

无人机测量在有色金属地质勘查中的实践与突破

丁君玺

紫金矿业集团股份有限公司 福建 龙岩 361000

摘要: 随着全球工业对有色金属需求的持续攀升, 高效精准的地质勘查成为保障资源供给的关键环节。传统勘查技术的局限性日益凸显, 而无人机测量技术凭借创新优势, 正逐步重塑有色金属地质勘查格局。基于此, 本文聚焦无人机测量在有色金属地质勘查中的实践与突破。开篇点明技术应用背景与意义, 继而深入剖析其技术原理及系统组成, 包括融合多技术的测量原理, 飞行平台、传感器系统、数据传输与处理系统等核心构成。着重阐述高效快速采集、高精度获取、灵活适应地形等显著优势, 并通过云南多金属矿、江西钨矿等实际案例, 展示其在勘查中的出色表现与重要价值。同时直面应用中面临的挑战, 提出针对性解决策略, 为该技术的推广应用提供全面参考。

关键词: 无人机测量; 有色金属地质勘查; 实践与突破

引言: 总所周知, 对有色金属矿产资源的精准勘查与高效开发, 是保障国家经济稳健发展和产业升级的重要支撑。传统的有色金属地质勘查手段, 如地面地质调查、人工采样分析、地球物理勘探(磁法、电法、重力法等)以及地球化学分析等, 在实际操作中暴露出诸多弊端。而无人机测量技术作为一种新兴的勘查手段, 凭借其高效、灵活、低成本、高精度等显著优势, 为有色金属地质勘查带来了新的契机。它能够快速获取大面积区域的高精度数据, 有效克服传统方法在复杂地形条件下的局限性, 显著提升勘查效率与精度, 减少人力物力投入, 降低对环境的影响。因此, 深入研究无人机测量在有色金属地质勘查中的实践应用具有重要的现实意义。

1 无人机测量技术原理及系统组成

1.1 技术原理

无人机测量技术融合了多种先进技术, 主要依托全球导航卫星系统(GNSS)进行精准定位, 惯性测量单元(IMU)用于测量无人机的姿态信息, 结合光学、雷达、多光谱等各类传感器, 实现对目标区域的信息采集。飞行过程中, GNSS实时确定无人机的三维坐标, IMU精确测量其姿态角(俯仰角、滚转角、偏航角), 确保传感器始终保持正确的指向。

1.2 系统组成

1.2.1 飞行平台

飞行平台是无人机测量系统的基础载体, 根据不同的勘查需求, 可选用多旋翼无人机、固定翼无人机和垂直起降固定翼无人机。其中, 多旋翼无人机具有垂直起降、空中悬停的能力, 飞行灵活性高, 适用于地形复杂、面积较小的勘查区域, 如山区的小型有色金属矿点勘查。而固定翼无人机续航能力强、飞行速度快, 更适

合大面积的区域勘查, 但其对起降场地有一定要求。除此之外, 垂直起降固定翼无人机则兼具多旋翼和固定翼的优点, 既能垂直起降, 又具备长航时、高速飞行的能力, 在实际应用中越来越受到青睐。

1.2.2 传感器系统

传感器系统是无人机测量获取信息的核心部件。常见的传感器包括光学相机、多光谱传感器、高精度LiDAR(激光雷达)及SAR等。第一, 光学相机用于获取地表可见光图像, 分辨率可达亚米级, 如徕卡M210相机在100米高度可获取5厘米/像素的黑白图像和10厘米/像素的彩色图像, 能清晰展现矿体形态及露头特征^[1]。第二, 多光谱传感器可获取4-10波段的地表反射率数据, 有助于识别硫化物、氧化物及碳酸盐类等有色金属矿物, 像Micasense RedEdge传感器包含5个波段(450/550/650/700/850nm), 在硫化物矿床勘查中, 450nm和650nm波段组合可显著提高矿化蚀变的识别精度。第三, 高精度LiDAR通过发射激光束并测量反射光的时间延迟, 获取高密度三维点云数据, 垂直分辨率可达厘米级, 可用于地形测绘、地质构造解析及矿体三维建模, 如Riegl VZ-400i LiDAR在200米高度可获取10厘米/像素的点云数据。第四, SAR能穿透云层和植被, 在全天候条件下获取地表图像, 适用于植被茂密地区的有色金属矿产勘查, 其穿透能力可达数米, 可探测埋藏矿体, 如Terraview TX SAR系统在150米高度可获取10米/像素的图像。

1.2.3 数据传输与处理系统

数据传输系统负责将无人机在飞行过程中传感器采集到的数据实时传输至地面控制站。通常采用无线通信技术, 如2.4GHz或5.8GHz频段的无线链路, 确保数据传

传输的稳定性和及时性。为了保证数据在复杂环境下的可靠传输,还可采用加密技术和抗干扰措施。数据处理系统则对采集到的原始数据进行一系列处理,包括几何校正、辐射校正、数据融合等。几何校正利用地面控制点(GCPs)对原始数据进行精确配准,将误差控制在厘米级,确保图像的地理坐标准确无误;辐射校正消除光照、大气等因素对数据的干扰,获取地表真实反射率;数据融合将多源数据(如光学、LiDAR、SAR数据)进行叠加分析,充分发挥各数据源的优势,提高信息提取精度。与此同时,利用LiDAR点云数据构建高精度数字高程模型(DEM),结合光学图像生成逼真的三维地质体模型,为地质勘查人员提供直观、准确的地质信息。

2 无人机测量在有色金属地质勘查中的优势

2.1 高效快速的数据采集

无人机能够快速部署并在短时间内完成大面积区域的勘查任务。与传统地面勘查方法相比,其工作效率得到了极大提升。在山区等交通不便的地区,传统勘查方式需要耗费大量时间和人力进行实地跋涉,而无人机可直接飞越复杂地形,按照预设航线快速采集数据。这种优势使得勘查人员能够在较短时间内获取大范围的地质信息,快速锁定潜在的有色金属矿化区域,为后续详细勘查工作提供有力依据。

2.2 高精度与高分辨率数据获取

现代无人机系统可携带高精度的测量设备,获取高分辨率的影像和数据^[2]。以光学相机为例,在合适的飞行高度下,能够拍摄到分辨率达亚米级的地表图像,清晰呈现出地质构造细节、矿体露头特征以及植被异常等信息。多光谱传感器和高精度LiDAR等设备也能提供高分辨率的光谱和三维点云数据,有助于准确识别有色金属矿物的种类和分布范围,精确分析地质构造形态和矿体的空间位置。

2.3 灵活适应复杂地形

有色金属矿产资源往往分布在地形复杂的区域,无人机凭借其灵活的飞行性能,能够轻松适应各种复杂地形条件。多旋翼无人机可在狭窄山谷、陡峭山坡等区域垂直起降并低空飞行,沿地形起伏进行高精度测量;固定翼无人机和垂直起降固定翼无人机则可跨越山脉、河流等障碍,对大面积复杂地形进行快速覆盖。

2.4 降低勘查成本

采用无人机测量技术可显著降低有色金属地质勘查的成本。具体表现如下:一是无人机无需配备大量的专业操作人员,有效减少了人力成本投入。传统勘查方法需要众多勘查人员在野外长时间作业,而无人机仅需少数技术

人员在地面控制站进行操作和数据监控。二是无人机的使用减少了对大型勘查设备的依赖,显著降低了设备购置、运输和维护成本。三是,无人机能够快速获取大面积数据,缩短了勘查周期,间接降低了时间成本。

3 无人机测量在有色金属地质勘查中的实践案例分析

3.1 案例一—云南某多金属矿勘查项目

3.1.1 项目概况

该多金属矿位于云南省某山区,区域内地形复杂,植被茂密,以往的地质勘查工作因交通不便和地形限制,进展缓慢且效果不佳。为了全面了解该区域的地质构造和矿产分布情况,采用无人机测量技术进行勘查。

3.1.2 无人机测量方案实施

选用垂直起降固定翼无人机作为飞行平台,搭载高精度光学相机、多光谱传感器和LiDAR设备。在飞行前,对勘查区域进行详细的规划,设定合理的飞行高度、速度和航线。飞行高度根据地形起伏和勘查精度要求,设置在100-200米之间;飞行速度控制在10-15米/秒,以保证数据采集的质量。航线采用平行条带式布局,相邻航线间的前后向重叠度设置为70%,旁向重叠度为40%,确保数据覆盖无遗漏。并且,在勘查区域周边布置了多个地面控制点,用于后续的数据校正和地理配准。

3.1.3 测量结果与发现

采用无人机测量,获取了该区域高分辨率的光学影像、多光谱数据和三维点云模型。对多光谱数据进行分析后,发现了多个与有色金属矿化相关的异常区域,通过与地质背景资料相结合,初步判断这些区域存在铜、铅、锌等多金属矿化的可能性^[3]。利用LiDAR数据构建的三维地质模型,清晰地展现了该区域的地质构造特征,识别出多条断裂构造和褶皱形态,为进一步分析矿产的形成和分布提供了重要依据。在后续的实地验证工作中,在无人机测量圈定的重点区域发现了多处小型多金属矿化露头,证实了无人机测量结果的准确性和有效性。

3.2 案例二—江西某钨矿勘查项目

3.2.1 项目背景

该钨矿勘查区面积较大,且部分区域位于丘陵地带,传统勘查方法难以全面覆盖。为了提高勘查效率和精度,引入无人机测量技术。

3.2.2 无人机测量技术应用

采用多旋翼无人机搭载航空磁测系统进行低空航磁测量。该航空磁测系统由高精度铷光泵磁力仪和数据采集系统组成,能够快速获取高精度的航磁数据。测量过程中,无人机按照预设的航线在距离地面30-50米的高度飞行,以确保能够准确探测到地下微弱的磁异常信号。

而且,在地面设置了磁日变基站,用于校正测量过程中的地磁日变影响,提高数据的精度。

3.2.3 勘查成果及意义

通过对航磁数据的处理和分析,绘制出了该区域的航磁异常图。图中清晰地显示出多个明显的磁异常区域,这些异常区域与已知的钨矿化带具有较好的对应关系。进一步对磁异常进行反演计算,估算出了磁性体的埋深和形态,为后续的钻探工作提供了精确的靶点位置。在后续的钻探验证中,在多个磁异常区域成功打到了含钨矿体,大大提高了勘查的成功率。此次无人机航磁测量的应用,不仅快速、准确地圈定了潜在的钨矿靶区,而且为该地区钨矿资源的进一步勘探和开发提供了有力的技术支持,具有重要的经济和现实意义。

4 无人机测量在有色金属地质勘查中的应对策略

4.1 复杂地形适应性策略

可利用优化气动布局、采用高强度轻质材料提升无人机抗风性能,结合INS、GNSS及LiDAR多传感器融合技术,实时感知地形与气流变化,自动调整飞行姿态。而信号传输方面,可部署多频段通信模块与中继基站,利用5G或卫星通信增强穿透能力;作业前依托GIS与气象数据绘制地形气象图,规划避开强风区的安全航线,保障复杂地形下的飞行与数据采集。

4.2 数据融合处理策略

为解决多源数据(光学、LiDAR、航磁等)格式与精度差异问题,构建一体化处理体系。开发集成遥感、点云分析等功能的统一平台,支持多格式数据读写;同时,运用CNN、GAN等深度学习算法训练融合模型,自动提取特征实现地物匹配^[4]。采集阶段统一坐标系统与数据标准,减少融合误差;另一方面,通过交叉验证与误差分析建立质量评估机制,确保地质信息提取精度。

4.3 设备稳定性保障策略

从硬件、软件与运维多维度提升设备可靠性。第

一,硬件上研发高防护传感器,采用密封防潮设计,搭配高性能飞控与动力系统;第二,软件端开发智能抗干扰系统,实时监测设备状态并切换备用链路。建立气象智能评估模型,整合卫星与地面站数据提前72小时预测天气;制定定期维护规程,通过清洁、校准与部件更换保障设备运行稳定性。

4.4 成本控制优化策略

首先,将无人机与传感器拆分为标准化模块,便于运输与维修;其次,建设区域性起降场网络,减少长途运输损耗;此外,采购时按项目需求选择性价比设备,搭建设备共享平台实现跨项目租赁;建立折旧与回收机制,通过模块化复用与资源共享,将综合成本降低至传统方法的1/3以下。

结语:无人机测量技术在有色金属地质勘查领域的实践,颠覆了传统勘查模式的局限,推动行业向高效化、智能化方向变革。不仅提升了勘查精度与效率,更以绿色环保的作业方式实现了资源开发与生态保护的平衡。尽管当前面临地形适应、数据融合等技术挑战,但通过模块化设计、智能算法优化等策略已逐步构建起系统性解决方案。未来,随着5G、AI与遥感技术的深度融合,无人机测量将在深部矿体探测、动态资源评估等领域释放更大潜力,为全球有色金属资源的可持续开发提供核心技术支撑,助力矿业勘查迈向数字化转型的新征程。

参考文献

- [1]白鸿祖.矿产地质勘查与深部钻探找矿技术研究[J].西部探矿工程,2023,35(6):171-173,176.
- [2]乔永超.地质勘查与深部地质钻探找矿技术工作研讨[J].世界有色金属,2024(5):49-51.
- [3]周义.金属矿山测绘中无人机航测技术运用研究[J].中国金属通报,2024(15):192-194.
- [4]谏志燧,何先胜.无人机技术在金属矿山测绘中的应用研究[J].中国金属通报,2024(18):161-163.