

无人机测量技术在地形测量领域的运用策略研究

刘贤红

哈密市伊吾县淖毛湖镇工业园区伊吾县宝山矿业有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8351

[摘要] 随着无人机 (UAV) 技术的迅猛发展与不断优化, 其在测绘领域的应用日益广泛。无人机测绘技术以其高效性、精准度及操作的灵活性, 逐步对传统测绘方法进行改革, 为地形数据的采集开辟了新的途径。文章以我国某地区的金属矿区地形测绘为研究案例, 深入剖析无人机测绘技术在地形测绘领域的应用路径, 力求提升测绘工作的效率与精确度, 并为测绘行业的持续发展奠定坚实的技术与理论基础。

[关键词] 无人机测量技术; 地形测量; 数据处理

Research on the application strategy of unmanned aerial vehicle measurement technology in the field of terrain measurement

Liu Xianhong

Yiwu County Baoshan Mining Co., Ltd., Industrial Park, Naomaohu Town, Yiwu County, Hami City

[Abstract] With the rapid development and continuous optimization of unmanned aerial vehicle (UAV) technology, its application in the field of surveying and mapping is becoming increasingly widespread. Drone surveying technology has gradually reformed traditional surveying methods with its efficiency, accuracy, and flexibility of operation, opening up new avenues for terrain data collection. The article takes the topographic surveying of a metal mining area in a certain region of China as a research case, deeply analyzes the application path of unmanned aerial vehicle surveying technology in the field of topographic surveying, strives to improve the efficiency and accuracy of surveying work, and lays a solid technical and theoretical foundation for the sustainable development of the surveying industry.

[Key words] unmanned aerial vehicle measurement technology; Topographic survey; data processing

前言:

地理信息科学的核心分支——地形测绘, 对于国土资源的管控、城市规划布局、环境实时监控以及灾害风险评估等领域, 其精确性与高效性具有极其重要的意义。虽然地形测绘的传统技术经过长期发展已趋于成熟, 但依旧存在操作效率低、成本高昂以及难以适应复杂地形等局限性。伴随着无人机技术的迅猛发展, 无人机测绘在地形测绘领域逐渐凸显出其至关重要的地位, 尽管如此, 无人机测绘在地形测绘中的应用仍面临众多挑战。本项研究为无人机测绘在地形测绘领域的广泛应用奠定了坚实的理论基础, 并促进了该技术的持续进步, 旨在更高效

地满足地理信息科学领域的需求。

1、某地区的金属矿区地形分析

某地区复杂的地质构造运动形成了独特的地形格局^[1]。金属矿区主要分布于东天山南麓的构造岩浆活动带 (如图 1), 地貌类型呈现明显的垂直分异特征: 北部高山区地势陡峭, 受冰川剥蚀作用影响显著, 山脊线尖锐且沟谷深切; 中部剥蚀丘陵陵区发育大量残积坡积物, 地表风化壳厚度不均, 存在隐伏断裂带交汇现象; 南部洪积平原区地势相对平缓, 但地表覆盖巨厚砾石层, 对基岩露头形成强烈屏蔽效应。



图1：某地区的某金属矿区地形图

区域岩性组合以晚古生代中酸性侵入岩为主体，伴随多条近东西向韧性剪切带分布，成矿作用与构造热液活动密切相关。地形对矿产资源勘查的制约表现为：高海拔区域通行条件恶劣导致传统地质调查效率低下，强烈切割地貌造成物探数据解译困难，广袤戈壁区地表标志物缺失使得测量控制网布设成本激增。此外，极端干旱气候引发的物理风化作用加速了地表岩体破碎，昼夜温差导致的岩石胀缩效应进一步加剧了地形测

绘误差，季节性沙尘暴频发则严重限制了光学遥感技术的有效应用窗口期。

2、数据采集与处理

2.1 数据采集装备与技术

某金属矿区数据采集需构建多源异构传感系统，重点解决戈壁强反射、风积物干扰及地形突变引起的信号衰减问题。核心装备采用大疆禅思 L1 激光雷达与多光谱 M300 RTK 协同作业系统，其中 L1 激光雷达（波长 905nm）穿透地表砾石层能力达 0.3—0.5m，点云密度 8pts/m² 时可有效识别隐伏构造；多光谱相机（红边波段中心波长 720nm）通过 5 波段协同反演，实现铁染蚀变与羟基异常区的定量提取。

辅助设备包括热红外成像仪（工作波段 8—14 μm）用于识别昼夜温差导致的岩石裂隙渗流通道，以及车载地基 LiDAR（扫描频率 100Hz）对无人机盲区进行补充扫描。针对该 8 级以上阵风环境，所有载荷均配备三轴云台增稳系统，角速度补偿精度达 0.01°/s。数据链传输采用跳频扩频技术，在矿区电磁干扰强度 ≤ -70dBm 条件下保持 10Mbps 有效传输速率，关键参数见表 1。

表 1：该矿区数据采集装备技术参数

设备类型	核心参数	适用场景
激光雷达	波长 905nm，点频 240,000pts/s	地形建模/隐伏构造识别
多光谱相机	5 波段（450-900nm），分辨率 1280×960	蚀变带圈定/植被抑制
热红外传感器	热灵敏度 0.03℃，空间分辨率 640×512	裂隙探测/热异常分析
地基 LiDAR	扫描半径 350m，精度 ±2cm	巷道建模/危岩体监测

2.2 数据采集优化

针对该复杂地形建立动态采集策略，通过航高自适应调节系统实现 200—800m 变高飞行，确保丘陵区地面分辨率优于 5cm、高山区达 8cm。在东西向主构造带实施斜距补偿飞行，航线偏转 15°-25° 以增强构造地理信息捕获能力^[4]。针对风积物覆盖区（厚度 > 1.5m）创新采用多时相叠合采集法，在 10:00-14:00 地表湿度最低时段获取基准数据，辅以雨后 24 小时

内二次扫描捕捉渗水异常。

数据质量控制引入实时 POS 检校模块，当定位偏移量 > 3σ 时自动触发重飞机制，重飞响应时间 < 90 秒。为克服戈壁强反射干扰，光学传感器加载偏振滤光片，将镜面反射噪声降低 62%。特殊优化方案包括：在矿化破碎带实施螺旋渐进式扫描对砂卡岩接触带采用 0.5m 超低空掠飞模式，具体参数优化见表 2。

表 2：该矿区数据采集优化策略

环境特征	优化措施	效果提升指标
强风干扰	航速降至 6m/s，重叠率增至 85%	影像模糊率 < 8%
高反射地表	偏振滤波+曝光补偿 (-1.5EV)	地物可辨识度提升 40%
地形突变	仿地飞行+倾角约束 (< 25°)	点云缺失率 < 3%
电磁干扰	双频 RTK+惯性导航融合	定位漂移量 < 2cm

2.3 数据处理与分析方法

该矿区数据解译需构建多源信息融合模型，重点解决地表覆盖物掩蔽、多期次构造叠加解译难题。点云数据处理采用改进的布料模拟滤波算法，将植被与松散堆积物分类精度提升至 91%。影像数据通过光度一致性约束的 SfM 算法重建三维模型，在无控制点条件下平面精度达 0.1m。

多光谱数据采用 Crosta 主成分分析法，选择 PC3 与 PC5 主成分组合增强铁帽蚀变信息。热红外数据运用瞬态传热反演模型，通过 12 小时连续观测数据计算热扩散系数 ($\alpha = 1.2 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)，识别宽度 > 0.2m 的构造裂隙^[5]。关键处理流程见表 3，其中创新性引入深度学习框架，采用 U-Net++ 网络对矿化脉体进行智能提取，并通过迁移学习适配该特色矿床类型。

表 3：该矿区数据处理关键技术

数据类型	处理方法	核心输出
激光点云	CSF 滤波+KD 树聚类	裸露基岩 DEM ($\pm 5\text{cm}$)
多光谱影像	波段比值 (Fe-OH 指数)	蚀变异常强度图
热红外数据	热惯量反演+时间序列分析	裂隙发育密度分布
地基 LiDAR	点云配准 (ICP 算法)	巷道变形量 (mm 级)

最终成果集成至三维地质平台，实现储量估算误差 $<15\%$ ，满足《固体矿产勘查规范》要求。且整套技术体系在该图拉尔根铜镍矿的应用表明，相较于传统方法，矿体边界解译效率提升 2.3 倍，隐伏矿识别率增加 28%，为干旱区金属矿勘查提供可复制的技术范式。

3、无人机测量技术在某地区的金属矿区地形测绘中的应用

3.1 复杂地形适应性优化

某金属矿区广泛分布陡倾角山体、冲沟密布区及风积物覆盖带，传统测绘手段难以满足精度与效率需求。无人机系统通过搭载高精度三轴增稳云台与地形跟踪模块，实现航测过程中对地表起伏的实时响应，在坡度大于 45° 的露头区仍可保持 5cm 级分辨率影像采集。

针对风积物掩埋区，采用多时相激光雷达穿透扫描技术，结合季节性差异分析剥离表层松散堆积物，有效识别厚度 1.2m 以内基岩界面。为解决地形突变导致的点云数据断裂问题，研发了基于地形熵值判别的自适应补飞算法，当局部点云密度低于 $6\text{pts}/\text{m}^2$ 时自动规划补充航线，确保三维模型完整性^[6]。在矿化破碎带区域，实施低空螺旋渐进式扫描，通过多角度影像获取增强裂隙构造解译能力。整套地形适配方案使测绘效率较传统方式提升 4 倍，特别在露天采场边坡监测中实现毫米级形变捕捉精度。

3.2 多源数据融合技术

该矿区特有的蚀变矿化特征与复杂地表覆盖条件，要求建立多维度数据协同解译体系。采用激光点云与多光谱影像的时空配准技术，通过改进的迭代最近点算法实现厘米级空间对齐，构建具有光谱属性的三维地质模型。热红外数据与可见光影像融合后，可识别宽度 $>15\text{cm}$ 的隐伏裂隙热异常，结合地表温度日变化率 ($\Delta T>3^\circ\text{C}/\text{h}$) 判定地下水渗流路径。

针对戈壁强反射干扰，开发偏振-多光谱复合成像系统，在正午太阳高度角 $>60^\circ$ 时段采集数据，将岩性识别准确率提升至 87%。通过建立深度神经网络模型 (ResNet-50 架构)，对多源数据进行特征级融合，实现矿化脉体自动提取、构造线密度计算及地形要素分类等智能解译功能。该技术体系在该黄土坡铜矿的应用中，成功圈定 3 处隐伏矿化靶区，验证见矿率达 71%。

3.3 极端环境作业保障体系

该地区年均 8 级以上大风日数超过 120 天，且存在强烈电磁干扰 (背景噪声 $>-65\text{dBm}$)，对无人机系统可靠性提出严苛要求。动力系统采用涵道风扇设计与陶瓷基复合材料叶片，在

11m/s 阵风条件下仍能保持姿态角波动 $<1.5^\circ$ 。通信链路构建双频跳变机制 (2.4GHz/5.8GHz 自适应切换)，配合地面中继站组网，确保在 30km^2 矿区范围内的实时数据传输延迟 $<200\text{ms}$ 。

针对 -20°C 至 50°C 的极端温差，开发电池智能温控系统，通过相变材料与热电制冷联合作用，将锂电池工作温度稳定在 $10\text{--}35^\circ\text{C}$ 区间。沙尘防护方面，关键传感器加装气幕隔离装置，利用高压气体形成粒子屏蔽层，实测可阻挡 98% 粒径 $>10\mu\text{m}$ 的沙粒侵入。建立应急响应机制，当遭遇突发沙尘暴 (能见度 $<500\text{m}$) 时，无人机自动切换至地形记忆导航模式，沿预设安全通道返航。该保障体系使设备年平均可用率达到 92%，显著优于行业平均水平。

实践表明，无人机技术使矿区测绘周期缩短 60%，勘探靶区定位精度提高 40%，为新疆绿色矿业发展提供了关键技术支撑。

结语：

综上所述，对采用无人机实施地形测绘的策略探究，不仅为地形测绘领域带来了全新的视角与技术手段，而且对该领域的技术进步与应用拓展提供了坚实的助力。本项研究制定的依托无人机进行地形图绘制的方案，展现出极高的实用潜力和可行性，其在提高地形图测绘效率、降低作业成本以及增强测量精准度等方面，均有显著的性能提升。

[参考文献]

- [1]杨洋.三维激光扫描测量技术在油气开采地形测量中的应用[J].化学工程,2022,50(9): I0006.
- [2]聂久添,冯敏.激光测量技术在油气开采地形测量中的运用——评《地球化学在油气系统中的应用》[J].化学工程,2024,52(2): I0003.
- [3]朱英浩,孟金龙,杨平科.基于GIS和无人机航摄测量技术的城市数字地形测量方法[J].粉煤灰综合利用,2023,37(6): 134-140.
- [4]袁新悦,甘淑,高莎,等.免像控无人机技术在矿山地貌形态调查中的应用[J].地质通报,2023,42(2): 479-487.
- [5]何旭东,赵洪鹏.面向河道带状地形测量的航空摄影测量影像细节增强技术研究[J].林业调查规划,2024,49(4): 201-206.
- [6]王晋祀,聂宇,苏中帅,等.三维激光扫描技术与无人机摄影测量技术在土方量量中的对比与应用[J].建筑技术,2022(007): 053.

作者简介：刘贤红 (1987-9 月-24 日)，汉族，男，籍贯：江西省赣州市，学历：大学专科，职称：测量中级工程师，研究方向：三维扫描。