

# 无人机技术在煤矿测量中的探索与应用

魏慧渊

国能榆林能源有限责任公司郭家湾煤矿分公司 陕西榆林 719300

**摘要:** 无人机遥感技术凭借其独特优势,在煤矿测量领域得到广泛应用。通过搭载多源传感器,无人机可高效获取露天矿、井下巷道等场景的高精度三维空间信息,为矿区地形测绘、开采监测、安全预警等提供数据支撑。同时,无人机平台的灵活性使其能够执行矿区生态评价、灾害排查等任务。随着人工智能等新兴技术的发展,无人机遥感将进一步拓展在矿山智能化管理中的应用,推动煤炭行业实现数字化、智能化转型升级。

**关键词:** 无人机; 煤矿测量; 倾斜摄影测量; 激光雷达; 高光谱遥感; 矿山安全

## 引言

煤炭作为我国基础能源,在国民经济中占据重要地位。传统煤矿测量方法效率低下,已不能满足现代化矿山管理的需求。近年来,无人机遥感技术凭借其机动灵活、数据精准等优势,在露天矿地形测绘、井下巷道监测、矿区生态评估等方面得到广泛应用,极大地提升了煤矿测量的智能化水平。

## 一、无人机技术应用于露天煤矿地形测绘

### (一) 基于倾斜摄影测量的露天矿数字地形模型构建方法

无人机倾斜摄影测量技术利用多视角、高重叠度的影像数据,通过自动空三加密、多视影像密集匹配等先进算法,实现露天矿区高精度、真三维的数字地形模型构建。该方法突破了传统垂直摄影测量的局限性,能够获取露天矿边坡、采场等复杂地形的精细结构信息。同时,将倾斜摄影与激光雷达点云数据相结合,可进一步提高数字高程模型的精度和分辨率。基于此构建的露天矿三维地形模型,为采场现状分析、开采设计优化、生产管理决策等提供了直观、可量化的基础数据支撑,在提升露天煤矿信息化、智能化水平方面具有重要价值。

### (二) 无人机倾斜摄影测量在露天煤矿地形测绘中的精度评估

为全面评估无人机倾斜摄影测量在露天煤矿地形测绘中的实际性能,需开展系统的精度评定试验。通过在露天矿区布设高精度控制点,利用全站仪、RTK等测量

设备获取地面真值,并与无人机倾斜摄影测量成果进行比对,可定量分析点云坐标精度、三维模型精度、数字高程模型精度等关键指标。同时,结合露天矿开采实际,评估无人机倾斜摄影测量对采场边界、道路等特征地物提取的准确性、完整性。通过开展不同矿区环境、不同航飞参数下的对比试验,优化倾斜摄影测量流程,确定满足露天煤矿地形测绘精度规范的最佳工艺参数,为无人机倾斜摄影测量技术在露天煤矿测绘领域的工程化应用提供重要参考。

### (三) 露天煤矿高陡边坡三维重建及稳定性分析

针对露天煤矿开采普遍面临的高陡边坡稳定性问题,无人机倾斜摄影测量可快速获取边坡精细三维形貌信息,结合地质雷达、工程钻探等数据,构建露天矿高陡边坡地质结构模型。在此基础上,开展边坡稳定性评估与预警,对采场扩帮、排土场、留土墙等进行结构化建模,分析崩塌、滑移等失稳模式<sup>[1]</sup>。利用三维激光扫描等技术,对边坡位移、张力裂缝等变形破坏信息进行高精度量测,建立覆盖采场全生命周期的安全监测预警体系。同时,依托露天矿边坡三维模型,可直观模拟台阶式开采、最终边坡设计等方案,为科学指导边坡工程施工、保障露天开采安全提供决策支持。

### (四) 露天煤矿采场现状测绘及数字化管理应用

无人机倾斜摄影测量技术可高效获取露天煤矿采区全要素、动态更新的三维空间信息,助力矿山开采全过程精细化管控。通过配置多源传感器,实现地形、地质、压力、温度等多维数据一体化采集,并与矿山生产管理系统联通,可实时掌控采剥进度、在线分析矿岩比、优化生产调度方案。将每一采区精细三维模型汇聚为数字矿山时空信息云平台,管理人员可随时调阅矿区全景、

**作者简介:** 魏慧渊(1985.12-),男,汉,陕西省榆林市府谷县,本科,职称:工程师,研究方向:地质测量。

查看监测数据、下达远程指令，真正实现露天煤矿采场“一张图”动态管理、科学决策。

## 二、无人机激光雷达技术在井工煤矿测量中的应用

### (一) 井工煤矿地下巷道三维激光扫描建模方法

无人机搭载高精度激光雷达传感器，通过在井下巷道中自主飞行扫描，可快速获取巷道空间点云数据。采用全站仪、GNSS等控制测量手段，实现点云坐标系的高精度定位与转换。在此基础上，利用点云数据滤波、配准、三角网格化等算法，自动构建巷道三维实景模型。引入不同时期点云数据比对分析，可量化评估巷道变形、围岩破坏等动态变化过程。通过对巷道建模方法进行系统优化，提高数据采集效率和模型精度，为井下巷道精细化管理、安全监控等提供可靠的空间信息支撑。该方法的创新应用，推动了无人机激光雷达技术在井工煤矿测量领域的深入发展。

### (二) 基于激光雷达点云数据的井下巷道变形监测

针对井工煤矿开采引发的井下巷道变形失稳问题，利用无人机激光雷达获取的高精度三维点云数据，可实现巷道变形的动态监测与预警。通过多时期点云数据配准与变化检测分析，提取巷道的收敛量、净空断面等变形参数<sup>[2]</sup>。结合巷道周围岩性、支护方式、开采深度等因素，构建巷道变形数值模拟模型，研究不同采动应力条件下巷道变形演化规律。在巷道三维模型中设置变形预警阈值，对监测数据进行实时解算分析，及时预警失稳风险，优化巷道支护设计。同时，将无人机激光雷达监测与顶板压力、锚杆应力等传感器数据相融合，建立井下巷道安全预警的立体监测体系。

### (三) 无人机激光雷达在采空区塌陷监测中的应用研究

煤炭开采形成的采空区，易引发地表塌陷等灾害。无人机搭载激光雷达传感器，对采空区上方地表进行持续、重复扫描，获取不同时期高分辨率地形点云数据。通过多时相点云数据集配准、高程差分等分析，可精确量算采空区沉降范围、下沉量、变形速率等关键参数。在采空区塌陷三维模型中，模拟预测地表变形的时空演化过程，划定采动影响范围，制定土地损毁修复方案。同时，结合InSAR、GPS等监测手段，建立覆盖采区、村庄等重点区域的地表塌陷监测网络。研究成果可为矿区地表沉降防治、土地复垦规划提供科学依据，对保障矿区生态安全、促进矿地和谐共生具有重要意义。

### (四) 井下巷道工程量计算及可视化管理系统开发

充分利用无人机激光雷达获取的井下巷道高精度三

维点云数据，开发巷道工程量智能计算与可视化管理系统。系统基于点云数据，采用空间几何分析、语义分割等算法，实现巷道开挖面积、支护体积、淋水量等关键参数的自动提取与计算。将巷道三维模型与矿山地理信息系统相结合，直观展示巷道掘进面位置、支护类型、瓦斯浓度等属性信息，为现场管理人员提供决策支持<sup>[3]</sup>。同时，借助三维可视化引擎，构建沉浸式虚拟现实环境，实现井下巷道工程的可视化设计、施工模拟仿真、安全培训教育等功能。该系统在提高巷道工程信息化管理水平、保障井下作业安全等方面展现了良好应用前景。

## 三、基于无人机遥感的煤矿生态环境监测

### (一) 无人机高光谱遥感在矿区土地覆被分类中的应用

无人机搭载高光谱成像仪，获取煤矿区高空间、高光谱分辨率的影像数据，为矿区土地覆被精细分类与动态监测提供了新途径。通过构建针对性的高光谱指数，提取矿区植被、裸岩、积水等关键地物的光谱特征，结合机器学习算法，实现土地利用类型的自动识别与提取。在此基础上，综合矿区数字高程、开采区划等数据，分析采煤塌陷对土地利用格局的影响，评估矿区生态系统的脆弱性。该方法克服了传统人工解译的主观性和低效性，为矿区土地覆被动态变化监测和管理提供科学依据，在矿区生态修复规划、土地资源优化配置等方面具有重要应用价值。

### (二) 煤矿废弃地植被恢复监测及生态评价

针对煤矿开采造成的废弃地生态问题，基于无人机遥感技术开展植被恢复监测与生态质量评价研究，对矿区生态文明建设具有重要意义。利用无人机搭载多光谱传感器，获取废弃地不同恢复阶段的高分辨率遥感影像，提取植被覆盖度、生物量、叶面积指数等关键参数。通过多时相遥感数据分析，揭示矿区植被演替规律，定量评估废弃地生态恢复水平<sup>[4]</sup>。在景观生态学理论指导下，构建矿区生态系统健康评价指标体系，综合土壤质量、水文过程、生物多样性等要素，客观诊断废弃地生态系统的稳定性与可持续性。研究成果可为废弃地生态恢复实践提供科学指引，推动矿区生态文明建设与绿色矿山发展。

### (三) 矿区地表沉降及滑坡灾害监测预警

煤炭开采引发的地表沉降及滑坡灾害，严重威胁矿区生态安全与人居环境。基于无人机倾斜摄影测量技术，构建矿区高精度三维地形模型，并结合InSAR、激光雷达等数据，开展地表变形的多尺度、立体化监测。通过

不同时期DSM差分分析,提取沉陷范围、垂直位移、变形速率等关键参数。引入均值漂移、卷积神经网络等算法,实现滑坡体的自动识别与提取。在此基础上,综合考虑矿区地质结构、降水量、开采强度等因素,构建地灾风险预警模型与决策支持系统。该方法能够及时发现沉陷、滑坡灾害隐患,为灾害防治和应急响应提供有力支撑,对保障矿区人员生命财产安全具有重要现实意义。

#### (四) 矿区大气污染物及粉尘浓度遥感反演方法

煤炭开采过程中产生的大气污染物和粉尘,对矿区空气质量和职业健康构成严重威胁。利用无人机搭载光学传感器,获取矿区上空不同高度的大气辐射数据,结合同步地面站监测,构建针对SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等关键污染物的定量反演模型。在大气辐射传输理论基础上,综合考虑气溶胶、水汽等影响因素,提高污染物浓度反演的精度和稳定性。同时,结合无人机激光雷达雨滴谱仪,开展矿区粉尘浓度的三维探测,分析粉尘污染的空间分布规律。通过构建矿区大气污染实时监测预警系统,对污染源进行动态溯源解析,为大气污染精准防控提供决策依据。

### 四、无人机在煤矿安全管理中的应用探索

#### (一) 基于视频监控的露天煤矿人员车辆行为分析

无人机搭载高清可见光相机,对露天煤矿采场进行巡航监控,获取作业场景实时视频数据,为智能化行为分析提供数据基础。利用计算机视觉技术,构建露天矿人员和车辆的目标检测与跟踪算法,实现作业人员区域入侵、车辆超速、安全距离预警等功能。通过对人员佩戴安全帽、车辆行驶轨迹等关键特征的视频分析,及时发现违章作业行为,提高安全管理的智能化水平。同时,将视频事件分析与定位数据相结合,研究人车交互行为的时空模式,优化露天矿道路设计和交通管控措施。该方法突破了传统人工视频监控的局限性,提升了露天煤矿安全监管效率,为构建智慧矿山综合监管平台提供了新思路。

#### (二) 基于无人机的井下安全隐患排查及应急处置系统研究

无人机可深入采掘工作面等人员难以到达的区域,对顶板冒落、片帮、冲击地压等隐患进行精细化排查。利用机载光学相机和激光雷达传感器,获取巷道的实时影像和三维点云数据,通过智能算法自动识别井下隐患

特征。在紧急事件发生时,无人机可快速到达事故现场,利用定位和通信功能引导救援,并通过多源异构传感器获取现场环境参数,为救援方案制定和现场指挥提供数据支撑。同时,将无人机集成到矿山应急指挥调度系统中,构建覆盖'隐患排查-应急处置-安全评估'全流程的一体化协同应急机制。形成涵盖井下重点区域、融合预防和处置的立体化智能安全保障体系。

#### (三) 无人机红外热成像技术在煤矿火灾监测中的应用

无人机搭载高灵敏度红外热成像仪,对矿区重点防火部位进行巡航扫描,获取热辐射分布图像,为早期火情监测预警提供新方法。利用红外成像的非接触、远距离探测优势,实时识别煤堆自燃、带式输送机过热等典型火灾隐患。通过分析不同时相热辐射图像,反演目标表面温度时空演化规律,构建热异常智能识别算法。在此基础上,建立煤矿“天-空-地”一体化火灾监控体系,综合卫星遥感、无人机巡检、地面普查等多源数据,提升火灾监测的时效性与准确性。将研究成果集成到矿山灾害监测预警信息系统,形成煤矿火灾综合防控智能解决方案,进一步夯实煤矿本质安全基础。

#### 结束语

综上所述,无人机遥感技术已成为煤矿测量与管理的重要手段。突破了传统方法的局限,开拓了数据获取的新途径,为煤矿开采全过程管控提供了高质量的空间信息服务。展望未来,无人机遥感与云计算、物联网、虚拟现实等技术的融合发展,将构建起煤矿全时空、全要素、全过程的立体智能化监测体系,为建设本质安全型矿山、实现煤炭清洁高效开发利用提供有力的科技支撑,助推煤炭行业高质量发展。

#### 参考文献

- [1] 魏跃东. 煤矿地质无人机航空摄影测量图像目标自动检测方法研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(15): 45-47+51.
- [2] 彭荣庆. 无人机遥感测绘技术在矿山测量中的应用[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(04): 30-31.
- [3] 渠兴龙. 测绘新技术在煤矿测量中的应用分析[J]. 矿业装备, 2023, (11): 34-36.