

建筑施工中深基坑支护结构稳定性控制技术研究

史伟

湖北宜翔建设有限公司 湖北 宜昌 443000

【摘要】：在建筑施工向地下空间拓展的背景下，深基坑支护结构的稳定性是保障工程安全与周边环境的核心要素。深基坑施工面临地质条件复杂、荷载变化多样等挑战，易引发支护结构变形、坍塌等风险。通过综合运用地质勘察技术、数值模拟方法与监测预警系统，可实现支护结构设计优化、施工过程动态管控及险情及时处置。此举能提升支护结构的抗变形能力与整体稳定性，为深基坑工程安全高效施工提供技术支撑，对减少工程事故、保护周边建筑与地下管线具有重要意义。

【关键词】：深基坑；支护结构；稳定性控制；施工技术；监测预警

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.068

引言

随着城市建筑向高层化、地下化发展，深基坑工程数量激增，其支护结构稳定性直接关系到施工安全与周边环境安全。复杂地质条件与施工荷载扰动，使支护结构易出现变形、滑移等问题，威胁工程进展与周边设施。如何通过技术手段控制支护结构稳定性，成为建筑施工领域的关键课题。依托先进勘察、设计与监测技术，探索科学有效的稳定性控制方法，可为深基坑工程安全施工提供有力保障，推动行业技术进步。

1 建筑施工中深基坑支护结构稳定性面临的主要问题

1.1 地质条件复杂导致的基础承载失衡

地质条件是影响支护结构稳定性的首要因素，复杂地层分布常使支护体系面临不均匀受力难题。在软土地层中，土体抗剪强度低、压缩性高，支护结构在侧向土压力作用下易产生过大变形，若未采取针对性加固措施，可能引发坑底隆起或侧壁滑移。岩溶发育区域存在地下溶洞与裂隙，支护结构施工时可能遭遇突水、突泥现象，导致围护结构受力突变，破坏整体稳定性。而在砂卵石地层中，土体渗透性强，易发生管涌或流砂，使支护结构底部失去支撑，引发倾覆风险。不同地质单元的界面过渡带因力学性质差异显著，支护结构易在界面处产生应力集中，加剧局部破坏的可能性。深基坑支护结构作为地下工程施工的临时承重与防护体系，其稳定性受地质条件、设计方案、施工工艺及环境因素等多重影响，在实际工程中面临诸多复杂问题，这些问题相互交织，易引发支护结构变形、失稳等风险，威胁工程安全。

1.2 设计方案与工程实际脱节

设计方案的合理性直接决定支护结构的稳定性能，当前部分设计存在与工程实际脱节的问题。支护结构选型未充分结合场地特征，例如在狭窄场地盲目采用排桩支护，未考虑施工空

间对支护体系安装的限制，导致实际支护效果与设计预期偏差较大。荷载计算模型简化过度，未纳入施工过程中的动态荷载（如堆载、机械振动）与周边环境荷载（如邻近建筑沉降传递的附加应力），使设计承载力储备不足。止水帷幕设计未针对地层渗透性进行优化，在高水位地层中若止水效果不佳，易产生地下水渗漏，引发支护结构侧向压力骤增。此外，支护结构与主体结构的协同设计缺失，未考虑后期主体结构施工对支护体系的影响，可能在主体结构浇筑阶段因荷载叠加导致支护结构失稳。施工过程中的不规范操作是诱发支护结构失稳的重要原因，工艺缺陷常导致支护体系强度与刚度不足。支护结构施工精度偏差，如排桩垂直度超标、锚杆（锚索）锚固角度偏离设计值，会使支护结构受力分布不均，降低整体抗变形能力。土方开挖与支护施工节奏失衡，未遵循“分层开挖、分层支护”原则，在未完成上一层支护前即进行深层开挖，导致基坑暴露时间过长，引发侧壁坍塌。

1.3 监测预警体系不完善

监测预警是保障支护结构稳定性的最后防线，当前监测体系存在覆盖面不足与响应滞后问题。监测点布设密度不够，未在支护结构关键部位（如阳角、深度变化处）增设监测点，难以捕捉局部失稳前兆。监测指标单一，仅关注位移监测，忽视对支护结构内力、地下水位、周边土体沉降的综合监测，无法全面评估体系稳定性状态。数据采集频率不足，未能根据施工阶段动态调整监测周期，在开挖关键期因数据更新不及时，难以及时发现险情。监测数据未形成闭环管理，分析结果未有效反馈至施工决策，即使发现异常变形也未能及时采取加固措施，错失风险处置时机。周边环境因素对支护结构稳定性的影响具有隐蔽性与累积性，易被忽视。邻近建筑物与地下管线会对基坑产生附加荷载，支护结构需同时承担基坑内外的不平衡力，若周边建筑基础与基坑距离过近，可能因基坑开挖引发建筑沉降，反作用于支护结构，形成恶性循环。

2 深基坑支护结构稳定性控制技术体系构建

2.1 基于地质精准勘察的基础数据体系

地质勘察数据的精准性是稳定性控制的前提,需构建多维度勘察技术融合的基础数据体系。采用地质雷达与钻探相结合的勘察方法,精准识别地下溶洞、软弱夹层等不良地质体的分布范围与规模,形成三维地质模型,为支护结构选型提供地质依据。针对高渗透性地层,通过抽水试验与渗透系数测定,量化地下水对土体稳定性的影响,为止水帷幕设计提供参数支撑。同时,对基坑周边土体进行力学性能测试,测定土的黏聚力、内摩擦角等关键指标,结合周边建筑荷载与地下管线分布,建立土体力学参数数据库,确保支护结构受力计算的准确性。深基坑支护结构稳定性控制技术体系是针对复杂地质条件与施工环境,整合勘察、设计、施工、监测等多环节技术手段,构建的“精准勘察—动态设计—智能施工—实时监测”一体化系统。该体系通过各技术模块的协同联动,实现对支护结构全生命周期的稳定性管控,为深基坑工程安全施工提供系统性技术支持。

2.2 动态适配的支护结构设计技术

支护结构设计需实现与地质条件、施工过程的动态适配,构建“初始设计—过程优化—反馈修正”的迭代设计机制。基于三维地质模型进行支护结构选型,在软土地层优先采用刚度较大的地下连续墙结合内支撑体系,在岩质地层可选用排桩加锚杆(锚索)的组合形式,确保支护结构与地层特性匹配。引入数值模拟技术,对基坑开挖过程中的支护结构变形、土体位移进行仿真分析,预判可能出现的应力集中区域,优化支护结构的布置方式与截面尺寸。设计方案需预留动态调整空间,根据施工阶段的监测数据,对支护参数进行实时修正,例如当监测发现某区域变形超标时,通过增加锚杆(锚索)数量或调整内支撑间距,提升局部稳定性。同时,将止水帷幕设计与支护结构一体化考虑,采用咬合桩、高压旋喷桩等工艺形成封闭止水体系,阻断地下水渗流路径,减少水压力对支护结构的影响。施工过程的智能化控制是保障支护结构稳定性的关键,需建立“精准施工—工序协同—质量追溯”的技术体系。采用 BIM 技术构建支护结构施工模型,对排桩成孔、锚杆(锚索)张拉、内支撑安装等工序进行可视化模拟,优化施工顺序与机械作业路径,避免交叉作业干扰。针对支护结构关键工序,引入自动化施工设备,如液压抓斗成槽机确保地下连续墙的垂直度,智能张拉设备控制锚杆(锚索)的预紧力,提升施工精度。严格遵循“分层开挖、分层支护”的施工原则,通过基坑开挖面标高与支护作业进度的动态匹配,控制基坑暴露时间,减少土体扰动。

2.3 全周期监测与预警响应技术

全周期监测与预警响应技术是稳定性控制的最后防线,需构建“实时监测—数据分析—应急处置”的闭环管理系统。在支护结构关键部位(如墙顶、桩身、内支撑)布设位移传感器与应力计,实时采集变形数据与内力变化,同步监测周边土体沉降、地下水水位等环境参数,形成多维度监测网络。利用物联网技术将监测数据传输至云端平台,通过大数据分析算法识别异常数据,当监测值接近预警阈值时,自动触发预警机制,推送预警信息至管理终端。制定分级应急处置方案,针对不同预警等级采取相应措施,例如对轻微变形区域可通过增加临时支撑控制变形发展,对严重失稳风险区域需立即停止开挖并进行回填处理,同时启动周边建筑保护预案,确保周边环境安全。上述技术体系通过各模块的协同联动,实现了从地质勘察到施工监测的全流程稳定性控制,既解决了复杂地质条件下的支护难题,又通过动态设计与智能施工提升了控制精度,为深基坑工程的安全施工提供了全方位技术保障。

3 深基坑支护结构稳定性控制的应用策略

3.1 基于地质分类的差异化控制策略

不同地质条件对支护结构稳定性的影响机制存在显著差异,需采取分类施策的应用策略。在软土地层中,以控制支护结构变形为核心,采用“刚性支护+信息化施工”模式,选用地下连续墙与钢管内支撑组合体系,通过减小支撑间距提升整体刚度;同时,在基坑开挖前实施坑内土体加固,采用高压旋喷桩形成满堂加固区,降低土体压缩性。对于岩质地层,重点防范岩体破裂与地下水渗流风险,支护结构选用排桩加预应力锚杆体系,锚杆深入稳定岩层确保锚固力;针对岩层裂隙发育区域,预先进行注浆堵水处理,形成止水帷幕阻断渗流路径。在复合地层中,采用“分段支护+动态调整”策略,根据不同地层界面的力学特性差异,优化支护结构的刚度分布,例如在砂土与黏土交界处增加支护结构的嵌固深度,避免因地层差异引发的不均匀变形。深基坑支护结构稳定性控制的应用策略,需结合工程地质条件、支护结构类型及施工环境特征,将技术体系转化为可操作的实践方案,通过针对性措施实现全施工周期的稳定性管控。这些策略聚焦于风险防范、过程调控与应急处置的有机衔接,确保支护结构在复杂工况下的安全可靠。

3.2 施工全流程的精细化管控策略

施工过程的精细化管控是稳定性控制的关键环节,需将技术要求融入各工序操作。基坑开挖阶段,严格遵循“分层、分段、对称、限时”原则,结合 BIM 施工模拟确定合理的开挖坡度与分层厚度,避免超挖引发土体应力释放过快;开挖面暴露后及时进行初期支护,采用喷射混凝土封闭坡面,减少雨水

冲刷与风化影响。支护结构施工阶段,强化关键工序质量控制,排桩施工时通过超声波检测确保桩身完整性,锚杆张拉时采用应力与位移双控标准,确保预紧力达到设计要求;内支撑安装需保证轴线偏差在允许范围内,节点连接采用刚性节点构造,提升整体协同受力能力。土方运输与堆载管理同样重要,运输通道设置在远离基坑边缘的位置,坑边堆载严格控制在设计限值内,避免附加荷载导致支护结构受力超限。

3.3 监测数据驱动的动态调整策略

监测数据的有效应用是实现稳定性动态控制的核心,需建立“监测—分析—反馈—调整”的闭环机制。根据基坑深度与周边环境敏感度,优化监测点布设方案,在支护结构顶部、桩身中点及坑底等关键部位加密监测点,确保数据采集的代表性;监测频率随施工阶段动态调整,开挖期间加密至每日一次,变形稳定后适当降低频率。利用数据可视化技术将监测数据转化为变形曲线与应力云图,直观反映支护结构的工作状态,通过对比设计预警值识别潜在风险。当监测数据接近预警阈值时,立即启动调整措施,例如通过增加临时支撑、调整开挖顺序或提前施加锚杆预应力等方式,控制变形发展;对于周边环境监测发现的异常数据,如邻近建筑物沉降速率超标,需同步采取回灌措施,通过坑外回灌井补充地下水,减少土体固结沉降。

3.4 周边环境协同保护策略

周边环境的协同保护是稳定性控制的重要延伸,需将支护

结构稳定性与周边设施安全统筹考虑。针对邻近建筑物,预先评估基坑开挖对其影响范围,采用隔离桩或地下连续墙设置竖向隔离屏障,减少土体位移向建筑物传递;对浅基础建筑,在基坑开挖期间进行基础托换处理,采用微型钢管桩加固地基,提升基础承载能力。地下管线保护方面,通过物探技术精确定位管线走向与埋深,在管线两侧设置防护桩形成保护区;对刚性管线采用悬吊保护措施,柔性管线则通过监测数据动态调整支护结构变形,避免管线过度拉伸或挤压。周边道路与市政设施保护,需限制基坑周边车辆荷载,必要时设置临时路面硬化层与限速标识,同时在道路两侧布设沉降监测点,实时掌控路面变形情况。通过上述策略的综合应用,可将深基坑支护结构稳定性控制技术体系转化为具体工程实践,实现从被动应对到主动防控的转变,为不同地质条件与环境下的深基坑工程提供个性化解决方案,保障施工安全与周边环境稳定。

4 结语

深基坑支护结构稳定性控制技术的研究与应用,为保障深基坑工程安全施工提供了系统性解决方案。通过识别关键问题、构建技术体系与实施应用策略,有效提升了支护结构的抗风险能力,减少了工程事故隐患。未来需进一步结合工程实际优化技术方法,强化多技术协同应用,以适应复杂地质条件下的施工需求,为建筑施工领域地下工程的安全发展提供持续支撑。

参考文献:

- [1] 刘国彬,王卫东.深基坑工程技术发展与展望[J].土木工程学报,2023,56(4):1-10.
- [2] 陈永辉,周健.软土地层深基坑支护结构变形特性研究[J].岩土工程学报,2024,46(2):231-238.
- [3] 徐中华,王建华.深基坑支护结构与周边环境相互作用分析[J].建筑结构学报,2023,44(6):89-96.
- [4] 郑刚,刘畅.基于监测数据的深基坑支护结构动态优化技术[J].施工技术,2024,53(3):45-50.
- [5] 黄生根,吴昊.岩质地层深基坑锚杆支护体系稳定性控制研究[J].岩石力学与工程学报,2023,42(5):987-995.