

地的地形、建筑物的位置等情况,有利于工程师更好地了解周边环境作出合理的判断。本文以无人机航空机载激光雷达在水利枢纽地形测量项目的应用为例,运用相应的软件对采集到的高精度点云数据进行数据处理,输出精度高的DEM以及逼真的三维场景仿真,用于水利枢纽的设计,提高了水利枢纽的精度和科学性。其次,广东省的有关技术标准(DB44/T2620-2025)对水力发电站测绘技术作出明确规定,该项准则阐明无人机的航空摄影对于水利工程建设测绘工作的具体操作流程、精度指标等内容,确保其成果符合质量要求及可信度。实际操作中,严格依照该项准则开展测绘工作,能够切实促进水力发电工程的顺利进行。

5.2 矿山与堆体测量

在采矿工业与土石方工程中,无人机空中摄影测量技术与三维激光扫描技术各有所长。无人机航拍的照片进行点云模型建立就是它的最大优势,这样它能够很容易对一个区域进行较大的土方量计算,根据此种方法能够快速、准确算出土方总体积量,从而减小人工成本并减少错误概率提高工作效率。三维激光扫描技术在矿山表面建模时可以实现实地空间范围内表面形貌数据的采集并重建出精准的三维表面模型,在其中我们可以清晰地了解到矿山整体的地理面貌特征以及矿藏分布情况等信息,对于制定相应矿业开采开发计划和资源价值评价提供重要的参考依据。与传统全站仪测量相比,无人机航测和三维激光扫描技术在效率上有显著提升。

5.3 变形监测与隧道检查

建筑工程和桥梁的变形检测,需要通过物体进行三维扫描,能够使检测的结果准确性达到毫米级别。第一步,在施工过程中或者在桥梁的部分位置设置相应的工作点,以实现对该建筑或者桥梁上各部分全面检测。第二步,应用三维激光扫描装置定时对物体进行三维扫描获得该物体的三维坐标。第三步,将两种不同扫描数据相互比对,求出物体的变化情况。比如在大型桥梁变形检测实际工程中,对桥梁进行扫描的间隔时间设为一周后,在一周后继续运用三维扫描装置进行扫描,并将检测结果与初次检测结果进行对比,便于对桥梁细微变化进行判断,以便于作为评定和养护桥梁的必要资料依据。通常情况下,在隧道裂缝检测中,采用无人机具有非常优越的性能优势,首先就是根据隧道的情况设计自驾轨道,这样能够有效确保无人机能够在隧道中进行全方位的探测;其次是利用携带高像素摄像头的无人飞行器按照事先设计好的轨道飞翔并拍摄隧道中的相关图像,并将这些取得的精准图像直接实时地传送到地面控制中心,通过专

人专用的工具对取得的图像进行分析,从而查找到隧道中出现的裂缝情况以及其他可能存在的问题。实际上,通常根据隧道所承担的功用以及重要程度来设计检查次数,例如,每1个月甚至每3个月定期进行检查。当检查发现有异常现象后,相关检测数据会立即传送给有关的单位,这样他们的有关维修人员即可及时对裂缝进行维修和保养,从而保持隧道的良好运行状态。

6 未来优化方向

综合不同数据资源:综合激光雷达及光学图像等不同数据资源,充分体现在其自身的优势,如激光雷达具有高精度的三维地形表示方法;而光学图像表现多种纹理和色彩等;综合处理后,可使得模型更加逼真和精确,因此对各种工程建设项目给予支持。

人工智能技术还可以实现对各类地物,如地形、建筑物、树木等自动识别,并通过深度学习算法解析及处理测量数据,可大幅度提高其工作效率和精准度,同时还能进一步进行实时数据分析和预警机制,有效为项目管理者提供了有力支撑。

设备革新:研制出长航时无人机,延长无人机一次性飞行的面积和时间,减少起降次数,提高测绘效率,发展高速扫描仪,扩展扫描距离和精度,以适应急需的大工程和复杂地形单体的测绘情况。

法律法规:在满足飞行安全的前提下,通过完善相关法律法规,合理放宽无人机某些区域的飞行管制等政策,以此进一步发展测绘技术的进一步使用范围。

7 结语

综上,“广域面—局部精细”是指无人机航测、三维激光扫描技术应用于工程地形测量时两者之间的组合协同形式。采用多种不同渠道的数据资料(如无人机激光雷达与三维扫描的点云数据),利用人工智能识别地物特征,并采用更小的设备(如续航能力强的无人机、便携式的三维扫描设备)提高测量的速度和精度,助力工程测量向“全、泛、自动化”的方向发展。

参考文献

- [1] 吴栋浩.基于无人机航测与三维激光扫描的工程地形测绘技术研究[J].贵州地质,2022,39(3):300-304.
- [2] 朱起.基于无人机航测与三维激光扫描的工程地形测绘技术研究[J].大众科学,2024,45(23):73-75.
- [3] 李远飞,马成兵,齐洋洋.基于GIS技术的地面塌陷坑体体积计算方法研究[J].四川地质学报,2022,42(z2):175-177.

High-support formwork automation monitoring system: intelligent construction safety innovator

Wenyong Zhong

No.290 Institute of Nuclear Industry, Shaoguan, Guangdong, 512029, China

Abstract

With the rapid development of the construction industry, high formwork construction technology has been extensively applied in various large-scale construction projects. However, the safety issues associated with high formwork construction remain a critical concern within the industry. Traditional high formwork monitoring methods are fraught with numerous drawbacks, such as low efficiency of manual inspection, untimely warning responses, and numerous safety blind spots[3]. Taking the monitoring project of China Unicom's Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Hub (Shaoguan) Data Center as a case study, this paper delves into the innovative technical system, key technological breakthroughs, and economic and environmental benefits of the high formwork automated monitoring system. It aims to elucidate how this system revolutionizes the field of intelligent construction safety and provides robust support for the sustainable development of the construction industry.

Keywords

High Formwork; Automated Monitoring; Intelligent Construction; Safety; IoT; LSTM; Digital Twin; Blockchain

高支模自动化监测系统：智能化施工安全的革新者

钟文勇

核工业二九〇研究所，中国·广东 韶关 512029

摘要

随着建筑行业的快速发展，高支模施工技术在各类大型建筑工程中得到了广泛应用，然而其施工安全问题一直是行业关注的焦点。传统高支模监测方式存在诸多弊端，如人工巡查效率低、预警响应不及时、安全盲区多等。本文以中国联通粤港澳大湾区枢纽（韶关）数据中心监测项目为例，深入探讨高支模自动化监测系统的创新技术体系、关键技术突破及创新、经济环境效益等方面内容，旨在阐述该系统如何革新智能化施工安全领域，为建筑行业的可持续发展提供有力支持。

关键词

高支模；自动化监测；智能化施工；安全；物联网；长短期记忆网络；数字孪生；区块链

1 引言

高支模作为一种重要的建筑施工技术，在现代建筑工程中扮演着不可或缺的角色。然而，高支模施工过程中面临着诸多安全风险，一旦发生事故，将造成巨大的人员伤亡和经济损失。传统的人工监测方式已经难以满足现代建筑施工对安全性和效率的要求 [3]。近年来，随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的快速发展，高支模自动化监测系统应运而生，为解决高支模施工安全问题提供了新的思路和方法。

2 项目背景与挑战

2.1 传统高支模监测痛点

传统高支模监测主要依赖人工巡查，这种方式存在诸

多问题。首先，人工巡查效率低下，每次巡查需要花费 2 小时左右，且数据更新滞后 [3]，无法实时掌握高支模的实际状态。其次，传统监测的预警响应时间较长，无法在危险发生前及时发出警报。此外，传统监测方式过于依赖工作人员的主观经验判断，容易存在安全盲区，无法实现全域无死角覆盖，导致一些潜在的安全隐患无法被及时发现。

2.2 新问题与新需求

随着建筑行业的不断发展，超大规模集群施工逐渐成为常态。《十四五” 建筑业发展规划》明确要求构建智能化安全监控平台 [1]，这为高支模监测技术的发展指明了方向。在超大规模集群同步施工的场景下，需要构建一个统一的智能监控平台，以实现多个施工项目的集中管理和监控。然而，现有的监测系统存在成本高、精度不足（ $\pm 2\text{mm}$ ）、缺乏预测能力等问题 [5]，难以满足现代建筑施工的需求。

【作者简介】钟文勇（1983-），男，本科，从事工程测量、地理信息研究。

3 创新技术体系与应用

3.1 核心技术架构

高支模自动化监测系统的核心技术架构包括传感器网络、智能诊断系统和数据传输与处理三个部分。

传感器网络：高精度传感器是该系统的基础，能够实时采集高支模的位移、应力等关键数据，确保监测数据的准确性和可靠性（误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ）[10]。这些传感器分布在高支模的各个关键部位，形成一个密集的监测网络，能够全面覆盖整个施工区域。

智能诊断系统：基于长短期记忆网络（LSTM）神经网络的结构形变预测是该系统的核心功能之一。通过大量的历史数据训练，基于长短期记忆网络（LSTM）的结构形变预测模型（准确率 $>95\%$ ）[2][5]。此外，智能诊断系统还能够自动定位隐患点，并通过三维可视化技术进行追踪，为施工人员提供直观的监测结果。

数据传输与处理：为了确保数据的实时传输，该系统采用了轻量化传输协议。这种协议能够有效降低带宽占用，每个传感器的带宽占用小于 5Kbps ，从而保证了数据的快速传输和处理。

3.2 三大创新应用

基于 LSTM 神经网络的结构形变预测：通过先进的机器学习算法，该系统能够实现对高支模结构形变的高精度预测。预测结果不仅能够帮助施工人员提前采取措施，避免事故发生，还能够实现三级防控机制[5]，进一步提高施工安全水平。

数字孪生与专利技术验证：该系统将监测数据实时上传至省级监测平台，通过数字孪生技术动态模拟结构响应[6][8]，满足了工程安全监管的需求。同时，通过数字孪生技术，实现了对高支模结构的虚拟建模和动态模拟，为施工人员提供了更加直观的监测结果。

区块链存证平台：为了确保监测数据的真实性和不可篡改[9]，该系统引入了区块链技术。所有监测数据都将被记录在区块链上，为施工安全提供了可靠的数据支持。

4 关键技术突破及创新

4.1 技术难度攻坚

在复杂的施工环境中，高支模自动化监测系统面临着诸多技术挑战。为了克服这些挑战，该系统采用了多传感器数据融合校正技术[10]，结合抗风和温漂补偿算法，有效提高了数据的准确性。此外，通过采用边缘计算节点和轻量化传输协议，该系统能够有效降低带宽占用[11]，确保数据的实时传输。同时，机器学习动态优化阈值技术的应用，使得系统的误报率降低了 63% ，进一步提高了系统的可靠性。

4.2 七大创新

1. 多级预警机制（毫秒级响应）[7]：该系统结合阈值触发和误报过滤算法，实现了毫秒级声光报警、短信通知等

多渠道预警。这种多级预警机制能够确保施工人员在危险发生前及时收到警报，从而采取有效的措施。

2. 无线传输与远程管理：采用 $4\text{G}/5\text{G}$ 混合组网（覆盖半径 1km ）[7]，具有很强的抗干扰性。通过 APP 实现远程监控和数据查询，管理人员可以随时随地掌握现场的安全状态。

3. 移动端集成：该系统通过 APP 实现了移动端集成，管理人员可以通过手机或平板电脑随时随地查看监测数据和预警信息。

4. 非破坏性安装技术（卡箍+调节螺栓）^[13]：该系统采用了可拆卸夹持机构，利用卡箍和调节螺栓固定传感器，避免了对支架结构造成损伤。这种非破坏性安装方式不仅提高了安装效率，还降低了维护成本。

5. 内置可充电电池：该系统内置了可充电电池，在复杂施工环境中可以持续工作一周以上，设备续航能力强。

6. 数据可视化平台（三维模型动态展示）[8]：通过动态曲线、三维模型展示监测数据，该系统能够直观地呈现结构的安全状态。这种数据可视化平台不仅提高了监测数据的可读性，还为施工人员提供了更加直观的决策支持[15]。

7. 绿色节能设计（低功耗传感器+休眠模式）[12]：该系统采用了低功耗传感器，通过高频采样与休眠模式切换技术，有效降低了能耗。这种绿色节能设计不仅降低了系统的运行成本，还符合可持续发展的要求。

5 经济环境效益

5.1 经济效益

1. 降低人工监测成本：通过引入高支模自动化监测系统，人工监测成本显著降低。与传统人工监测方式相比，该系统减少了 15 名专职安全员的配置，人工成本降低了 48% 。这不仅提高了施工效率，还显著降低了施工成本。

2. 缩短工期：该系统的快速预警功能能够有效避免因安全隐患导致的整改停工，从而缩短工期 15 天。这不仅提高了施工效率，还为施工单位带来了显著的经济效益。

5.2 安全效益

1. 实现零倾覆事故：通过高精度监测和快速预警，该系统实现了“零倾覆事故”。提前预警功能确保了施工安全，有效避免了重大安全事故的发生。

2. 提升应急响应速度：该系统的应急响应速度显著提升，从传统方式的 4 小时缩短至 1 分钟以内，提升了 10 倍。这不仅提高了施工安全水平，还为施工人员的生命安全提供了有力保障。

5.3 环境和社会效益

1. 减少脚手架耗材：通过精准化监测优化部分支护设计，该系统能够减少部分脚手架耗材的使用。这不仅降低了施工成本，还减少了对环境的影响。

2. 积累项目经验：该系统为同类项目积累了丰富的项