

无人机航测技术在煤矿地表移动规律研究中的应用

杨 浩

国能榆林能源有限责任公司青龙寺煤矿分公司 陕西 榆林 719408

摘 要：无人机航测技术通过搭载遥感设备获取矿区影像，经处理分析可研究煤矿地表移动规律。该技术具备高分辨率、灵活作业、短周期监测等优势，能实现移动范围界定、速度方向监测及变形特征分析。实际应用中需做好航测精度保障、数据处理可靠性提升及技术融合应用等工作，为煤矿开采引发的地表移动研究提供有力支持。

关键词：无人机航测技术；煤矿；地表移动规律；数据处理；技术融合

引言：煤矿开采引发地表移动，威胁周边环境与设施安全。传统监测方法存在局限，难以满足复杂地形与动态监测需求。无人机航测技术凭借高分辨率影像、灵活作业及短周期监测等优势，为煤矿地表移动规律研究提供新途径。本文将详细阐述其原理、数据处理方法、具体应用及质量控制措施，以推动该技术在煤矿领域的深入应用。

1 无人机航测技术原理与特点

1.1 技术基本原理

无人机航测通过搭载遥感设备获取地表影像，这些设备根据需求可选择高分辨率相机或多光谱传感器，能够捕捉地表的纹理、色彩及光谱信息，形成覆盖矿区的连续影像序列。影像获取过程中，设备需保持稳定的拍摄角度与曝光参数，确保不同时段、不同位置的影像具有一致性，为后续处理奠定基础^[1]。定位系统与姿态控制系统的协同工作机制是航测精度的保障。定位系统实时接收卫星信号，确定无人机的空间坐标，为每一张影像标记精确的地理位置。姿态控制系统则通过陀螺仪、加速度计等部件感知无人机的飞行姿态，及时调整机身角度，避免因气流扰动导致影像倾斜或模糊。两者的协同运作使无人机在复杂地形上空仍能保持稳定的飞行轨迹，确保影像的几何精度。数据采集与实时传输的技术流程紧密衔接。无人机按预设航线飞行时，遥感设备按固定间隔自动拍摄影像，数据先存储于机载存储装置。关键飞行参数与部分影像数据，通过无线传输模块发送至地面控制终端，操作人员可实时监控数据采集质量，发现异常时及时调整飞行计划。飞行结束后，完整影像数据通过有线方式导出，进入后续处理环节，形成连贯的技术闭环。

1.2 技术应用优势

高分辨率影像对细微地表变化的捕捉能力突出。其搭载的成像设备能清晰记录地表厘米级的起伏与位移，

煤矿开采引发的微小裂缝、局部沉降等变化均可在影像中显现。这些细节信息为分析地表移动初期的微弱信号提供可能，有助于更早发现地表移动的迹象，为研究移动规律提供精细的数据支撑。灵活作业对复杂煤矿地形的适应性较强。煤矿常分布于山区或丘陵地带，存在陡坡、沟壑等复杂地形。无人机体积小巧，可在狭窄空间内灵活转向，沿地形轮廓调整飞行高度，避开障碍物的遮挡。针对煤矿区的塌陷区、堆积坡等特殊区域，能设计贴合地形的飞行路径，确保影像覆盖无死角，克服传统地面监测难以抵达的局限。短周期监测对地表移动动态的追踪效率较高。无人机部署便捷，完成一次矿区航测的准备时间短，可根据地表移动的变化速度灵活安排监测频次。在煤矿开采活跃期，能实现每周甚至每日一次的航测，通过多期影像的对比，清晰呈现地表移动在不同阶段的速率与方向变化，及时捕捉移动过程中的关键节点，为掌握地表移动的动态特征提供及时的数据支持。

2 无人机航测数据处理与分析方法

2.1 数据预处理

影像拼接需按重叠区域特征将相邻影像对齐，保持纹理与色彩过渡自然，拼接过程中需检查拼接缝处是否存在错位，确保整体影像的连续性。几何校正通过选取地面控制点，消除因无人机姿态偏差或地形起伏导致的影像畸变，使影像坐标与实际地理位置精准对应^[2]。坐标系转换需将影像原始坐标转换为矿区通用坐标体系，转换过程中采用统一的参数模型，减少坐标转换误差。精度控制通过重复测量控制点坐标，验证转换结果的一致性，对超出误差范围的数据进行二次校正，保障后续分析的坐标基准统一。噪声去除针对影像中的斑点、条纹等干扰信息，采用平滑滤波算法减弱噪声影响，同时保留地表细节特征。数据增强通过调整影像的对比度与亮度，突出地表纹理差异，使裂缝、沉降等特征更易识别，为后续处理提供更清晰的影像基础。

2.2 三维建模与参数提取

密集匹配技术通过识别不同影像中同名点的位置关系,计算点的三维坐标,海量三维点经加密处理形成点云模型,再通过曲面拟合构建连续的地表三维模型,模型需体现地表微小起伏,真实还原矿区地形特征。地表高程变化量通过对比不同时期三维模型中同一点的高程值获得,差值为正时表示抬升,为负时表示沉降。移动速度由高程变化量与监测间隔时间计算得出,反映单位时间内的地表位移幅度,计算过程需确保时间节点记录准确。倾斜度通过相邻两点的高程差与水平距离比值计算,反映地表倾斜程度;曲率则基于倾斜度的变化率确定,体现地表弯曲的曲率大小。这些变形参数的提取需以密集点云数据为基础,按固定间隔选取计算点,确保参数分布的代表性。

2.3 时序数据分析

多期次航测数据的对比分析需以同一坐标系为基准,按时间顺序排列各期模型,先整体对比地表形态的宏观变化,再局部放大重点区域,观察细节差异,对比框架需涵盖时间与空间两个维度,全面呈现变化特征。地表移动过程的阶段性特征识别需结合移动速度与变形参数的变化规律,当移动速度由慢加快时,判定进入活跃阶段;速度趋于平缓时,则进入稳定阶段。通过划分不同阶段,梳理各阶段的移动范围与强度差异。移动趋势预测的模型构建需基于历史时序数据,分析移动速度与开采进度的关联,建立两者的映射关系。模型需纳入地形、岩性等影响因素,通过拟合历史数据验证模型可靠性,再依据未来开采计划推演地表移动的可能趋势。

3 无人机航测在地表移动规律研究中的具体应用

3.1 移动范围与边界界定

基于三维模型确定地表移动盆地的空间范围,需从模型中提取高程异常区域,这些区域与未移动区域存在明显高程差异,通过连接差异区域的边缘点,形成移动盆地的轮廓线。轮廓线需沿地形起伏自然延伸,确保完整包围所有发生移动的区域,清晰呈现移动盆地的形状与大小。不同开采阶段移动边界的动态变化追踪,需对比各阶段的三维模型^[3]。初期开采阶段,移动边界仅出现在采空区正上方,范围较小;随着开采面积扩大,边界逐渐向四周扩展,扩展速度与开采推进速度相关。通过标记各阶段边界位置,绘制边界变化轨迹,可直观展现移动范围的扩张过程。在边界扩展过程中,还需关注不同岩性地层对边界形态的影响,坚硬岩层区域的边界往往更规整,而松散土层区域的边界可能呈现不规则锯齿状。采空区与地表移动区域的空间关联分析,需将地下

采空区的平面投影与地表移动边界叠加。观察采空区边缘与地表移动边界的水平距离,分析两者的对应关系,判断采空区形态对地表移动范围的影响,为揭示地下开采与地表移动的内在联系提供空间分布依据。当采空区呈狭长形时,地表移动区域通常也呈对应长条状分布,且移动强度沿采空区轴线方向递增。

3.2 移动速度与方向监测

地表各点位移动速度的量化计算需以多期三维模型为基础,选取固定点位,计算不同时期的高程差与时间差的比值,得到各点的移动速度。将速度值标注在平面分布图上,可呈现速度的空间分布特征,高值区通常对应采空区中心正上方,向边缘逐渐递减。对于同一采空区,不同深度的煤层开采引发的地表速度分布也存在差异,浅部开采的速度高值区更集中,深部开采则分布更分散。移动方向的矢量分析需通过对比点位在不同时期的平面坐标变化,确定移动的水平方向,用箭头在图上标记各点移动方向。通过统计箭头指向的集中趋势,判断整体移动的主导方向,主导方向通常与开采推进方向存在关联,反映开采活动对地表移动的牵引作用。在断层发育区域,移动方向可能出现局部偏转,与断层的阻隔或导通作用相关。速度变化率与开采进度的响应关系研究,需同步记录开采工作面的推进距离与对应时期的地表移动速度。当开采进度加快时,速度变化率随之增大;开采暂停时,速度变化率趋于平缓。通过分析两者的变化节奏,可梳理出开采强度对地表移动速度的影响规律。若开采过程中遇到含水层,速度变化率可能出现异常波动,因水体渗透改变了岩土体的力学性质。

3.3 变形特征与影响因素

地表沉降、水平移动等变形形式的识别,需结合高程变化与平面位移数据。沉降表现为点位高程的持续降低,水平移动则体现为平面坐标的横向偏移,两种变形可能单独出现,也可能同时存在。通过叠加两种变形的分布特征,可区分不同区域的主导变形形式。在采空区边缘,水平移动往往更为显著,而中心区域则以沉降变形为主。地形地貌对地表移动特征的影响分析,需比较不同地形区域的移动参数。山地地形中,陡坡处的移动速度往往大于缓坡处,且易出现局部坍塌;平原地区的移动则更均匀,变形梯度较小。地形起伏通过改变岩土体的受力状态,间接影响地表移动的表现形式。河谷地带因存在松散沉积层,地表移动可能伴随土体的侧向滑移,加剧变形的复杂性。煤层赋存条件与开采方式的关联探讨,需结合煤层厚度、倾角等参数与移动特征的对应关系。厚煤层开采引发的地表移动范围通常大于薄煤

层,急倾斜煤层的移动方向更偏向沿煤层倾斜方向。不同开采方式中,充填开采的地表移动强度小于垮落式开采,这些关联为优化开采方式以减少地表移动提供参考。当煤层上方存在坚硬顶板时,顶板初次垮落前地表移动较微弱,垮落后则可能出现突发性的移动增速。

4 技术应用中的质量控制与优化

4.1 航测精度保障

飞行参数设置需根据矿区范围调整高度与速度,高度过低易受地形干扰,过高则影像分辨率下降,速度过快会导致影像重叠度不足,需平衡参数以保证数据连贯性^[4]。合理设置快门间隔,确保相邻影像存在足够重叠区域,为后续拼接提供充足匹配点,减少拼接误差对整体精度的影响。地面控制点布设应覆盖矿区边缘与地形突变处,点间距均匀分布,避免集中在某一区域。通过高精度测量获取控制点坐标,将其纳入航测数据处理过程,用于校正模型偏差。精度验证可选取未参与校正的检查点,对比模型坐标与实测坐标的差异,判断航测结果是否满足研究需求。不同天气条件下需采取针对性措施,微风天气可正常作业,风力较大时需降低飞行高度增强稳定性。阴天光线均匀利于影像曝光,强光时段需调整曝光参数避免过曝,雾天则暂停作业以防影像模糊,通过规避不利天气保障数据质量。

4.2 数据处理可靠性

模型误差可能来自影像畸变、匹配错误等,需通过检查点验证识别误差分布,对偏差较大区域重新进行影像匹配,或采用局部调整方法修正模型形态。针对系统误差,可通过引入校正参数消除,随机误差则需通过增加样本量降低影响。多源数据融合可结合卫星影像与地面实测数据,卫星影像提供大范围背景信息,地面数据补充细节,两者叠加分析减少单一数据源的局限性。融合过程中需统一坐标系统,通过坐标转换使不同来源数据精准对齐,提升结果的整体可信度。处理软件选择需考虑功能适配性,优先选用支持密集点云处理与三维建模的专业软件。参数设置需根据影像质量调整,滤波参

数过大会滤除有用信息,过小则保留过多噪声,需通过试处理确定最优参数组合,提高数据处理的稳定性。

4.3 技术融合应用

与传统测量技术形成互补,传统测量在局部关键点精度上优势明显,可用于验证无人机航测结果;无人机则擅长大范围快速监测,两者结合实现点面结合的监测体系。传统测量数据还可作为控制点,提升航测模型的绝对精度。结合地理信息系统可将航测数据与矿区地质、开采等信息关联,构建综合数据库,通过空间分析工具挖掘数据间的空间关联,如叠加移动区域与煤层分布,直观展示两者的位置关系,深化对移动规律的空间认知。与开采模拟软件对接需按软件数据格式转换航测成果,将地表移动参数导入模拟系统,用于校准开采影响范围的预测模型。通过对比模拟结果与航测实际数据,调整模型参数,使模拟更贴近实际开采引发的地表移动过程,增强预测的可靠性。在数据对接中,需注意参数单位的一致性,避免因单位差异导致模拟结果偏差。

结束语

无人机航测技术在煤矿地表移动规律研究中成效显著,凭借高分辨率、灵活性与高效性,精准捕捉地表变化,为研究提供精细数据支撑。通过数据处理与分析,清晰界定移动范围、监测速度方向、剖析变形特征。实际应用中,需强化航测精度保障、数据处理可靠性及技术融合应用。未来,随着技术发展,其在煤矿监测领域的应用将更广泛深入,为行业可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]于鑫鑫,张墨,马赛赛.基于无人机航测技术的露天矿爆堆特征感知方法应用[J].露天采矿技术,2025,40(3):45-48.
- [2]吴海文.无人机技术在煤矿岩移监测中的应用[J].中国煤炭,2023,49(2):89-96.
- [3]张泽亮.无人机航测技术在矿山塌陷区治理中的应用研究[J].当代化工研究,2023(12):100-102.
- [4]黄永壮,常换燕.无人机倾斜摄影测量在采煤区沉陷监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2023,46(4):209-212.