

遥感技术在矿产资源调查中的信息提取与解译方法

杨文臣 张现树

新疆维吾尔自治区地质局巴音郭楞地质大队 新疆 841000

摘要: 本研究深入钻研遥感技术在矿产资源调查领域的应用, 全面剖析其信息提取和解译的关键技术及方法体系。凭借对光谱、纹理、热红外及形态等多元特征的精准提炼, 以及多源数据融合、知识驱动模型构建、机器学习与深度学习算法运用、三维建模与可视化等前沿解译手段的实施, 详细揭示遥感技术提升矿产资源调查精准度与效能的内在机理, 为矿产勘查与开发夯实科学基础并提供有力技术支撑。

关键词: 遥感技术; 矿产资源调查; 信息提取; 解译方法

引言

矿产资源在人类社会的发展进程中至关重要, 是不可或缺的物质根基。其高效勘查与合理开发, 始终是全球关注的焦点。传统矿产资源调查手段, 常因地形地貌错综复杂、交通条件限制以及调查范围的局限性等因素的制约, 难以满足日益增长的资源需求。遥感技术以其独特的技术特性, 逐渐在矿产资源调查领域占据关键地位, 成为无可替代的核心技术手段。该技术能突破地理障碍, 迅速获取大面积地质信息。这为隐伏矿、深部矿及复杂地质构造区域的矿产调查开拓了新视角, 提供了海量数据支持, 有力推动矿产资源调查向更精准、高效的方向发展。

一、遥感技术原理与优势

遥感技术作为一种非接触式的远距离探测手段, 其核心原理在于传感器对地表及近地表地物反射或发射的电磁波信息的精确捕捉与深度剖析。不同地质体由于物质组成、结构构造以及物理化学性质的显著差异, 在电磁波谱上呈现出独特的响应特征。借助搭载于卫星、飞机等多样化平台的各类先进传感器, 能够获取多光谱、多时相、高分辨率的影像数据, 这些数据蕴含着丰富的地质信息, 构成了矿产资源调查的核心信息源(见图1)。

个人简介:

杨文臣(1990年11月-), 男, 汉族, 籍贯: 山西人, 大学本科, 中级工程师, 研究方向: 地质矿产。

张现树(1981年06月-), 男, 汉族, 籍贯: 河南夏邑县, 大学专科, 中级工程师, 研究方向: 地质矿产。

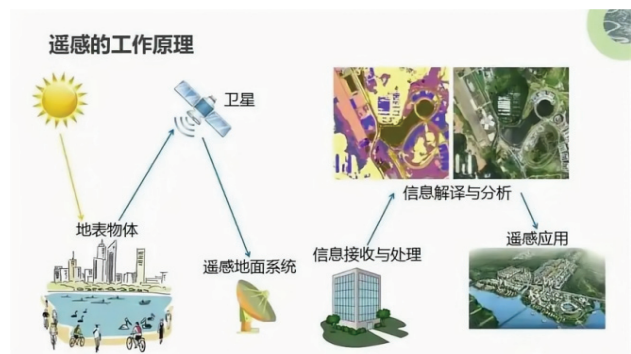


图1 遥感技术原理示意图

相较于传统地质调查方法, 遥感技术展现出诸多显著优势。从调查范围来看, 它能够实现大面积的快速覆盖, 极大地提高了调查效率, 显著缩短调查周期。在地形复杂、交通不便的山区、荒漠、丛林等特殊区域, 传统地面调查举步维艰, 而遥感技术能够轻松突破地理限制, 高效获取该区域的地质信息。从数据获取角度分析, 多光谱影像可同时记录多个波段的信息, 不同波段分别对应特定的地质特征, 这为识别和区分各类矿物及地质构造提供了有力线索。高分辨率影像则能够清晰呈现地质体的细微特征, 为精准解译创造了有利条件^[1]。此外, 多时相数据可用于深入分析地质体的动态变化, 精准揭示地质过程与成矿作用的时空演化规律, 尤其在隐伏矿、深部矿的探测中发挥着不可替代的关键作用, 有效弥补了传统方法在深部地质信息探测方面的不足。

二、信息提取的关键技术与方法

(一) 光谱特征提取

矿物的光谱特征是其内在本质属性的外在直观呈现, 不同矿物对特定波段的电磁波具有独特的反射与吸收特性, 进而形成独一无二的光谱曲线。在矿产资源调查实

践中，充分利用这一特性能够精准识别与矿化作用紧密相关的矿物组合。以铁氧化物为例，其在可见光至近红外波段通常呈现出显著的强吸收特征，这一特征可作为定位铁矿化区域的重要指示标志。黏土矿物在短波红外波段存在特征吸收带，其出现往往预示着蚀变带的存在（见表1）。

表1 不同矿物的光谱吸收特征表

矿物类型	特征波段范围 (μ.m)	吸收特征描述	地质意义
铁氧化物	0.45-0.65	强吸收特征	铁矿化区域的指示标志
黏土矿物	2.0-2.5	特征吸收带	蚀变带的存在
碳酸盐矿物	1.8-2.0	中等强度吸收	碳酸盐化蚀变带的指示标志

高光谱遥感技术的兴起，进一步将光谱特征提取的精度与分辨率提升到新的高度。该技术凭借窄波段、连续光谱覆盖的独特优势，能够更为精准地捕捉矿物光谱的细微差异。即便面对光谱特征极为相似的复杂矿物组合，高光谱遥感也能通过精细的光谱分析实现有效识别，为准确圈定矿化区域提供坚实有力的技术保障。

（二）纹理特征提取

地质体在漫长的地质演化过程中，受构造运动、风化侵蚀、沉积作用等多种地质营力的相互影响，其表面形成了独特的纹理特征。这些纹理特征蕴含着丰富的地质信息，全面反映了地质体的结构构造、形成过程以及后期改造历史。运用灰度共生矩阵（GLCM）等算法，可对遥感影像的纹理参数进行量化分析，如对比度、相关性、能量与熵等^[2]。其中，高对比度与低相关性通常指示断裂破碎带或矿脉穿插区域，这些区域由于岩石破碎、矿物成分发生变化，导致影像纹理呈现出明显的差异性。而高能量与低熵值则反映了均质化地质单元，该区域地质体的组成与结构相对稳定，纹理特征较为一致。

结合多尺度纹理分析，能够有效区分不同成因类型的矿化蚀变带。不同尺度下的纹理特征对应不同规模的地质现象，通过对多尺度纹理信息的综合分析，可全面洞察地质体的空间结构与矿化分布规律，为构造控矿分析提供关键依据，助力深入理解矿产形成与分布的构造控制机制。

（三）热红外特征提取

热红外波段精确记录了地表的热辐射信息，与岩石的热物理性质及热流异常密切相关。矿体及其围岩由于矿物成分、裂隙发育程度以及流体活动的差异，呈现出不同的热惯量特征。在昼夜温差的作用下，热红外影像

能够敏锐捕捉到隐伏矿体引起的地温异常。这种地温异常往往与深部热液活动及成矿作用存在内在联系，通过对时间序列热红外数据的融合分析，可动态监测热流变化，进而深入揭示深部热液活动与成矿作用的时空演化规律。

在部分热液型矿床中，热液活动携带的矿物质在运移时改变围岩热物理性质，在热红外影像上呈现为局部热异常区域。通过长期监测这些热异常区域的变化，可追踪热液活动路径，预测潜在的矿体分布位置，为深部矿产勘探提供重要线索。（四）形态特征分析与矿体定位

矿体在空间上具有特定的几何形状和分布规律，其形态特征可通过遥感影像的几何纠正和三维建模进行精确分析与重建。基于数字高程模型（DEM）的地形分析，能够准确识别矿体的出露位置及其与地形的关联性。矿体可能沿特定的构造线分布，或在地形低洼处富集，通过地形分析可直观呈现这些关系，为矿体定位提供重要参考。

结合地质统计学方法，可进一步优化矿体的边界划定。地质统计学通过对地质数据的空间变异性分析，充分考虑数据的空间相关性与结构性，能够更准确地估算矿体的边界与资源量，提高资源量估算的准确性，为矿产资源的合理开发与评估提供科学依据。

三、解译方法的优化与实践

（一）多源数据融合技术

多源数据融合是提升遥感解译精度与可靠性的核心策略。矿产资源调查中，单一数据源常存在信息局限，难以全面反映复杂地质情况。而通过整合光学遥感、雷达遥感、高光谱遥感及地质物探数据，可实现多维度信息的协同解译^[3]。

光学遥感数据提供了丰富的地表光谱信息，有助于识别矿物类型与地质构造。雷达遥感具有穿透植被与浅层土壤的能力，能够获取被遮挡区域的地质信息，弥补光学遥感在植被覆盖区或多云多雨地区的不足。高光谱遥感凭借其精细的光谱分辨率，可对矿物成分进行细化分析，提高矿物识别精度。地质物探数据则从地球物理场的角度补充了地下结构信息，如重力、磁力异常等，有助于推断深部地质构造与矿体分布。

通过多源数据融合，不同数据源的优势得以互补，能够有效提升矿产资源调查的全面性与准确性。在某山区矿产调查中，将光学遥感影像的光谱信息与雷达遥感的地形穿透信息相结合，清晰识别出被植被覆盖的断裂构造，结合高光谱遥感确定的蚀变矿物分布，最终准确圈定了潜在的矿化区域，验证了多源数据融合技术调查中的有效性。

（二）基于知识驱动的解译模型

将地质学理论、成矿规律与遥感特征知识库相结合，构建基于知识驱动的解译模型，是实现智能化遥感解译的重要途径。该模型以专家系统为核心，通过规则推理引擎，依据预先设定的地质解译规则，对遥感影像进行自动分析与识别。

在矽卡岩型矿床的解译中，当影像中同时出现石英—长石脉、碳酸盐化蚀变带与线性构造时，根据成矿理论与经验总结的解译规则，系统可推断该区域存在矽卡岩型矿床的潜在靶区。随着地质研究的不断深入与新的遥感数据特征的发现，该模型能够不断迭代更新知识库，融入最新的地质研究成果与遥感解译经验，提升解译精度与适应性，更好地应对复杂多变的地质情况。

（三）机器学习与深度学习算法

机器学习与深度学习算法在遥感解译领域的应用日益广泛，为实现矿化区域的自动化识别提供了强大技术支持。通过训练基于光谱、纹理及地形特征的分类模型，可有效实现矿化区域与非矿化区域的区分。

支持向量机（SVM）算法能够在高维数据空间中寻找最优分类超平面，有效处理高维数据，对复杂的地质数据具有较好的分类性能。随机森林（RF）算法通过构建多个决策树并进行综合决策，提升了分类的鲁棒性，降低了模型对噪声数据的敏感性。卷积神经网络（CNN）作为深度学习的典型算法，在处理具有空间结构的遥感影像数据时表现出显著优势，其通过卷积层、池化层等结构能够自动提取影像中的复杂纹理与光谱特征，实现高精度的影像分类。

结合迁移学习技术，可进一步优化模型性能。迁移学习利用在其他相关领域或大规模数据集上训练好的模型参数，初始化当前任务的模型，减少对大量标注数据的依赖，降低数据标注成本，提高模型训练效率与泛化能力，从而提升遥感解译的效率与精度，推动遥感解译向智能化、自动化方向发展。

（四）三维建模与可视化技术

三维建模与可视化技术为矿产资源调查提供了直观、高效的决策支持手段。通过构建地表与地下结构的三维模型，可将复杂的地质信息以直观的方式呈现出来，实现矿化区域的空间分布可视化。

利用无人机倾斜摄影与激光雷达技术能够获取高精度的地形数据，结合地质钻孔数据，可构建详细的地下矿体模型。在该模型中，能够清晰展示矿产资源的赋存状态，包括矿体的形态、产状、空间位置及其与围岩的

关系等^[4]。三维建模技术不仅提升了调查结果的可视化效果，便于地质人员直观理解地质结构与矿化分布，还为后续的资源评估与开采规划提供了科学依据，有助于合理制定开采方案，提高资源开采效率，降低开采成本，同时保障开采过程的安全性。

（五）矿区生态修复与资源开发的协同优化

遥感技术在矿产资源调查中的应用不仅局限于资源探测与评估，还在矿区生态修复与资源开发的协同优化中发挥着重要作用。在矿区生态修复方面，通过监测矿区植被覆盖、土壤侵蚀及水体污染等生态指标，可及时掌握矿区生态环境的变化情况，为制定科学合理的生态修复方案提供依据。利用多时相遥感影像分析矿区植被覆盖度的动态变化，评估生态修复措施的实施效果，及时调整修复策略。

在资源开发方面，遥感技术可用于矿区资源开发的动态监测与规划优化。通过定期获取遥感影像，监测矿区开采范围、开采进度及土地利用变化等情况，及时发现资源开发过程中的不合理行为，如过度开采、土地浪费等，并据此对开采规划进行优化调整，实现资源开发与环境保护的平衡，促进矿业可持续发展。

结论

遥感技术在矿产资源调查中的信息提取与解译方法不断发展与完善，通过光谱、纹理、热红外及形态等多源特征提取技术，以及多源数据融合、知识驱动模型、机器学习算法等解译手段的综合运用，能够切实提升矿产资源调查的精度与效率。同时，遥感技术在矿区生态修复与资源开发协同优化中的应用，为实现矿业可持续发展提供了有力支撑。随着遥感技术的不断创新与发展，以及与其他学科的深度融合，其在矿产资源调查领域将发挥更为关键的作用，为保障全球矿产资源的可持续供应提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 谢先才. 基于遥感技术的矿产勘查新方法研究[J]. 世界有色金属, 2025(1): 169-171.
- [2] 农小磊. 遥感器变信息提取在金属矿产调查中的应用[J]. 冶金与材料, 2024, 44(1): 64-66.
- [3] 成岩涛, 肖夏, 韩晓飞, 季子翔, 任其新. 遥感技术在区域地质与矿产调查中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版) 自然科学, 2024(12): 053-055.
- [4] 周志伟. 地质调查在评估矿产资源潜力中的关键作用[J]. 世界有色金属, 2024(19): 217-219.