

# Practice and optimization of high resolution remote sensing in mineral resources exploration and mapping

Dongdong Chen

Maguan County Natural Resources Bureau, Wenshan, Yunnan, 663700, China

## Abstract

This paper explores the practical applications and optimization strategies of high-resolution remote sensing technology in mineral resource exploration and mapping. With its advantages in precise geological structure identification, detection of alteration mineral spectral responses, coverage of complex terrain areas, and provision of multi-temporal dynamic monitoring data, high-resolution remote sensing demonstrates significant potential in mineral exploration. Through case studies, the paper showcases the technology's effectiveness in extracting geological structure information, identifying lithology, extracting mineralization and alteration data, and selecting optimal exploration targets. The research indicates that high-resolution remote sensing can substantially enhance the efficiency and accuracy of mineral resource exploration, providing crucial technical support and theoretical foundations for the field of mineral resource mapping, with broad application prospects.

## Keywords

high-resolution remote sensing; mineral resource exploration; mapping

# 高分辨率遥感在矿产资源勘探测绘中的实践与优化

陈冬冬

马关县自然资源局, 中国·云南 文山 663700

## 摘要

本文深入探讨了高分辨率遥感技术在矿产资源勘探测绘中的应用实践与优化策略。高分辨率遥感技术凭借其精细识别地质构造、检测蚀变矿物光谱响应、覆盖复杂地形区域以及提供多时相动态监测数据等优势, 在矿产勘查中展现出巨大潜力。通过具体案例分析, 展示了该技术在地质构造信息提取、岩性识别、矿化蚀变信息提取以及找矿靶区优选中的实际应用效果。研究表明, 高分辨率遥感能够显著提升矿产资源勘查的效率与精度, 为矿产资源勘探测绘领域提供了重要的技术支撑与理论依据, 具有广阔的应用前景。

## 关键词

高分辨率遥感; 矿产资源勘探; 测绘

## 1 引言

矿产资源是经济发展的基石, 其勘查与测绘对资源保障及工业推动具有重要意义, 传统勘查手段局限性逐渐显现, 高分辨率遥感技术在技术发展与实践中迅速发展。该技术提供地表信息精度高, 地质构造、岩性分布、矿化蚀变等信息可助力矿产资源勘查提供全新的视角与手段, 近年来, 国内外多个勘查项目中广泛应用该技术, 成效显著, 本文探讨高分辨率遥感技术的概述、优势、实践应用及优化策略等方面, 为相关研究与实践提供参考依据。

## 2 高分辨率遥感技术概述

高分辨率遥感技术是利用搭载于卫星或航空器上的各

种传感器, 获取地表的高分辨率图像数据<sup>[1]</sup>。这些数据有比较高的空间分辨能力还有光谱分辨能力, 可以清楚地看出地表的地形地貌, 地质构造, 岩层分布等情况。高分辨率的遥感技术, 其空间分辨能力通常可以达到亚米级水平, 光谱分辨能力则能达到纳米级别的程度。像高分二号卫星它具备0.8米的空间解析度以及10纳米的光谱解析度, 并且可给予地质勘探以比较高的数据精准支持。数据的获取和处理流程包括数据采集、预处理、特征提取以及信息解译等环节。其中, 预处理阶段需要对所收集的数据实施辐射校正、几何校正等工作, 从而保证其准确性并具备可用性。特征提取通过多光谱以及高光谱的分析, 对与矿产资源有关的地质特征进行提取。

## 3 高分辨率遥感在矿产勘查中的优势

### 3.1 地表地质构造精细识别能力

高分辨率遥感影像的空间分辨率可达亚米级, 如某型

【作者简介】陈冬冬(1986-), 男, 中国云南马关人, 本科, 工程师, 从事地质测绘研究。

号卫星传感器获取的影像分辨率达到 0.5 米。在这样的高精度下,能够清晰辨识出地表细微的线性构造。以新疆某铜矿区为例,通过对该区域 0.5 米分辨率的遥感图像进行解析,精确识别出一组走向为北西向、间距约 10 米的小型断裂带。这些断裂带在常规地质调查中极易被忽略,但在高分辨率影像上,其形态、延伸方向及相互交切关系一目了然。经实地验证,该断裂带正是矿液运移的重要通道,沿断裂带有多处矿化现象,为后续钻探工程提供了精准的定位依据。这种对微小地质构造的精细识别能力,极大地提高了找矿效率与准确性,突破了传统地质勘查手段受尺度限制的瓶颈。

### 3.2 蚀变矿物光谱响应检测优势

高分辨率遥感的多光谱波段探测功能覆盖可见光至短波红外区间,特定矿物在不同波段有其光谱吸收特征,可对蚀变信息进行有效探测,比如某铁多金属矿床勘查采用 30 个波段的高光谱遥感数据时,波长 2.2  $\mu\text{m}$  附近存在强烈的羟基吸收峰,这对应绿泥石等含羟基蚀变矿物。精确测量该吸收峰中心波长偏移量与深度参数后,结合已知矿物光谱数据库对比,准确圈定了和矿化密切相关的蚀变带范围,经野外采样证实,该蚀变带下方发育厚层磁铁矿体,高分辨率遥感在蚀变矿物光谱检测中展示了高灵敏度与可靠性,为深部盲矿体预测提供了支撑。

### 3.3 复杂地形区域覆盖观测能力

高分辨率遥感不会受地形起伏的影响,可以对大面积连续开展观测,在青藏高原的东部某一山区做矿产资源调查的时候,此处山高谷深,地势险峻,一般的调查办法很难全部展开。而通过高分辨率的卫星影像,一次过就得到了整个研究区完整无缝的影像资料,甚至海拔 5000 米以上以及峡谷底部等地方也囊括在内。影像清晰地呈现出不同的海拔高度上出现的地质现象,例如高山之巅处的冰川地貌以及山谷间河口沉积物所形成的相层理。基于此,研究人员全面分析了该区域内各个地层结构、岩性变化及构造格局,发现了多个位于陡峭山坡上的潜在矿点,而这些矿点由于交通不便之前从未有人涉足过,充分展示了高分辨率遥感在复杂地形区无法替代的全覆盖优势。

### 3.4 多时相动态监测数据支持

高分辨率遥感能按照一定周期重复采集数据,形成时间序列的数据集,在内蒙古一大型斑岩型铜钼矿床的研究中使用了间隔 1 年的连续 5 年遥感影像。通过对不同时相影像同一位置的光谱对比,发现矿区周边植被指数呈逐年上升的趋势,水体面积略有扩张。再深入定量分析可知,这种现象同地下矿体开采造成地下水位升高相关联,在此推测当中,地下水位上涨促使周围岩石内部金属元素活动并移动到其他地方,从而影响到了地表生态环境。这一动态监测的结果既表现出了采矿活动给环境带来的间接影响机制,又为矿山闭坑以后的生态修复规划赋予了科学的参考,凸显了高分辨率遥感多时相监测在表现地质过程和环境效应之间联系方

面的重要作用。

## 4 高分辨率遥感在矿产资源勘探中的实践应用

### 4.1 地质构造信息提取

地质构造在矿床生成和空间分布中为一核心要素,高分辨率遥感借助其精量的空间分辨能力,化为构造解译的关键技术手段,实际应用时识别线性构造,离不开影像空间细节与纹理特征,增强断裂线性响应是图像处理算法里的核心步骤<sup>[2]</sup>。新疆西昆仑某金矿勘查项目为例,研究区高海拔荒漠带,地表裸露高且地形起伏剧烈,传统地质调查难度大,研究人员采用高分二号(GF-2)卫星影像,全色波段分辨率 0.8 米、多光谱波段 3.2 米,FLAASH 大气校正和地面控制点(GCPs)几何精校正后空间定位精度优于 1 个像元,突出线性构造,首先对影像最小噪声分离(MNF)变换,减少数据冗余与噪声干扰,选取前 4 个主成分分量后续处理。随后使用 Roberts 梯度算子进行定向滤波,对 NW 向与近 EW 向的线性边缘特征进行增强,滤波窗口大小设定为  $3 \times 3$  像元,以保留微小的断裂信息。通过 Hough 变换实现线性段的自动检测,同时在 GIS 平台完成拓扑连接与长度筛选,最小可识别长度设定为 50 米,最终形成区域断裂网络图,解译结果表明,一组 NW 向断裂与一组近 EW 向断裂在研究区中部交汇,形成“X”型共轭构造体系。该构造节点位置与已知金矿点一致,且断裂带内岩石破碎,节理密度高,具备导矿与容矿的条件,此类分析说明,高分辨率遥感结合图像增强算法可以实现复杂区域构造的精细解译,为成矿构造分析提供定量化的空间数据支持。

### 4.2 岩性识别

岩性组成成矿的地质单元,岩石类型因矿物结构、构造特征与风化程度不同在遥感影像上呈现差异性的光谱与纹理信息,高分辨率遥感融合了空间信息、光谱信息和形态信息后实现岩石自动分类与边界识别<sup>[3]</sup>。在白云鄂博铁矿区,研究人员使用 WorldView-3 卫星数据,全色波段空间分辨率 0.31 米,多光谱波段空间分辨率 1.24 米,它包含 8 个短波红外波段,覆盖光谱范围 1195–2365nm, Gram-Schmidt 融合处理影像之后生成 0.31 米分辨率的多光谱影像,提升了地物边界清晰度。随后在 eCognition 软件中使用面向对象分类方法,进行多尺度影像分割,分割参数设定为尺度 40,形状因子 0.3,紧凑度 0.5,以适应岩体的几何特征,特征包括各波段光谱均值、标准差、归一化植被指数(NDVI)、短波红外比值指数(SWIR8/SWIR4)和长宽比、紧凑度等形状指数。构建决策树模型后,依据光谱特征将研究区分为石英岩、片麻岩、绿岩带与风化壳四类,绿岩带富含铁镁矿物,在 SWIR 波段呈现低反射率,而石英岩因高硅含量在短波红外区反射率较高。分类结果经野外 GPS 定点验证和岩性对照后,成功识别出北东向展布的绿岩带构造,宽度在

100至300米之间,其识别结果与区域地质图基本保持吻合,仅局部边界因植被覆盖存在偏移,该方法避免了像元分类中“椒盐效应”的不良现象,使岩性填图精度与实用性都达到可信赖的层次,为分析区域成矿背景提供了可靠的基础图件<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 矿化蚀变信息提取

热液矿化作用生成的蚀变带常与绢云母、绿泥石、高岭石等矿物富集区域相关,这些矿物具有在短波红外波段下突出的光谱吸收性,可作为遥感找矿识别中具有标志性的响应数据,高分辨率遥感借助光谱分析技术实现蚀变矿物的分布和识别<sup>[5]</sup>。甘肃北山某斑岩型铜矿勘查阶段采用WorldView-3短波红外波段(SWIR1-SWIR8)数据进行处理,波长范围为1195-2365nm,采样间隔约6.5-15nm,影像数据首先通过辐射定标和FLAASH大气校正获取地表反射率信息,随后通过最小噪声分离(MNF变换)提取绿泥石、绢云母对应特征。分量中,第3分量显示绿泥石光谱响应,第4分量与绢云母光谱响应相关,绿泥石指数和绢云母指数分别通过构建 $(SWIR8-SWIR6)/(SWIR8+SWIR6)$ 与 $(SWIR7-SWIR5)/(SWIR7+SWIR5)$ 的表达式进行异常区域提取,根据背景值统计设定阈值分割,完成异常区域提取任务。进一步借助混合调制分解方法,以实验室测量的绿泥石与绢云母光谱为端元参考,输出匹配度、异常概率结果以生成蚀变强度图,研究区中发现多个NW向展布的中低温蚀变带,宽度在30至80米之间,这些矿化带呈带状或环状分布特征。野外验证表明,异常区内岩石普遍发生绿泥石化、绢云母化与硅化现象,局部黄铁矿与黄铜矿浸染,遥感技术对地表矿物提取的有效性通过验证进一步证实,该方法依据光谱特征匹配实现了蚀变矿物定性识别,地表成矿预测直接证据的提取也提供了技术性的验证<sup>[6]</sup>。

#### 4.4 找矿靶区优选

在完成地质构造、提取岩性与蚀变信息之后,需对多源信息进行集成并综合分析,以优选成矿有利区段即找矿靶区,此类过程通常在GIS平台完成,借助定量模型实现空间叠加与权重计算。例如青海东昆仑某铜镍矿勘查项目中,研究人员构建了基于证据权重法的靶区预测模型,输入数据包含断裂密度图、蚀变强度图、岩性有利度图以及区域化探异常图<sup>[7]</sup>。断裂密度图基于遥感解译生成,缓冲区为50米内断裂条数;蚀变强度图采用MTMF输出的异常概率值;岩性有利度图对超基性岩赋值为1,其他岩类赋值为0;区域化探异常图使用Cu、Ni元素浓度,图层统一重采样至10米分辨率后进行标准化处理。GIS中划分训练区与背景区,计算权重值和后验概率,训练区为已知矿床周边1公里范围,

断裂密度大于5条/平方公里的区域,其正权重为+0.85,这显示了它和成矿存在显著相关性。借助贝叶斯公式计算后验概率分布并生成成矿有利性分区图,把阈值大于0.6的区域设定为高潜力靶区,模型输出3处高概率靶区,野外踏勘后发现其中2处基性岩体出露且存在硫化物矿化现象,另外1处地表铁帽和褐铁矿化带,遥感解译成果与地球化学数据有机结合在该方法下完成,从单一信息转化到综合预测,找矿效率与科学性获得显著提高<sup>[8]</sup>。

## 5 结语

高分辨率遥感技术的技术特性包含宏观性、精细性与高效性,其在矿产资源勘探测绘的各个环节已展现出不可替代的应用价值,米级精细解译控矿构造、光谱精准识别蚀变矿物、基于多源信息融合定量优选靶区,这些实践内容已形成系统化、量化的实践方法体系,推动矿产勘查从经验驱动转型为数据驱动。技术当前在植被覆盖区信息穿透、深部矿化信息反演等方面存在挑战,未来高光谱、激光雷达与人工智能技术深度融合之后,高分辨率遥感朝着更智能化、多维化的方向发展,实现对地质体与成矿过程的更深层次理解,为国家新一轮找矿突破战略行动提供技术保障与决策支持。

## 参考文献

- [1] 赵佳鑫. 高光谱遥感在自然资源调查监测中的应用研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(08): 76-78.
- [2] 葛楠楠. 矿山地质特征与勘探技术研究[C]// 广西生产力学会. 新质生产力与科技发展学术研讨会论文集. 嵩县前河矿业有限责任公司, 2025: 68-70.
- [3] 王辉. 航测遥感技术在复杂地质条件下的矿产资源勘探应用研究[J]. 世界有色金属, 2025, (06): 163-165.
- [4] 张广林. 地质矿产资源勘探中的遥感技术应用研究[C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第六届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 河南华辉地质勘查有限公司, 2025: 356-358.
- [5] 尹灵强. 浅谈地质矿产勘探深部找矿的途径[J]. 世界有色金属, 2025, (02): 59-61.
- [6] 官倩, 孙宜聪, 王惠梅. GPS测绘技术在矿山地质测绘中的应用实践[J]. 世界有色金属, 2024, (11): 154-156.
- [7] 张紫玉. 面向超高频TDI CMOS的遥感图像数据复原算法研究[D]. 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2023.
- [8] 刘婷婷. 高精度地质测绘技术在复杂矿山地质勘探中的应用研究[J]. 中国金属通报, 2025, (8).