

无人机倾斜摄影测量技术在矿山测量中的应用研究

马文涛

新疆紫金锌业有限公司 新疆 克孜勒苏柯尔克孜自治州 845450

摘要：无人机倾斜摄影测量技术为矿山测量带来了革命性的变革。该技术通过多角度拍摄，快速获取矿山高分辨率影像数据，构建实景三维模型，提高测绘精度与效率。相比传统测绘方法，无人机倾斜摄影测量在矿山开采规划、施工监测、安全隐患排查及生态修复等方面展现出巨大优势。其能够直观展示矿山地形地貌、矿体分布，优化开采方案，及时发现地表变化与环境问题，为矿山的安全生产、环境治理提供科学依据。

关键词：无人机倾斜摄影测量技术；矿山测量；应用

引言：随着矿山资源的持续开发，对矿山测量技术的精度和效率要求日益提高。传统的人工实地测量方法不仅耗时费力，而且难以应对复杂多变的地形环境。无人机倾斜摄影测量技术作为一种新兴的非接触式测量手段，以其高精度、高效率、高灵活性的优势，逐渐成为矿山测量的重要工具。本文旨在探讨无人机倾斜摄影测量技术在矿山测量中的应用，分析其技术原理、操作流程及应用效果，以期为矿山资源的合理开发和环境保护提供科学依据和技术支持。

1 无人机倾斜摄影测量技术基础理论

1.1 无人机倾斜摄影测量技术原理

(1) 多镜头相机系统通常搭载2-6个不同角度相机，含1个垂直镜头与多个倾斜镜头（如45°倾斜），可同步获取地物顶面及侧立面影像，突破传统垂直摄影仅能获得顶面信息的局限。共线方程原理是核心数学基础，通过建立像点、投影中心与地面点的共线关系，实现从二维影像到三维空间坐标的转换，确保几何定位准确性。飞行平台稳定性原理依托无人机飞控系统，结合陀螺仪、气压计等传感器，实时调整飞行姿态，补偿气流干扰，保障相机拍摄时的姿态稳定，避免影像模糊或几何变形。(2) 影像重叠原理要求相邻影像重叠度达60%-80%、旁向重叠度40%-60%，为后续拼接与建模提供充足匹配特征点，确保三维模型连续完整。GPS定位系统实时获取无人机飞行轨迹与相机曝光时刻坐标，为影像提供初始地理参考；IMU惯性测量单元则记录相机姿态参数（滚转、俯仰、航向角），二者融合可快速确定影像外方位元素，提升数据处理效率。

1.2 数据处理与三维建模流程

(1) 影像畸变校正通过相机标定参数，修正镜头光学畸变（如径向畸变、切向畸变），消除影像几何误差；空中三角测量利用多影像匹配点，解算所有影像外

方位元素与加密点坐标，构建整体几何控制网；多视几何原理通过多视角影像间的对应关系，建立三维空间约束，为三维重建提供几何基础；三维重建基于密集匹配点云，构建地物三维几何模型，还原真实空间形态。

(2) 纹理映射将原始影像纹理贴合到三维模型表面，提升模型视觉真实感；数据融合整合GPS、IMU及实地测量数据，优化模型坐标精度；影像金字塔通过不同分辨率影像层级，实现模型快速加载与缩放浏览，平衡显示效率与细节；点云生成通过密集匹配算法，将影像特征点转化为三维点云，为后续建模提供基础数据，同时可通过点云滤波去除噪声点，提升模型质量。

2 无人机倾斜摄影测量技术在矿山测量中的应用

2.1 矿区地形地貌测绘

(1) 传统矿区地形测绘依赖人工实地测量，面临地形复杂、危险区域难抵达等问题，而无人机倾斜摄影测量技术可快速突破这些限制。作业时，无人机搭载多镜头相机系统，按照预设航线低空飞行，同步获取矿区垂直与倾斜方向的高分辨率影像，影像重叠度达60%-80%，为后续数据处理提供充足特征点。通过影像畸变校正、空中三角测量等流程，生成高精度点云数据，再结合专业软件（如ContextCapture）构建矿区三维地形模型，基于模型可自动提取等高线、高程点、地物边界等信息，快速绘制1:500至1:2000等不同比例尺的地形图，相比传统方法，效率提升3-5倍，且能覆盖人工难以涉足的采空区、高陡边坡等区域^[1]。(2) 绘制完成的地形图是矿山设计与开采规划的核心基础数据。在矿山设计阶段，设计人员依据地形图明确矿区地形起伏、地表附着物分布（如植被、建筑物、道路），合理规划工业广场、井口位置、运输线路等设施布局，避免因地形认知偏差导致设计方案不合理。在开采规划中，地形图可辅助确定开采范围的边界高程、矿体埋藏深度，结合矿体

分布情况划分开采台阶,计算台阶高度、平台宽度等关键参数,同时为开采设备选型、运输路线优化提供地形依据,确保开采规划兼具经济性与可行性,减少后续施工调整成本。

2.2 矿体识别与储量估算

(1) 无人机倾斜摄影获取的高分辨率影像(分辨率可达5-10cm),能清晰呈现矿区地表岩性差异、矿化带分布及矿体露头特征。通过影像解译技术,结合地质勘探资料(如钻孔数据、地质剖面图),可精准识别矿体边界——例如,利用影像中矿体与围岩的颜色、纹理差异,标记出矿体的地表出露范围;对于缓倾斜或隐伏矿体,可结合三维地形模型分析地形坡度、坡向与矿体赋存规律的关联性,辅助推断矿体延伸方向与形态,形成可视化的矿体分布示意图,相比传统地质填图,能更直观、全面地反映矿体空间位置^[2]。(2) 在储量估算环节,基于无人机构建的高精度三维矿体模型,可替代传统二维图纸估算方法。技术人员将矿体边界数据、钻孔揭露的矿体厚度与品位数据导入三维建模软件,采用地质统计学方法(如克里金插值法)对矿体内部品位、厚度进行空间插值,生成三维矿体品位模型与厚度模型。随后,通过软件自动计算不同开采标高、不同区域的矿石体积,结合矿石密度参数,精确估算矿石储量(包括可采储量、远景储量),误差可控制在5%以内,远低于传统方法10%-15%的误差率。同时,三维模型支持动态更新,当新增钻孔数据或开采揭露新矿体信息时,可快速修正模型,实时更新储量数据,为矿山资源开发决策提供精准数据支持。

2.3 开采规划与模拟

(1) 传统开采规划依赖人工经验制定,易忽视地形与矿体的空间匹配性,而基于无人机三维模型的规划方法可实现多维度优化。在开采边界优化上,结合三维地形与矿体模型,分析矿体赋存深度与地表地形的关系,避免因开采边界不合理导致的资源浪费(如遗漏边缘矿体)或过度开采(如开采无关围岩);在开采顺序规划中,通过三维模型模拟自上而下、分层开采或分区开采等不同方案,对比各方案的剥采比、运输距离、设备利用率,选择最优开采顺序;对于露天矿山,还可基于模型优化开采台阶参数(如台阶坡面角、安全平台宽度),在保障安全的前提下提升开采效率。(2) 虚拟开采模拟是无人机技术在规划阶段的核心应用之一。借助三维可视化软件,将开采方案转化为动态模拟动画,可直观展示未来3-5年的开采进度——例如,模拟不同时间段的采场形态变化、矿石产出量、排土场堆积情况,提前预测潜在问题;若模拟发现某

阶段排土场容量不足,可及时调整排土规划,增设临时排土区域;若模拟显示边坡开挖后可能出现局部坍塌风险,可提前优化开挖顺序或采取加固措施。此外,模拟结果可用于开采方案论证,帮助矿山管理层、技术人员、施工团队直观理解规划意图,减少沟通误差,确保开采方案落地执行的一致性。

2.4 生产监控与安全管理

(1) 在矿山生产过程中,无人机可按固定周期(如每周1次)对开采区域进行倾斜摄影,生成阶段性三维模型,与初始规划模型进行对比分析。通过模型叠加,可量化监测开采进度——例如,计算实际开采量与计划开采量的偏差,判断是否存在超采、欠采问题;监测采场边界的实际推进位置,确保开采范围不超出设计红线;同时,跟踪运输道路、排土场等设施的建设进度,及时发现施工滞后环节,督促整改,保障生产按计划推进。相比传统人工巡检,无人机监控覆盖范围更广(单次可覆盖5-10km²矿区),且能快速生成数据报告,提升监控效率。(2) 安全管理是矿山运营的核心,无人机三维模型可有效助力隐患排查。在边坡稳定性分析中,通过定期获取边坡区域的三维点云数据,计算不同时期的边坡变形量(如位移速率、累计位移),结合岩土力学参数,评估边坡稳定性等级——若发现某区域位移速率超过预警阈值(如日均位移大于5mm),可及时发出预警,组织人员撤离并采取加固措施(如锚杆支护、削坡减载)。在尾矿库管理中,利用三维模型计算尾矿库实际库容,对比设计库容与现有堆积量,预测库容饱和时间;同时监测尾矿坝坝体形态变化,分析坝体是否存在沉降、裂缝等隐患,避免溃坝事故发生,为矿山安全生产提供双重保障^[3]。

2.5 环境监测与矿山复垦

(1) 矿山开采易引发植被破坏、土壤侵蚀、地表塌陷等环境问题,无人机倾斜摄影技术可实现常态化环境监测。通过定期拍摄矿区影像,结合三维模型对比分析,量化评估环境影响程度——例如,利用影像解译统计不同时期的植被覆盖面积变化,计算植被破坏率;通过三维地形模型分析采空区上方地表的沉降量,判断塌陷风险范围;监测矿山废水排放口周边水体的颜色、范围变化,辅助评估水污染程度。同时,将监测数据与环保标准(如《矿山生态环境保护与恢复治理技术规范》)对比,生成环境影响评估报告,为环保部门监管与矿山环境整改提供客观依据^[4]。(2) 在矿山复垦阶段,无人机技术可为生态修复提供全流程数据支持。复垦前,基于三维模型规划复垦区域的土地利用类型(如

耕地、林地、草地),结合地形坡度、土壤厚度等数据,优化复垦方案——例如,在缓坡区域规划耕地,陡坡区域规划林地,确保复垦方案符合当地生态条件。复垦过程中,通过无人机监测复垦工程进度(如土壤改良面积、植被种植数量),确保施工符合设计要求。复垦后,定期拍摄影像并分析植被成活率、土壤肥力变化,评估复垦效果;对于复垦不达标的区域,结合三维模型查找问题原因(如土壤厚度不足、灌溉设施不完善),针对性调整修复措施,推动矿山生态环境持续改善,助力实现“绿色矿山”建设目标。

3 无人机倾斜摄影测量技术在矿山测量中面临的挑战与对策

3.1 技术挑战

(1) 矿山多处于山区、深凹采场等复杂地形区,高陡边坡、密集矿岩堆易遮挡无人机信号,导致GPS定位偏差,使飞行航线偏离预设轨迹,增加碰撞风险。同时,采场内部易形成局部乱流,干扰无人机飞行姿态,造成影像拍摄抖动,导致影像重叠度不足、清晰度下降,影响后续建模精度。此外,矿山常见的大风(风速超6m/s)、沙尘、短时暴雨等恶劣天气,会直接限制作业——大风可能导致无人机失控,沙尘附着镜头影响成像质量,暴雨则会损坏设备,导致数据采集中断或失败。

(2) 无人机倾斜摄影单次作业需拍摄数千张高分辨率影像(单张约20-50MB),叠加GPS、IMU数据,整体数据量可达数十至数百GB。海量数据给存储带来压力,传统本地硬盘存储不仅占用空间大,还存在数据丢失风险;数据处理环节更面临难题,从影像校正、空中三角测量到三维建模,需大量计算资源,普通计算机处理一套矿区数据往往需要数天,且易出现卡顿、建模中断,严重拖慢矿山测量进度,影响后续开采规划与决策。

3.2 对策与建议

(1) 应对复杂地形,需提前获取矿区高精度地形测绘数据(如1:500地形图),据此规划避障航线,避开危险区域并预留安全高度(高于障碍物5-10m)。同时,

为无人机搭载激光雷达与视觉避障传感器,实时探测周边障碍物,自动调整飞行路径,避免碰撞;选用具备地形跟随功能的机型,通过传感器实时感知地面高度,保持飞行姿态稳定,确保影像采集质量。(2) 针对恶劣天气,作业前需通过专业气象平台监测矿区未来24小时天气,选择风速小于5m/s、无降水、能见度超5km的时段作业。为无人机配备防水防护罩与防沙尘镜头罩,应对突发小雨或沙尘;配备备用电池与应急降落点,若天气突变,可快速返航或紧急降落,减少设备损耗。(3) 处理海量数据,存储上采用“本地服务器+云端存储”模式,本地存储高频使用数据,云端(如阿里云、华为云)存储历史数据与备份,保障数据安全且节省空间。处理上配置多核CPU、专业显卡的高性能工作站,或借助云计算的分布式计算资源并行处理数据,将处理时间缩短至数小时;同时采用无损压缩算法减小影像体积,降低存储与传输压力,提升整体效率。

结束语

综上所述,无人机倾斜摄影测量技术在矿山测量领域展现出了显著的优势和应用潜力。其不仅能够快速、准确地获取矿山地形地貌、矿体分布等关键信息,还能有效支持开采规划、环境监测与复垦评估等工作,为矿山的安全、高效、可持续发展提供了有力保障。随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,无人机倾斜摄影测量技术将在矿山测量领域发挥更加重要的作用,为矿山资源的合理利用与环境保护作出更大贡献。

参考文献

- [1]张勇.无人机倾斜摄影在矿山测量中的应用研究[J].河南科技,2023,42(16):30-34.
- [2]尹金江.无人机倾斜摄影测量技术矿山测量中的应用[J].世界有色金属,2023(12):23-25.
- [3]杨深.无人机倾斜摄影测量在矿山测绘中的应用探讨[J].中国金属通报,2022(09):129-131.
- [4]徐昌.无人机倾斜摄影测量技术在矿山综合治理工程中的应用研究[J].世界有色金属,2021(09):233-234.