

建筑工程深基坑支护结构变形监测与预警机制优化

庞世强¹ 丁海燕²

1. 山东冠红建设集团有限公司 山东 临沂 276400

2. 沂水县久远水利水电建筑安装有限公司 山东 临沂 276400

摘要：建筑工程深基坑支护结构变形监测与预警对工程安全至关重要。本文分析排桩支护等结构类型、变形特征及影响因素，优化监测技术，提出多技术融合方案与数据处理方法。构建预警模型并验证优化，针对现有预警机制问题，从信息传递、响应流程等方面优化，实现预警机制与工程管理流程融合，保障深基坑工程安全。

关键词：深基坑支护结构；变形监测；预警模型；预警机制

引言：在建筑工程中，深基坑工程日益增多，支护结构变形问题备受关注。支护结构变形不仅影响工程进度与质量，更关乎周边环境及人员安全。传统监测技术与预警机制存在局限，难以满足复杂工程需求。深入研究深基坑支护结构变形监测与预警机制优化，提升监测精度与预警准确性，对保障深基坑工程安全施工具有重要意义。

1 深基坑支护结构变形特征与影响因素分析

1.1 深基坑支护结构类型及特点

在建筑工程领域，深基坑支护结构形式多样，常见的有排桩支护、地下连续墙、土钉墙等。排桩支护由一系列桩体组成，桩与桩之间通过连接形成整体支护体系。这种结构施工简便，可根据不同地质条件和基坑深度选择桩型，如钻孔灌注桩等。其力学特性表现为具有刚度和强度，能有效抵抗土体侧向压力，适用于多种地质环境^[1]。在实际工程中，约60%的深基坑工程采用排桩支护，桩径一般为0.8-2米，桩间距在1.5-3米不等。地下连续墙通过专用设备挖掘深槽后浇筑混凝土形成连续墙体。它整体性好，刚度大，能承受较大的土压力和水压力，对周边环境变形控制效果显著。常用于深度较大、环境复杂的深基坑工程。连续墙厚度在0.6-1.2米，深度可达30米以上，在地铁车站、地下商业综合体等大型工程中应用广泛。土钉墙由土钉、喷射混凝土面层及原位土体组成。土钉通过钻孔、插筋、注浆设置在土体中，与周围土体形成复合体，共同抵抗滑移变形。这种支护结构施工速度快、造价低，适用于地下水位较低、土质较好且深度不大的工程。土钉墙支护深度通常在10米以内，土钉长度一般为3-12米，间距在1-2米左右。

1.2 支护结构变形表现形式

支护结构在水平方向和垂直方向会呈现出不同的变形特征。在水平方向，随着基坑开挖的进行，土体侧向

压力释放，支护结构会向基坑内侧发生水平位移。这种位移在开挖初期较小，随着深度增加逐渐增大，且在不同深度处位移量有所差异。在垂直方向，支护结构可能因土体开挖卸载、坑底隆起等因素产生沉降或上浮。当坑底土体承载力不足时，会发生坑底隆起，带动支护结构底部上浮；而在一些特殊情况下，如地下水位变化较大，也可能出现不均匀沉降。支护结构还可能出现整体倾斜和局部变形。整体倾斜是指支护结构整体向某一方向偏移，这往往是由于土体不均匀、开挖不对称等原因引起。局部变形则表现为某些部位出现鼓出、裂缝等现象，可能是由于局部土压力过大或施工质量缺陷导致。

1.3 影响支护结构变形的因素

地质条件对支护结构变形影响显著。不同土层性质差异很大，软土具有较高的压缩性和较低的强度，在相同荷载作用下变形较大；而砂土、岩石等土层则相对稳定。地下水位高低也至关重要，水位上升会增加土体含水量，降低土体强度，增大土压力，导致变形增大。工程因素同样不容忽视。基坑开挖深度越深，支护结构承受的压力越大，变形也就越明显。开挖顺序不合理会打破土体应力平衡，引发支护结构变形。施工工艺的好坏直接影响其质量，如排桩施工中的桩位偏差、桩身缺陷等，都会削弱支护结构的承载能力，增加变形风险。环境因素也会产生影响。周边建筑物的基础类型、重量以及与基坑的距离，都会通过土体传递荷载，影响支护结构受力状态。地下管线的存在限制了变形空间，且管线渗漏可能改变土体性质，进而影响结构稳定。交通荷载产生的动压力会反复作用于土体，长期作用下可能导致支护结构疲劳变形。

2 深基坑支护结构变形监测技术优化

2.1 传统监测技术回顾与局限性分析

在深基坑支护结构变形监测领域，传统监测方法曾

发挥重要作用。水准仪测量是利用水准仪提供水平视线,通过测量两点间的高差来监测支护结构垂直方向的位移。经纬仪测量则借助经纬仪测量角度,结合已知距离,确定支护结构上各点在水平面内的位置变化,以此获取水平位移数据^[2]。测斜仪测量是将测斜仪放入预先埋设在支护结构中的测斜管内,通过测量不同深度处的倾斜角度,计算支护结构沿深度方向的变形。然而,传统监测技术存在诸多局限性。在监测精度方面,受仪器精度、测量环境以及人为操作等因素影响,测量结果往往存在一定误差,难以满足高精度监测需求。监测频率上,传统方法多为人工定期测量,频率较低,无法及时捕捉支护结构变形的动态变化过程。实时性更是传统监测技术的短板,从测量到数据整理分析,再到得出监测结果,整个过程耗时较长,难以为施工决策提供及时有效的依据。

2.2 新型监测技术引入与应用

全球导航卫星系统(GNSS)为深基坑变形监测带来新契机。它通过接收多颗卫星信号,精确确定监测点在地球坐标系中的三维位置。GNSS具有全天候、高精度、实时性强等优势,能连续不断地对支护结构进行监测,及时反馈变形信息。光纤传感技术基于光在光纤中传播时的特性变化来感知外界物理量。在监测支护结构应变时,当结构发生变形,光纤内部的应力状态改变,导致光的传播特性发生变化,通过检测这些变化即可获取应变信息。光纤传感技术还能监测温度变化,为分析温度对支护结构变形的影响提供数据支持。三维激光扫描技术通过发射激光束并接收反射信号,快速获取支护结构表面大量点的三维坐标信息。利用这些数据构建三维模型,能直观呈现支护结构的三维变形情况,为全面评估支护结构安全状态提供有力依据。

2.3 多技术融合监测方案设计与实施

将多种监测技术相结合的综合监测方案能充分发挥各技术优势。多技术融合监测系统架构涵盖传感器布置、数据采集与传输等环节。传感器布置需根据支护结构特点和监测需求,合理选择各类传感器的安装位置与数量,确保全面覆盖监测区域。数据采集环节要保证各传感器同步工作,准确获取监测数据。数据传输则采用高速稳定的通信方式,将数据及时传送至数据处理中心。实施流程上,先进行系统调试,确保各部分正常运行。监测过程中,严格按照设定参数进行数据采集与传输。注意事项包括定期检查传感器工作状态,防止因环境因素或人为破坏影响监测效果;做好数据备份,防止数据丢失。

2.4 监测数据质量控制与处理

建立监测数据质量评价体系,制定明确的数据质量标准,从数据完整性、准确性、一致性等方面对监测数据进行评估。数据预处理方法包括数据滤波,可去除噪声干扰,提高数据信噪比;异常值剔除,通过设定合理阈值,排除因仪器故障或外界干扰产生的异常数据。数据融合算法能将多源监测数据进行有效整合与分析,挖掘数据潜在信息,为准确评估支护结构变形提供可靠支持。

3 深基坑支护结构变形预警模型构建

3.1 预警指标体系建立

在构建深基坑支护结构变形预警模型时,首要任务是确定能精准反映支护结构变形状态的关键预警指标。位移量是直观体现支护结构移动程度的指标,能直接反映结构在空间上的位置变化。位移速率则关注位移随时间的变化快慢,若位移速率突然增大,往往预示着变形加剧,可能存在安全隐患^[3]。倾斜率用于衡量支护结构整体或局部的倾斜程度,当倾斜率超过一定范围,结构稳定性会受到严重影响。各预警指标并非孤立存在,它们之间存在着紧密的相关性。例如,位移量增大可能导致倾斜率上升,而位移速率的变化也会影响位移量的累积。深入分析这些相关性,能避免指标间的信息重复,构建出科学合理的预警指标体系,为后续预警工作奠定坚实基础。

3.2 预警阈值确定方法

确定预警阈值是预警模型的关键环节。基于理论计算的方法,可借助极限平衡法、有限元法等。极限平衡法通过分析支护结构在极限状态下的受力平衡,计算出安全位移值,以此作为预警阈值的参考。有限元法能模拟支护结构在不同工况下的变形情况,通过大量计算得出合理的预警阈值范围。基于统计分析的方法则依托大量监测数据。对历史监测数据进行深入分析,找出变形规律,利用概率统计方法确定不同工况下的预警阈值。这种方法能充分考虑实际工程中的复杂因素,使阈值更贴近实际情况。综合考虑工程经验与理论分析的综合方法也备受关注。工程经验能提供实际工程中支护结构变形的常见范围和临界值,结合理论分析结果,相互印证、补充,从而确定更为准确可靠的预警阈值。

3.3 预警模型类型与选择

常见预警模型各有特点。阈值预警模型简单直接,当监测指标超过设定阈值时即发出预警,适用于变形规律较为明确、对实时性要求较高的工程。灰色预测模型通过对少量、不完全信息的处理,挖掘数据潜在规律,进行短期预测,适用于数据量有限的情况。神经网络预测模型具有

强大的非线性映射能力,能处理复杂的变形关系,进行长期预测,但需要大量数据进行训练。根据深基坑工程实际情况,如地质条件、周边环境、施工工艺等因素,选择合适的预警模型。也可构建组合预警模型,融合多种模型的优势,提高预警的准确性和可靠性。

3.4 预警模型验证与优化

采用实际监测数据对预警模型进行验证是必不可少的环节。将模型预测结果与实际监测数据进行对比,评估模型的准确性与可靠性。若预测结果与实际偏差较大,说明模型存在不足。根据验证结果对预警模型进行优化调整。调整模型参数、改进模型结构或引入新的影响因素,不断提高模型的预警性能,使其能更精准地预测支护结构变形,为深基坑工程安全提供有力保障。

4 深基坑支护结构变形预警机制优化

4.1 现有预警机制存在的问题分析

当前深基坑支护结构变形预警机制在实际运行中暴露出诸多问题。在信息传递方面,常出现信息延迟、失真的情况。监测数据在层层传递过程中,可能因人为疏忽或技术故障,导致关键信息未能及时准确地送达相关人员手中,影响预警的及时性^[4]。响应速度上,当预警信号发出后,各参与方有时不能迅速做出反应,各部门之间协调不畅,存在相互推诿的现象,使得应对措施无法及时实施,延误了处理问题的最佳时机。决策支持方面,现有的预警机制缺乏科学有效的决策依据,在面对复杂的变形情况时,难以快速制定出合理可行的应对方案。而且,预警机制与工程管理流程的衔接存在明显不畅,没有形成一个有机的整体,导致在工程管理过程中,预警机制的作用难以充分发挥。

4.2 预警信息传递与共享优化

为解决信息传递问题,需建立高效的预警信息传递渠道。可以利用现代通信技术,如短信、即时通讯软件、专用预警平台等,确保监测数据与预警信息能在第一时间传达给建设单位、施工单位、监理单位等相关人员。构建预警信息共享平台至关重要。该平台应具备数据集成、分析、展示等功能,实现多方之间的信息实时共享与协同工作。各方可在平台上及时获取最新的监测

数据和预警信息,共同分析变形趋势,制定应对策略,提高工作效率和决策的科学性。

4.3 预警响应流程与决策支持优化

制定科学合理的预警响应流程是关键。明确不同预警级别下的应对措施与责任分工,例如,对于一般预警,施工单位可加强监测频率,做好现场巡查;对于严重预警,则需立即停止施工,组织专家进行现场评估。建立基于专家系统或大数据分析的决策支持系统,能为预警响应提供科学依据与决策建议。专家系统汇聚了行业内众多专家的经验 and 知识,大数据分析则能挖掘历史数据中的规律,二者结合可为应对复杂变形情况提供有力支持。

4.4 预警机制与工程管理流程的融合

将预警机制融入深基坑工程的全过程管理流程中,实现监测、预警、响应与工程管理的有机结合。在工程进度控制方面,通过预警机制及时发现可能影响进度的变形问题,提前调整施工计划;在质量控制上,利用预警信息对支护结构质量进行动态监控,确保施工质量符合要求;在安全管理方面,预警机制能提前发现安全隐患,采取有效措施防范事故发生,保障工程安全顺利进行。

结束语

建筑工程深基坑支护结构变形监测与预警机制优化研究,通过分析变形特征与影响因素,优化监测技术,构建并验证预警模型,针对现有预警机制问题提出优化措施,实现与工程管理流程融合。这些成果为深基坑工程安全提供了有力支撑,有助于提升工程管理水平,保障工程顺利实施,在类似工程中具有重要应用价值。

参考文献

- [1]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(6):731-736.
- [2]史伟.建筑施工中深基坑支护结构稳定性控制技术研究[J].建筑与施工,2025,4(20):174-176.
- [3]詹立敏.建筑基坑工程施工智能监测技术应用探析[J].张江科技评论,2025(3):50-52.
- [4]高鹏,高合川.市政工程中深基坑支护施工技术提升探讨[J].新城建科技,2025,34(1):162-164.