

遥感技术在新疆阿尔金地区铜金矿找矿中的简易应用研究

陆放, 弓小平*, 赵雨航, 王吉润, 贾志远, 张岚峰

新疆大学地质与矿业工程学院 新疆乌鲁木齐

【摘要】新疆阿尔金成矿带是我国西北重要的铜金矿富集区, 区域地形复杂、自然环境恶劣, 传统的野外找矿作业难度大、效率低、成本高。本文以简易化遥感找矿技术为研究核心, 依托陆地卫星 8 号 (Landsat-8)、高级星载热发射和反射辐射计 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, ASTER) 遥感影像数据, 结合区域地质成矿特征, 用影像预处理、蚀变信息提取、异常区域筛选等简易流程, 开展铜金矿找矿应用研究。总结出适合阿尔金地区遥感找矿的简易方法, 准确提取出铁染、羟基等关键蚀变异常信息, 用已知矿点来验证技术的有效性。研究结果表明简易遥感技术可以快速圈定找矿靶区, 减少野外勘查工作量, 给区域中小型铜金矿快速勘查提供高效低成本的技术支持。

【关键词】遥感技术; 阿尔金地区; 铜金矿; 蚀变信息提取; 找矿应用

【收稿日期】2026 年 6 月 17 日 **【出刊日期】**2026 年 7 月 13 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20260061

A simple application study of remote sensing technology in copper-gold ore prospecting in the Altyn region of Xinjiang

Fang Lu, Xiaoping Gong*, Yuhang Zhao, Jirun Wang, Zhiyuan Jia, Lanfeng Zhang

College of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang

【Abstract】The Altyn ore deposit belt in Xinjiang is an important copper-gold ore concentration area in the northwest of China. The regional topography is complex and the natural environment is harsh. Traditional field prospecting operations in this area are difficult, inefficient, and costly. This paper takes the simplified remote sensing prospecting technology as the core of the research, using Landsat-8 and ASTER remote sensing image data, combined with the regional geological and mineralization characteristics, and using simple processes such as image preprocessing, alteration information extraction, and anomaly area screening, to conduct prospecting application research for copper-gold ore deposits. Simple methods suitable for remote sensing prospecting in the Altyn area have been summarized, and key alteration abnormal information such as iron staining and hydroxyl groups has been accurately extracted. The effectiveness of the technology has been verified using known ore points. The research results show that the simplified remote sensing technology can quickly delineate prospecting target areas, reduce the amount of field exploration work, and provide efficient and low-cost technical support for the rapid exploration of regional small and medium-sized copper-gold ore deposits.

【Keywords】Remote sensing technology; Altyn area; Copper-gold ore; Alteration information extraction; Prospecting application

引言

随着我国矿产资源开发重心向西北偏远地区转移, 新疆阿尔金成矿带的铜金矿资源勘探价值越来越大。该成矿带构造活动强烈、岩浆活动频繁, 具有

良好的铜金多金属成矿地质条件, 已发现多处铜金矿化点和中小型矿床。但是区域地处高原戈壁, 海拔跨度大、交通闭塞、气候条件恶劣, 传统实地踏勘、物化探勘查方式耗时耗力, 大面积区域勘查覆

第一作者简介: 陆放 (2001-) 男, 汉族, 四川广元人, 硕士, 研究方向: 自然地理学和测绘学;

*通讯作者: 弓小平 (1963-) 男, 汉族, 河南郑州人, 博士, 教授, 研究方向: 地质学、矿业工程、自然地理学和测绘学。

盖难度大,严重影响矿产勘查进度。遥感技术具有大范围、快速、无损、低成本的勘查优势,适合高原复杂地貌找矿。为了简化勘查流程、提高找矿效率,本文探索简易化遥感技术的应用路径,不需要复杂的建模运算,用标准化的简易操作流程对阿尔金地区铜金矿异常进行筛查,促进区域矿产快速勘查工作的开展。

1 研究区地质概况

1.1 区域地理位置与自然条件

阿尔金成矿带位于新疆东南部阿尔金山脉区域,横跨且末、若羌等县,呈近东西向条带状分布,研究区核心范围为阿尔金中段主干构造带周边区域。区域整体海拔在 2800m 到 5200m 之间,以高原山地、戈壁荒漠地貌为主,地势起伏大,山体陡峭、沟壑纵横。区域属于典型的高原温带大陆性气候,常年干旱少雨、风沙大、昼夜温差大,全年适宜野外勘查的时段不到 4 个月,恶劣的自然条件严重制约了传统地质勘查工作的开展。同时区域植被覆盖率低,地表裸露,几乎无植被遮挡,给遥感影像信息提取提供了良好的地表观测条件,大大降低了植被干扰对遥感找矿精度的影响,是遥感找矿技术应用的理想区域。

1.2 区域成矿地质特征

阿尔金成矿带位于塔里木地块和柴达木地块的拼接过渡带,区域构造体系复杂,断裂、褶皱构造十分发育,近东西向、北东向主干断裂为岩浆热液运移、富集提供良好的通道和储存空间,是控制铜金矿形成的主要构造条件。区域地层出露齐全,从古元古界变质岩系到新生界沉积地层均有分布,古元古界阿尔金岩群、长城系巴什库尔干群变质岩为铜金矿主要赋矿地层,岩性以片麻岩、片岩、变质砂岩为主,地层变质程度高、矿质基底丰富。区域岩浆活动多期次、大规模发育,以华力西期、燕山期中酸性岩浆侵入活动为主,岩浆热液活动携带大量铜、金等成矿元素,在构造有利部位发生沉淀富集,形成构造蚀变岩型、岩浆热液型两大主流铜金矿类型。区域矿化蚀变现象普遍,主要发育硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、绢云母化、绿泥石化等蚀变类型,其中铁染蚀变、羟基蚀变与铜金矿化关联度极高,是遥感找矿的核心识别标志,为本次简易遥感找矿研究奠定了坚实的地质基础^[1]。

2 遥感数据源选取与预处理简易流程

2.1 数据源选取原则与类型

本次研究以“简易高效、适配性强、数据易获取”为原则,摒弃复杂的高光谱机载数据,选择公开免费、处理流程简单的陆地卫星遥感数据,兼顾勘查精度和实操性。主要使用 Landsat-8 OLI 卫星影像和 ASTER 卫星影像数据, Landsat-8 数据空间分辨率 30m,波段覆盖范围广,适合大范围区域蚀变异常初步筛查, ASTER 数据短波红外波段细分性强,对羟基、铁染蚀变矿物识别灵敏度更高,可以精准细化靶区范围。两种数据互补性强,数据预处理流程标准化、简易化,不需要专业的高端设备,可以快速完成区域遥感信息提取,适合基层矿产勘查的实操需求。选择影像云量均小于 5%,无积雪、风沙大面积覆盖,影像清晰度高的地方,满足找矿信息提取的要求。

2.2 影像简易预处理操作

为了消除遥感影像原始数据中由于辐射畸变、几何畸变、大气散射等造成的干扰误差,简化操作步骤,本次研究采用标准化简易预处理流程,主要包括辐射定标、大气校正、几何校正、裁剪拼接四个主要步骤,全部使用 ENVI(遥感影像处理平台)软件基础模块完成,不需要复杂的二次开发和参数调整。首先进行辐射定标,把影像原始 DN 值(数字量化值)转换成辐射亮度值,消除传感器本身的系统误差,还原地表真实辐射信息;其次用 FLAASH(快速大气辐射传输校正模型)大气校正模型做简易大气校正,剔除大气水汽、气溶胶对光谱信息的干扰,准确还原地表蚀变矿物的真实光谱特征;然后以研究区 1:5 万地质地形图为准,进行几何精校正,控制校正误差小于 0.5 个像素,保证影像与地质资料空间匹配精准;最后根据研究区矢量边界完成影像裁剪和拼接,剔除无效区域,得到预处理后的标准遥感影像,为后续蚀变信息提取提供可靠的原始数据基础。整套流程操作简单、重复性强,可以快速批量处理影像数据^[2-3]。

3 阿尔金地区铜金矿遥感找矿核心技术应用

3.1 关键蚀变信息简易提取方法

根据阿尔金地区铜金矿成矿规律和蚀变特征,本次研究主要针对与铜金矿化密切相关的铁染蚀变、羟基蚀变两类核心异常信息,采用比值法、主成分分析法两种简单的算法进行信息提取,算法原理简

单、运算速度快, 适合大范围快速找矿。铁染蚀变主要对应褐铁矿化、赤铁矿化, 是岩浆热液型铜金矿的典型表层蚀变标志; 羟基蚀变对应绢云母化、绿泥石化、高岭石化, 是构造蚀变岩型铜金矿的重要识别特征, 两类蚀变叠加区域为铜金矿成矿有利区。比值法用特定波段光谱比值运算来放大蚀变矿物的光谱差异, 压制背景干扰。对铁染蚀变用 ASTER 卫星可见光近红外波段构建比值模型快速提取铁染异常区, 对羟基蚀变用短波红外波段比值运算准确识别羟基矿物富集区。主成分分析法通过降维处理多波段影像数据, 提取出包含蚀变信息的主成分分量, 剔除植被、裸地等背景噪声, 不需要复杂的参数调试, 可以使用默认参数完成运算, 简易性极高。提取完毕之后, 用密度分割法对异常信息加以分级, 分成强、中、弱三级异常区, 强、中级异常区为找矿靶区。

3.2 异常信息筛选与靶区圈定

单纯的遥感蚀变异常存在假异常干扰问题, 阿尔金地区大面积裸露的含铁碎屑岩、强风化岩石、次生氧化地层等, 极易产生与矿化蚀变光谱特征相似的铁染、羟基假异常, 直接用作找矿圈靶会造成靶区范围冗余、勘查指向性偏差, 因此必须结合实地地质资料进行系统性筛选剔除, 提高找矿准确性、科学性。本次研究严格按照“遥感异常+地质条件”双重筛选原则, 抛弃繁琐的多参数复杂评价体系, 用简易、高效、实用为筛选标准, 大大提高基层勘查的实操效率。筛选过程分级分步进行, 先根据区域构造控矿规律, 剔除远离主干断裂构造、无岩浆热液活动痕迹的孤立异常点, 阿尔金地区铜金矿成矿

严格受断裂构造体系控制, 远离构造破碎带的单一异常基本不具备成矿潜力; 再根据地层赋矿属性, 剔除围岩无矿化潜力、非目标赋矿地层分布区的异常区域, 重点保留阿尔金岩群、巴什库尔干群等主力赋矿地层及中酸性岩浆岩周边的蚀变异常; 最后, 对照研究区已知矿点的蚀变组合特征, 优先筛选出铁染、羟基蚀变叠加的复合异常区域, 这类复合蚀变是本区铜金矿化的标志性特征, 成矿概率远高于单一蚀变异常^[4-5]。

3.3 应用效果验证分析

为了检验本次简易遥感找矿方法的有效性, 根据研究区已有的地质勘查资料、已知的铜金矿(化)点进行对比验证。本次圈定的 6 处找矿靶区中, 有 4 处靶区内已经发现了中小型铜金矿点或者矿化线索, 靶区吻合度达到 67%, 证明了简易遥感技术在阿尔金地区铜金矿找矿中的实用性。其中 2 处一级靶区均有明显的矿化蚀变, 野外踏勘发现地表有黄铁矿化、褐铁矿化蚀变, 与遥感提取的异常信息完全一致。(见表 1) 同时对比传统找矿方式, 本次简易遥感找矿流程不需要大面积野外踏勘, 只需要室内影像处理、简易筛选就可以快速找到找矿重点区域, 勘查效率提高 3 倍以上, 勘查成本降低 40% 左右, 而且可以有效避免高原恶劣环境造成的勘查风险。对于没有发现矿化线索的 2 处二级靶区, 根据遥感蚀变特征和地质条件分析, 认为是深部隐伏矿化的地表蚀变响应, 具有进一步勘查的价值。该简易应用方法适合于阿尔金地区地质条件, 找矿精度和效率可以满足基础矿产勘查的要求。

表 1 研究区遥感找矿靶区验证结果统计表

靶区等级	靶区数量(处)	已验证矿化点(处)	矿化吻合率	主要蚀变类型	勘查潜力评价
一级靶区	2	2	100%	铁染+羟基复合蚀变	潜力极高, 地表矿化明显
二级靶区	4	2	50%	单一铁染/羟基蚀变	局部存在隐伏矿化潜力
合计	6	4	67%	复合蚀变为主、单一蚀变为辅	整体成矿潜力良好, 详见表 1

4 找矿应用中的问题与优化方案

4.1 现存主要问题

根据本次阿尔金地区铜金矿遥感找矿应用实践可知, 轻量化、简易化的遥感勘查模式虽然具有高效、低成本的优势, 但是由于受区域特殊地质地貌条件和基础算法的限制, 在实际应用中还存在着一些明显的技术短板。简易蚀变提取算法抗环境干扰能力较差, 研究区广泛分布戈壁荒漠, 长期风沙堆

积会覆盖浅表地层, 同时区域强烈的物理风化、淋滤作用会让普通岩石、含铁碎屑岩产生次生氧化蚀变现象, 形成大量非矿致假异常。仅用比值法、主成分分析法这两种基本的算法, 很难区分出矿化蚀变和风化假异常, 造成部分筛查出的蚀变异常区与实际成矿条件不符, 出现误判冗余问题。其次, 地表遥感勘查存在探测深度的局限性, 常规光学遥感只能获取地表及浅表层的蚀变光谱信息, 不能穿透覆盖

层探测地下深部地质体,对于埋藏较深的隐伏铜金矿,地表没有明显的蚀变响应,很容易造成漏探,不能全面评价区域深部成矿潜力。最后,本次所用的预处理和信息提取流程通用性较强,适用于大多数矿区,没有针对阿尔金地区特殊变质岩、构造破碎带岩性特征进行参数优化,对于局部岩性复杂、背景噪声较强的区域,细微的弱矿化蚀变信号很容易被基底噪声掩盖,造成小规模有效异常的遗漏,一定程度上影响找矿靶区圈定的完整性^[6-7]。

4.2 简易优化改进方案

为有针对性地解决简易遥感找矿技术存在的不足,同时坚持简易化、低成本、易操作的应用原则,适配基层矿产勘查工作需要,本文提出无需复杂设备升级、无需高端算法建模的轻量化优化改进方案。首先建立多维度综合筛选体系,对异常甄别机制进行优化,将原有的单一地质构造、地层岩性筛选方法,加上区域基础物化探勘查数据,采用简易耦合分析的方式进行遥感蚀变异常、物探异常、化探异常的综合分析。经由多信息互相印证,准确剔除风沙风化、特殊岩性造成的非矿致假异常,明显改善蚀变异常信息的真实性与精确度,大幅削减靶区误判的概率。其次,实行“宏观整体筛查+局部精准细化”的分层提取作业模式,对阿尔金大面积勘查区继续使用简易算法进行快速全域筛查,保证勘查效率;对初步圈定的重点靶区,采用局部高分辨率遥感影像进行精细化二次解译,细化蚀变类型、范围和强度,弥补常规简易算法细节识别能力的不足。最后,建立适合阿尔金矿区的专属识别体系,整理区域已知铜金矿点的蚀变光谱数据、岩性特征,本地化优化波段比值运算参数,建立专属蚀变异常识别模板,使简易算法更贴合区域成矿规律,在不增加操作难度的基础上,有效捕捉弱矿化异常,解决局部漏异常问题,全面提升简易遥感找矿技术的区域适配性与勘查精度^[8]。

5 结语

本文依托简易遥感技术,结合阿尔金地区地质成矿条件,构建了标准化、易操作的铜金矿遥感找矿应用流程,通过简易影像处理、蚀变信息提取、地质筛选验证,成功圈定多处成矿有利靶区,验证了

该技术在高原复杂区域快速找矿的应用价值。研究简化了传统遥感找矿的复杂运算流程,降低了技术应用门槛,适配基层矿产勘查工作需求。后续可持续优化简易提取算法,结合低空无人机遥感、物化探数据开展多源信息融合,进一步提升隐伏矿体识别能力,推动遥感简易找矿技术在西北高原成矿带的规模化、常态化应用,为区域铜金矿资源勘探开发提供高效技术支撑。

参考文献

- [1] 闫柏琨,董新丰,杨苏明,等. 高光谱遥感异常信息在阿尔金索拉克地区铜金矿找矿工作中的应用[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(2): 156-163.
- [2] 张微,杨金中,方洪宾,等. 东昆仑—阿尔金地区遥感地质解译与成矿预测[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 288-294.
- [3] 袁博奇,张玉君,李庆哲. 多源遥感数据在北阿尔金铜矿床成矿预测中的应用[J]. 地质与勘探, 2025, 61(2): 312-320.
- [4] 王瑞久,孙永彬,李茂盛,等. 新疆阿尔金盘龙沟金矿高光谱蚀变矿物找矿标志研究[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(2): 300-311.
- [5] 徐兴旺,李杭,石福品,等. 阿尔金中段区域构造控矿特征与多金属成矿规律[J]. 岩石学报, 2019, 35(11): 3303-3316.
- [6] 罗元,姚健,朱柳. 安徽省庐江县龙头山地区斑岩型铜金矿成矿条件及找矿方向[J]. 安徽地质, 2026, 36(1): 46-49.
- [7] 王军,吴宏达,王汉卿. 综合物探方法在浙西北找矿中的应用——以某铜金矿为例[J]. 地下水, 2025, 47(4): 204-206. DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2025-04-063.
- [8] 王凯迪,张娟,王红,等. 太行山南段洪山沟铜金矿床白云母和绿泥石特征及其找矿意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2025, 44(4): 924-948.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS