

应用研究·非煤矿山·

夏隆岗矿区铅多金属矿床外围 遥感找矿预测

Remote Sensing Prospecting Prediction of Lead Polymetallic Deposit in Xialonggang Mining Area

胡森^{1,2}, 吴华^{1,2}, 代克刚³, 冯德新⁴, 寸议存³

(1. 西藏大学工学院, 西藏拉萨 580000; 2. 西藏大学高原地表环境遥感监测联合实验室, 西藏拉萨 580000;

3. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 西藏拉萨 580000; 4. 西藏远海矿产勘查有限公司, 西藏拉萨 580000)

摘要:在利用遥感技术找矿中,矿化蚀变信息提取和遥感地质构造解译对矿床定位发挥了重要作用。以夏隆岗铅多金属矿为实例,选取 Landsat8 OLI 数据,利用矿区岩体蚀变相关的光谱特性,使用主成分分析法、波段比值法、二次主成分分析法,采用了干扰信号去除、异常信息提取、异常分级、中值滤波等方法提取蚀变信息,利用二次主成分分析方法提取铁染和羟基的混合异常信息,通过对遥感蚀变信息的分析结合遥感地质构造解译,确定了5个找矿远景区域,成矿远景区内的铁染、羟基、铁染和羟基的混合蚀变异常有叠加的现象,说明了夏隆岗地区具有较好的成矿潜力,为夏隆岗地质找矿工作提供了科学依据。

关键词:遥感; 主成分分析; 蚀变信息提取; 地质解译; 找矿预测

中图分类号: TD166

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2023)03-0001-06

Abstract:The extraction of mineralized alteration information and the interpretation of remote sensing geological structure play an important role in ore deposit location. Taking Xialonggang lead polymetallic mine as an example, Landsat8 OLI data was selected to extract alteration information by means of principal component analysis, band ratio method and secondary principal component analysis, including interference signal removal, anomaly information extraction, anomaly classification and median filtering. The mixed anomaly information of iron stain and hydroxyl group was extracted by the secondary principal component analysis method. Five prospecting potential areas were identified through the analysis of remote sensing alteration information combined with remote sensing geological structure interpretation. The mixed alteration and variation of iron stain, hydroxyl group, iron stain and hydroxyl group were often superposition in the metallogenic prospect area, indicating that the Xialonggang area has good metallogenic potential. It provides scientific basis for geological prospecting in Xialonggang.

Key words:remote sensing; principal component analysis; alteration information extraction; geological interpretation; prospecting prediction

1 前言

西藏自治区隆子县夏隆岗铅多金属矿区位于隆子县西 269°方向 27 km 处,地理坐标东经 92°05' ~

92°10',北纬 28°20' ~ 28°26',行政区隶属山南地区隆子县日当镇。其构造上位于特提斯—喜马拉雅构造一级构造之喜马拉雅板片,属新特提洋南部稳定大陆边缘的基底剥蚀区^[1]。测区为高原山区,总体呈南北高中间低,为深切高山峡谷(宽谷)区。区内最低海拔为 3 864 m,最高 5 145 m,平均 4 000 m,相对高差一般 500 ~ 1 000 m,最大 1 281 m。位于西藏南部、山南地区中偏北、喜马拉雅山东段北麓属南喜马拉雅地貌。属高原温带半干旱季风气候区。测区气候属高原山地半干旱气候类型,特点是日照长、昼夜温差大、年温差小,四季不分明。

[作者简介] 胡森(1998—),男,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为遥感地质。

[基金项目] 国家自然科学基金委员会区域创新发展联合基金:藏东南特大大冰川泥石流灾害链形成演进动力过程与风险预测(U20A20112);西藏大学人才创新团队与实验室平台建设-高原地热新能源创新团队与实验室平台建设团队(2022ZDTD10)

[引用格式] 胡森,吴华,代克刚,等. 夏隆岗矿区铅多金属矿床外围遥感找矿预测[J]. 中国矿山工程,2023,52(3):1-6.

年平均气温 $5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $6\sim 9$ 月平均气温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。区内年日照时数 $2\ 983\text{ h}$,年无霜期 125 天,年平均降水量 280 mm ,多集中在 $6\sim 9$ 月,占全年降水量的 90% ,主要特点是夜雨多,常为雨夹雪。年平均蒸发量 $2\ 270\text{ mm}$,是降水量的 7 倍,气候干燥。空气含氧量相对于内地的 63% ,属严重缺氧地区。区内植被不发育,除沿主干河流发育的灌木、高原草垫外,其他地区均为裸露区。太阳辐射强烈,日照时间长,气温较低,昼夜温差大,干湿分明,多夜雨,冬春干燥,多大风。常见的自然灾害有旱、雪、雹、风、霜、地震等。

研究区处于喜马拉雅特提斯造山带中部,在冈瓦纳古陆北缘由泛非运动以来,经历了最长时间沉积-构造演变,特别是三叠纪特提斯洋盆的扩张、缩小和喜马拉雅板块与冈底斯板块的剧烈撞击、断裂、旋转走滑等作用,使研究区内的沉积作用特征十分复杂,岩浆运动和变质作用强烈^[2]。

2 矿区地质概况

区内出露的地层中,中下侏罗统陆热组(J1—21)是主要的成矿地层,矿化点大多在该层位中,陆热组主要分布于矿区中部和南侧,呈东西向条带状展布,依据岩石组合垂向变化划分为三段。陆热组与下伏日当组及上覆遮拉组为整合接触^[3]。矿区位于古堆—隆子断裂带(F9)以南,甲坞—多日一带,出露地层主要为侏罗系、白垩系。大致沿甲坞—隆子一带近东西向展布,沉积序列包括类复理石建造、灰岩—细屑岩建造、浅海碎屑—火山岩建造等,总的反映浅海—盆地相沉积组合,为陆架裂谷盆地背景。该带主要构造线为近东西向,褶皱轴迹主要为近东西向,多为大型近东西向倒转褶皱;褶皱多被后期脆性断层所破坏或改造。断层主要以近东西向逆冲断层为主,北东、北向平移断层,南北向正断层、张扭性断层次之。地层变形相对较弱,主要变形面为S0,局部褶皱轴部,或断裂带附近劈理化较强,厚层状砂岩及脉岩中节理发育。

该区地处特提斯—喜马拉雅构造一级构造之喜马拉雅板块,属新特提洋南部稳定大陆边缘的基底剥蚀区。地层系统属于滇藏大区之喜马拉雅地层区,康马—隆子地层分区,构造位置位于羊卓雍—拿日雍复式向斜东南端,日当大断裂之西南侧。区内分布的主要地层以侏罗系的变质粉砂岩、泥灰岩、板

岩为主。

区域性断裂主要有两组,一组为近EW向及NW向的压性断层,是区内主要断裂构造,另一组是近SN向的张扭性断层(控矿断裂),沿断裂发育有 $50\sim 100\text{ m}$ 不等的挤压破碎带,带内挤压构造透镜体、构造角砾岩、褐铁矿化。矿区构造裂隙纵横交错,呈网格状分布,规模较大的褶皱带,压性为主的断裂带及诸多其他方向的断裂带和沿断裂带发育的一系列挤压破碎带,它们控制了地下水的形成和分布,区域内的主要大断裂及分枝断裂,以压性为主,本身一般不含水,但其影响带及分枝断裂带的裂隙带利于地下水富集,当断裂切割矿体时,对矿坑充水有直接影响,由于受后期低温热液活动的影响,部分裂隙被泥质充填胶结,同时由于断裂本身发育在弱含水层中,地下水补给来源弱,所以断裂带和其影响带富水性中等矿区地处拉轨岗日—隆子区域动力热流变质岩带的哲古—隆子变质岩亚带。除第四系松散沉积外,区内出露的侏罗系日当组(J1r)、陆热组(J1—21)、遮拉组(J2z)地层均由一套浅变质之变质砂岩、板岩、千枚岩、结晶灰岩组成。为燕山晚期—喜马拉雅期在低温条件和强应力作用下形成的具有劈理和片理的区域低温动力变质带,为拉轨岗日—隆子区域动力热流变质岩带的最低级变质带低绿片岩相单相变质带的一部分,其主要变质时期为燕山—喜马拉雅期。变质矿物仅出现绢云母、绿泥石。其变质矿物共生组合为Ser + Qz, Ser + Chl + Qz, Chl + Qz, Ser + Chl + Bit(雏) + Qz, Chl + Cal + Tr, Ser + Chl + Tr + Cal。

矿区蚀变类型主要有硅化、褐铁矿化、黏土化、高岭土化、绿泥石化、绢云母化、碳酸岩化,现分述如下:

(1)硅化:主要分布于断裂带内及其附近岩石内,对于范围大,而空间不足的部位,则以硅化砂岩为主;空间较大的部位(如张性断层或裂隙内),则以石英脉、石英晶簇的形式出现,石英脉边部则为硅质条带。

(2)褐铁矿化:普遍发育,与断层、裂隙、石英脉(硅化)关系密切,随着断层、裂隙的宽度和深度的增大而增强,也随硅化的增强而增强。褐铁矿化是寻找构造蚀变破碎带的主要标志之一。

(3)黏土化或高岭土化:在断层、蚀变破碎带两

侧明显。

(4)绿泥石化:这一蚀变现象在石英砂岩以及钙质砂岩裂隙中较多见,断层、蚀变破碎带内仅见于石英脉中。总体上蚀变呈星点状、团块状分布,强度较小。它的出现只有在断层中,并伴生有硅化、褐铁矿化时才能作为寻找矿化的参考标志。

(5)绢云母化:蚀变较弱,与绿泥石化关系较密切。

(6)碳酸岩化:主要分布于张性断层内,以方解石脉形式出现;成矿早期的方解石脉伴生有方铅矿化,而成矿期后形成的方解石脉则无矿化现象,并穿插破坏早期形成的石英脉。

矿区蚀变类型主要有硅化、褐铁矿化、绿泥石化、绢云母化、碳酸岩化。

3 数据源及数据处理

3.1 数据源

Landsat8 OLI 陆地成像仪包括 9 个波段,多光

谱分辨率 30 m, 全色波段 15 m, 成像宽幅为 185 km × 185 km, 具体数据见表 1。

其中以铁离子和 OH^- 、 CO_3^{2-} 离子为主要的矿化蚀变类型。由此,可以从铁离子和 OH^- 、 CO_3^{2-} 离子的光谱特征中,判断出矿物的蚀变类型,从而获得矿化蚀变信息^[4],具体见表 2。

表 1 OLI 数据

波段名称	波段/ μm	空间分辨率/m
Band1 Coastal	0.433 ~ 0.453	30
Band2 Blue	0.450 ~ 0.515	30
Band3 Green	0.525 ~ 0.600	30
Band4 Red	0.630 ~ 0.680	30
Band5 NIR	0.845 ~ 0.885	30
Band6 SWIR1	1.560 ~ 1.660	30
Band7 SWIR2	2.100 ~ 2.300	30
Band8 Pan	0.500 ~ 0.680	15
Band9 Cirrus	1.360 ~ 1.390	30

表 2 蚀变矿物离子和基团

离子或基团	特征吸收波谱中心/ μm	对应的 OLI 波段/ μm	异常提取依据
Fe^{2+}	1.1 ~ 2.4	OLI2	
Fe^{3+}	0.45, 0.55, 0.85, 0.90, 0.94 吸收较强	OLI3 OLI5	OLI4 亮度值偏高, 而 OLI2、 OLI3、OLI5 亮度值偏低
羟基	2.20, 2.30	OLI7	OLI6 亮度值高于 OLI7 亮度值
H_2O	1.40, 1.90		
CO_3^{2-}	1.90, 2.00, 2.16, 2.35, 2.55	OLI7	

3.2 数据处理

本次遥感地质解译工作选用一景 landsat8 的 OLI 图像,图幅号为 137/40,成像日期为 2021 年 3 月 1 日,具体如图 1 所示。研究区范围设定为东经 $92^\circ 02' \sim 92^\circ 12'$ 、北纬 $28^\circ 18' \sim 28^\circ 28'$,首先对遥感图像进行辐射校正、几何校正、掩模、剪裁等数据预处理,然后提取矿化蚀变信息。

4 遥感矿化蚀变信息提取

将蚀变矿物划分为羟基蚀变矿物和与铁离子相关的铁染蚀变矿物然后对羟基蚀变异常和铁染蚀变异常信息进行提取^[5]。

4.1 羟基蚀变信息提取

羟基的强吸收区为 2.20 ~ 2.30 μm , 根据 Landsat8 OLI 波段范围特征在 OLI7 波段是羟基离

子的弱反射区域范围,在 OLI6 波段是羟基离子的强反射区域^[6]。根据波段的范围特征,将 OLI(2、5、6、7)作为主要成分进行羟基的蚀变提取。

研究区内含羟基的蚀变矿物主要有绿泥石和云



图 1 研究区 OLI 图像

母类矿物,判断方法为:OLI5 和 OLI7 的系数符号与 OLI6 的系数符号相反, OLI6 与 OLI2 系数符号相同。由表 3 可知 PC4 符合条件, 以此将 PC4 作为羟基蚀变异常信息的增强图像。

表 3 OLI(2、5、6、7) 变换特征向量矩阵

PCA	OLI2	OLI5	OLI6	OLI7
PC1	0.0156 94	-0.060 551	-0.981 256	-0.182 277
PC2	0.058 211	0.575 374	-0.182 287	0.795 191
PC3	-0.043 630	-0.821 279 0	-0.057 916	0.578 026
PC4	0.997 227	-0.068 194	0.023 550	-0.018 260

4.2 铁染蚀变信息提取

二价铁离子的波段范围主要为 1.10 ~ 2.40 μm , 三价铁离子的波段 0.85 ~ 0.94 μm , 根据铁离子的波谱特征与 OLI 影像的波段范围, 采用 OLI(2、4、5、6) 作为主成分进行铁染异常信息的提取。

研究区内含铁染的蚀变矿物主要有褐铁矿和黄铁矿等矿物, 其主分量判断标准为: OLI5 的系数与 OLI(4、6) 的系数符号相反, OLI5 与 OLI2 系数符号是一样的。从表 4 可以看出 PC3 满足条件, 因此将 PC3 作为铁染蚀变异常信息的增强图像。

表 4 OLI(2、4、5、6) 变换特征向量矩阵

PCA	OLI2	OLI4	OLI5	OLI6
PC1	0.022 443	0.109 520	-0.012 588	-0.993 651
PC2	0.097 485	0.352 674	0.930 193	0.029 290
PC3	0.237 309	0.892 949	-0.366 838	0.108 428
PC4	-0.966 270	0.257 426	0.003 461	0.006 505

4.3 基于主分量门限化的蚀变分级

主分量阈值设定准则是基于主分量分析的, 采用标准误差比对蚀变方法进行强度等级划分。

在进行异常划分时, 可以采用标准离差作为划分尺度, 将 X 作为区域背景亮度, 使用 $X + K$ 进行异常级别划分时, 其 K 值可以根据异常点的大小来判定, 一般为 1.5 ~ 3。

按照标准差的倍数对羟基异常信息进行分类, 其区分的指标参照表 5 进行, 得到羟基异常分级图, 具体如图 2 所示。

按照标准差的倍数对铁染异常信息进行分类, 其区分的指标参照表 5 进行, 得到铁染异常分级图。

表 5 异常等级划分标准

FCA 门限化	
无异常	Min ~ 2 σ
一级异常	2 σ ~ 2.5 σ
二级异常	2.5 ~ 3 σ
三级异常	3 σ ~ Max

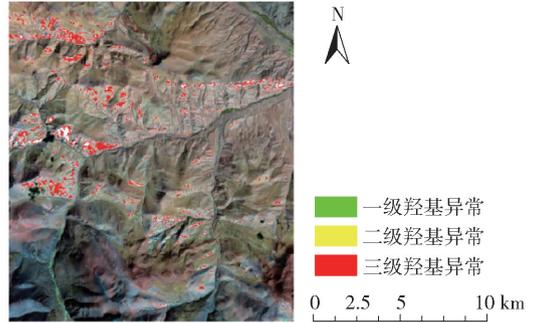


图 2 羟基异常分级图

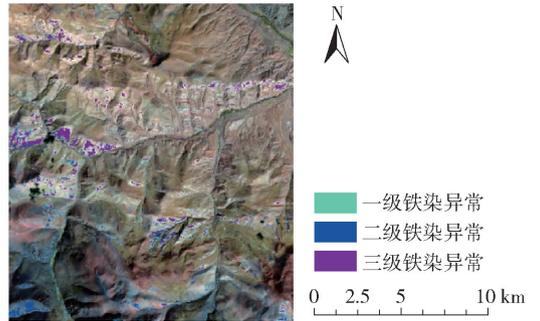


图 3 铁染异常分级图

4.4 二次主成分分析提取蚀变异常信息

二次主分量分析是基于一次主分量和波段比值的方法, 它是基于图像的特征数据进行多维的线性转换, 消除了数据的冗余, 同时, 由于研究区往往是多种蚀变混合, 因此采用二次主分量分析方法对混合蚀变进行解译^[7]。

1) 建立蚀变因子

利用波段比值法可以有效地克服地形坡度、坡向、阴影、太阳高度等因素对环境的影像, 是一种常见的增强影像的方法^[8]。数学表达式为 $V = \frac{C_a\{x,y\}}{C_b\{x,y\}}$

而 V 为比值法确定的蚀变因子; $C(a,b)(x,y)$ 依次是像元 (x,y) 在 a, b 波段上对应的灰度数值。铁化因子: $V_1 = \text{OLI4}/2$, 硅化因子: $V_2 = \text{OLI6}/5$, 泥化

因子: $V_3 = OLI6/7$, 羟基因子: $V_4 = PC4$, 铁染因子: $V_5 = PC3$ 。

2) 二次主成分蚀变信息提取

表6中,PC1中的 V_4 和 V_5 的系数较大且符号相同,反映出羟基和铁染蚀变信息;PC2中 V_4 和 V_5

的系数较大且符号相反,反映出铁化和泥化信息;PC3中的 V_1 的系数较大,反映出铁化信息;PC4中的 V_1 的系数较大,反映出硅化信息;PC5中 V_3 的系数较大,反映出泥化信息。PC2主分量反映了羟基和铁染蚀变信息的混合作用。

表6 二次主成分分析协方差矩阵

PCA	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
PC1	0.063 996	-0.000 014	-0.001 826	0.374 510	0.925 010
PC2	-0.065 147	0.002 094	-0.000 326 5	-0.923 362	0.378 344
PC3	0.596 925	0.773 608	0.205 710	-0.049 609	-0.020 794
PC4	-0.796 813	0.585 660	0.129 002	0.068 433	0.027 684
PC5	-0.020 719	-0.241 925	0.970 066	-0.000 983	0.003 743

通过对PC1向量进行中值滤波处理、阈值分割,最后再经彩色变换得到二次主成分遥感异常信息,并将其与影像底图进行叠加,得到二次主成分遥感蚀变异常信息图,具体如图4所显示。

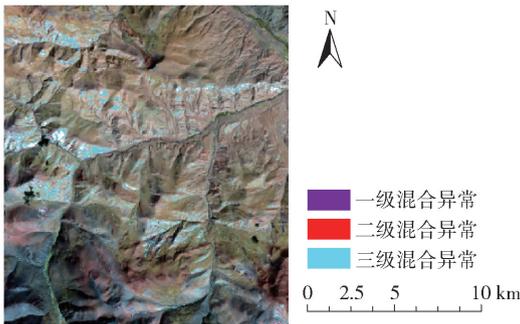


图4 混合异常分级图

4.5 遥感地质构造解译

本次遥感地质构造解译的底图数据为OLI(7、5、4)波段组合并与OLI8进行融合,生成15m高空空间分辨率遥感影像,以区域地质图作为参照,通过目视解译,得到了与成矿关系密切的遥感线要素和环要素。解译成果整体分布如图5所示。

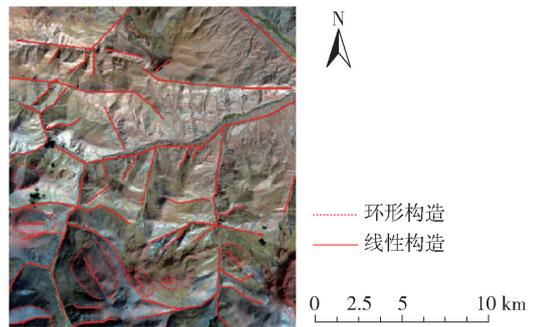


图5 遥感地质构造解译图

5 成矿远景区预测

5.1 遥感找矿靶区

结合现有的地质数据,对夏隆岗矿区及其外围的遥感蚀变资料和遥感地质构造解译图等资料,进行了分析和验证。根据区域的地理信息资料,在夏隆岗矿区及其周围共圈定了五个找矿远景区,具体如图6所示。

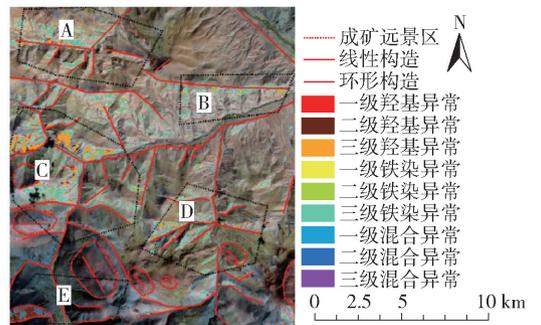


图6 夏隆岗矿区遥感成矿远景预测图

株罗统路热组三段地层内,主要岩性为煌斑岩、辉绿岩、辉绿玢岩,远景区位于线线构造交叉部位并发育强烈的铁染蚀变异常,进而推测该区域为多金属矿产成矿有利远景地区。

成矿远景区B位于夏隆岗矿床北东向,在中下株罗统路热组一段地层内,主要岩性为煌斑岩、花岗闪长岩、粉砂岩,远景区线线构造交叉部位并伴有发育强烈的铁染和羟基蚀变异常,进而推测该区域为多金属矿产成矿有利远景地区。

成矿远景区A位于夏隆岗矿床北西向,在中下

成矿远景区 C 位于夏隆岗矿床中部,在中下株罗统路热组一段和中株罗统遮拉组二段地层内,主要岩性为煌斑岩、辉绿岩、辉绿玢岩,远景区位于线环构造交叉部位并发育强烈的铁染和羟基蚀变异常,进而推测该区域为铅、锌矿产成矿有利远景地区。

成矿远景区 D 位于夏隆岗矿床南东向,在中下株罗统路热组四段地层内,主要岩性为安山玢岩、辉绿岩、辉绿玢岩,远景区位于环形构造与线性构造交叉部位并发育强烈的铁染和羟基蚀变异常,进而推测该区域为多金属矿产成矿有利远景地区。

成矿远景区 E 位于夏隆岗矿床南西向,在中下株罗统路热组四段地层内,主要岩性为砂岩、板岩、安山岩、玄武岩、辉绿岩、辉绿玢岩,远景区位于环形构造与线性构造交叉部位并发育强烈的铁染和羟基蚀变异常,进而推测该区域为多金属矿产成矿有利远景地区。

5.2 找矿靶区验证

通过与夏隆岗矿区物性采样分布对照发现,5个成矿远景区内均有发育强烈的矿化蚀变带。物性采样分布如图7所示。

6 结论

通过对夏隆岗矿区及其周围遥感影像的解译与研究,圈定了五个找矿远景区,成矿远景区内的铁染、羟基、铁染和羟基的混合蚀变异常有叠加的现象,说明了夏隆岗地区具有较好的成矿潜力,为找矿工作提供了借鉴意义,是找矿的重点区域。

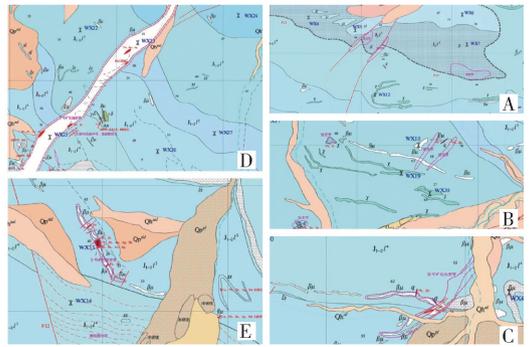


图7 物性采样分布图

[参考文献]

- [1] 张诚智,钟康惠,罗建. 西藏隆子县夏隆岗矿区铅多金属矿地质特征与找矿标志[J]. 世界有色金属,2018(14):81-82.
- [2] 李立湘. 西藏隆子某矿区复杂地层低温环境钻井液研究及其应用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
- [3] 解晓颖. 西藏扎西康地区锌锑多金属矿产遥感蚀变异常信息提取与成矿预测[D]. 成都:成都理工大学,2016.
- [4] 徐云峰,唐菊兴,郑文宝,等. 扎西康锌多金属矿床外围遥感找矿预测[J]. 金属矿山,2014(2):91-95.
- [5] 成功,曾令瑶,陈松岭. OLI与ETM数据在豫西沉积型铝土矿找矿中的对比研究[J]. 轻金属,2014(11):7-11.
- [6] 解晓颖,刘晨. 基于二次主成分分析的遥感蚀变信息提取研究[J]. 山西建筑,2015,41(29):68-69.
- [7] 宋弢. 基于ETM+遥感数据的矿化蚀变异常信息提取[D]. 西安:长安大学,2010.
- [8] 刘桂萍,蔡宏明,姜波,等. 新疆西克尔地区遥感蚀变信息提取与成矿预测[J]. 金属矿山,2018(3):122-131.