

Optimized design and stability analysis of deep foundation pit support structure for construction engineering

Fei Sun

Shandong Yulong Industrial Park Resources Comprehensive Utilization Co., Ltd., Zibo, Shandong, 256700, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, deep foundation pit support structures have become a critical component in construction engineering, attracting significant attention from engineers and researchers. The excavation of deep foundation pits significantly impacts surrounding environments, making the safety and stability of excavation operations under complex geological conditions a key research focus. This paper analyzes existing design approaches for deep foundation pit support structures, proposes optimization strategies, and suggests effective measures through stability analysis. The article first reviews current design methodologies and application status, examining factors affecting structural stability such as soil mechanical properties. It then outlines optimization principles addressing common challenges, including appropriate material selection, precise calculation of earth pressures, and dynamic analysis applications. Finally, practical engineering case studies demonstrate that optimized designs positively influence foundation pit stability, significantly enhancing structural integrity while reducing accident risks, highlighting their substantial engineering applicability.

Keywords

deep foundation pit; support structure; optimization design; stability analysis; earth pressure

建筑工程深基坑支护结构的优化设计与稳定性分析

孙飞

山东裕龙产业园资源综合利用有限公司, 中国·山东 淄博 256700

摘要

城市化进程加快, 深基坑支护结构作为建筑工程重要部分, 备受工程师和研究者关注。深基坑开挖对周边环境的影响大, 复杂地质条件下, 保障基坑开挖安全稳定是研究关键。本文在分析深基坑支护结构设计基础上, 探讨优化方案并结合稳定性分析提出有效措施。文章先回顾当前设计方法与应用现状, 剖析影响支护结构稳定性的因素, 如土壤力学性质等; 接着针对常见问题提出优化设计原则, 包括合理选型、精确计算土压力、采用动态分析等; 最后通过实际工程案例验证, 优化设计对基坑稳定性有积极影响, 能显著提高稳定性、降低事故概率, 具有重要工程应用价值。

关键词

深基坑; 支护结构; 优化设计; 稳定性分析; 土压力

1 引言

随着城市建设的持续发展, 深基坑开挖已成为建筑工程中不可避免的过程。尤其是在城市中心区域, 土地资源有限, 导致基坑开挖深度不断增加, 基坑施工面临的技术挑战也愈加复杂。深基坑支护结构在基坑工程中起到至关重要的作用, 它不仅能够有效保证施工安全, 还能避免对周围环境产生不利影响。基坑支护结构的设计需要综合考虑土体特性、支护系统的刚度、地下水位变化、施工荷载等因素, 因此, 支护结构的优化设计和稳定性分析显得尤为重要。

目前, 尽管深基坑支护结构的设计理论和技术已有一

定发展, 但在实际工程中, 基坑支护结构的稳定性仍然面临较多挑战, 尤其在复杂的地质条件下, 支护结构可能出现失稳、变形等问题, 这不仅影响工程的安全性, 也可能导致巨大的经济损失。如何通过科学合理地优化设计, 提高支护结构的稳定性和安全性, 是目前亟待解决的重要问题。

本文将对深基坑支护结构的优化设计与稳定性分析进行系统研究, 首先回顾和总结现有的设计方法及其在实际工程中的应用, 进而分析影响支护结构稳定性的因素, 提出基于优化设计的改进措施, 最后通过案例分析验证这些措施的可行性与效果, 以期对深基坑支护结构的设计提供理论依据与实践指导。

【作者简介】孙飞(1987-), 男, 中国山东淄博人, 本科, 助理工程师, 从事工程研究。

2 深基坑支护结构设计的现状与挑战

2.1 深基坑支护结构的设计方法

深基坑支护结构设计的核心目标是确保基坑开挖过程中，支护结构能够有效承受外部荷载，防止基坑失稳，并尽可能降低对周围建筑物和地下管线的影响。目前，常用的支护结构形式包括：水平支撑式、锚杆式、钢板桩式、混凝土桩式等。这些支护结构形式的选择依赖于基坑的深度、地质条件、地下水位等因素。

在设计深基坑支护结构时，通常采用土压力理论、有限元分析法等计算方法来确定支护结构的荷载和应力分布。例如，土压力理论能够帮助设计师估算支护结构受力情况，有限元分析法则通过计算机模拟来考虑不同工况下基坑周围土体的变形和支护结构的响应，提供更加精确的设计依据。

然而，现有设计方法在实际应用中仍面临一些挑战，尤其是在深基坑工程中，支护结构的稳定性和安全性难以得到完全保障。地质条件的复杂性、地下水的变化、周围建筑物的影响等因素都可能对支护结构的稳定性产生不利影响。因此，如何在多变的环境条件下，合理选择支护结构形式，优化设计以提高结构的稳定性，成为当前研究的重要课题。

2.2 深基坑支护结构稳定性面临的挑战

在深基坑支护结构的稳定性分析中，影响因素众多，主要包括土体性质、支护结构形式、地下水位变化、荷载作用等。土体的力学特性对支护结构的稳定性影响至关重要，尤其在软土地区或地下水丰富的区域，土体的承载能力较弱，容易发生不均匀沉降或滑坡现象，从而导致支护结构的失稳。

另外，地下水位的波动也对支护结构的稳定性产生重要影响。在开挖过程中，地下水位的变化会导致土体的含水量发生变化，从而影响支护结构的稳定性。地下水的存在还会加剧土体的流动性，导致基坑周围土体的土压力增大，增加支护结构的受力。

此外，随着基坑深度的增加，荷载的传递路径和作用方式也发生了变化，传统的静态分析方法可能无法充分考虑这些变化，导致设计计算不够精确。因此，在深基坑支护结构的设计与稳定性分析中，需要采用更加先进的理论和计算方法，以保证设计的准确性与安全性。

3 深基坑支护结构的优化设计策略

3.1 选择适合的支护结构形式

深基坑支护结构形式的选择是确保基坑稳定的关键。根据基坑的深度、地质条件和周围环境的不同，设计师可以选择合适的支护结构形式。在软土地区或地下水丰富的区域，可以采用锚杆式或钢板桩式支护结构，这些结构形式具有较高的稳定性，能够有效抵抗土压力和地下水压力。

对于较浅的基坑，可以采用传统的水平支撑式支护结构，这种结构形式简便且经济，适用于土质较为坚固的地区。

在深基坑工程中，可以结合多种支护结构形式进行综合设计，例如在基坑周围设置钢板桩支护结构，内部使用锚杆进行加固，以提高支护结构的整体稳定性和抗变形能力。

支护结构形式的优化选择需要结合现场的地质勘查数据、施工方案以及经济性考虑进行合理规划。通过科学合理的支护结构选择，可以大大提高基坑的安全性，减少施工过程中可能出现的安全风险。

3.2 精确计算土压力分布

土压力的合理计算是支护结构设计的重要环节。在深基坑支护结构的设计过程中，土压力的分布是影响支护结构稳定性的关键因素之一。传统的土压力计算方法较为简化，难以充分考虑土体的非均匀性和地下水的影响。

为了提高土压力计算的精确度，近年来，有限元分析方法逐渐被应用到深基坑支护结构的设计中。通过数值模拟，设计师可以更加准确地计算土体在不同工况下的变形和应力分布，从而获得更加精确的土压力分布数据。这些数据为支护结构的设计提供了更为可靠的依据，能够有效提高基坑的稳定性。

此外，在计算土压力时，还需要考虑地下水的变化以及地质条件的复杂性。在有地下水的地区，土压力的计算应考虑水压的影响，避免水流对支护结构产生过大冲击，导致支护结构的失稳。

3.3 采用动态分析方法

在传统的静态分析方法中，忽略了基坑开挖过程中土体的动态变化和支护结构的响应。而在实际工程中，深基坑支护结构受到的荷载不仅有静态荷载，还包括施工过程中的动态荷载，例如施工设备的震动、人员的活动等，这些动态荷载会引起土体的快速变形，影响支护结构的稳定性。

因此，采用动态分析方法对深基坑支护结构进行研究，能够更加准确地预测基坑开挖过程中土体和支护结构的响应。动态分析可以通过模拟施工过程中的荷载变化，评估支护结构的抗震能力和应变能力。通过动态分析，设计师可以在设计阶段充分考虑动态荷载对基坑稳定性的影响，从而采取更加合理的加固措施，确保基坑的安全性。

4 深基坑支护结构稳定性分析与工程案例

4.1 案例分析：某深基坑项目支护结构的优化设计

在某城市的深基坑项目中，设计团队面对复杂的地质条件和周围环境的挑战，采用了优化的支护结构设计方案，成功提高了基坑的稳定性。该项目的基坑深度较大，且周围建筑物较为密集，施工过程中存在较高的安全风险。因此，如何确保基坑的安全开挖，减少施工对周围环境和建筑的影响，成为该项目设计的核心问题之一。

项目设计团队根据现场的地质勘查报告，选择了钢板桩与锚杆相结合的支护结构形式。钢板桩具有较强的抗弯能

力和较高的稳定性，适用于较深的基坑。而锚杆则能够有效地增强支护结构的抗拉能力，防止土体的横向位移，提供额外的支撑力。为了确保结构的稳定性和安全性，设计团队还通过有限元分析法对支护结构的土压力分布进行了精确计算。有限元分析技术使得团队能够在设计阶段模拟基坑开挖的全过程，并预测土体的变形和支护结构的受力状态，从而对设计方案进行优化调整，最大程度地减少潜在的风险。

此外，项目设计还考虑到了施工过程中可能出现的动态荷载与地下水波动的影响。由于该区域地下水位较高，且基坑开挖可能引起地下水的流动，设计团队通过合理配置排水系统和采用地下水控制措施，确保地下水对支护结构的影响降到最低。支护结构在动态荷载和地下水波动的共同作用下，依然保持稳定，项目顺利完成，未发生任何安全事故。

通过这一优化设计方案，项目团队不仅确保了基坑开挖的安全，还验证了优化设计和稳定性分析在复杂工程中的重要性。这一案例为其他深基坑项目的设计和实施了宝贵的经验，证明了通过合理的支护结构选择和精确的稳定性分析，可以有效提升深基坑支护结构的安全性和稳定性。

4.2 工程反馈与优化方案改进

在项目完成后，相关负责人对优化设计方案的效果给予了高度评价，认为该方案在确保基坑稳定性方面起到了关键作用。通过项目实施过程中对基坑稳定性的动态分析和土压力的精确计算，设计团队成功地识别并消除了潜在的安全隐患，确保了基坑开挖过程的平稳进行。特别是在施工过程中，设计团队采用了动态分析方法，实时监控和评估基坑周围的土体应力与变形，能够及时调整施工方案，避免了过度沉降或失稳现象的发生。

此外，项目中所采用的地下水控制措施也得到了充分验证。在施工过程中，地下水位的波动对基坑的稳定性产生了较大影响。为此，设计团队在基坑周围设置了完善的排水系统，通过抽水降水有效降低了地下水对基坑的冲击，确保了支护结构的安全性。通过这些技术手段，项目施工过程中大大减少了不必要的风险，确保了工程按期完成并取得了良好的效果。

基于这一项目的经验反馈，设计团队对支护结构的优化方案进行了进一步改进。针对不同的地质条件和施工环境，团队提出了更多适应性强的设计思路。例如，对于存在复杂地下水条件的基坑，团队设计了更加精细的加固措施，

包括增强锚杆的密度和长度，以及设置多层防水帷幕，以更好地应对水流冲刷带来的压力。此外，团队还考虑到施工过程中可能产生的振动效应，提出了针对性的抗震设计方案，以减少施工机械设备和周围环境对基坑的振动影响，从而增强支护结构的抗震能力和稳定性。

5 结语

深基坑支护结构的优化设计和稳定性分析在保证基坑施工安全方面起到了至关重要的作用。通过合理选择支护结构形式、精确计算土压力分布、采用动态分析方法等手段，设计团队能够有效提高基坑的稳定性，减少施工中的安全隐患。通过本案例分析，可以看出，优化设计不仅能够提升基坑工程的安全性，还能确保施工过程的顺利进行，降低因设计不足所带来的经济损失和工程风险。

随着建筑技术和分析方法的不断发展，未来深基坑支护结构的设计将更加精细化、科学化。通过引入更多先进的技术，如智能监控系统、无人机巡查等，深基坑支护结构的稳定性分析和优化设计将更加高效、精准。此外，随着城市建筑规模的不断扩大，基坑的设计难度和安全要求也将越来越高。因此，未来的设计工作不仅要关注结构本身的稳定性，还要结合环境影响、施工过程中的不确定性等因素，进行更加全面地考虑。

深基坑支护结构的设计不仅是一项技术性工作，更是一项系统性工程，需要各方专家的协同合作以及持续的技术创新。未来，随着建筑技术的不断进步，深基坑支护结构的优化设计与稳定性分析将进一步推动基坑工程的安全和高效施工，确保在复杂环境下实现基坑的长期稳定与安全。

参考文献

- [1] 张刚.异形深基坑灌注桩-止水帷幕支护体系力学响应研究[J].铁道建筑技术,2025,(07):158-161+214.
- [2] 马永生.高层房屋建筑工程施工中深基坑支护的施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(12):158-160.
- [3] 彭小琦.建筑市政工程深基坑施工技术措施研究[J].城市建设理论(电子版),2025,(18):205-207.
- [4] 李杰.非对称深基坑支护结构的变形控制模拟与实测[J].建筑施工,2025,47(06):915-919.
- [5] 初琳,王海霞.复杂环境下深基坑支护施工方案设计[J].建设机械技术与管理,2025,38(03):161-163.