

深基坑支护结构变形监测与预警技术应用分析

周字龙

山东历邦安城全过程工程咨询设计有限公司 山东济南

【摘要】深基坑工程在城市建设中应用广泛，其支护结构的安全性直接关系到周边环境及施工安全。针对深基坑支护结构在开挖过程中的变形特点，结合监测数据分析与预警技术，对可能出现的失稳风险进行动态评估。通过实时采集支护结构位移、地表沉降及地下水位等多维度数据，构建高精度变形监测体系，并引入基于大数据和多参数耦合的预警模型，实现对异常工况的快速识别与风险分级响应。研究表明，科学合理的监测与预警技术可显著降低工程事故发生率，提升深基坑施工的安全可控性。

【关键词】深基坑；支护结构；变形监测；预警技术；风险控制

【收稿日期】2025 年 7 月 14 日

【出刊日期】2025 年 8 月 12 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250367

Application analysis of deformation monitoring and early warning technology for deep foundation pit supporting structure

Zilong Zhou

Shandong Libang Ancheng whole process engineering consulting design Co., Ltd. Jinan, Shandong

【Abstract】 Deep foundation pit engineering is widely used in urban construction, and the safety of its supporting structure is directly related to the surrounding environment and construction safety. According to the deformation characteristics of deep foundation pit supporting structure in the process of excavation, combined with monitoring data analysis and early warning technology, the possible instability risk is dynamically evaluated. Through real-time collection of multi-dimensional data such as support structure displacement, surface settlement and groundwater level, a high-precision deformation monitoring system is constructed, and an early warning model based on big data and multi parameter coupling is introduced to realize rapid identification of abnormal conditions and risk grading response. The results show that scientific and reasonable monitoring and early warning technology can significantly reduce the incidence of engineering accidents and improve the safety and controllability of deep foundation pit construction.

【Keywords】 Deep foundation pit; Supporting structure; Deformation monitoring; Early warning technology; Risk management

1 深基坑支护结构变形问题的成因与风险特征

深基坑工程在城市建设中应用频率逐年提升，支护结构的稳定性成为确保施工安全与周边环境保护的重要环节。由于深基坑开挖往往涉及复杂的地质条件和高地下水位，支护体系在施工过程中容易受到土体自重、地应力释放、地下水渗流以及施工扰动等多重因素的共同影响，进而引发结构变形问题^[1]。支护结构在受力状态改变时会表现出不同类型的变形特征，例如水平位移、竖向沉降、弯曲变形及接缝开裂等，这些变形若未被及时监测和控制，极易导致周边道路、管线及建筑物出现不均匀沉降，甚至引发局部坍塌事故。深基坑工程的施工周期长、工序复杂，任何环节出现风险因

素累积，都会对整体安全造成不利影响，需要从工程地质条件、施工工艺和外界环境等多角度对变形问题进行深入分析。

在支护结构变形的成因中，土体工程性质差异是影响最为显著的关键因素。不同类型的土层在受力后的变形模量、渗透系数及抗剪强度存在较大差异，尤其在软土地区，土体固结不均及蠕变效应往往会导致支护结构发生过量位移。地下水的变化在深基坑工程中同样具有显著影响，当水位控制不当或降水系统设计不足时，容易造成水土流失，引发坑底隆起或支护桩倾斜等风险。外部荷载的不均匀性也是重要诱因，周边高层建筑、交通荷载以及施工机械振动等都会对支护结

构形成附加应力,导致整体稳定性下降。通过对不同影响因素进行动态分析,可为监测技术设计提供更精确的参数依据,从而实现对潜在风险的前期识别。

深基坑支护结构在施工阶段和使用阶段均面临多源风险,且其变形具有隐蔽性和突发性并存的特点,这对工程安全控制提出了更高要求。若未建立完善的监测体系并及时获取高精度数据,支护体系的应力状态变化将难以及时捕捉,极易导致事故风险失控。基于这一现状,需在设计阶段充分考虑不同工况下支护结构的受力模式及变形发展规律,通过理论计算与数值模拟结合的方法预测高风险区域^[2]。将风险评估与动态监测技术相结合,可对变形趋势进行实时分析,确保在异常情况出现前采取有效措施,实现从事后补救向事前预防的转变。这种技术路径不仅提高了工程安全等级,也为后续预警系统的科学构建奠定了坚实基础。

2 深基坑支护结构变形监测技术体系构建与实施

深基坑支护结构变形监测技术体系的构建需要在充分分析工程地质条件和施工特性的基础上,结合多维度数据获取与动态响应机制实现高精度控制。针对深基坑开挖过程中支护体系受力复杂、变形形式多样的特点,监测体系需涵盖水平位移、竖向沉降、围护桩内力、支撑轴力及地下水位等核心指标。通过布设高精度全站仪、倾斜计、测斜管、静力水准仪等多类型监测设备,实现对支护结构及周边环境的连续观测,并结合分布式光纤传感技术获取微小应变变化,提高数据采集的实时性与准确性^[3]。监测方案的设计需基于数值模拟分析结果,明确关键控制断面及潜在风险区域,从而在施工不同阶段形成分层次、分区域的动态监测布局。

在技术体系的实施过程中,需要将数据采集、传输、处理与分析形成一体化的技术链条。深基坑变形监测的数据量大、更新频率高,传统人工记录方式已难以满足工程安全控制需求,因此需引入自动化数据采集与无线传输系统,构建基于物联网的监测网络,实现对支护结构状态的远程实时掌控。通过集成多源数据管理平台,将不同监测点的位移量、内力变化和地下水波动等数据进行融合分析,结合有限元计算与大数据算法,建立变形趋势预测模型。监测系统需具备动态自校准功能,以确保在传感器精度受环境干扰时仍能维持数据稳定性和可靠性,为支护结构安全状态判定提供科学依据。

在实际工程中,深基坑支护结构监测技术体系的有效运行依赖于各部门的协同和分阶段管理策略^[4]。施工单位、设计单位与监测团队需建立高效的信息共享

机制,将监测数据与施工工序紧密关联,实现对支护结构受力状态的动态反馈与快速调整。当监测数据出现超限趋势时,系统可通过内置的分级预警模型触发风险响应,并为优化支护方案和调整施工工艺提供决策支持。通过这种高集成度的监测与反馈体系,可以在施工过程中实现风险的实时管控,显著提升深基坑工程的安全性和可控性,为后续预警技术的深度应用奠定坚实基础。

3 深基坑支护结构预警技术的应用与优化路径

深基坑支护结构预警技术的应用以高精度监测数据为基础,通过对结构受力状态、位移变化及环境因素的动态分析,实现对潜在风险的早期识别与分级响应。在深基坑开挖过程中,支护体系在不同工况下会出现复杂的应力与变形耦合现象,传统单一阈值判断方法难以全面反映真实风险状态。通过引入多参数耦合预警模型,将水平位移、竖向沉降、支撑轴力、围护桩弯矩以及地下水位等关键指标纳入统一分析框架,可实现对异常趋势的综合判定^[5]。结合实时数据与数值模拟结果,可动态修正预警阈值,从而提高异常工况识别的灵敏度与准确性,为施工安全控制提供可靠依据。

在具体实施中,深基坑预警技术需要依托自动化监测体系和数据智能分析平台,建立高效的信息传输与处理机制。多源数据通过物联网系统实现实时汇集,再利用大数据算法和机器学习模型对不同工况下的风险模式进行训练与识别。通过对监测点位历史数据与实时数据进行对比分析,可提前发现细微变形趋势并预测其发展方向,从而在风险尚未显现前启动针对性的防控措施。为了提高预警的时效性,系统可与施工管理平台实现无缝对接,将风险等级与工程节点同步关联,使施工单位能够在第一时间对支护体系进行调整或加固,避免变形失控引发安全事故。

在工程管理层面,预警技术的优化路径不仅依赖于算法和硬件的升级,还需要与施工工艺和设计方案深度融合。通过对不同地质条件和支护形式的历史工程案例进行数据回溯与分析,可以形成针对性更强的风险模型,并在新建项目中进行参数校正和模型优化。多级预警机制可根据风险程度分为关注、警戒和紧急响应三个层次,在不同预警等级下采取差异化管理策略,确保资源合理配置和防控措施的高效落实^[6]。随着监测技术和数据处理能力的不断提升,深基坑支护结构预警体系能够实现从被动应对向主动防控的转变,大幅提高工程的安全性和可控性。

4 深基坑支护结构监测与预警综合效果分析

深基坑支护结构监测与预警的综合效果体现在对施工安全的动态控制与风险防范能力的显著提升。通过高精度监测技术与多参数预警模型的协同应用,能够实现对支护结构受力状态、位移变化及周边环境响应的实时掌握。在实际工程中,通过对水平位移、竖向沉降、支撑内力和地下水位等关键指标的持续观测,能够及时发现微小异常并准确识别潜在隐患^[7]。结合数值模拟与大数据分析,形成对深基坑变形发展的趋势预测,为优化施工工艺、调整支护方案和防控风险提供有力依据。通过动态监测与实时预警的深度融合,施工单位能够在问题初期阶段采取有效干预措施,显著降低结构失稳、管线损坏和地表沉降等事故的发生概率。

在工程管理过程中,监测与预警系统的综合应用为不同阶段的施工决策提供了高效支撑。通过集成多源监测数据,结合有限元计算与机器学习算法,可以在施工全过程中对支护结构的安全状态进行动态评估。当监测数据接近或超过设定阈值时,系统会自动触发分级预警机制并联动施工管理平台,快速生成针对性控制方案。例如在支撑轴力变化明显或围护桩位移增大的情况下,预警系统可提前提示可能的失稳风险,指导施工人员调整工艺参数、增加临时支撑或优化降水方案。通过将监测与预警结果与施工计划同步结合,能够实现对深基坑工程安全的全过程精细化管理。

在大量工程案例的应用中,深基坑支护结构监测与预警技术的综合效果已得到验证,表现出高效率、高可靠性和高适应性等优势。通过长期积累的监测数据,可对不同地质条件、支护形式及施工工况下的风险模式进行对比分析,不断优化预警参数与监测策略,形成更加完善的技术体系。自动化、智能化的监测平台不仅提高了数据采集与处理的效率,还显著缩短了风险响应时间,实现了从被动防护到主动防控的转变^[8]。实践表明,合理构建并实施深基坑支护结构的监测与预警体系,不仅能够提升施工安全等级,还为后续类似工程提供了可借鉴的技术经验与管理模式,进一步推动了城市复杂环境下深基坑工程安全控制水平的提升。

5 结语

深基坑支护结构的安全控制依赖于科学的监测技

术与高效的预警体系相结合。随着城市建设规模的不断扩大,工程环境愈加复杂,支护结构在受力状态、变形特征和风险因素上的不确定性显著增加。高精度监测手段与多参数预警模型的应用,为及时识别潜在隐患和制定应对措施提供了坚实基础。动态化、智能化的技术路径不仅显著提升了施工安全性,也优化了风险管理模式。研究表明,完善的监测与预警体系能够有效降低事故发生率,提升深基坑工程的安全可控性,为类似工程提供技术参考和实践指导。

参考文献

- [1] 贺庭伟.深基坑支护结构变形实时监测与调控技术[J].四川建材,2025,51(05):119-121.
- [2] 范国鹏.深基坑支护结构施工中变形监测及安全性评估方法探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(33):127-129.
- [3] 邹晓磊.深基坑支护结构变形监测的工程测量标准化关键技术[J].大众标准化,2024,(21):51-53.
- [4] 姚冬.深基坑变形监测方案设计与数据分析[J].智能城市,2024,10(08):123-125.
- [5] 徐振斯,庞复海,邓宇,等.某建筑深基坑支护结构设计及智能化监测[J].岩土工程技术,2023,37(06):731-736.
- [6] 钟智勇.软土地区深基坑支护结构变形监测[J].江西建材,2023,(06):196-198.
- [7] 于茜.深基坑支护结构变形监测分析研究[J].住宅产业,2023,(06):89-92.
- [8] 麻凤海,杨天宇.某深基坑支护结构变形影响参数研究[J].公路工程,2021,46(04):66-72+83.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

