

# 工程测量机器人自动化变形监测系统开发与应用

陈书孟

文昌市规划编制研究中心

DOI:10.32629/gmsm.v9i2.2444

**[摘要]** 工程测量机器人自动化变形监测系统核心目标是提高监测效率与精度,集成传感技术、数据采集与智能分析手段,可对结构物变形进行连续、实时监控。系统架构设计与关键技术实现中,构建数据获取、传输处理及结果反馈的完整流程,在实际工程环境中完成应用验证。应用验证显示,其可降低人工测量误差,提升数据处理效率与监测稳定性,为复杂工程环境下的变形监测提供技术支撑。

**[关键词]** 工程测量机器人; 自动化监测; 变形监测系统; 数据处理; 智能分析

中图分类号: TB22 文献标识码: A

## Development and Application of an Automated Deformation Monitoring System for Engineering Survey Robots

Shumeng Chen

Wenchang City Planning Compilation Research Center

**[Abstract]** The core objective of the automated deformation monitoring system for engineering survey robots is to enhance monitoring efficiency and accuracy. By integrating sensor technology, data acquisition, and intelligent analysis methods, it can continuously and real-time monitor the deformation of structures. In the system architecture design and key technology implementation, a complete process of data acquisition, transmission processing, and result feedback is constructed, and application verification is completed in actual engineering environments. The application verification shows that it can reduce manual measurement errors, improve data processing efficiency and monitoring stability, and provide technical support for deformation monitoring in complex engineering environments.

**[Keywords]** Engineering survey robot; Automated monitoring; Deformation monitoring system; Data processing; Intelligent analysis

### 引言

工程建设规模持续扩大,结构安全与稳定性的监测要求不断提升,传统测量方式的效率与精度已难以适配实际需求。工程测量机器人与自动化技术结合,为变形监测开辟了新的解决路径。多源数据融合与智能处理,可实现监测对象的连续观测与动态分析,提升数据获取的时效性与可靠性。自动化变形监测系统开发应用,可减少人工参与带来的不确定因素,在复杂环境中保持稳定运行,系统构建与应用实践的推进,可推动工程测量向智能化与精细化发展。

### 1 工程测量机器人自动化变形监测需求分析

#### 1.1 工程结构变形监测的技术要求

随着我国水利、交通、建筑等行业的快速发展,对大型工程的变形监测工作提出了更高要求。相对于传统的人工监测,自动化变形监测才能满足其高精度、高频率等需求。与此同时,自动化测量技术的持续发展,特别是具有自动目标照准功能测量机

器人的出现和发展,为实现变形监测自动化提供技术支撑。测量机器人具有高精度、高效率、稳定性好等特点,目前,已广泛应用于大坝、基坑边坡、地铁以及各种大型建(构)筑物等的自动化变形监测中,并取得良好成效。

工程结构变形监测对测量精度、采样频率、数据连续性与环境适应能力有较高要求。大坝、桥梁、深基坑及高层建筑等监测对象,需获取水平位移、垂直沉降、倾斜变化等关键参数,还要保证观测数据在长周期运行中的稳定性与可比性。工程测量机器人自动化变形监测系统凭借高精度角度测量、距离测量、自动目标识别与坐标解算技术,能在复杂工况下持续观测,误差改正、数据校核与异常识别可提高成果可靠性,为工程安全评估和运行管理提供可靠依据。

#### 1.2 传统测量方式存在的局限

传统变形监测依赖人工观测与周期性外业测量,作业流程包含设站、瞄准、记录、复核和内业整理,受人员经验、视线条

件及现场环境影响显著。大型工程监测中,监测点数量多、空间分布广,人工方式无法保证高频次、连续性观测,夜间施工、恶劣天气或高风险区域下,外业组织难度更甚<sup>[1]</sup>。数据采集存在时间间隔,结构位移、沉降与倾斜的动态变化难以完整捕捉,监测信息易滞后,无法及时反映工程体在荷载变化和环境影响下的真实状态。

传统测量成果存在数据处理链条长、自动校核能力欠缺的问题。人工记录与转抄易产生读数、记录及整理误差,影响监测成果一致性与可靠性;监测周期缩短、数据量增大时,内业计算和成果判读压力攀升,无法快速完成平差计算、坐标比对与异常识别。深基坑、边坡、大坝及轨道交通区间等安全预警要求高的工程场景,传统方法在实时传输、自动报警和远程管理上存在不足,无法形成集数据采集、分析处理和状态反馈于一体的闭环监测体系,制约了工程测量机器人自动化变形监测系统替代需求的提升。

### 1.3 自动化监测技术的发展趋势

自动化监测技术正朝着高精度感知、智能控制与系统集成方向推进,工程测量机器人在变形监测中的应用不再局限于单一观测设备,与GNSS接收机、静力水准仪、倾角传感器、气象模块及通信终端协同运行,形成多源感知体系。自动照准、自动跟踪、自动观测和定时触发功能,可完成全天候数据采集,无线传输、边缘计算与云端数据库实现监测信息快速汇聚。该类技术路径提升坐标解算、位移分析和趋势判读效率,增强监测成果时效性,工程管理人员可及时掌握结构响应特征与形变发展规律。

复杂工程环境下,自动化变形监测系统发展重点转向智能化分析与平台化管理,误差补偿模型、时序数据处理算法和阈值预警机制,可自动识别异常点位、突变数据和长期趋势,提升监测结果可用性和判读深度。监测平台从单机控制扩展到网络化部署,数据共享、远程维护、权限管理和成果可视化能力持续增强,可满足多项目并行管理需求。工程测量机器人与自动化软件平台深度融合,推动变形监测从人工值守型作业向连续观测、智能诊断和动态反馈模式转变,为大型建构筑物安全运行提供稳定精准的技术保障。

## 2 工程测量机器人自动化变形监测系统构建

### 2.1 系统总体架构设计

工程测量机器人自动化变形监测系统总体架构围绕“感知—传输—处理—反馈”运行链条搭建,构建现场设备层、通信控制层、数据管理层与应用服务层联动的技术体系。测量机器人作为现场设备层核心,搭配棱镜目标、控制终端、供电模块与环境监测单元,完成角度观测、距离测量及目标识别工作;通信控制层下发作业指令、回传设备状态、统筹设备协作,保障各监测节点依设定周期持续作业;数据管理层储存原始观测数值、坐标成果、位移序列与日志资料,为后续分析工作提供完备的数据支撑。

架构设计需兼顾工程现场适配条件与运行稳定程度。大坝、基坑、桥梁及高层建构筑物等各类监测对象,可采用差异化的站

点布设、观测视线规划与网络连接方案,实现监测断面与关键控制点的全面覆盖。平台端集成权限管理、任务调度、数据备份、异常记录与成果展示功能,推动监测业务由单一仪器操作转向平台统一管控。模块化设计搭配接口标准化处理,可支撑系统后续功能拓展与多类型设备接入,筑牢自动化变形监测长期稳定运行的根基。

### 2.2 关键技术与功能实现

关键技术的实现直接决定工程测量机器人自动化变形监测系统的精度水平与运行效能,自动照准、目标跟踪、坐标解算和误差改正是核心环节<sup>[2]</sup>。测量机器人依托高精度伺服驱动与自动识别算法完成目标搜索锁定,减少人工瞄准产生的观测偏差;坐标计算环节结合控制网参数、观测几何关系与测站定向成果,反算监测点三维坐标,温度、气压、仪器常数及大气折光等改正模型可优化成果精度。周期性监测任务可引入重复观测检核机制,保障不同时段监测成果的可比性。

功能实现覆盖测量精度与监测业务的自动闭环处理层面。定时观测、任务编排、远程启停、故障自检和报警推送等功能可支撑设备在无人值守状态下的连续运行;监测数据超出预设阈值时,平台自动触发预警,同步生成位移变化曲线、沉降分析报告与异常日志。复杂工况下的遮挡、断电、通信中断等场景需配置容错控制与补测机制,防止单点故障干扰整体监测链条。关键技术与业务功能深度融合,可在稳固监测精度的基础上提升工程现场管理效率。

### 2.3 数据采集与处理流程

数据采集与处理流程是自动化变形监测系统稳定输出的核心环节,运行过程需具备规范化、连续化与可追溯特征。测量机器人接收到平台调度指令后,依照预设观测周期自动完成测站初始化、目标识别、角度观测与斜距采集,原始观测值可实时上传至数据库。采集信息经时间标记、点位匹配与质量筛查后,系统完成坐标转换、平差计算与位移量求解,生成监测点各周期内的变化数据。观测时间窗、测次顺序与数据格式均需严格管控,防止作业节奏紊乱引发成果失真。

数据处理阶段可开展监测成果的分析与判读工作。时序数据库与变形分析模型的搭建,可跟踪水平位移、垂直沉降、倾斜变化及速率特征,识别突变点、离群值与长期缓变量。异常监测点位可结合历史观测序列、环境参数与设备状态完成交叉校核,区分真实形变与观测干扰后,输出对应预警信息及处置建议。规范的数据流转与算法处理,可将零散观测值转化为具备工程判读价值的成果,为安全管理与技术决策提供支撑依据。

## 3 工程测量机器人自动化变形监测系统应用分析

### 3.1 典型工程应用方案

工程测量机器人自动化变形监测系统适用于大坝、深基坑、桥梁及高层建构筑物,不同场景应用方案需结合结构特征、监测精度和现场条件布设。大坝与边坡监测采用稳定基准点、工作基点和变形观测点结合的布网方式,测量机器人对坝顶、坝肩及重点部位定时观测,获取水平位移和沉降变化数据;深基坑工程

监测重点集中于围护结构顶部位移、周边地表沉降及关键控制点坐标变化,需兼顾通视条件、测站安全和施工干扰因素,保障观测链条连续可靠。

城市轨道交通和大型桥梁工程,应用方案侧重多测站协同与数据联动处理。监测区域范围较大、目标点分布复杂,单一测站难以全覆盖,分区布站、交叉观测和统一坐标基准控制可实现多点位同步监测。系统部署需结合供电保障、通信链路、设备防护和平台接入条件整体配置,确保外业观测与内业分析一致。适配具体工程对象的自动化监测方案,可让测量机器人在复杂环境中稳定输出高质量数据,满足不同类型工程对变形监测精度、频率和管理效率的综合要求。

### 3.2 监测结果与性能评估

监测结果判读需依托连续观测数据、控制网成果与变形分析模型,综合计算监测点位移量、沉降量、倾斜量及变化速率,评定工程结构在施工期或运行期内的稳定状态<sup>[3-5]</sup>。测量机器人自动化变形监测系统获取的数据时间序列完整、观测周期稳定,可清晰反映结构响应过程及空间分布规律。重点部位异常变化可通过平台结合历时曲线、阈值判定与相邻点相关性分析识别,规避单次观测误差对成果判断的干扰,提升监测结果可信度与工程解释能力。

性能评估关注位移成果,也考察系统精度控制、运行效率与稳定性的综合表现。统计重复观测较差、平差残差、目标识别成功率、自动观测完成率及数据传输完整率等指标,可全面评价系统运行质量。实际工程中,系统长周期内保持较高测量重复性与较低数据丢失率,即具备良好现场适应能力;预警信息及时触发且与现场情况相符,说明平台判读机制与报警逻辑成熟。性能评估可验证系统在工程测量机器人自动化变形监测中的应用价值,为后续技术完善提供客观依据。

### 3.3 系统运行效果与优化方向

工程应用实际情况来看,测量机器人自动化变形监测系统在提升观测效率、保障数据连续性和减少人工干预上表现出较为突出的优势。传统人工测量往往受作业时段、现场通行条件和人员配置的明显限制,而自动化系统可精准按照预设周期完成各项观测任务,使监测频率与成果时效性得到更为显著提升。对于重点结构或敏感区域,系统能够长期持续积累稳定可靠的时序数据,为沉降演化规律、位移变化趋势和风险等级判定提供坚实的基础。平台化管理模式进一步增强了数据快速查

询、成果直观展示和异常精准追踪的能力,使监测工作由分散化操作转向集中化调度,更能适应大型工程长期运行管理的实际需求。

系统优化方向明确聚焦于各类复杂环境适应能力、数据智能判读水平和设备协同运行能力的提升。在雨雾天气、物体遮挡、震动干扰及通信信号波动等复杂条件下,目标识别稳定性和观测成功率仍会受到一定程度的不利影响,因此有必要进一步完善自动重测、容错切换和多测站补偿等相关机制。针对海量监测数据的高效处理需求,平台还可进一步强化各类时序分析算法、异常数据过滤模型和预警分级策略,切实提高监测成果的实用性与判读深度。通过显著增强测量机器人与各类传感器、通信模块及管理平台之间的协同联动水平,系统能够在保持高精度观测的基础上实现更为强劲的稳定运行能力,为工程变形监测提供更为成熟完善的技术支撑。

## 4 结语

本文围绕工程测量机器人自动化变形监测系统的开发与应用展开,系统梳理了工程实际监测需求、核心技术实现细节及工程应用具体情况。分析系统架构、关键技术与数据处理流程,结合典型工程实践案例,验证了自动化监测在提高精度、效率及数据连续性方面的显著优势。整体来看,该类系统能够有效支撑复杂工程环境下的变形监测工作,为工程安全管理提供可靠的数据基础与坚实技术保障。

### [参考文献]

- [1]陈伟,章野,匡正,等.测量机器人在大型水闸变形观测中的应用[J].江苏水利,2025,(11):5-10.
- [2]杨珠琼,吴辉.基于测量机器人的导线测量系统研究与应用[J].工程勘察,2025,53(07):79-82+98.
- [3]高宁.测量机器人测量站位定位引导方法研究[D].西安理工大学,2025.
- [4]郭静.智能全站仪形变监测与动态目标跟踪系统开发与应用[D].重庆交通大学,2025.
- [5]李双平,刘祖强,张斌.测量机器人智能变形监测关键技术及应用研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S1):980-987.

### 作者简介:

陈书孟(1985--),男,汉族,海南省海口市人,本科,职称:工程师,研究方向:工程测量应用。