

基坑自动化监测技术研究

位振鹏¹ 温爽²

1. 烟台晟工岩土工程有限公司 山东 烟台 264000

2. 烟台建筑设计有限公司 山东 烟台 264000

摘要: 深基坑施工存在变形、渗水、坍塌等多重安全风险,传统人工监测存在效率低、时效性差、安全性不足等弊端,难以适配现代基坑工程管控需求。本文依托基坑变形、应力及地下水变化基础理论,系统梳理各类基坑自动化监测关键技术,对比传统监测与自动化监测的优劣,阐述监测系统架构、数据优化及分级预警体系,并结合工程实例验证技术实效,总结自动化监测的应用优势与推广价值,为深基坑安全智能化管控提供技术参考。

关键词: 基坑; 自动化; 监测技术

引言: 随着城市建筑、地下工程建设规模持续扩大,深基坑工程施工环境愈发复杂,施工安全管控难度显著提升。基坑施工易受地质、水文、施工工况影响产生动态形变隐患,对监测的精度、连续性和时效性提出更高要求。传统人工监测模式局限性愈发凸显,自动化、智能化监测成为行业发展主流趋势。基于此,本文系统研究基坑自动化监测核心技术与系统构建方式,探究技术优化路径与工程应用效果,助力基坑工程安全、高效施工。

1 基坑自动化监测基础理论与核心监测内容

1.1 基坑监测基本理论与技术准则

(1) 基坑变形机理、应力变化及地下水动态变化理论。基坑开挖会打破土体原有应力平衡,引发支护结构土体位移、围岩应力重分布现象。随着开挖深度增加,侧壁土体产生侧向变形,基底出现回弹隆起,同时地下水渗流、水位波动会加剧土体沉降与变形,是基坑坍塌、地面塌陷等风险的核心诱因,也是监测工作的核心理论基础。(2) 自动化监测技术的精度标准、频次要求及规范依据。自动化监测严格遵循基坑工程相关国家及行业规范,根据基坑安全等级划分精度标准,一级基坑监测精度最高。监测频次结合施工工况、环境条件动态调整,开挖高峰期加密监测频次,结构稳定后适当降低,保障数据贴合工程实际状态^[1]。(3) 监测数据有效性、稳定性控制核心准则。监测数据需满足真实性、连续性、完整性要求,严格规避设备故障、环境干扰、人为误差带来的异常数据。通过设备定期校准、数据降噪处理、异常数据剔除等方式,保障监测数据稳定可靠,为基坑安全研判提供有效依据。

1.2 基坑核心自动化监测检测内容

(1) 支护结构变形监测。主要包含支护桩深层水平

位移、支护结构顶部沉降与位移监测,精准捕捉支护结构整体及局部变形规律,及时发现结构偏移、变形超标等安全隐患。(2) 基坑内力监测。重点监测锚索应力、支护桩内力及支撑轴力,实时掌握支护体系受力状态,判断支撑、锚索等构件是否处于安全受力区间,规避构件过载失效风险。(3) 环境监测。涵盖地下水位动态监测、周边建筑物沉降监测、基坑土体及结构裂缝监测,全方位把控基坑施工对周边环境的影响,防范周边建筑破损、基坑渗漏开裂等问题。

1.3 自动化监测与传统人工监测技术对比

(1) 监测精度、数据采集频次对比。自动化监测设备精度更高,误差可控性强,可实现高频次连续采集;人工监测精度受操作人员水平影响大,采集频次低且间隔固定,难以捕捉瞬时变形变化。(2) 作业安全性、全天候监测能力对比。自动化监测无需人员高频次进场作业,规避基坑高空、临边作业风险,可适配暴雨、夜间等恶劣工况,实现全天候不间断监测;人工监测受天气、时间限制大,恶劣环境下无法作业。(3) 数据实时性、智能化分析水平对比。自动化监测可实时传输数据,系统自动整理、分析数据并预警异常;人工监测数据整理滞后,仅能手动统计分析,智能化、预警时效性严重不足。

2 基坑自动化监测检测关键技术

2.1 变形自动化监测检测技术

(1) 固定式测斜仪监测技术。该技术是基坑深层水平位移监测核心技术,依托重力摆锤感倾角变化,通过传感器将角度偏移数据转换为土体水平位移数据。设备具备高精度倾角测量、低温漂、全天候防护特性,适配基坑地下复杂潮湿工况。将设备预埋固定于支护桩、地下连续墙测斜孔内,可实时连续采集不同深度土体侧

向变形数据,精准捕捉土体偏移、挤压变形规律,弥补人工监测数据间断的短板。(2)静力水准监测技术。基于连通器液体平衡原理,利用高精度液位传感器监测测点液位高差,换算得到结构与土体沉降、抬升数据,多用于基坑支护顶部、周边路面及建筑沉降监测。系统可多点组网同步监测,精度高、稳定性好,可识别不均匀沉降、基底回弹等细微变形,为基坑沉降风险预判提供数据支撑^[2]。(3)GNSS卫星监测技术。依托卫星差分定位技术,在基坑关键点位布设监测靶点,实时监测基坑大范围整体水平与竖向位移。该技术不受地形、场地遮挡限制,适配开阔型大面积基坑,可24小时不间断采集坐标数据,动态追踪整体位移趋势,有效把控基坑整体稳定性,解决传统局部监测覆盖不全的问题。

2.2 应力内力自动化监测检测技术

(1)锚索测力计监测技术。该设备主要安装于基坑支护锚索锚头位置,基于应变传感原理,锚索受力张拉时会带动测力计内部应变元件产生形变,传感器将形变信号转化为电信号,实时采集锚索张力数据。系统可连续记录锚索应力变化、应力损失及过载受力情况,精准监测锚索张拉是否达标、运营阶段是否出现应力衰减、超载等问题,保障锚索支护体系的受力稳定性。(2)钢筋应力计、轴力计监测技术。钢筋应力计预埋于支护桩、冠梁、支撑结构内部,通过感应钢筋形变测算结构内部应力变化;轴力计主要布设在内支撑端部,精准检测钢支撑、混凝土支撑的轴向受力状态。两类设备相互配合,实现基坑支护结构内力全方位自动化采集,可实时反馈支护体系的受力分布情况,及时发现局部应力集中、受力不足等隐患^[3]。(3)应力监测数据校准与误差修正技术。应力监测易受环境温度、设备零点漂移、施工振动干扰产生误差。该技术通过设备出厂校准、现场零点校准消除基础误差,结合温度补偿算法修正温度形变干扰,同时通过数据滤波、异常值剔除等技术处理,过滤施工扰动带来的瞬时异常数据,保障应力监测数据的精准性与有效性。

2.3 水文与环境自动化监测检测技术

(1)自动化水位计监测技术。自动化水位计采用压力传感、超声波感应原理,布设于基坑降水井、观测井内,全天候实时监测地下水位的升降动态。设备可自动采集、存储、传输水位数据,精准捕捉降水、渗水、雨水补给带来的水位波动,及时预判基坑管涌、流沙、渗漏水等水文风险,为基坑降水施工、地下水防控提供数据依据。(2)裂缝自动化监测技术。通过高精度裂缝计、视觉监测设备布设与基坑围护结构、周边构筑物

裂缝处,实时监测裂缝宽度、长度、延展速率的动态变化。该技术分辨率极高,可识别毫米级细微裂缝变化,能够持续追踪裂缝发展趋势,区分正常形变裂缝与危险性扩张裂缝,有效防范结构开裂、墙体破损等安全事故。(3)周边土体压力自动化监测检测技术。土压力计预埋于基坑支护结构外侧土体中,基于压力感应原理,实时监测基坑开挖过程中周边土体侧向土压力、竖向土压力的变化规律。可精准反馈土体应力释放、土体挤压变化情况,预判土体滑移、坍塌风险,为支护结构受力分析、基坑安全防护优化提供核心参数^[4]。

2.4 新型智能化监测检测技术

(1)物联网感知监测技术。该技术依托物联网传感终端、无线传输模块、云端数据平台,整合位移、应力、水文、裂缝等各类监测设备,构建多设备联动一体化监测体系。可实现所有监测数据自动采集、同步传输、云端汇总,打破单一设备监测局限,实现基坑多维度数据协同分析,提升监测整体智能化与系统化水平。(2)机器视觉基坑变形非接触式监测检测技术。依托高清工业相机、图像识别算法,对基坑支护结构、周边环境进行不间断图像采集,通过像素对比、坐标换算,非接触式测算结构变形、位移及裂缝变化。无需布设大量传感设备,规避设备损耗、施工干扰问题,适配复杂施工场景,可快速捕捉大范围细微变形。(3)无人机航拍+三维建模可视化监测检测技术。通过无人机定点航拍采集基坑全域影像数据,依托三维建模软件重构基坑及周边环境实景模型,实现基坑整体形态、变形区域、破损位置的可视化监测。可直观对比不同施工阶段基坑形态变化,精准定位隐患区域,弥补传统点状监测的短板,为基坑整体安全评估提供可视化依据。

3 基坑自动化监测系统构建、技术优化与工程应用

3.1 自动化监测系统整体架构搭建

(1)前端感知采集模块是监测系统的数据基础,主要包含测斜仪、应力计、水位计、裂缝传感器等各类监测设备。施工中需依据基坑支护形式、开挖深度及周边环境制定布设方案,严格遵循规范标准把控传感器预埋、固定、防护安装工艺,做好设备防水、防碰撞、防位移保护,保障各类监测设备稳定采集现场原始数据。(2)数据传输模块承担数据中转核心作用,当前基坑监测多采用4G、5G、LoRa等无线传输模式,根据施工现场遮挡、信号干扰情况搭建专属组网。同时通过信号增益、信道优化、冗余组网等方式强化信号稳定性,规避施工电磁干扰、场地遮挡造成的数据延迟、丢包问题,保障数据传输连续、高效。(3)后台数据处理与监测平

台是系统核心管控终端,具备数据实时接收、存储、查询、展示等基础功能。平台可动态更新基坑各项监测数据,生成变化曲线,同时集成数据统计、报表导出、异常提醒等功能,实现基坑监测状态可视化,为技术人员研判基坑安全状态提供便捷的数据支撑。

3.2 监测数据处理与精度优化技术

(1) 监测原始数据易受施工振动、环境温度、设备扰动影响产生杂点数据。数据降噪、滤波预处理技术可通过数字滤波、阈值筛选等方式剔除无效突变数据,平滑原始监测曲线,消除偶然误差干扰,还原基坑变形、应力、水位变化的真实数据规律。(2) 多源监测数据融合、校正与误差控制技术,可整合位移、内力、水文、环境等多维度监测数据,通过交叉比对、设备零点校准、温度补偿等方式修正系统误差和人为误差,解决单一监测数据片面性问题,提升整体监测数据的准确性与可靠性。(3) 基于时序算法的监测数据趋势分析技术,以时间序列为基础对海量监测数据进行深度分析,精准识别基坑各项指标的阶段性变化规律、缓慢形变趋势及潜在异常征兆,突破传统静态数据比对的局限,实现从数据记录到趋势预判的升级^[5]。

3.3 自动化监测预警技术体系

(1) 基坑监测分级预警阈值严格依据基坑安全等级、设计要求及行业规范设定,分为正常、预警、报警、危险四个等级。结合基坑开挖工况、地质差异差异化设定阈值,避免阈值统一化导致的误报、漏报问题,保障预警标准科学适配工程实际。(2) 智能化预警模型依托大数据与算法技术,融合多维度监测数据构建风险识别体系,可自动甄别基坑沉降、位移、应力超标及水位异常等风险,精准区分正常施工扰动和结构性安全隐患,大幅提升基坑风险识别的智能化与精准度。(3) 预警响应机制与监测闭环管控技术,明确不同预警等级的处置流程、责任分工和整改要求。系统触发预警后自动推送预警信息,同步跟踪现场整改、复核监测全过程,形成“监测-预警-处置-复核”的闭环管理,有效防范基坑安全事故发生。

3.4 工程实例应用与技术效果验证

(1) 选取典型深基坑工程为实例,该工程场地土层以粉质黏土、砂土为主,地下水丰富,周边临近道路与建构筑物,施工风险较高。结合工程地质条件、周边环境及施工进度,针对性布设位移、内力、水文、环境全方位自动化监测方案,保障施工全程安全可控。(2) 现场严格按照标准化流程实施自动化监测作业,依次完成传感器点位布设、设备安装调试、组网测试、数据校准、系统试运行等工作,全程把控施工精度,规避安装不规范、信号不稳定等问题,确保所有监测设备正常运行。(3) 通过整理分析工程全程监测数据,精准掌握基坑开挖各阶段的变形、应力及地下水变化规律。实践应用表明,自动化监测系统可实现全天候精准监测、实时预警,有效弥补人工监测短板,大幅提升基坑工程施工的安全性及监测智能化水平,具备良好的工程推广价值。

结束语

本文全面梳理了基坑自动化监测的基础理论、核心监测技术与系统搭建要点,针对监测数据优化、智能预警、闭环管控等关键环节展开分析,结合工程实例验证了自动化监测精准、高效、全天候作业的突出优势。相较于传统人工监测,自动化监测可有效规避施工安全隐患,提升基坑管控智能化水平。未来应持续融合物联网、三维建模等智能技术,进一步优化监测体系,推动基坑工程监测技术标准化、智能化升级发展。

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(3):19-22.
- [2]张江华.深基坑自动化智能监测技术与实践[J].低碳世界,2024,14(5):67-69.
- [3]李明,王军.无人机遥感技术在深基坑变形监测中的应用[J].测绘通报,2023,11(5):89-93.
- [4]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,2023,26(4):138-140.
- [5]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,2022,7(24):190-192.