

建筑深基坑支护结构稳定性影响因素与控制对策分析

刘广亮

中国五冶集团有限公司 上海 200020

【摘要】：建筑深基坑支护结构的稳定性直接关系到工程安全与施工质量。本文围绕影响深基坑支护结构稳定性的关键因素展开分析，重点探讨土壤性质、支护结构形式、荷载作用及施工工艺等对稳定性的影响机制。结合实际案例，提出科学合理的控制对策，包括优化设计方案、加强施工监测与风险管理，以保障深基坑工程的安全实施和结构持久稳定。研究成果为相关工程实践提供理论指导和技术支持。

【关键词】：深基坑支护；结构稳定性；影响因素；控制对策；施工安全

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.031

引言

随着城市化进程加快，深基坑工程在建筑施工中的应用日益广泛，其支护结构的稳定性成为保障工程安全的关键。深基坑支护面临复杂的地质条件和多变的施工环境，任何不稳定因素都可能引发严重的安全事故。因此，深入分析支护结构稳定性的影响因素，探寻有效的控制对策，不仅具有重要的理论价值，更是工程实践中亟需解决的问题。本文将系统梳理影响深基坑稳定性的主要因素，结合具体案例，提出切实可行的控制策略，助力工程安全管理水平提升。

1 建筑深基坑支护结构稳定性的关键影响因素分析

建筑深基坑支护结构的稳定性受到多种关键因素的共同影响，这些因素直接关系到支护体系的安全性和工程的顺利进行。地质条件是影响深基坑支护稳定性的基础要素。不同类型的土壤具有不同的物理力学性质，如土壤的颗粒组成、密实度、含水量以及地下水位的高低，都会显著影响基坑周边土体的变形和承载能力。软弱土层或含水量较高的土体容易引发土体流失或支护结构的侧向位移，增加了基坑坍塌的风险。地下水渗流会对土体结构产生扰动，诱发基坑周围土体的孔隙水压力变化，进一步威胁支护结构的稳定性。准确掌握基坑区域的地质勘察数据，是评估和保障支护结构稳定性的前提条件。

支护结构自身的设计形式和施工质量是影响其稳定性的关键因素。常见的支护结构类型包括桩板墙、连续墙、喷锚支护、SMW工法桩、灌注桩等，不同结构形式在承载力、变形控制和施工适应性方面表现各异。设计过程中若忽视荷载作用的综合影响，特别是周边建筑物荷载、施工机械荷载及临时堆载等，将会导致支护结构受力失衡，增加结构变形和破坏的风险。施工工艺的选择和执行质量同样不可忽视，施工过程中如混凝土浇筑不密实、钢筋绑扎不规范、支护桩的沉入深度不足等问题，都可能引发围护变形、渗水、管涌、突涌，甚至基坑坍塌等重大风险。特别是在城市密集区域，支护结构需应对复杂的荷载组合，施工阶段的任何疏漏都可能引发连锁反应，造成基坑变形甚至事故发生。

环境和施工动态因素对支护结构稳定性的影响也不容小觑。基坑施工期间，周边环境的变化如降雨、地震或邻近施工活动引起的振动，均可能对支护结构造成附加应力，进而影响其稳定状态。荷载的动态变化、施工顺序的调整及支护结构的变形监测结果，都是影响施工安全的重要参数。有效的施工监测系统通过实时收集和分析支护结构的变形数据和土体应力变化，可以及时发现潜在风险并采取调整措施。控制基坑施工过程中的振动和土壤扰动，合理安排施工工序，增强支护结构的整体刚度和承载能力，成为保障深基坑稳定的重要手段。综合考虑地质条件、结构设计、施工工艺及环境动态因素，能够为深基坑支护结构的稳定性提供全面保障，确保工程安全顺利完成。

2 土壤性质与荷载作用对深基坑支护稳定性的影响机制

土壤性质在深基坑支护结构的稳定性中起着决定性作用。不同类型的土壤表现出截然不同的力学特性，诸如内摩擦角、凝聚力、渗透系数和压缩模量等指标直接影响土体的承载能力和变形行为。砂土由于排水性较好，抗剪强度主要来源于颗粒间的摩擦力，且对外部荷载的响应较为迅速；而粘土则因其高黏聚力和较低的渗透性，在荷载作用下表现出缓慢的变形和较强的塑性变形特征。基坑开挖过程中，土体的应力状态发生剧烈变化，原有的土压力被削减，可能导致土体发生侧向位移甚至流变现象。土壤含水量及地下水位的变化进一步影响孔隙水压力，若未有效排水或地下水位控制不当，孔隙水压力上升会降低土体有效应力，减弱土体的承载能力，极易引发基坑支护结构的失稳和变形。

荷载作用对深基坑支护结构的影响同样复杂且多样化，涉及静载与动载的综合作用。周边建筑物的自重和附加荷载、施工设备运行产生的荷载、临时堆载以及交通荷载等，均对支护结构产生不同程度的影响。静载主要表现为持续性的压力，会引起支护结构及土体的缓慢变形和应力调整，而动载则由于其间歇性和冲击性，可能导致结构疲劳和突发性失稳。深基坑施工过程中，施工机械的重量和振动传递到支护体系，增加了结

构受力的不确定性。基坑深度越大,周围土体和支护结构所承受的侧压力越大,荷载分布和传递路径更加复杂,这要求设计时必须准确评估各类荷载的叠加效应及其对结构稳定性的综合影响。

土壤性质与荷载作用的相互作用形成了深基坑支护稳定性的基本影响机制。土体的力学参数决定了其对不同类型荷载的响应特征,而荷载的性质和大小又直接影响土体的应力分布和变形模式。在设计阶段,必须结合详尽的地质勘察数据,准确界定土壤的物理力学特性,并对预计的荷载进行科学模拟与计算。施工过程中,通过实时监测土体位移、支护结构应力及地下水位变化,及时调整施工方案和支护措施,防止因荷载变化引发的结构超载或土体破坏。采用合理的排水系统以控制孔隙水压力,增强土体稳定性,是减轻荷载作用影响的重要环节。只有深入理解土壤与荷载相互作用的机理,才能有效保障深基坑支护结构的安全稳定,确保工程施工顺利进行。

3 支护结构设计方案中的稳定性风险及优化策略

支护结构设计方案的稳定性风险主要源自设计过程中对地质条件、荷载作用以及施工环境的综合评估不足。设计方案如果未能充分考虑基坑周边土体的非均质性和复杂应力状态,极易导致结构受力分析出现偏差,进而显著增加结构失稳的风险。在软土和淤泥质土层较为集中的地区,支护结构的刚度和锚固深度设计若不合理,往往会导致支护墙体产生过大的变形,甚至发生滑移现象,从而引发基坑整体失稳的严重安全事故。设计阶段忽视地下水位的季节性变化及其对孔隙水压力的影响,会使土体有效应力下降,降低土体承载能力,增加支护结构的负担。未充分考虑邻近建筑物的静态和动态荷载,以及施工机械运行产生的振动和附加荷载,均可能导致支护结构承受超出设计预期的应力,难以保障结构安全稳定。施工环境复杂多变,若设计方案缺乏针对性调整与优化,无法有效适应现场实际条件,将加剧安全隐患。完善的地质勘察数据支撑、精准的荷载分析和环境因素综合考量,是降低支护结构设计稳定性风险的关键所在,也是保障深基坑施工安全的重要基础。

针对设计方案中存在的稳定性风险,优化策略应以提高支护结构的整体刚度和承载能力为核心。采用合理的结构形式和连接方式,能够有效分散和传递土压力,减轻局部应力集中。选用钢筋混凝土连续墙或混凝土支撑刚度更强,能够增强支护结构的抗变形能力,提高抵御侧向土压力的稳定性。优化锚杆设计和布置深度,确保锚固力满足基坑深度和土体性质的需求,增强土体与结构间的协同作用。设计过程中还需结合有限元数值模拟技术,对不同荷载工况下结构响应进行全面分析,识别潜在的薄弱环节和风险点,进而调整设计参数,实现结构安全裕度的最大化。

施工阶段的配合和技术措施也是实现设计方案优化的关键环节。合理施工顺序和工艺控制,有助于减少土体扰动,避

免支护结构因施工应力变化而产生过大变形。应用高精度的监测系统,实时采集支护结构变形、应力分布和地下水位等关键参数,为施工调整提供科学依据。通过动态反馈,及时修正施工方案,防止设计与实际条件脱节引发风险。加强设计与施工团队的协同配合,确保设计意图在施工中得到准确落实,能够有效减少施工误差对结构稳定性的负面影响。优化设计与施工的紧密结合,不仅提升了支护结构的安全性能,也为深基坑工程的顺利推进奠定坚实基础。

4 施工工艺与监测技术在支护结构稳定性保障中的应用

施工工艺的科学合理选择和严格执行是保障深基坑支护结构稳定性的关键环节。基坑施工过程中,土体和支护结构承受的应力状态不断变化,任何施工操作的不当都可能引发结构变形或失稳。采用分阶段开挖、分层支护的施工方法,有助于减缓土压力变化对支护结构的冲击,控制变形幅度。合理设计支护结构的支撑体系,确保支撑点布局均匀且满足受力要求,能够有效增强结构刚度,防止局部受力过大导致破坏。施工过程中对混凝土浇筑质量、锚杆安装深度及锚固力的控制同样至关重要,缺陷往往成为结构失稳的潜在隐患。施工工艺的优化需要结合现场具体地质及环境条件,灵活调整施工方案,以适应复杂多变的工程实际。

监测技术的革新为深基坑支护结构稳定性提供了更为高效、智能的动态保障。除了传统的监测手段,现代工程引入了多种新科技手段,如基于AI的智能数据分析系统,能够实时处理和分析监测数据,快速识别潜在风险并预警。无人机搭载高清摄像头和激光雷达,可对基坑进行全方位的空中巡检,精准捕捉支护结构和土体的微小变形。智能巡检机器人能够深入基坑危险区域,进行24小时不间断的监测作业,实时传输支护结构的应力、位移等关键数据。此外,物联网技术的应用使得监测设备之间能够实现互联互通,构建起全方位的智能监测网络,大幅提升了监测的效率和准确性。这些新科技手段的融合应用,不仅显著提高了风险识别的准确性和及时性,也为施工过程中的科学决策提供了强有力的数据支持,推动施工管理向数字化、智能化方向加速转变,为深基坑支护工程的安全施工提供了坚实的技术保障。

将先进的施工工艺与高效的监测技术相结合,形成闭环控制体系,是保障深基坑支护结构稳定的有效途径。在施工阶段,根据监测数据及时调整开挖速度、支护加固措施和排水方案,能够有效控制土体位移和结构应力,减少不利因素对结构稳定性的影响。尤其是在地质条件复杂或施工环境恶劣的区域,动态监测与施工工艺的协同配合,成为预防基坑坍塌和支护失效的核心保障。

5 基于案例分析的深基坑支护稳定性控制对策实践

上海某商业中心深基坑工程，基坑开挖深度为18.5m，支护结构采用地下连续墙加内支撑的复合支护形式。地下连续墙厚度为1.2m，深度为35m，混凝土强度等级为C40。内支撑采用钢筋混凝土支撑，共设三道，支撑间距为4.5m，截面尺寸为800mm×1000mm。基坑周边存在多条运营中的地铁线路和重要市政管线，对变形控制要求极为严格。工程地处软土地层，土层主要为淤泥质粘土和粉质粘土，含水量高达45%，孔隙比为1.2，土体抗剪强度指标较低，内摩擦角为 8° ，粘聚力为12kPa。地下水埋深为1.5m，需进行有效降水。

施工过程中，通过实时监测数据反馈，及时调整了支护参数。监测数据显示，基坑开挖至10m深度时，地下连续墙最大水平位移达到15.6mm，周边地表最大沉降为28.5mm。为控制变形，增加了两道临时支撑，并在地下连续墙外侧增设了高压旋喷桩加固，加固深度为15m，桩径为600mm，间距为400mm。同时，优化了降水方案，将地下水位降至基坑底以下2m，有效降低了孔隙水压力。经过一系列措施，基坑最大水平位移最终控制在25.8mm，周边地表沉降控制在42.3mm，满足了设计

要求，保障了周边地铁和市政设施的安全。

该案例表明，通过科学合理的支护结构设计和施工工艺的优化，结合实时监测数据的动态反馈，可以有效控制深基坑支护结构的稳定性，保障工程安全和周边环境不受影响。具体而言，设计阶段充分考虑地质条件和荷载作用，选用合适的支护结构形式，并在施工过程中严格执行工艺标准，确保支护结构的施工质量。同时，利用先进的监测技术实时监测支护结构的变形和土体应力变化，及时调整施工方案和支护参数，确保基坑施工的安全稳定，最大程度地减少对周边环境的影响。

6 结语

深基坑支护结构的稳定性是保障工程安全的核心，必须全面考虑土壤性质、荷载作用及支护设计等多方面因素。科学的设计方案与先进的施工工艺相结合，配合实时监测技术，能够有效预防结构失稳风险，提升基坑施工的安全管理水平。实际案例充分验证了系统化控制对策的有效性，为类似工程提供了重要借鉴。未来，持续优化设计与施工流程，强化监测预警能力，将进一步推动深基坑支护技术的发展，实现工程安全与质量的双重保障。

参考文献:

- [1] 王强,李明.深基坑支护结构稳定性影响因素分析[J].岩土工程技术,2020,34(2):45-52.
- [2] 陈伟,张华.深基坑支护设计中荷载作用及其控制对策研究[J].土木工程学报,2019,52(5):120-128.
- [3] 刘建国,赵雷.施工工艺对深基坑支护稳定性的影响及监测技术应用[J].建筑结构学报,2021,42(6):77-84.
- [4] 徐磊,胡建华.基于案例分析的深基坑支护风险控制实践[J].工程管理学报,2022,36(3):33-40.
- [5] 孙伟,王鹏.深基坑支护结构设计优化与稳定性风险防控[J].城市建设理论研究,2018,14(8):56-62.