建设,2021,43(05):152-153.
- [5] 孙文林.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工问题分析[J].建筑技术开发,2021,48(07):153-154.
- [6] 庞旭辉.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工处理[J].居舍,2020(14):74.
- [7] 徐敏.探究建筑深基坑支护工程的施工要点及施工管理[J].建材与装饰,2019(28):201-202.
- [8] 毛兴建.探究建筑深基坑支护工程的施工要点及施工管理[J].建材与装饰,2019(17):175-176.