

Application of UAV Imaging Technology in Mine Geological Surveying and Mapping

Qi Chen

Inner Mongolia Fifth Geological and Mineral Exploration and Development Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014000, China

Abstract

Mine geological surveying is characterized by steep slopes, significant elevation variations, and rapidly changing working conditions, where ground surveys are often constrained by line-of-sight limitations and safety boundaries. UAV imagery, through low-altitude imaging, enables rapid coverage, allowing for the acquisition of continuous images within short cycles and the generation of measurable results. These findings are utilized for tasks such as verifying current mining conditions, mapping slope morphology, and inspecting tailings pond areas. Starting from the operational workflow of mining, this paper outlines the application value and key aspects of UAV imaging technology, proposes actionable technical arrangements for frontline implementation, and provides a basis for precision control and efficiency enhancement.

Keywords

mine; geological surveying and mapping; UAV imaging technology; application; key points

矿山地质测绘工作中无人机影像技术运用

陈祺

内蒙古第五地质矿产勘查开发有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014000

摘要

矿山地质测绘具有边坡陡、高差大、作业面变化快等特征,地面测量常受通视与安全边界限制。无人机影像通过低空成像实现快速覆盖,可在短周期获取连续影像并形成可量测成果,用于采场现状复核、边坡形态表达与尾矿库库区核查等任务。本文从矿山作业流程出发,梳理无人机影像技术的应用价值与关键要点,提出一线可执行的技术安排,为精度控制与效率提升提供依据。

关键词

矿山; 地质测绘工作; 无人机影像技术; 运用; 要点

1 引言

进入新时期以来,无人机倾斜摄影测量技术、无人机遥感技术等新技术广泛应用到矿山测绘中,帮助测绘人员搜集各类动态因素、数据,并把测量结果精细化呈现出来。对比无人机影像技术和传统测绘技术,无人机影像技术工作效率更快,准确度更高,测量后的图像更清晰,人工参与数量更少,可探测目标距离更远^[1]。基于此,文章将通过文献研究与实践情况下就矿山地质测绘工作中无人机影像技术运用提出几点看法,以供参考。

2 无人机影像技术概述

无人机影像技术是以多旋翼或固定翼为平台,搭载可见光相机(必要时配多光谱、倾斜镜头)及GNSS/IMU定

位定姿单元,按航线获取高重叠影像,并用摄影测量方法解算地物三维几何的测绘技术手段。其优势是起降灵活、反应快,适合矿区小范围高精度更新。外业重点控制航高与地面分辨率、航向/旁向重叠、曝光一致性,以及像控点与检核点布设;内业先做空中三角测量求外方位元素,再密集匹配生成点云、DSM/DEM,随后正射校正、镶嵌匀色,形成DOM、DLG及实景三维模型。在测绘实践中,旋翼机适用于小范围、起降受限与高差突出的近距离航摄,固定翼或复合翼更适合线状矿区与大面积覆盖作业。系统通常配套GNSS/IMU姿态定位单元,可采用RTK或PPK方式提高外方位元素可靠性,并在出场或项目初期完成镜头畸变检校以稳定几何精度。常见成果包括正射影像图、数字表面模型及由密集匹配生成的点云或网格模型,可用于量测距离、高程、坡度与体积等指标。近年来国家层面针对无人机遥感测绘的注册与规范化管理持续完善,为生产单位的装备、流程与质量控制提供了统一依据。

【作者简介】陈祺(1988-),男,中国内蒙古包头人,本科,工程师,从事测绘研究。

3 矿山地质测绘工作中无人机影像技术运用价值

在矿山地质测绘中,无人机影像的首要价值体现在“可达性替代”。面对露天采场台阶、排土场与塌陷边缘等高危区,航摄可在不进入危险带的条件下完成现状获取,减少人员暴露并保持测区连续覆盖。其次,其对快速变化地表具有高时效优势,适合矿山季度巡测、复垦阶段验收与临时工程量核算,通过同一基准下的多期成果对比,可支撑越界开采判识、采剥界线复核与施工扰动范围核定等工作。再次,低空厘米级地面分辨率可增强细部表达,对矿体露头、台阶边线、排水设施与运输道路的几何形态更易落图,便于与地面点位检核形成闭合链。再者,正射影像与三维成果在执法检查中具备可追溯的图件属性,能够把“位置、范围与量测结果”同步固化,解决仅凭现场照片难以定量的问题。最后,在尾矿库等范围广、地形复杂的场景,无人机摄影测量能够形成三维点云与模型,为变形位移分析和库区形态量测提供统一空间参照,并可在强降雨后开展快速复测以补齐应急底图^[2]。

4 矿山地质测绘工作中无人机影像技术运用

4.1 航摄设计与覆盖控制

在露天矿山地质测绘的无人机航摄组织中,航摄设计与覆盖控制应以可判读细部与稳定接边为主线统筹参数。第一,依据任务比例尺、台阶高差与采场最小可辨细部,确定地面像元尺寸目标与允许边界漂移量,再反算航高、焦距与航速的匹配区间,露天采场宜设置垂直与倾斜两类航带,倾斜航带以覆盖边坡中下部为准,使台阶边线、坡脚与道路边缘在像面形成稳定像素宽度,针对裸岩反光与煤系暗部并存区,采用较短曝光时间并限制增益波动,配合转弯缓冲段减小速度突变。第二,重叠度按起伏幅度与遮挡风险分级设定,缓坡区保持较高航向重叠与旁向重叠,边坡转折、采坑拐角与排土场沟谷区提高旁向重叠并增加交叉航线,对阴影带与迎光反射带设置外扩覆盖带,同时将覆盖边界外推至矿界外一定距离,外推量以边缘畸变控制与接边需要综合确定,避免有效测区被边缘变形侵入。第三,航线方向以主采剥走向和台阶展布为主,结合当班风向设定偏航限值与侧滚限值以约束姿态离散,高差突变区可分区分层飞行或采用地形跟随,控制相对航高波动并保留前方遮挡余量,航前依据现势地形与障碍物清单核算安全净空,对输电线、皮带廊道、通信塔及爆破警戒区划定禁飞边界与转弯缓冲段。第四,实施前开展试飞条带并现场核查清晰度、曝光一致性与边界闭合,并抽查典型相片的亮度分布与对比度,对关键拐角外扩带进行复核,重点检查坡面细纹、台阶棱线与道路边缘的连续性,若出现运动模糊,过曝反光或覆盖缺口,应及时调整快门、曝光补偿、航速与航带间距,并保持航高与相机倾角一致以减少色调差异,在同一光照窗口内完成补飞,补飞后

再次核查重叠与覆盖闭合度,最后将调整参数、气象条件、起降时间与异常处置记录录入飞行日志归档^[3]。

4.2 控制基准与检核点布设

为保证矿区无人机航摄成果在覆盖与尺度上的一致性,作业前航摄设计需从测图尺度目标向飞行参数逐级反算并形成可复核的控制链。第一,以任务比例尺、台阶几何与构筑物细部为约束先确定目标地面分辨率与最小可判读宽度,再依据相机焦距与传感器尺寸反算航高,并同步限定航速与曝光时间以控制像移量,露天采场宜在垂直影像基础上增设 15° – 25° 倾斜带,使坡顶坡脚、采剥界线与裂隙走向在相片上具有稳定像素宽度且便于后续判读。第二,在航高与分辨率确定后开展重叠度与航带布设,常规区航向重叠控制在75%–80%、旁向控制在65%–70%,航带两端预留超前与超出距离并将转弯段剔除为无效影像,地形起伏与遮挡显著区按相对高差分级加密并增加交叉航线,边坡转折、排土场沟谷与高墙阴影带需设置外扩覆盖带与补拍扇区,覆盖边界外推至矿界外一定距离以减弱边缘畸变对有效测区的侵入。第三,随后落实航线方向与分区分层策略,航线宜与主采剥走向或台阶走向平行并结合主导风向设置偏航限值与侧滚限值,在高墙立面作业时可在坡外侧设置并行倾斜航带以削弱单侧遮挡,遇到高差突变可按采场、排土场与工业广场分区分层飞行并保持连接带连续,必要时采用等高分层航线使同一航带内相对航高稳定,避免尺度突变引起块间阶差与覆盖断裂。第四,覆盖控制需形成现场可核查的闭环,飞行过程中按航带逐条核对航迹间距、拍摄间隔与重叠实测值,结合台阶角点、道路交叉口与堆坡脊线在相邻像片中的连续显现情况进行抽检,发现断带或遮挡导致纹理缺失时,按“缺口外扩一条航带、前后各加一段航程”的补飞原则回飞补拍。电池分段作业保持航带起止点一致,分段交接处设置不少于两条航向基线的重叠段,并避开爆破警戒区、高压线和通信塔设置安全缓冲与备降点位,确保覆盖连续且无安全盲区。

4.3 影像几何与辐射质量控制

矿山地质无人机测绘航摄中,几何约束与辐射一致性必须在同一作业链条内同时受控。第一,起飞前完成相机内方位参数核对与安装刚性检查,并检查镜头紧固、遮光罩与滤镜装配,焦距与对焦方式固定并全程保持一致,云台俯仰与滚转设定为常值,飞行中关闭自动对焦与自动曝光补偿,起降或遇风后立即试拍,依据边缘畸变、拖影与尺度变化判断是否存在系统漂移,滚动快门机型同步降低航速并提高旁向重叠以削弱形变^[4]。第二,进入航带前按太阳高度角与采场阴影带选择采集窗口,优先在光照均匀时段作业并避开逆光,起飞前在测区边缘对标准灰卡连拍作为辐射基准,单次测区尽量在同一光照阶段完成,采装扬尘明显时按上风向进入并在关键台阶区等待尘降,航带方向尽量一致以减小阴影形态差异,云影穿越测区形成明暗分带时暂停并重飞缺段。第三,航摄过程中保持参数批次统一,固定ISO与白平衡

并以快门速度匹配地速保证清晰度，并以道路边缘与台阶棱线作为判读对象，必要时通过减光镜或调整航高使光圈处于稳定区间并抑制高光饱和，回收后按航带抽检直方图、亮度均值与暗角程度，出现亮度跳变先排查滤镜污染、镜头结露与参数被动变化，确认异常即将该航带列入返飞清单并留存抽检样片。第四，在完成辐射抽检后同步开展几何检核，利用控制点与检核点快速计算重投影残差并检查航带间连接点密度，检核点覆盖采场、排土场与工业广场并包含高差极值区，残差统计同时关注均值、最大值及残差向量方向，重点识别边坡侧同向偏移、块边阶差与旁向重叠区接边错位，若残差呈带状集中或接边出现拉伸，优先按原航向外扩一至两条航带补拍并保持同一光照时段，补拍后复算残差直至满足内控阈值，同时形成航带、时间与参数的现场记录作为复测依据便于多期对比。

4.4 成果生成与量测算子设置

为使无人机影像成果在矿山地质测绘中可直接进入核算与监测台账，成果生成与量测算子需在同一检核框架内同步设置。第一，空三解算按采场、排土场、工业广场分块建网并以连接带贯通，每块控制点配置兼顾平面范围与高差层级，坐标高程统一用矿区工程基准，涉及国家系统时先完成参数转换并以检核点复测校验，解算后统计控制点残差与重投影误差并独立计算检核点平面与高程误差，随后检查误差在坡顶坡脚的空间趋势，若沿台阶走向出现系统偏移或块间阶差，应补飞跨坡连接影像并剔除低质量连接点后重新平差。第二，点云成果先清理飞点与孤立点，再按裸岩、堆体、植被与水面分类，对水面与大阴影区可先做遮蔽区标记以减少误判，台阶棱线、陡坎与堆料尖峰区引入断裂线约束并开展局部人工复核，地面模型同步输出不规则三角网与规则格网，格网分辨率按台阶最小宽度与坡面起伏确定，并以典型剖面、控制点高程及现场测线比对，发现过度平滑时补绘坡顶坡脚断裂线并重算局部模型。第三，正射影像统一投影与分辨率输出，缝线沿道路与沟谷等稳定纹理区布设并逐段核

查色调过渡、错位与边缘拉伸，检查时叠加既有道路中心线、采剥边界线与构筑物外轮廓进行追踪核对，重点保证道路边缘、采剥界线与构筑物轮廓连续性，同时由高程模型派生等高线、坡度与坡向要素并按图式抽稀整饰^[5]。第四，工程量与形变量测先明确算子、边界与基准面，采场方量宜采用多期地表模型差分并设定一致的有效计算区，差分结果以剖面法抽检复核并与全站仪或差分定位测线对照，基准面可采用设计标高面或稳定裸岩面并保持多期一致，尾矿坝与高陡边坡等关键区在固定断面提取高程变化并给出允许误差范围，同时输出分区方量与异常区清单，计算过程中保留原始模型版本、差分模型与边界线文件，边界调整须记录依据以便复算。

5 结语

综上所述，无人机影像在矿山地质测绘中的优势来源于低空覆盖与摄影测量量测链的结合，但成果可靠性取决于航摄设计、控制基准、影像质量与解算流程的全程约束。对于采剥活动频繁、地表扰动强的矿区，应将多期成果的基准一致性作为首要前提，并把现场检核与成果复算纳入常态流程。综合而言，按规范化流程组织航摄与解算，可在保证安全边界的同时稳定输出可量测成果。

参考文献

- [1] 谢学政. 矿山地质测绘工作中无人机影像技术运用[J]. 世界有色金属, 2024(5):148-150.
- [2] 周坚. 无人机测绘技术在地质矿产勘查中的应用[J]. 中国高新技术, 2023(10):150-152.
- [3] 李泽雷, 李拓, 张向波. 无人机航测技术在矿山地质环境监测中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [4] 陈淑芳, 徐进军. 无人机低空摄影测量技术用于矿山测绘的研究[J]. 江西测绘, 2023(2):33-36.
- [5] 杜艳忠, 黄东锋. 测绘工程中无人机影像处理技术的应用策略探究[J]. 新疆有色金属, 2025, 48(1):14-16.