

深基坑自动化智能监测技术与实践

谢晓沐

(深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心, 广东 深圳 518000)

摘要 深基坑工程作为城市建设的重要组成部分, 其施工安全与周边环境密切相关。传统人工监测方式难以满足日益复杂的深基坑工程需求。自动化智能监测技术凭借其高效、准确、实时等特点, 为深基坑安全监控提供了有力保障。本文聚焦自动化智能监测技术在深基坑工程中的应用, 系统阐述了该技术的发展现状、关键技术及实施策略。通过典型案例分析, 展现了基于机器视觉、智能无线数据采集终端等技术的监测系统设计与应用效果。本研究旨在为深基坑监测手段的智能化升级提供理论指引和可资借鉴的实践经验, 促进深基坑工程安全水平的提升。

关键词 深基坑监测; 自动化监测; 智能监测系统; 工程应用

中图分类号: TP29; TU47

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0016-03

随着城市建设的快速发展, 深基坑工程不断增多, 其安全问题日益突出。为保障深基坑施工安全, 及时发现异常情况, 基坑监测成为深基坑施工过程中的重要一环。然而, 传统人工监测在恶劣天气或应急抢险时候的效率低、数据滞后、覆盖不全面等问题日益凸显。伴随着物联网、云计算、大数据等新一代信息技术的发展, 自动化智能监测系统应运而生, 为深基坑工程的安全管控提供了更加高效、准确、全面的技术手段。本文将系统阐述深基坑自动化智能监测技术及其工程应用实践。

1 深基坑自动化智能监测技术概述

1.1 自动化监测的概念和特点

深基坑自动化监测是指借助先进的传感器、无线通信、大数据分析等技术手段, 对深基坑施工过程中的关键变形参数进行实时、动态、高效的信息采集与反馈的过程^[1]。与传统人工监测相比, 自动化监测具有监测频率高、人力投入少、数据反馈快、可实现远程预警等诸多优势。自动化监测系统通过在基坑现场布设各类传感器, 并与数据采集器、无线传输模块等硬件设备相连, 构建起一套完整的数据采集与传输网络。监测数据经无线网络传输至云端服务器进行存储与分析, 再通过可视化界面实现实时显示、超限预警、趋势分析等功能, 为深基坑施工安全控制提供有力支撑。

1.2 自动化智能监测系统的组成和功能

智能化监测系统是实现深基坑自动化监测的关键, 其由现场数据采集单元、数据传输网络、数据处理分析平台等多个部分组成^[2]。现场监测单元负责基坑各项监测参数的自动采集, 包括高精度传感器、数

据采集器、供电装置等设备, 可对基坑顶部变形、支撑结构受力、地下水位等指标实时监测。数据通过无线网络实时传输至监测数据中心, 采用4G等多种通信方式, 确保数据的可靠传输。云端监测平台接收现场数据, 利用大数据分析、机器学习等技术, 自动处理海量监测数据, 及时分析预警基坑安全状态, 为项目各参建单位提供直观、可靠的辅助决策信息。此外, 可视化展示模块将监测数据转化为直观的图表、曲线, 便于掌控基坑整体安全动态。

2 深基坑自动化智能监测系统的设计与实施

2.1 监测指标与测点布置

监测指标的选取与测点的合理布置直接影响监测数据的代表性和可靠性, 进而决定整个监测系统的有效性。监测指标的选择需全面反映基坑支护结构及邻近环境的安全状态, 通常包括桩顶水平位移、桩顶竖向位移、立柱竖向位移、支撑轴力、地下水位等关键参数。这些指标的选取不仅要考虑工程特点, 还要兼顾监测成本与技术可行性。测点布置方案的制定是一项复杂的系统工程, 需要在确保数据代表性与可靠性的前提下, 权衡经济性与可操作性。不同监测对象和工程条件下, 测点布置方案往往存在显著差异。例如, 桩顶水平位移监测点可沿基坑轮廓线布设, 其间距的确定取决于基坑规模和周边环境风险程度; 地下水位监测则需在开挖影响范围内布置, 并适当延伸至基坑外围, 以全面掌握地下水位的整体变化趋势。测点布置还需考虑施工工序、场地条件等现场因素, 通过现场踏勘和图纸审核, 优化监测点位, 避开障碍物, 确保监测设备的安装和维护便利性。

2.2 硬件系统选型与安装

硬件系统的选型与安装是深基坑自动化智能监测系统建设的关键环节,直接影响监测数据的准确性和系统运行的稳定性。在选择监测设备时,需综合考虑监测参数特性、现场环境条件、供电方式、数据传输需求等多方面因素。高质量的传感器应具备优异的线性度、重复性和长期稳定性,同时还要能够适应基坑施工现场的恶劣环境。除传感器外,数据采集器、无线传输模块和供电设备的可靠性与耐久性同样至关重要。在设备安装过程中,必须严格遵循设计图纸和产品说明书的要求,对传感器进行精确的标定和全面的防护。例如,应力计安装时需确保与被测构件表面紧密贴合,并做好防水、防腐处理;水位计则要精确悬吊至指定深度,采取有效措施防止淤泥堵塞。此外,针对不同类型的传感器,还需采取相应的抗干扰措施,如电磁屏蔽、温度补偿等,以确保数据采集的准确性。在复杂的基坑环境中,设备的防雷、防潮和抗震性能也不容忽视,必要时应增设保护装置。设备安装完成后,还应进行全面的功能测试和校准,确保系统各个环节均能正常运作,为后续的数据采集与分析奠定坚实基础。

2.3 数据采集与无线传输

深基坑自动化智能监测系统的数据采集与无线传输环节至关重要,它是连接前端传感器与后台数据处理单元的纽带^[3]。各类传感器在监测点采集得到的原始数据,需要经过实时可靠地传输,才能在监控平台进行集中管理和分析。当前,数据采集模块多采用高精度的 A/D 转换芯片,可以将振弦式传感器、光纤传感器等多源信号进行统一转换和编码。传输介质方面,逐渐摆脱了传统有线方式的束缚,转向灵活高效的无线通信技术。基于 Zigbee、LoRa 等短距离通信协议的自组网方案,可应对复杂多变的基坑环境,构建稳定可靠的数据传输网络。同时,4G/5G 等公网通信技术的引入,又赋予了系统更强的数据上云能力和远程管控能力。

2.4 监测平台开发与数据管理

监测平台的开发与数据管理是实现深基坑自动化智能监测的关键环节。针对海量异构数据的特点,监测平台通常采用分布式架构设计,融合云计算和大数据分析技术,提供数据存储、处理、可视化和预警等功能。前端采用响应式 Web 设计,支持多终端访问;后端搭建在高可用的云服务器集群上,保证系统的稳定性和扩展性。数据库方面,结构化数据存储 in 关系型数据库中,非结构化数据则采用 NoSQL 数据库。为

方便数据交换,平台支持多种标准数据接口和协议。数据管理贯穿监测全生命周期,从监测方案的编制到设备安装、数据采集、处理分析、报警以及施工优化决策等,形成一套科学完善的管理机制。通过数据挖掘算法,提取有价值的信息,建立健全完整的数据分析模型,及时掌握基坑安全状态,预测变形趋势,为工程建设提供可靠依据^[4]。

3 深基坑自动化智能监测技术的工程实践案例

3.1 案例概况

以某市中心医院扩建项目为例,该项目位于城市核心区域,周边环境复杂,地下管线错综复杂,对基坑施工提出了极高的要求。基坑总面积约 2.75 万 m²,开挖深度为 13.8 ~ 20.35 m,基坑周长达 745 m,采用咬合桩+混凝土内支撑支护形式,整体规模宏大。项目紧邻地铁隧道、主干道、在建建筑以及医院原有建筑,施工风险高,变形控制要求严格。同时,场地地质条件不甚理想,存在多层软弱土层,给基坑施工带来诸多不利影响。项目部综合考虑多方因素,引入了自动化智能监测系统,对基坑施工过程进行实时动态管控,最大限度保障了工程安全,提高了施工效率。

3.2 监测方案设计

1. 监测项目选择。基于工程特点和周边环境,本项目选取了多项关键指标进行监测。支护体系方面,重点关注桩顶水平位移、桩顶竖向位移、支撑轴力和立柱竖向位移。周边环境方面,着重监测地下水位变化。这些指标的选择充分考虑了基坑安全和周边环境保护的需求,为全面掌握基坑施工过程中的各项变化提供了保障。

2. 测点布置。测点布置遵循科学性、代表性和经济性原则。桩顶水平位移和竖向位移测点以 20 m 间距布设,确保对整个基坑支护结构的全面监控。支撑轴力测点设置在混凝土支撑 1/3 处,有效反映支撑受力状况。地下水位监测点沿基坑周边 1 m 范围内每 20 m 布置一处,全面掌握地下水位变化情况。这种布置方案既保证了监测数据的准确性和代表性,又兼顾了经济性考虑。

3. 监测频率安排。监测频率的设定因应工程进度和风险程度而变化。在基坑支护桩施工前,先取三次初始值建立基准。基坑开挖及桩基施工期间,每天监测一次。基坑开挖间隙或底板浇筑完成后,如变形区域稳定,可降低至每 7 天一次。遇特殊情况,如监测数据接近警戒值、周边出现异常等,则需加密监测频率。这种灵活的频率安排既保证了关键时期的监测密度,又避免了资源浪费。

4. 自动化监测系统设计。本项目采用先进的自动化监测技术。桩顶位移监测、立柱竖向位移监测采用半自动化方式,必要时可切换至全自动化模式。地下水位监测采用跟踪式自动无线水位计,支撑轴力监测则使用智能无线数据采集终端。这些设备通过4G或Zigbee等无线通信技术,将监测数据实时传输至云平台,实现了数据的“不落地”上传和即时分析。

3.3 系统部署实施

1. 现场勘察与测点布置。系统部署实施阶段,项目团队首先进行了现场勘察与测点布置。在此过程中,团队不仅考虑了设计图纸和实际情况,还特别关注了基坑周边的复杂环境。例如,基坑北侧邻近某道路,其下方有运营中的地铁线路,基坑边线与地铁边线距离约30.0~39.0 m。红线附近还存在多种市政管线,包括电力、污水和给水管线等。基坑东侧靠近某主干道,距离基坑边线大于27.0 m,道路下方同样分布着燃气、电信和污水等多种管线。基坑南侧紧邻医院既有建筑,包括住院部B、C栋和医疗废物转运站,这些建筑部分与新建地下室需要贯通。基坑西侧则是门诊医技楼,其地下室与基坑最近处仅相距约0.5 m。考虑到这些复杂因素,团队在测点布置时进行了细致的微调,以确保监测数据能够准确反映整个基坑及周边环境的真实状况。

2. 监测设备安装与调试。本项目选用了全站仪Leica TS60、跟踪式自动化水位计以及智能无线数据采集终端等设备,并配置水位计HY.SWJ-1、频率读数仪南京斯比特SSC-101定期人工复核地下水位、支撑轴力监测数据。设备安装过程严格遵循操作规程,确保安装质量。全站仪安装时,特别注意了仪器的水平调整和定向,以保证测量精度。跟踪式自动无线水位计安装时,考虑到地下水位变化幅度,合理确定了测量范围。智能无线数据采集终端的安装位置经过反复论证,既要保证信号传输稳定,又要避免施工干扰。设备安装完成后,团队进行了全面的功能测试和精度校验,确保系统各部分协调运行。

3. 数据传输网络构建。为实现监测数据的实时传输和集中管理,项目团队构建了一套高效可靠的数据传输网络。该网络采用了4G无线通信技术作为主要传输方式,并辅以Zigbee短距离通信协议,形成了多层次的数据传输体系。同时,团队还建立了备用的有线传输通道,以应对极端情况下的数据传输需求,确保监测数据的连续性和完整性。

4. 监测平台部署与系统集成。项目采用了基于云计算技术的监测预警平台,该平台具备强大的数据处

理能力和灵活的扩展性。平台部署过程中,技术人员针对本项目特点进行了定制化配置,包括数据接收模块、数据分析模块、预警模块和可视化展示模块等。系统集成阶段,重点解决了不同类型监测设备数据格式的统一问题,建立了标准化的数据处理流程^[5]。平台还集成了智能分析算法,能够自动识别异常数据,提高预警的准确性和及时性。

3.4 监测效果评价

本项目深基坑自动化智能监测系统的应用取得了显著成效。通过高精度全站仪、跟踪式自动无线水位计和智能无线数据采集终端的部署,实现了对桩顶位移、立柱竖向位移、支撑轴力和地下水位等关键参数的实时监测。系统运行期间,数据采集准确度高,传输稳定性强,为项目管理团队提供了及时、可靠的决策依据。特别是在基坑开挖关键阶段,系统成功预警了多次异常情况,使得施工团队能够迅速采取有效措施,避免了潜在的安全隐患。面对复杂的地质条件和周边环境,项目团队通过优化传感器布置和增加监测频率,有效克服了监测难点。此外,基于云计算的数据分析平台大幅提升了数据处理效率,实现了对海量监测数据的快速分析和可视化展示,为工程施工全过程的安全管控提供了强有力的技术支撑。

4 结束语

深基坑自动化智能监测技术已成为保障深基坑工程安全、提高监测效率的重要手段。该技术集成了多种先进的传感器、无线传输、大数据分析等功能,能够实现实时、动态、全方位的监测。未来深基坑工程应进一步推广自动化智能监测系统的应用,建立完善的数据管理平台,加强监测数据的分析与利用,为深基坑施工安全控制提供有力支撑,最大限度地规避安全风险,确保工程质量。

参考文献:

- [1] 张傲. 自动化监测技术在深基坑工程中的应用[J]. 广州建筑, 2024, 52(03): 19-22.
- [2] 蔡顺. 自动化监测系统在深基坑监测中的运用[J]. 石材, 2024(06): 144-146.
- [3] 包时超. 自动化监测技术在基坑监测中的应用分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(04): 138-140.
- [4] 王磊. 自动化监测技术在深基坑监测中的应用[J]. 工程技术研究, 2022, 07(24): 190-192.
- [5] 王洪志. 自动化监测系统在深基坑工程中的应用[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(23): 185-188.