

深基坑工程支护结构变形监测与智能预警系统开发

聂冬平

江西百泰建筑工程有限公司 江西南昌 330000

摘要: 随着城市化进程的加快,高层建筑和地下空间的开发利用日益增多,深基坑工程在施工过程中面临着诸多风险。为了确保施工安全,对基坑支护结构的变形进行实时监测并建立智能预警系统显得尤为重要。本文首先分析了深基坑工程的特点和监测的必要性,然后介绍了监测系统的设计原则和智能预警系统的开发思路,最后通过案例分析验证了系统的有效性和实用性。

关键词: 深基坑工程; 支护结构; 变形监测; 智能预警系统

引言

在现代城市建设中,深基坑工程因其规模大、施工周期长、地质条件复杂等特点,成为建筑工程中的高风险环节。基坑支护结构的稳定性直接关系到整个工程的安全,因此,实时监测支护结构的变形情况并及时预警,对于预防和控制基坑事故具有重要意义。随着信息技术的发展,利用现代传感器技术和计算机技术开发智能预警系统,可以有效提高监测数据的准确性和预警的及时性。

一、深基坑支护结构变形监测方案设计

(一) 监测目标与内容

深基坑工程中,变形监测的首要目标是精确掌握支护结构,这包括围护桩、地下连续墙以及内支撑体系等关键构件,以及其周边土体的实际变形状态。通过持续跟踪这些变形数据,能够科学评估支护体系的稳定性,及时发现潜在的安全隐患,为施工过程的动态调整和风险防控提供直接依据。确定的核心监测内容必须覆盖能够反映结构受力与变形的关键参数,其中水平位移是衡量围护结构侧向移动程度的重要指标,它直接关系到围护墙体的入土深度和嵌固效果是否满足要求;垂直位移则反映了基坑底部或周边地面的沉降情况,过大的沉降可能影响上部建筑物或道路的正常使用的;结构的倾斜程度直接关系到其整体稳定性,即使是微小的倾斜累积也可能导致结构失稳;支撑轴力的变化指示了支撑系统所承受的压力或拉力状态,这是判断支撑体系是否达到设计要求、是否存在超载风险的关键;而地下水位的变化则可能影响土体的有效应力和基坑的抗浮稳定性,特别是在渗透性较好的土层中,水位骤降或骤升都可能引发工程问题。对这些关键参数进行系统监测,是全面

了解深基坑工程安全状况的基础,为工程决策提供量化支持^[1]。

(二) 监测方法与技术选型

针对深基坑的特点,存在多种成熟的监测技术可供选择。自动化全站仪能够通过测量角度和距离,精确确定监测点的三维坐标变化,适用于水平位移和垂直位移的监测,其优势在于高精度和自动化程度高,可以在无人值守的情况下按设定频率进行重复测量。GNSS(全球导航卫星系统)接收机利用卫星信号进行定位,适合在开阔场地或对大面积区域进行位移监测,具有全天候工作的特点,但其精度相对全站仪较低,且在建筑物密集或信号遮挡严重的区域效果会打折扣。倾角传感器直接安装在结构或土体内部,能够实时量测结构或土体的倾斜角度变化,原理简单直接,适用于局部倾斜监测,如监测围护墙的深层倾斜。应变计粘贴或埋设在结构构件(如支撑、桩体)内部,通过量测材料内部的应变来推算结构的应力或轴力,是获取结构内部受力状态的关键手段,能够直接反映支撑是否按设计受力。水位计则用于监测基坑内外地下水位的高低变化,通常通过测量水压力来实现,这对于评估降水效果和判断是否需要调整降水方案至关重要。每种技术都有其工作原理和特定的优势,例如全站仪精度高但受通视条件限制,GNSS覆盖范围广但精度相对较低,应变计能反映内部应力但安装要求高且易受环境影响。选择合适的监测技术组合,需要综合考量工程的具体地质条件、基坑规模、支护结构形式、设计计算的敏感部位、监测精度要求、现场作业环境(如是否开阔、有无障碍物)以及经济成本等多方面因素,确保所选技术能够有效、可靠地获取所需的关键变形信息,形成互补的监测网络^[2]。

（三）监测点布设与系统构建

监测点的布设需要遵循明确的指导原则，首要原则是在变形敏感或受力复杂的关键部位进行重点布设，例如基坑的阳角（这些位置受力条件通常更复杂）、深挖区（开挖深度大，土压力释放更多）、邻近重要建（构）筑物或地下管线的区域（这些区域变形控制要求通常更严格），以及设计计算中预测变形或应力较大的位置。布设点位还应结合支护结构的设计图纸和计算模型结果，确保能够有效反映结构的工作状态，验证设计假设。监测设备的安装必须严格按照规范操作，确保传感器或棱镜等部件牢固地固定在选定的监测对象上，例如，测斜管需垂直埋设并固定在土体或墙体中，应变计需正确粘贴在钢筋或混凝土表面，全站仪的棱镜需稳定安装在预埋的基座上。同时，必须采取必要的保护措施，如设置防护罩、避免施工机械直接碰撞等，防止施工扰动或意外损坏，以保证监测设备能够长期稳定地运行，持续提供可靠数据，这是整个监测工作的基础。为了实现高效的数据管理，通常需要构建一个监测数据的自动采集与传输系统。这包括使用数据采集器自动定时收集各传感器信息，设定合理的采集频率以捕捉变形的关键变化，并通过有线或无线网络（如GPRS、光纤）将数据实时传输到中央数据库或监控中心，从而形成一个覆盖整个监测区域的数据采集网络，便于集中管理、及时分析和长期存档，为后续的数据处理和预警提供数据基础。

二、监测数据的智能处理与融合

（一）数据预处理

原始的监测数据在采集过程中，常常会混入各种噪声，这些噪声可能来源于传感器自身的精度限制、环境因素（如温度变化、电磁干扰）或是传输过程中的信号波动。此外，由于传感器故障、通信中断或人为操作失误等原因，数据中也可能存在部分时间段的缺失。这些问题如果不加以处理，会直接影响后续分析的准确性。因此，数据预处理是确保数据质量的关键步骤。数据清洗工作需要识别并剔除或修正那些明显偏离正常范围的异常值，这些异常值可能是由于瞬时干扰造成的。常用的方法包括基于统计分布的识别（如 3σ 原则）、移动平均滤波或中值滤波等。对于数据缺失的情况，则需要根据缺失的规律和程度，采用插值法（如线性插值、样条插值）或其他填补策略，尽可能恢复数据的连续性，从而为后续的深度分析奠定一个可靠的基础。

（二）数据融合与状态评估

深基坑支护结构的稳定性是一个整体性的表现，单

一传感器的数据往往只能反映结构的某个局部或某个特定方面的状态。为了形成对支护结构整体状态的全面认识，必须将来自不同类型传感器（如监测位移的全站仪、监测应变的应变计、监测轴力的压力传感器、监测...联不同数据内在联系的分析框架，例如通过空间位置关联或物理力学模型关联，将分散的信息整合起来，形成一个关于结构整体受力与变形的综合视图。在此基础上，可以利用时间序列分析方法，对融合后的数据进行处理，提取出变形随时间发展的具体趋势和潜在规律，例如判断变形速率是趋于稳定、缓慢增加还是快速恶化，从而为评估支护结构当前的安全状态提供更全面、更深入的信息^[3]。

（三）智能分析思路

在完成数据预处理和数据融合之后，需要对处理后的数据进行初步的智能分析。这可以借助一些相对简单的算法来实现，例如设定明确的阈值进行判断，当某个监测参数（如位移量、变形速率、支撑轴力）超过预设的安全阈值时，系统即可判定结构状态可能异常。此外，趋势分析算法能够识别数据序列中是否存在持续增长或下降的趋势，以及这种趋势的速率和加速度，这对于预测未来的变形走向至关重要。这些初步的分析和状态判断结果，虽然可能不够精细，但能够为及时发出预警提供直接依据。整个数据处理和分析过程的核心价值在于，从海量的原始数据中提取出能够反映结构真实状态和潜在风险的关键信息，这些关键信息是支撑后续进行更高级的智能预警决策的基础，确保能够对可能出现的风险做出快速、准确的响应。

三、智能预警系统开发与功能实现

（一）系统架构设计

智能预警系统的整体架构设计是为了确保数据能够高效、准确地从采集到最终呈现，并触发相应的预警动作。该架构通常包含四个主要层次：数据采集层、数据处理层、预警逻辑层和用户交互层。数据采集层负责连接各种现场传感器，按照设定的时间间隔或触发条件，实时收集位移、应力、应变等原始监测数据，并将这些数据传输至系统。数据处理层接收来自采集层的数据，执行前面提到的数据预处理和融合任务，包括噪声过滤、缺失值填补、多源数据对齐与整合，生成干净、统一格式的数据集，供后续分析使用。预警逻辑层是系统的核心，它接收处理后的数据，依据预设的规则和算法进行分析判断，决定是否需要发出预警。用户交互层则是系统与现场工程师或其他使用者沟通的界面，负责将处理

后的数据、分析结果以及预警信息以直观的方式（如图表、报告、通知）展示出来，并允许用户进行参数设置、查询历史数据等操作。各层之间通过定义清晰的数据接口进行连接，数据流按照采集、处理、分析、展示的顺序依次传递，每一层都有其明确的功能分工，共同协作完成整个预警流程。这种分层设计不仅提高了系统的模块化和可维护性，也使得各部分功能更加清晰，便于后续的扩展和优化。

（二）预警逻辑与阈值设定

智能预警的核心逻辑在于如何根据监测数据的变化来判断结构安全状态。基本原理包括几种：一种是基于阈值的预警，即当某个监测指标（如桩顶位移、支撑轴力）的数值超过了预先设定的安全上限或下限值时，系统判定为危险状态并触发预警。另一种是基于变形速率或趋势的预警，它关注的是监测数据随时间变化的速率或方向，例如，当位移的日增长速率超过了某个临界值，或者监测数据呈现出持续加速恶化的趋势时，即使当前数值尚未达到绝对阈值，系统也会发出预警，提示可能存在加速失稳的风险。预警阈值的设定是一个关键环节，它需要综合多方面因素来确定。主要依据包括国家或行业发布的设计规范和安全标准，这些规范提供了基础的安全界限；同时，也需要结合具体工程的经验值，考虑地质条件、支护形式等特殊性和实时数据分析的结果，例如，根据近期监测数据计算出的统计分布特性，动态调整阈值，使其更贴合当前工程的实际状态，从而提高预警的准确性和可靠性。这种综合性的阈值设定方法，结合了理论、经验和实时数据，使得预警判断更加科学和贴近实际工程情况^[5]。

（三）系统功能实现

系统功能实现的目标是构建一个能够满足实际工程需求的、可用的预警工具。主要功能模块包括：实时数据显示模块，用于在界面上以数字或动态曲线的形式展示当前各监测点的最新读数；变形趋势图表模块，能够生成历史数据的时间序列图表，帮助工程师直观地观察变形的发展过程和速率变化；预警信息生成与分级模块，当预警逻辑判断出异常情况时，系统会自动生成包含异常指标、时间、位置等信息的预警报告，并根据异常的严重程度进行分级（如一级、二级、三级报警）；报警推送模块，负责将分级后的预警信息及时、准确

地推送给相关责任人员，推送方式可以包括手机短信、APP通知、邮件等。在实现这些功能时，必须强调系统需具备良好的用户友好性和可操作性。界面设计应简洁明了，操作流程应尽可能简化，关键信息应突出显示，避免复杂的设置步骤。这样设计是为了确保现场工程师能够快速上手，方便地查看数据、理解预警内容并采取相应的处置措施，从而真正发挥系统在保障工程安全方面的作用。

结语

科学设计监测方案，包括确定目标、选型方法、布设监测点与构建系统，为获取准确监测数据奠基。处理监测数据时，经预处理、融合与智能分析提取关键信息，支撑智能预警。开发智能预警系统并实现功能，涵盖架构设计、预警逻辑与阈值设定及系统功能完善，确保及时准确预警。实际工程应用显示，该系统保障了深基坑施工安全，可提前发现潜在风险，避免事故、减少损失。不过，深基坑工程复杂多变，本研究有局限。未来需完善监测技术方法，提高数据采集精度与可靠性；优化预警系统算法逻辑，精准反映支护结构状态，适应复杂工程环境；加强与地质工程、岩土力学等领域交叉融合，深入理解工程力学行为与变形机制，提供更全面保障。随着技术进步与研究深入，该系统将在建筑工程领域发挥更大作用。

参考文献

- [1] 郑鏢. 深基坑工程支护施工技术的研究[J]. 中国建筑金属结构, 2022, (10): 44-46.
- [2] 张宇. 天水市北园子地块棚户区改造深基坑工程支护与监测结果分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2022, 23(03): 12-18+22.
- [3] 余冬静, 仇方形. 软弱地层中深基坑工程支护体系及受力特性的数值分析[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(15): 176-178.
- [4] 胡荡. 深基坑工程支护技术及地质勘察要点分析[J]. 居舍, 2022, (15): 44-46.
- [5] 胡梦尧, 卓平山, 吴寒. 基于区间层次分析法的深基坑工程支护方案决策[J]. 江西建材, 2022, (03): 139-141.