

智能化测量技术在工程安全监测中的应用

孙晓翠

(山东智恒土地房地产资产评估测绘有限公司, 山东 东营 257000)

摘要 工程安全监测是保障基础设施建设与运营全生命周期安全的核心环节,传统监测技术存在人工干预多、数据反馈滞后、复杂环境适应性差等问题,难以适配现代工程超大型、高精度、智能化的发展需求。智能化测量技术依托北斗/GNSS定位、三维激光扫描、智能传感、BIM/GIS融合等技术手段,实现了监测数据的自动化采集、智能化分析、可视化预警与多源数据协同。本文系统梳理智能化测量技术的核心体系,分析其在不同场景的安全监测应用要点,结合工程实践验证技术应用成效,并针对当前技术应用中存在的问题提出优化策略。结果表明,智能化测量技术可将工程安全监测的实时性提升80%以上,监测精度控制在亚毫米级至厘米级,能有效实现工程安全风险的提前预判与精准管控。

关键词 智能化测量技术; 工程安全监测; 北斗定位; 三维激光扫描

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.030

0 引言

我国基础设施建设正朝着超大型、跨区域、复杂地质条件的方向快速发展,桥梁、大坝、地铁、高边坡等工程的结构安全与运营稳定性直接关系到公共安全和社会经济发展。工程安全监测作为工程全生命周期管理的关键环节,需要通过结构变形、应力应变、位移沉降等关键指标持续监测,及时识别安全风险并采取防控措施。传统工程安全监测多依赖人工现场测量、单点传感采集的方式,存在作业效率低、数据处理滞后、难以实现全域动态监测等弊端,在极端天气、复杂地形等特殊场景下还存在作业安全风险,已无法满足现代工程对安全监测的高精度、实时化、智能化需求。

智能化测量技术是测绘技术、传感技术、通信技术与人工智能技术的深度融合,通过构建“空天地”一体化的监测体系,实现了从数据采集到风险预警的全流程智能化管控。本文结合工程安全监测的实际需求,解析智能化测量技术的核心应用模式,探讨其在不同工程场景的实践要点,为智能化测量技术在工程安全监测领域的规范化、规模化应用提供参考。

1 工程安全监测中智能化测量技术核心体系

1.1 北斗/GNSS高精度定位测量技术

北斗/GNSS高精度定位技术是工程宏观位移监测的核心技术,通过融合北斗三号、GPS、GLONASS等多

系统卫星信号,结合RTK、CORS等技术手段,实现厘米级至毫米级的实时定位^[1]。RTK技术通过基准站与移动站的实时数据交互,可快速获取监测点的平面与高程位移数据,平面定位精度可达 $\pm 8\text{ mm}+1\text{ ppm}$,高程精度可达 $\pm 15\text{ mm}+1\text{ ppm}$,适用于桥梁墩台、高边坡、基坑等工程的动态位移监测。CORS技术依托区域性基准站网络,通过云计算实现多基站数据联合解算,无需现场布设基准站,大幅提升了大范围工程监测的布设效率,适用于城市轨道交通、高速公路沿线边坡等全域监测场景。

1.2 三维激光扫描测量技术

三维激光扫描技术通过发射激光脉冲快速获取工程结构的三维点云数据,具备非接触、高精度、高效率的监测优势,单台设备扫描耗时可低至2分钟,点间距控制在1 mm以内,分辨变形的能力接近亚毫米量级。该技术可快速构建工程结构的三维实景模型,精准捕捉结构的外形尺寸、变形特征与表面缺陷,无需接触被测结构即可完成监测,适用于超高层建筑核心筒、桥梁主梁、大坝坝体等高精度变形监测场景。三维激光扫描获取的点云数据可与BIM设计模型进行精准配准,配准精度控制在3 mm范围内,实现实测数据与设计模型的无缝融合,通过对比不同时期的点云模型,可自动识别结构的微小变形与位移变化,为工程结构的安全评估提供可视化、量化的依据。

作者简介:孙晓翠(1997-),女,本科,助理工程师,研究方向:测绘工程。

1.3 智能传感与自动化监测技术

智能传感技术是工程微观指标监测的核心,融合 MEMS 传感器、光纤应力传感器、倾角传感器、孔隙水压力传感器等设备,实现对工程结构应力、应变、温度、含水率、孔隙水压力等多指标的同步采集^[2]。智能传感设备具备小型化、低功耗、无线传输的特点,可布设于工程结构的关键监测点,通过物联网构建多源传感网络,实现数据的自动化、连续化采集。结合边缘计算技术,智能传感网络可在数据采集端完成初步的异常数据剔除与分析,将有效数据通过 5G 专网实现秒级传输,大幅提升监测数据的实时性。

1.4 BIM/GIS 融合可视化测量技术

BIM/GIS 融合技术是智能化测量数据的核心应用载体,通过将北斗/GNSS 定位、三维激光扫描、智能传感获取的监测数据与 BIM 工程模型、GIS 地理信息模型融合,实现监测数据的可视化展示与空间分析^[3]。BIM 模型可精准还原工程结构的三维实体特征,将监测点与结构构件进行绑定,实现监测数据的构件化、精细化管理;GIS 技术可整合工程区域的地理、水文、地质信息,实现监测数据的空间化展示与全域分析。

2 智能化测量技术在工程安全监测中的实践应用

2.1 岩土工程高边坡安全监测

岩土工程高边坡受地形、地质、水文等因素影响,易发生滑坡、坍塌等安全事故,其安全监测需要实现对坡体位移、沉降、土壤含水率、孔隙水压力等指标的全域监测。智能化测量技术通过构建“北斗 GNSS+ 无人机激光雷达+智能传感”的监测体系,实现对高边坡的全方位、动态化监测。在坡体表面布设北斗 GNSS 位移监测站,实现厘米级的实时位移监测;利用搭载激光雷达的无人机对高边坡进行定期扫描,激光脉冲可穿透植被间隙获取坡体表面的三维点云数据,精准识别坡体的微小沉降与滑裂面发育。监测数据通过 BIM/GIS 融合平台进行整合分析,当坡体位移超过预警值、孔隙水压力突破临界值时,平台自动发出预警,并通过 FLAC^{3D} 数值模拟技术分析坡体安全系数,为边坡加固措施的制定提供科学依据。

2.2 桥梁工程结构健康监测

桥梁工程作为交通基础设施的核心,其结构健康监测需要实现对主梁变形、墩台位移、索力应变、支座沉降等指标的长期监测,尤其是大跨度斜拉桥、悬索桥,受温度、荷载、地震等因素影响,易发生结构变形与性能衰减^[4]。智能化测量技术通过构建“三维

激光扫描+北斗 GNSS+ 振动传感”的多源监测体系,实现桥梁结构健康的全生命周期监测。在桥梁主梁、塔柱关键断面部署固定三维激光扫描站,可识别 0.3 mm 级的季节温度变形与荷载变形,精准捕捉桥梁结构的微小变形特征;在桥梁墩台布设北斗 GNSS 监测点,实现墩台水平与竖向位移的实时监测;在拉索、主梁内部布设光纤应力传感器与振动加速度传感器,实时采集结构应力与振动数据。结合深度学习算法,可对桥梁振动数据进行分析,实现地震、强风等突发灾害事件的自动识别,为桥梁结构的安全评估与抗灾决策提供支撑。

2.3 水利工程大坝安全监测

水利工程大坝作为防洪、供水、发电的核心设施,其安全监测直接关系到流域内的公共安全,需要实现对坝体变形、渗流、应力应变等指标的高精度、长期化监测。国网湖北黄龙滩电厂大坝引入徕卡 TM60 精密监测机器人,该设备具备自主学习和自动识别功能,可在无人值守状态下对大坝 36 个测点棱镜进行自动照准测量,单点测量时间仅 5 秒,36 个测点全流程测量耗时不足 3 分钟,测量精度从传统毫米级偏差优化至亚毫米级稳定输出。结合北斗 GNSS 定位技术与渗流智能传感器,实现对坝体位移、渗流量、扬压力的同步监测,监测数据实时传输至 BIM/GIS 融合平台,当坝体变形、渗流指标超过预警阈值时,平台提前发出预警,实现大坝安全风险的事前防控,使大坝监测模式从“事后分析”向“事前预警”跨越。

2.4 地下工程隧道安全监测

地下工程隧道(地铁、公路隧道)施工与运营阶段面临着围岩变形、隧道沉降、围护结构水平收敛等安全风险,受地下空间狭窄、GNSS 信号缺失、通视条件差等因素影响,传统监测技术难以实现全域动态监测^[5]。智能化测量技术通过构建“无棱镜全站仪+三维激光扫描+惯性导航”的监测体系,为地下工程隧道安全监测提供了高效解决方案。无棱镜全站仪可在隧道内实现 1 000 m 范围内的免棱镜测距,精准定位隧道断面轮廓、围岩变形位置,避免开挖对周边管线与围岩的破坏;三维激光扫描技术可快速获取隧道全断面的点云数据,自动完成断面超欠挖检测与围岩变形分析,相比传统人工检测效率提升 80% 以上。

2.5 矿山工程基建安全监测

矿山工程基建面临着采空区塌陷、边坡滑坡、巷道变形等安全风险,受复杂工业环境、多设备协同作

业等因素影响,对安全监测的精准性与实时性要求极高。智能化测量技术通过“BIM+北斗”的深度融合,构建“天基卫星定位+地基传感监测+BIM数字孪生”的立体化智能管控体系,实现矿山工程基建的全要素安全监测。采用国产北斗芯片模组,攻克复杂工业环境下多源数据融合的技术难题,实现对矿山人员、施工设备的厘米级精确定位与实时追踪,通过电子围栏预警防止人员与设备进入危险区域。

3 智能化测量技术应用现存问题与优化策略

3.1 现存核心问题

当前智能化测量技术在工程安全监测中的应用仍处于快速发展阶段,在技术融合、人才培养、数据管控、环境适应等方面仍存在诸多问题。

一是多技术融合程度不足,北斗定位、三维激光扫描、智能传感等技术多独立应用,数据标准与接口规范不统一,导致点云数据、定位数据、传感数据无法实现无缝融合,数据利用率低下,难以形成多维度的工程安全评估体系。

二是复合型人才培养,智能化测量技术涉及测绘、计算机、BIM/GIS、人工智能等多个知识领域,当前兼具现场实操能力与数据处理分析能力的复合型人才十分匮乏,一线监测人员的技术应用能力不足,导致设备功能无法充分发挥。

三是数据质量管控体系不完善,智能化测量产生了海量的点云、影像、传感数据,数据处理过程中缺乏标准化的质量管控流程,部分数据存在噪声与误差,且缺乏高效的AI数据清洗技术,影响后续风险分析与预警的准确性^[6]。

四是特殊环境适应性差,在强电磁干扰、极端低温高湿、高海拔缺氧等特殊环境下,测量设备的精度易受影响,传感器数据易出现偏差,且缺乏针对性的误差补偿方案,难以满足复杂场景的工程安全监测需求。

3.2 针对性优化策略

针对智能化测量技术应用中的现存问题,从技术融合、人才培养、数据管控、设备研发四个方面提出优化策略。

一是推动多技术融合与标准统一,构建“北斗+三维激光扫描+智能传感+BIM/GIS”的一体化测量体系,制定统一的数据采集、传输、存储标准与接口规范,实现不同技术设备的数据互联互通,提升多源数据的协同利用效率。

二是加强复合型人才培养,建立产学研一体的人

才培养机制,高校增设数字化测绘、工程安全监测交叉专业,融合测绘、计算机、工程管理等课程体系。

三是完善数据质量管控体系,制定从数据采集到应用的全流程标准化管控流程,引入AI降噪、自动平差、异常数据识别技术,实现海量监测数据的智能化清洗与优化。

四是提升设备特殊环境适应能力,研发适用于极端环境的智能化测量设备,为设备增加低温补偿、高温防护、电磁屏蔽功能,优化传感器误差补偿算法。

4 结束语

智能化测量技术作为工程安全监测领域的重要技术革新,突破了传统监测技术在效率、精度、实时性方面的瓶颈,实现了从“人工监测”到“自动化监测”、从“单点监测”到“全域监测”、从“事后分析”到“事前预警”的转变。在岩土工程、桥梁工程、水利工程、地下工程、矿山工程等不同场景中,智能化测量技术通过构建多维度、一体化的监测体系,为工程安全风险的精准管控提供了坚实的技术支撑,其监测精度可达亚毫米级,实时性提升80%以上,有效降低了工程安全事故的发生概率。随着人工智能、大数据、数字孪生、6G通信等技术的持续发展,智能化测量技术将朝着更智能、更自主、更融合的方向升级,实现监测数据的自动采集、智能分析、精准预测与自主预警,构建“感知—分析—预警—处置”的全流程工程安全智能管控体系。工程建设领域需进一步加大智能化测量技术的推广与应用力度,完善技术标准与规范,加强复合型人才培养,推动智能化测量技术与工程安全管理的深度融合,充分发挥其在工程全生命周期安全管控中的核心支撑作用,为我国基础设施建设的高质量、安全化发展提供保障。

参考文献:

- [1] 何振华, 罗国. 钢混叠合梁独塔斜拉桥施工过程受力性能研究[J]. 中国高新科技, 2023(23):140-142.
- [2] 田浩. 宽幅扭索面独塔钢斜拉桥换索施工及监测要点[J]. 交通世界, 2025(35):157-159.
- [3] 徐郁峰, 陈斯, 谢云飞, 等. 斜拉桥由成桥状态求解施工初始索力方法研究[J]. 中外公路, 2024,44(05):201-206.
- [4] 陶红元, 李富全. 某矮塔斜拉桥二次调索方法及索力和线形测试结果分析[J]. 四川水泥, 2024(09):215-217.
- [5] 黄安民. 曲线形独塔无背索斜拉桥施工控制关键技术研究[J]. 交通科技与管理, 2023(11):122-124.
- [6] 刘立明. 城市高架桥钢混组合梁顶升施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2025,32(06):57-60.