



基于 Crosta 方法的遥感矿化蚀变信息提取与找矿远景区圈定 ——以小兴安岭伊春地区为例

曹 会¹, 张洪文¹, 邢立新², 李雨柯¹, 温秋园¹, 衣国强¹

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021; 2. 吉林大学, 吉林 长春 130021

摘 要: 以 Landsat8 OLI 遥感数据为基础数据源, 以 ASTER 和 ALOS 数据为解译底图, 采用目视解译的方法, 对小兴安岭伊春地区地层、线性构造、环形构造进行解译。以蚀变围岩的“诊断光谱”为理论依据, 结合波段比值和主成分分析法提取羟基和铁染蚀变信息, 并结合密度分割对主分量划分蚀变等级。对照遥感解译的断裂构造、环形构造和蚀变矿化信息进行综合分析, 从遥感角度圈定成矿有利部位, 以供野外找矿参考。

关键词: Landsat8 数据; Crosta 方法; 遥感; 蚀变信息; 成矿预测; 黑龙江省

Extraction of remote sensing mineralization alteration information and delineation of prospecting potential areas based on Crosta technique: A case study of Yichun area in Xiaoxinganling Mountains

CAO Hui¹, ZHANG Hong-wen¹, XING Li-xin², LI Yu-ke¹, WEN Qiu-yuan¹, YI Guo-qiang¹

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China;

2. Jilin University, Changchun 130021, China

Abstract: Based on the Landsat8 OLI remote sensing data, with ASTER and ALOS data as the interpretation base maps, this study interprets the strata, and linear and ring structures in Yichun area, Xiaoxinganling Mountains, by visual interpretation. Guided by the theory of diagnostic spectra for altered wall rocks, the hydroxyl alteration and ferric contamination anomaly information are extracted with band ratio and principal component analysis (PCA). The alterations in principal components are graded by density slicing. Through comprehensive analysis of remote sensing interpreted faults, ring structures and alteration-mineralization information, potential mineralization areas are delineated

收稿日期: 2023-12-06; 修回日期: 2024-01-16. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心科技创新基金“高植被密度区不稳定斜坡激光雷达数据最优分割尺度分类识别”(KC20220014); 中国地质调查局项目“热点地区应用地质环境分析评估”(DD20230593), “黑龙江 1:5 万三兴山、白桦林场、友谊经营所、鸡爪河林场(M52E021011、M52E022011、M52E023011、M52E024010)幅区域地质矿产调查”(12120113072600).

作者简介: 曹会(1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事遥感地质解译工作, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//22234540@qq.com

通信作者: 张洪文(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事自然资源调查及区域地质矿产调查研究工作, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//zhanghw8681@163.com

引用格式: 曹会, 张洪文, 邢立新, 李雨柯, 温秋园, 衣国强. 基于 Crosta 方法的遥感矿化蚀变信息提取与找矿远景区圈定——以小兴安岭伊春地区为例[J]. 地质与资源, 2025, 34(3): 323-329.

Cao H, Zhang H W, Xing L X, Li Y K, Wen Q Y, Yi G Q. Extraction of remote sensing mineralization alteration information and delineation of prospecting potential areas based on Crosta technique: A case study of Yichun area in Xiaoxinganling Mountains [J]. *Geology and Resources*, 2025, 34(3): 323-329.

from the perspective of remote sensing to provide references for field prospecting.

Key words: Landsat8 data; Crosta technique; remote sensing; alteration information; metallogenic prediction; Heilongjiang Province

0 引言

围岩蚀变是指在地质活动中, 热液矿床使周围岩石的矿物组分和矿物结构发生化学变化. 遥感技术作为地质研究和地质勘查的重要手段, 可以根据蚀变岩石所具有的特殊光谱特征, 对蚀变信息进行提取, 进而确定找矿靶区, 缩小找矿范围, 为地质工作者提供找矿依据^[1].

自 20 世纪 70 年代以来, 矿化蚀变信息提取方法一直是遥感技术应用于地质领域以来的研究热点. 国内外研究者在遥感蚀变信息提取方面提出很多方法, 目前对 ASTER、ETM/TM、Landsat8 等多光谱遥感数据的提取方法较为成熟, 比如主成分分析法、光谱角法、比值法等, 其中“掩膜+主成分分析法”应用较广^[2-5].

1 研究区概况

研究区位于黑龙江省中北部, 行政区划隶属于伊春市友好区、五营区、上甘岭区管辖, 包括 1:5 万三兴山幅、白桦林场幅、友谊经营所幅、鸡爪河林场幅 4 个国际分幅, 总面积 1 374 km². 研究区大地构造位于兴蒙造山带的东段, 小兴安岭-张广才岭弧盆系内. 区内除第四纪河流堆积外, 出露的地层主要为中生界下白垩统板子房组、宁远村组、嫩江组和新生界中-上新统孙吴组. 同时发育中生代火山岩、中生代侵入岩和少量古生代侵入岩(图 1). 研究区位于小兴安岭北东麓, 整体地形较复杂, 属低山丘陵-森林沼泽景观区, 植被覆盖率高, 森林覆盖率在 80%以上. 区内高植被覆盖为地质找矿带来极大的不便, 是遥感蚀变信息提取的绝佳试验场.

2 遥感数据处理

2.1 数据来源

本研究采用美国陆地卫星(Landsat8)2019 年 5 月 3 日接收的 117-26 和 117-27 数据, 图像无云, 地表植被覆盖率低, 无积雪影响. 同时, 辅以 ALOS 和 ASTER 数据作为解译底图.

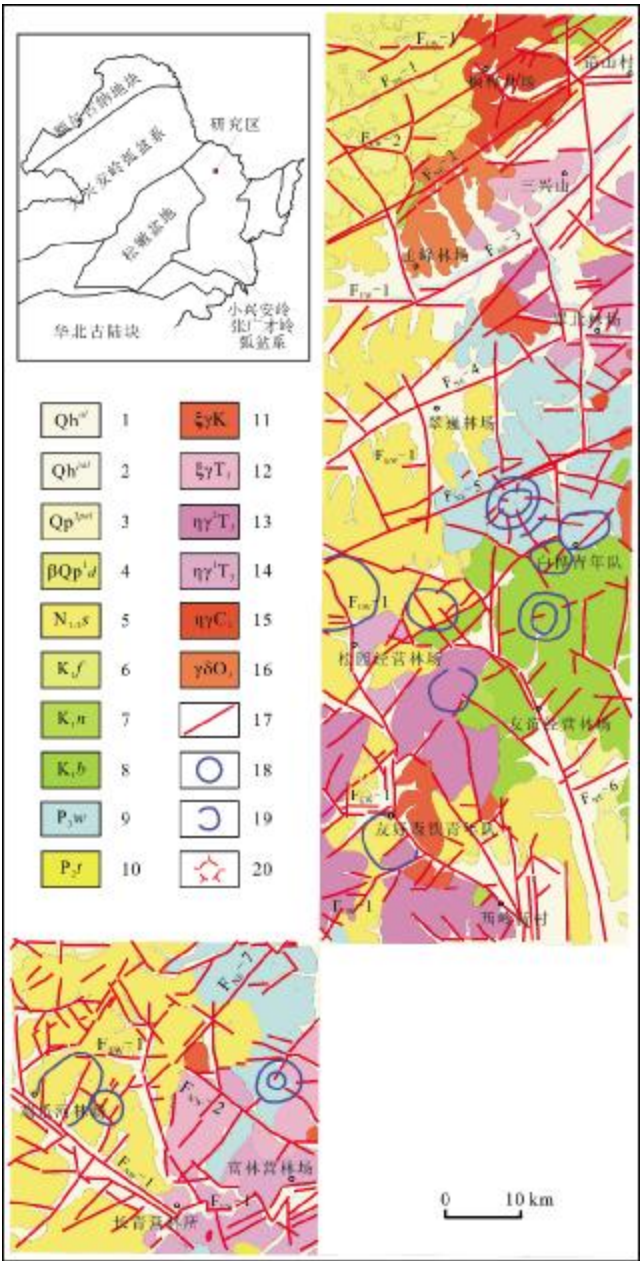


图 1 研究区地质与线、环构造解译图

Fig. 1 Geological map of the study area with linear and ring structure interpretation

1—全新统低河漫滩冲积层 (Holocene alluvium of low flood plain); 2—全新统高河漫滩冲洪积层 (Holocene alluvium-diluvium of high floodplain); 3—上更新统冲洪积层 (Upper Pleistocene alluvium-diluvium); 4—下更新统大熊山玄武岩 (Lower Holocene Daxionshan basalt); 5—中-上新统

孙吴组 (Miocene-Pliocene Sunwu fm.); 6—下白垩统福民河组 (Lower Cretaceous Fuminhe fm.); 7—下白垩统宁远村组 (Lower Cretaceous Ningyuancun fm.); 8—下白垩统板子房组 (Lower Cretaceous Banzifang fm.); 9—下侏罗统二浪河组 (Lower Jurassic Erlanghe fm.); 10—中二叠统土门岭组 (Middle Permian Tumenling fm.); 11—早白垩世正长花岗岩 (Early Cretaceous syenogranite); 12—晚三叠世正长花岗岩 (Late Triassic syenogranite); 13—晚三叠世二期粗粒、中粗粒似斑状二长花岗岩 (coarse-grained, medium-coarse-grained porphyritic monzogranite of the second stage of Late Triassic); 14—晚三叠世一期细中粒似斑状二长花岗岩 (fine-medium-grained porphyritic monzogranite of the first stage of Late Triassic); 15—晚石炭世二长花岗岩 (Late Carboniferous monzogranite); 16—晚奥陶世花岗闪长岩 (Late Ordovician granodiorite); 17—线性构造 (linear structure); 18—环形构造 (ring structure); 19—火山机构 (volcanic edifice); 20—火山口 (volcanic crater)

2.2 遥感数据预处理

选用 Landsat8 OLI 影像作为地质解译和蚀变信息提取数据源,首先对数据经过辐射定标和 FLAASH 大气校正处理,消除大气中其他成分吸收和散射影响,获取真实的地表反射率,并根据调查区范围裁剪。

2.3 干扰去除处理

植被干扰去除,使用归一化植被指数 (NDVI) 提取掩膜数据。基于 Landsat8 数据计算公式为:

$$NDVI = \frac{band5 - band4}{band5 + band4} \tag{1}$$

式中, band 代表波段,数字为波段号。通过阈值计算获取植被掩膜,用于植被干扰去除。

水体干扰去除,采用新型水体指数 NDWI,更适用于植被较多且地形复杂的地区,计算公式为:

$$NDWI = \frac{band1 - (band6 + band7)}{band1 + band6 + band7} \tag{2}$$

对获得图像进行密度分割,确定水体感兴趣区,输出为掩膜文件,用于去除水体干扰信息。

3 遥感地质解译

区内线性构造发育,主要为断层、节理裂隙等。4幅图整体的构造格局有明显差异,各自的发育特点如下。

三兴山幅以北东向、南北向和东西向线性构造为主,且北东向基本为隐伏构造。主要影像特征是其明显控制现代河谷发育及地质体错断,并对古生代和中生代侵入岩及第四纪玄武岩分布范围均有所控制。

白桦林幅则以东西向、北西向、南北向线性构造构成主要构造格架,并发育环形构造。主要影像特征是其明显控制现代河谷,环形主要为大面积中生代火山机构构造,成因是中生代的火山机构所致,表现为环状水系、环状节理及放射状断裂。

友谊经营所幅以北北西、北东向为主要构造格局,局部发育南北向构造。总体上以北东向构造发育最早,北北西向构造最晚 (或是继承性新的活动),且贯穿全区,控制现代河流发育,东西向不发育。

鸡爪河幅以北西向和南北向线性构造控制中上新统孙吴组的地层以及中生代火山岩、侵入岩分布。发育少量环形构造。

4 Crosta 方法提取蚀变信息

在多数热液蚀变岩石中含有赤铁矿、针铁矿、磁铁矿、黄钾铁矾、高岭石、黑云母、绿泥石等蚀变矿物,而这些蚀变矿物赋存 Fe³⁺、Al-OH、Mg-OH 离子等,它们在多光谱遥感数据中均存在特征波谱——“诊断性”光谱。蚀变矿物的特征波段位置与 Landsat8 影像数据对应关系如表 1 所示。

Crosta 方法^[5]主要应用于遥感蚀变信息提取中,该方法主要通过遥感数据波段组合的主成分分析 (PCA) 提取铁染和羟基异常信息^[6-19]。基于 Crosta 方法利用

表 1 铁蚀变和羟基蚀变的波谱依据
Table 1 Spectral basis of iron alteration and hydroxyl alteration

离子或基团	特征波谱波长位置		对应 OLI 波段	异常提取依据	典型矿物
	反射峰/ μm	吸收谷/ μm			
Fe ³⁺	0.65~0.75, 1.50~1.70	0.48~0.50, 0.86	Band2、4、5、6	利用 Band2、5 的吸收特征和 Band4、6 的反射特征	磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾
OH ⁻	0.5, 1.55~1.60	0.86, 2.10~2.30	Band2、5、6、7	利用 Band2、6 的反射特征和 Band5、7 的吸收特征	高岭石、绿泥石、黑云母、角闪石、绿帘石

Landsat8 OLI 数据进行 PCA 提取异常信息准则为:构成该主成分的特征向量 Band2 和 Band5 载荷系数与 Band4 和 Band6 系数符号相反, Band2 一般与 Band5 系数符号一致. 依据有关地物诊断光谱特征,铁染信息包含于符合这一判断准则的主分量内, 将该主分量称为铁染异常主分量. 同理,利用这一准则提取羟基异常信息,构成该主成分的特征向量 Band2 和 Band6 载荷系数与 Band5 和 Band7 系数符号相反,Band2 一般与 Band6 系数符号一致. 依据有关地物诊断光谱特征,羟基异常信息包含于符合这一判断准则的主分量内,该主分量称为羟基异常主分量.

4.1 羟基蚀变信息提取

基于前文论述 Crosta 异常信息提取原理,对羟基提取蚀变信息时,选用 Band2、5、6、7 组合进行主成分分析. 据表 2 特征向量矩阵分析可知, PC4 主分量符合标准,即 PC4 为羟基蚀变主分量图像.

表 2 Band 2、5、6、7 主成分分析特征向量矩阵
Table 2 Eigenvector matrix of Bands 2, 5, 6 and 7 based on principal component analysis

特征向量	Band2	Band5	Band6	Band7
PC1	-0.471045	-0.815558	-0.328754	-0.070023
PC2	-0.694435	0.577303	-0.409652	-0.129094
PC3	0.543477	0.031790	-0.818103	-0.185283
PC4	-0.022575	0.023989	-0.234122	0.971649

为了更加直观地提取羟基蚀变异常信息, 利用 ENVI 5.3 软件中密度分割工具,对主分量进行阈值分割. 采用主分量门限法区分等级,即利用 $x=k\sigma$, (x 为均值, σ 为标准差, k 值一般取 1~3), 对 PC4 进行分级划分,制作研究区羟基异常分布图. 采用弱(蓝)、中(绿)、强(红)三级表达(如图 2).

4.2 铁染蚀变信息提取

根据前人研究发现, Band6/Band5 比值可以进一步增强铁化蚀变图像的亮度反差. 因此, 本研究用 Band6/Band5 代替 Band6,利用 Band2、4、5、6/5 组合进行主成分分析. 据表 3 特征向量矩阵分析可知, PC3 主分量符合标准,即 PC3 为羟基蚀变主分量图像.

同样采用主分量门限法,对 PC3 进行蚀变信息异常等级划分, 制作研究区羟基异常分布图. 采用弱

(蓝)、中(绿)、强(红)三级表达(如图 2).

表 3 Band 2、4、5、6/5 主成分分析特征向量矩阵
Table 3 Eigenvector matrix of Bands 2, 4, 5 and 6/5 based on principal component analysis

特征向量	Band2	Band4	Band5	Band6/5
PC1	-0.415745	-0.651497	-0.634592	-0.000244
PC2	-0.417582	-0.483116	0.769560	-0.000940
PC3	-0.807948	0.584933	-0.071200	0.001729
PC4	0.000903	-0.001624	0.000691	0.999998

5 遥感找矿远景区圈定

根据遥感解译的断裂构造、环形构造以及遥感异常蚀变信息等遥感综合信息(I 级为线环构造交汇、遥感蚀变异常高,是找矿最有利地段),在工作区内共圈出 6 处遥感信息综合异常区(图 3).

通过资料收集,研究区内分布有金矿化点 4 处,铁矿点 3 处,大型铁多金属矿床 1 处,其中 4 处落入成矿预测区内:铁矿点 2 处,金矿化点 1 处,大型铁多金属矿床 1 处(如图 3).

预测区 I:地质背景主要为上更新统顾乡屯组黄褐色黄土状亚黏土、亚砂土等及下白垩统福民河组流纹岩、流纹质角砾岩,为北东向与北西向构造交汇部位. Fe³⁺和 OH⁻遥感蚀变信息强烈,且以强蚀变为主. 预测区内存在 1 处金矿化点.

预测区 II:地质背景主要为晚三叠世粗粒、中粗粒似斑状花岗岩,为北东向线形构造. Fe³⁺遥感蚀变信息强烈,且以强蚀变为主.

预测区 III:地质背景主要为中-上新统孙吴组砂砾岩、砂岩泥岩等,为北东向线形构造. Fe³⁺遥感蚀变信息强烈.

预测区 IV:地质背景主要为晚三叠世二期粗粒、中粗粒似斑状花岗岩和中-上新统孙吴组砂砾岩、砂岩泥岩等,为北东向线形构造. Fe³⁺和 OH⁻遥感蚀变信息强烈,且以强蚀变为主. 预测区内存在 2 处铁矿点, 1 处大型铁多金属矿床.

预测区 V:地质背景主要为上更新统顾乡屯组黄褐色黄土状亚黏土、亚砂土等及下白垩统板子房组玄武岩、安山岩、安山质角砾岩、安山质凝灰岩等,为北东

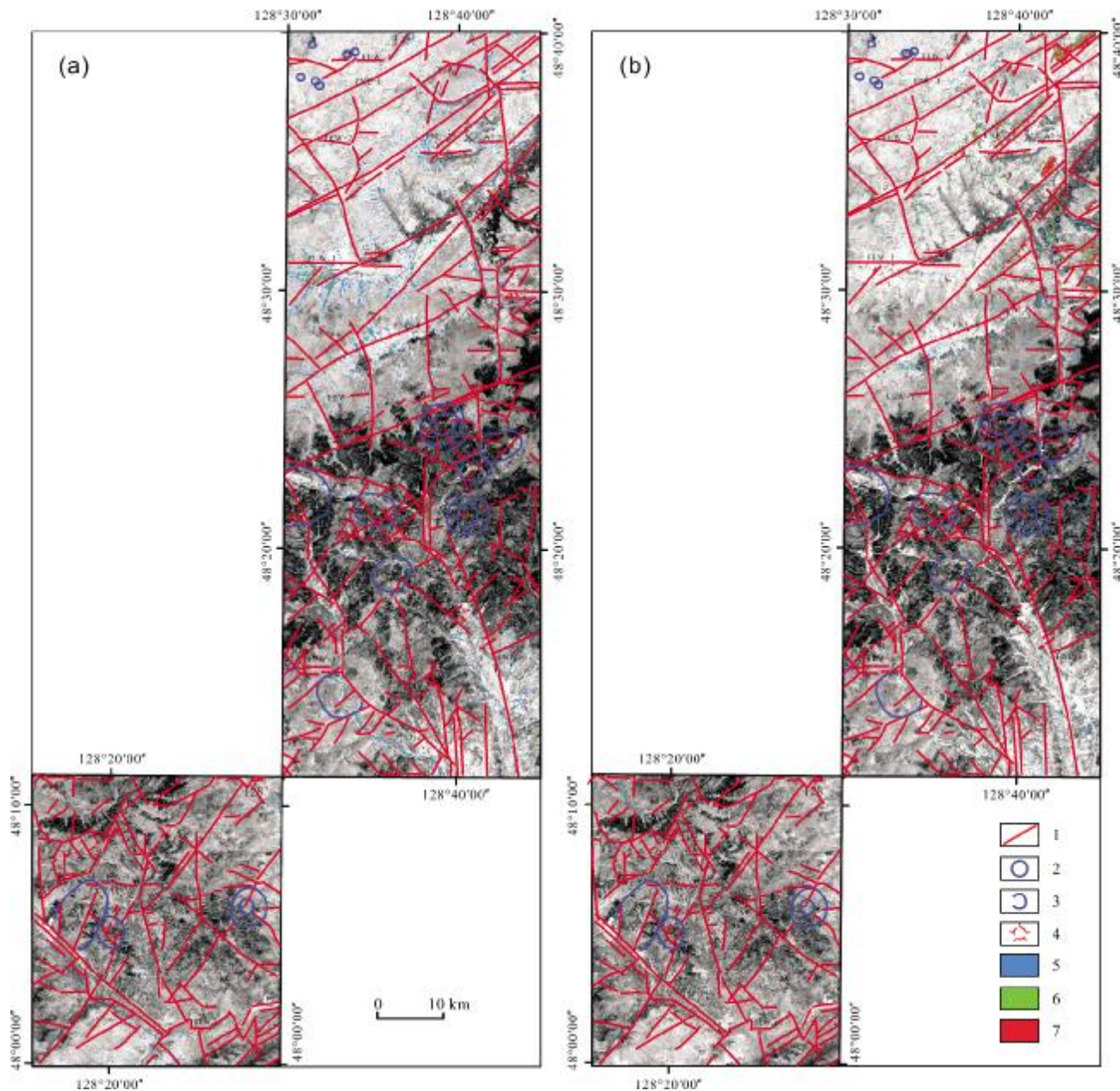


图 2 研究区蚀变异常分布图

Fig. 2 Distribution maps of alteration anomalies in the study area

a—羟基异常(hydroxyl anomaly); b—铁染异常(ferric contamination anomaly); 1—线性构造(linear structure); 2—环形构造(ring structure); 3—火山机构(volcanic edifice); 4—火山口(volcanic crater); 5—弱异常(weak anomaly); 6—中异常(moderate anomaly); 7—强异常(strong anomaly)

向线形构造. OH 遥感蚀变信息强烈,且以强蚀变为主.
预测区Ⅵ:地质背景主要为中-上新统孙吴组砂砾岩、砂岩泥岩等,为北东向与北西向构造交汇部位. Fe³⁺遥感蚀变信息强烈,且以强蚀变为主.

6 结论与展望

1)本研究以 Landsat8 OLI 数据为基础,通过分析

含铁离子矿物与羟基基团矿物的特征波谱曲线,在三兴山地区应用 Crosta 方法提取围岩蚀变,有效抑制干扰信息,提取效果较好.
2)采用主成分分析与比值法相结合的方法提取铁染蚀变信息,效果相较于单独运用主成分分析方法要好.
3)对三兴山地区遥感解译的断裂构造和环形构造

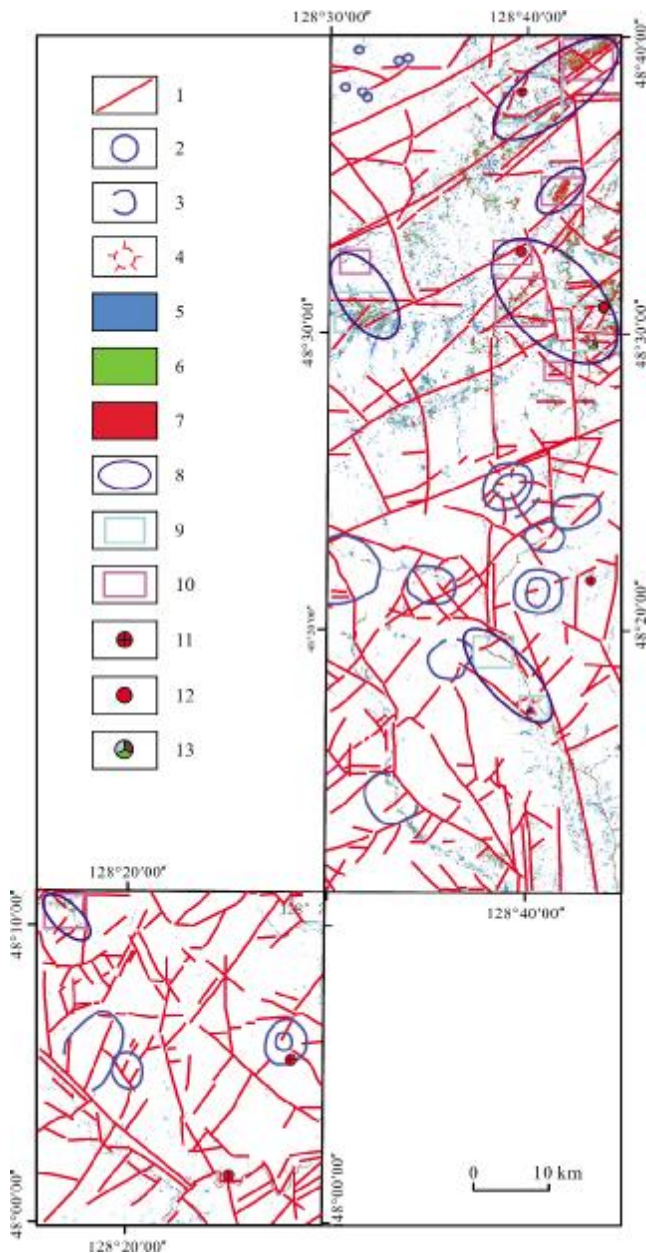


图3 研究区综合异常与成矿预测图

Fig. 3 Comprehensive anomaly and metallogenetic prediction map of the study area

1—线性构造(linear structure); 2—环形构造(ring structure); 3—火山机构(volcanic edifice); 4—火山口(volcanic crater); 5—弱异常(weak anomaly); 6—中异常(moderate anomaly); 7—强异常(strong anomaly); 8—预测区及编号(prediction area and number); 9—羟基异常(hydroxyl anomaly); 10—铁染异常(ferric contamination anomaly); 11—金矿化点(gold mineralized spot); 12—铁矿点(iron ore occurrence); 13—大型铁多金属矿床(large iron polymetallic deposit)

特征进行研究,结合区域地层岩性综合分析,从遥感角度圈定成矿有利部位,可供野外找矿参考.

4)此次研究可以看出,利用 Landsat8 数据可以进

行蚀变信息提取,但是提取的蚀变信息容易受到第四系干扰产生假异常.因此,在以后工作中如何运用多光谱数据有效去除第四系等干扰信息,提高蚀变信息提取精度,并更有效应用到地质调查中是今后工作重点.

参考文献(References):

[1]曹会,张廷秀,李雨柯,等.基于中、高分辨率遥感影像的羟基和铁染蚀变信息提取与成矿预测——以吉林市等六幅为例[J].地质与资源,2021,30(6):710-715,706.
Cao H, Zhang T X, Li Y K, et al. Hydroxyl and iron-stained alteration information extraction and metallogenetic prediction based on medium-high-resolution remote sensing images: A case study of six map sheets in Jilin City[J]. Geology and Resources, 2021, 30(6): 710-715, 706.
[2]冯新义,吕成哲,逯跃峰,等.基于 Landsat 8 OLI 数据内蒙古石哈河地区蚀变信息提取[J].内蒙古科技与经济,2023(6):73-77.
Feng X Y, Lv C Z, Lu Y F, et al. Alteration information extraction in Shihah area of Inner Mongolia based on Landsat 8 OLI data[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2023(6): 73-77. (in Chinese)
[3]贺金鑫,姜天,董永胜,等.基于 Landsat 8 的辽宁弓长岭区遥感蚀变信息提取[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(3):894-902.
He J X, Jiang T, Dong Y S, et al. Alteration information extraction based on remote sensing of Landsat 8 in Gongchangling area of Liaoning[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2019, 49(3): 894-902.
[4]崔静月,董玉森,岳文丽,等.基于遥感蚀变信息提取巴林格撞击坑周边铁陨石[J].地质科技通报,2021,40(1):209-216.
Cui J Y, Dong Y S, Yue W L, et al. Extraction of iron meteorites from the Barringer Meteor Crater based on remote sensing alteration information[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(1): 209-216.
[5]高峰,王云鹏,胡歆怡.基于 Crosta 方法的珠江口总悬浮物遥感异常信息提取研究[J].绿色科技,2018(6):1-4,8.
Gao F, Wang Y P, Hu X Y. Study on remote sensing abnormal information extraction of total suspended matter in the Pearl River estuary based on Crosta method[J]. Journal of Green Science and Technology, 2018(6): 1-4, 8.
[6]王守志,邢立新,杨爱霞,等. Landsat8 数据与 GF-1 数据提取铁染蚀变信息的对比分析[J].安徽农业科学,2016,44(9):284-287.
Wang S Z, Xing L X, Yang A X, et al. Comparative analysis of iron stained alteration information extracted by Landsat8 data and GF-1 data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(9): 284-287.
[7]王生礼,李志军.遥感蚀变信息提取研究综述[J].地质与资源,2023,32(4):462-470.
Wang S L, Li Z J. A review of remote sensing alteration information extraction techniques[J]. Geology and Resources, 2023, 32(4): 462-

- 470.
- [8]吴明刚,王能伟.基于 Landsat8 OLI 数据的遥感蚀变信息提取与成矿远景区圈定——以青海乌兰哈拉哈德山地区为例[J].矿产与地质, 2023, 37(1): 197–202.
- Wu M G, Wang N W. Remote sensing alteration information extraction and metallogenic prospect area delineation based on Landsat8 OLI data: A case study of Halehad Mountain area in Wulan County, Qinghai [J]. Mineral Resources and Geology, 2023, 37(1): 197–202.
- [9]王烜,雷广新,江洋.基于主成分分析法对遥感蚀变异常提取——以内蒙古伊和诺尔地区 1:5 万矿调为例[J].地质与资源, 2014, 23 (S1): 122–128.
- Wang X, Lei G X, Jiang Y. Extraction of alteration anomalies from remote sensing data based on principal component analysis: A case study of the 1: 50 000 mineral geological survey in Yihenuer area, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2014, 23(S1): 122–128.
- [10]江山,张渝金,汪岩,等.基于 Landsat8 OLI 数据的遥感蚀变异常提取应用研究——以内蒙古阿鲁科尔沁旗地区为例[J].地质与资源, 2018, 27(1): 93–98.
- Jiang S, Zhang Y J, Wang Y, et al. Application of alteration anomaly extraction by remote sensing based on Landsat 8 OLI data: A case study of Ar Horqin Qi, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2018, 27 (1): 93–98.
- [11]冯雨林,时建民,杨利军.ETM+遥感影像矿化蚀变信息的提取与找矿实践[J].地质与资源, 2008, 17(1): 69–72.
- Feng Y L, Shi J M, Yang L J. Extraction of the mineralization and alteration information from ETM+ remote sensing image: The practice in exploration [J]. Geology and Resources, 2008, 17(1): 69–72.
- [12]王守志,邢立新,仲波,等.基于 Landsat-8 OLI 和 GF-1 PMS 数据融合的铁染蚀变信息提取[J].遥感技术与应用, 2016, 31(5): 950–957.
- Wang S Z, Xing L X, Zhong B, et al. Extraction of iron stained alteration information based on Landsat-8 OLI and GF-1 PMS data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(5): 950–957.
- [13]白杨林,吕凤军,苏鸿博,等.高光谱遥感蚀变矿物信息提取研究综述[J].遥感信息, 2023, 38(1): 1–10.
- Bai Y L, Lv F J, Su H B, et al. Review of hyperspectral remote sensing altered mineral information extraction [J]. Remote Sensing Information, 2023, 38(1): 1–10.
- [14]吴志春,叶发旺,郭福生,等.主成分分析技术在遥感蚀变信息提取中的应用研究综述[J].地球信息科学学报, 2018, 20(11): 1644–1656.
- Wu Z C, Ye F W, Guo F S, et al. A review on application of techniques of principle component analysis on extracting alteration information of remote sensing [J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(11): 1644–1656.
- [15]荆凤,陈建平.矿化蚀变信息的遥感提取方法综述[J].遥感信息, 2005(2): 62–65, 57.
- Jing F, Chen J P. The review of the alteration information extraction with remote sensing [J]. Remote Sensing Information, 2005(2): 62–65, 57.
- [16]梁昊,李程,李佳奇.基于 Landsat 8 遥感影像的矿化信息提取——以内蒙古额济纳为例[J].南方国土资源, 2016(11): 30–32, 36.
- Liang H, Li C, Li J Q. Extraction of mineralization information based on Landsat 8 remote sensing images [J]. Southern Land and Resources, 2016(11): 30–32, 36. (in Chinese)
- [17]彭光雄,王明艳,何皎.基于局部可变窗口的 Crosta 蚀变信息提取技术——以莫海拉亨为例[J].大地构造与成矿学, 2013, 37(3): 553–560.
- Peng G X, Wang M Y, He J. An improved Crosta technique based on local variable window for alteration information extraction: A case study of the Mohailaheng area [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37 (3): 553–560.
- [18]曹会,李青,李雨柯,等.黑龙江省嫩江地区遥感蚀变信息提取与找矿预测[J].吉林地质, 2021, 40(4): 48–56.
- Cao H, Li Q, Li Y K, et al. Remote sensing alteration information extraction and prospecting prediction of the Nenjiang area in Heilongjiang Province [J]. Jilin Geology, 2021, 40(4): 48–56.
- [19]汪子义,张廷斌,易桂花,等. Landsat8 OLI 数据斑岩铜矿遥感蚀变矿物组合提取研究[J].国土资源遥感, 2018, 30(3): 89–95.
- Wang Z Y, Zhang T B, Yi G H, et al. Extraction of hydrothermal alteration mineral groups of porphyry copper deposits using Landsat8 OLI data [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2018, 30(3): 89–95.