

# The application strategy of UAV aerial photogrammetry technology in geological mapping

Yilei Duan

Shaanxi Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

## Abstract

The application of UAV aerial photogrammetry technology in the field of geological surveying and mapping is deepening. With its characteristics of high efficiency, precision and low cost, it provides technical support for geological exploration, mineral resources survey and geological disaster monitoring. The UAV is equipped with high-precision cameras and laser radar, which can quickly obtain large-range and high-resolution geomorphological data, and build high-precision digital elevation model (DEM) and digital orthophoto image (DOM) through photogrammetric processing technology. The mapping capability of this technology in complex terrain areas is better than the traditional means, which can overcome the limitations of manual mapping and improve the operation safety.

## Keywords

geological surveying and mapping; UAV; aerial photogrammetry; terrain modeling; remote sensing technology

## 浅析地质测绘中无人机航空摄影测量技术的运用策略

段艺蕾

陕钢集团汉中钢铁有限责任公司, 中国·陕西 汉中 723000

## 摘要

无人机航空摄影测量技术在地质测绘领域的应用不断深化, 凭借其高效、精准、低成本的特点, 为地质勘探、矿产资源调查、地质灾害监测等提供了技术支持。无人机搭载高精度相机和激光雷达, 可快速获取大范围、高分辨率的地貌数据, 并通过摄影测量处理技术构建高精度数字高程模型 (DEM) 和数字正射影像图 (DOM)。该技术在复杂地形区域的测绘能力优于传统手段, 能够克服人工测绘的局限性, 提高作业安全性。

## 关键词

地质测绘; 无人机; 航空摄影测量; 地形建模; 遥感技术

## 1 引言

地质测绘是地质勘探、矿产调查、地质灾害评估及生态环境研究的核心技术环节, 传统测绘方式依赖地面测量与航拍影像, 受地形环境、气候条件及人力因素影响较大。无人机航空摄影测量 (UAV Photogrammetry) 作为新兴测绘技术, 凭借高效、灵活及精细化测绘的优势, 在地质测绘领域展现出广阔应用前景。该技术结合遥感测绘、光学影像分析及地理信息系统 (GIS), 实现地貌信息的快速采集与三维建模, 适用于地形复杂、交通不便及灾害频发区域的测绘任务。研究无人机航测在地质测绘中的重要性、发展现状及运用策略, 有助于优化测绘作业流程, 提高地质调查精度, 为资源勘探及工程建设提供科学支撑。

## 2 无人机航空摄影测量在地质测绘中的重要性

无人机航空摄影测量技术通过高精度相机和激光雷达传感器, 快速采集地形地貌数据, 实现大范围测绘。相比传统测绘方法, 无人机航测具有高效性、精细化、低成本和环境适应性强等特点。在地质灾害监测中, 无人机可实时拍摄高分辨率影像, 快速获取滑坡、泥石流、地面塌陷等灾害区域的三维模型, 辅助地质工程师分析灾害发展趋势, 提高预警能力。在矿产资源勘查中, 该技术能够对矿区地貌进行高精度建模, 分析矿体分布及周边环境条件, 为矿产开采提供精准数据支持。此外, 无人机航测在生态环境评估方面的应用也愈发广泛, 可用于土地利用分析、地表侵蚀监测及森林资源调查, 为生态保护和修复工程提供科学依据。随着高光谱遥感、多光谱成像及人工智能算法的融合, 无人机航空摄影测量技术在地质测绘中的应用深度不断拓展, 为地质研究与工程实践提供更加精准、全面的空数据支持。

【作者简介】段艺蕾 (1991-), 女, 中国陕西汉中, 本科, 工程师, 从事工程测量工作。

### 3 无人机航空摄影测量在地质测绘中的技术应用

#### 3.1 无人机航测设备与技术体系的进步

无人机航测系统正经历技术参数突破与载荷能力革新，固定翼平台续航时间突破 420 分钟，巡航速度达 72km/h，有效载荷提升至 8kg，可搭载 RIEGL VQ-1560 II 激光雷达实现 2000m 航高下的点云密度  $\geq 20\text{pts/m}^2$ 。多旋翼系统采用六旋翼冗余架构，悬停定位精度达到厘米级，搭载 PhaseOne P3 多光谱相机实现  $1.2\mu\text{m}$  光谱分辨率，在 5cm 地面采样距离 (GSD) 条件下单架次覆盖面积达  $3.8\text{km}^2$ 。导航系统方面，GNSS/INS 组合定位模块实现 PPK 后处理平面精度  $0.01\text{m}+1\text{ppm}$ ，高程精度  $0.018\text{m}+1\text{ppm}$ ，满足 ASPRS 1:500 制图标准。<sup>[1]</sup> 热红外传感器灵敏度提升至 50mK，配合 SWIR 波段成像技术，可探测 0.3mm 级地表裂缝位移。然而，多源传感器同步触发误差仍存在  $\pm 2.5\mu\text{s}$  量级，影响时序数据融合精度。

表 1 无人机航测设备技术参数与问题

| 技术参数                       | 现有水平      | 行业标准      | 性能差距 |
|----------------------------|-----------|-----------|------|
| 续航时间 (min)                 | 420       | 500       | 80   |
| 点云密度 (pts/m <sup>2</sup> ) | 20        | 30        | 10   |
| 光谱分辨率 ( $\mu\text{m}$ )    | 1.2       | 0.8       | 0.4  |
| 同步误差 ( $\mu\text{s}$ )     | $\pm 2.5$ | $\pm 1.0$ | 1.5  |

#### 3.2 无人机航测在数据处理与建模中的应用

点云数据处理面临密度与精度的双重挑战，地形分类算法在植被覆盖区误判率达 23%，特别是落叶林区域高程误差超过 0.15m。深度学习框架采用 U-Net++ 架构，对 LiDAR 强度数据实施语义分割，岩性识别 F1 值提升至 0.87，但面对风化岩层仍存在 15% 误分类率。影像匹配算法通过 SIFT-GPU 加速方案实现百万级特征点提取耗时  $<8\text{s}$ ，然而复杂地形区域匹配失败率仍达 7.2%。数据存储压力显著，单架次倾斜摄影任务产生 4.6TB 原始数据，PB 级点云数据库检索延迟超过 120ms，制约实时分析能力。

表 2 数据处理性能指标与瓶颈

| 处理指标        | 当前精度 | 理论极限 | 误差值  |
|-------------|------|------|------|
| 地形分类误判率     | 23%  | 5%   | 18%  |
| 岩性识别 F1 值   | 0.87 | 0.95 | 0.08 |
| 特征匹配耗时 (s)  | 8    | 3.5  | 4.5  |
| 数据检索延迟 (ms) | 120  | 50   | 70   |

### 4 优化无人机航空摄影测量在地质测绘中的运用策略

#### 4.1 优化无人机航测设备配置与传感器融合

地质测绘的精准性与高效性依赖于无人机平台的合理选择和传感器的优化配置。针对不同地质环境和测绘需求，固定翼与多旋翼无人机各具优势，应结合作业场景进行优

化部署。固定翼无人机因航程长、覆盖范围大，适用于大面积地质测绘任务。结合高光谱遥感相机，可在短时间内完成岩性分布、矿物成分及地表结构的识别，尤其在矿产勘查和生态评估中展现出优越性。<sup>[2]</sup> 部分高光谱传感器可获取 400–2500 nm 范围内的地物光谱信息，使岩石矿物识别精度显著提升。

多旋翼无人机凭借较强的悬停能力和灵活的飞行轨迹，在地形复杂或地质灾害监测中更具优势。搭载激光雷达 (LiDAR) 技术，可穿透植被获取高精度的地表三维点云数据，实现对滑坡、断层及沉降区域的精细测绘。高精度 LiDAR 可提供厘米级别的地形数据，能够清晰刻画地表细微起伏，为灾害评估提供可靠依据。多传感器融合技术的应用，如光学影像与红外热成像结合，可用于地下水渗漏、断裂带热异常等特殊环境监测，提高数据的综合分析能力。此外，利用 RTK (实时动态差分技术) 和 IMU (惯性测量单元) 优化数据校准，可显著提升测绘精度，确保测量误差控制在 3 cm 以内。合理配置无人机航测设备，不仅能提高地质测绘的精度和效率，还能为矿产资源开发、地质灾害预警及生态环境保护提供高质量数据支撑。

#### 4.2 改进无人机影像数据处理与三维建模技术

无人机航空摄影测量技术在地质测绘中的广泛应用，使得高精度影像数据的处理与三维建模成为影响测绘质量的关键环节。<sup>[3]</sup> 传统的影像拼接与建模方式在处理海量数据时，容易受到计算能力、数据误差累积及人工干预等因素的限制，影响测绘效率和精度。为提高数据处理的自动化程度和准确性，结合人工智能 (AI) 和深度学习算法，可优化影像匹配、地形识别及目标分类，减少人工干预，提高地质信息提取的精度。基于卷积神经网络 (CNN) 的影像分割技术可用于自动检测地貌特征，如断层、滑坡体和矿区边界，提高目标识别的精确度。

云计算技术的引入提升了大规模数据的存储与并行计算能力，使得三维建模更加高效。利用 GPU 加速计算，可在短时间内完成大范围测区的影像正射校正 (orthorectification) 及数字高程模型 (DEM) 构建，实现厘米级精度的地形重建。激光雷达 (LiDAR) 点云数据的处理能力也得到优化，结合多传感器融合算法，可提取高精度地质断层信息，并用于沉降监测和矿产资源评估。部分 LiDAR 系统已实现  $\leq 5\text{cm}$  的测高精度，能够清晰刻画岩层变化，为地质勘查提供高精度数据支持。点云数据优化技术进一步增强了复杂地质环境下的测绘能力，通过密集匹配 (dense matching) 与误差修正算法，提高地形表面细节还原度，减少因光照变化、地形遮挡或测区重叠度不足造成的建模误差。在高陡山地或密林覆盖区域，采用 LiDAR 与光学影像融合，可有效剔除植被干扰，获取裸露地表的真实地形信息，为地质灾害监测提供可靠的基础数据。<sup>[4]</sup> 无人机影像数据处理与三维建模技术的持续优化，使得地质测绘的精

度、效率和自动化水平得到大幅提升,为矿产勘查、生态评估及地质灾害预测提供更加精准的空间信息支持。

#### 4.3 构建智能化地质测绘系统与标准化测绘流程

无人机测绘技术的快速发展推动了地质测绘的智能化进程,通过集成自动航测规划、数据实时传输及智能分析,实现测绘作业的高效协同和精准决策。智能化地质测绘系统依托5G通信技术与边缘计算,实现远程监测与数据共享,提高测绘效率和数据处理时效。<sup>[5]</sup>实时数据传输可在测绘过程中完成数据初步分析,减少后期处理的时间延迟,并增强测区覆盖的灵活性,尤其适用于灾害应急测绘和矿区动态监测。

无人机测绘标准化是提升测绘数据质量和可靠性的关键环节。通过建立数据精度控制标准,可确保影像分辨率、地理配准误差及三维建模精度达到行业规范要求。高精度RTK(实时动态差分)和PPK(后处理动态定位)技术的结合,使测绘误差可控制在厘米级范围内,提高空间数据的精准性。此外,制定标准化的测绘流程,包括任务规划、飞行参数设定、数据采集、影像处理及成果评估,能够规范作业方式,提升数据可复用性和跨项目适应性。地理信息系统(GIS)与无人机测绘技术的融合,使测绘数据的动态管理与综合分析能力得到增强。<sup>[6]</sup>高精度三维地形模型与地质数据库联动,可实现地质灾害预测、矿产资源评估及生态环境监测的智能化应用。深度学习算法的引入提高了自动目标识别和地貌分类的效率,为断层识别、滑坡监测及水文地质分析提供了更加精准的数据支持。构建智能化地质测绘系统并推动标准化

测绘流程的应用,将进一步提升无人机在地质调查、资源开发和环境保护中的技术价值,为地质测绘的高效化、精细化和智能化发展奠定基础。

## 5 结语

无人机航空摄影测量技术在地质测绘中的广泛应用,极大地提升了测绘精度和作业效率。随着传感器技术、人工智能算法及数据处理能力的不断进步,无人机航测在地质灾害监测、矿产勘查及生态环境评估等领域的应用将更加深入。未来,通过优化设备配置、提升数据处理能力及构建智能化测绘系统,可进一步提高无人机测绘的精准度与可靠性,为地质研究、资源开发及环境保护提供高效、科学的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 李君, 杨玉明. 无人机航空摄影测量技术在电力工程测量中的应用[J]. 智能城市, 2020, 6(20): 29-30.
- [2] 潘立雄. 无人机航空摄影测量技术在工程测量中的应用[J]. 工程与建设, 2020, 34(05): 927-928.
- [3] 杜荣洁. 无人机遥感技术在工程测量中的应用[J]. 住宅与房地产, 2020(33): 215-216.
- [4] 犹华俊. 测绘工程测量中无人机遥感技术的运用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(2): 42-43.
- [5] 徐勇, 徐小芳, 田剑. 测绘工程测量中无人机遥感技术的应用[J]. 工程技术研究, 2020, 5(8): 117-118.
- [6] 赵俊茂. 无人机遥感技术在测绘工程中的有效应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(14): 74-76.