

基于 Aster 数据的矿化蚀变信息提取

李守麟¹, 杨锋杰¹, 姜楠¹, 胡贵增², 丛顺明²

(1. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东黄金集团 沂南金矿, 山东 沂南 276300)

摘要:以山东省沂南县北部的铜井-金场矿区为例,利用遥感技术提取矿化蚀变异常信息,采用 Aster 影像数据,首先通过掩膜的方法去除植被影响,运用主成分分析方法提取铁染及羟基异常信息,并对提取结果进行异常分级,通过对已知矿床与蚀变异常之间关系分析,发现二者之间吻合度较好。然后通过对矿区内已知矿床成矿作用的分析,重点观察已知矿区的外围地段,成功圈定 2 处成矿靶区。通过实例证明,利用 Aster 数据进行主成分分析提取矿化蚀变异常信息结果可靠,可以为类似植被覆盖度较大地区找矿预测及评价工作提供参考。

关键词:Aster; 矿化蚀变异常; 遥感; 主成分分析; 沂南金矿

中图分类号: P627 文献标志码: A 文章编号: 1672-3767(2015)01-0016-06

Extraction of Mineralized Alteration Anomalies Based Aster Remote Sensing Data

Li Shoulin¹, Yang Fengjie¹, Jiang Nan¹, Hu Guizeng², Cong Shunming²

(1. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;
2. Yinan Gold Deposit of Shandong Gold Group, Yinan, Shandong 276300, China)

Abstract: The research was made on extracting mineralized alteration anomalies through remote sensing technology and Aster image with Tongjing-Jinchang mine for illustration. Mask method was used to remove the affection of vegetation. In view of the spectrum characteristics of the hydrothermal alteration minerals, Principle Component Analysis was done by using four Aster bands as input bands to extract the iron staining and hydroxyl exception information, then take the result to anomalies classification. Through analysis of the relationship between the known deposits and anomaly alteration, the agreement degree between the two was found to be high. Two prospecting target areas were delimited with analysis of the known mineralization of the deposit and ore district surroundings. This study offers reference to predication and evaluation for prospecting in larger vegetation coverage areas.

Key words: Aster; mineralized alteration anomalies; remote sensing; principle component analysis; Yinan gold deposit

随着空间遥感技术和信息处理技术的迅猛发展,遥感与常规地质、地球物理、地球化学相结合的综合找矿方法成为现代找矿技术的主流。遥感矿化蚀变异常在找矿靶区圈定、区域矿产资源潜力预测、矿床周边找矿等方面,已逐步显示出巨大的应用潜力。近年来,国内很多学者利用遥感技术进行矿产勘查研究均取得了不错的效果,诸如张玉君等^[1]利用 Aster 数据进行了不同类型矿床蚀变异常提取的研究;叶发旺等^[2]利用高分卫星遥感数据进行铀矿化褪色蚀变识别分析。国外在这方面的研究较早,Loughlin^[3]利用主成分分析方法选取 TM 数据相应波段,对巴西热带雨林地区残积土壤中的铁染和羟基蚀变岩信息进行地质填图。Rokos等^[4]用主成分分析法和 TM3/TM1, TM5/TM7 波段比值对爱琴海盆地第四纪岛弧中的金矿进行异常蚀变信息提取和找矿远景预测。但在某些植被覆盖度较高的地区,提取蚀变异常的难度较岩石裸露区域

收稿日期: 2014-01-06

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(博导类)项目(20113718110007)

作者简介: 李守麟(1990—),男,山东德州人,硕士研究生,主要从事遥感地质学方面的研究. E-mail: lishoulin1229@163.com

杨锋杰(1957—),男,山东济南人,教授,博士生导师,主要从事资源与环境遥感技术应用研究与教学工作,本文通信作者. E-mail: yfj@sdust.edu.cn

要大,所以在进行信息提取时,要尽可能预先将干扰信息去除掉。本研究在蚀变异常找矿的地质依据和波谱依据指导下,选择临沂市沂南县北部铜井-金场矿区作为研究区,利用 CROSTA 技术进行矿化蚀变异常信息提取,分析已知矿床与蚀变异常的关系,并圈定成矿靶区。

1 研究区地质概况

沂沭断裂带是郯庐断裂带在山东境内自南而北出露部分,其西侧为鲁西地块,东侧自北向南分别为胶北隆起、胶莱断陷盆地与苏鲁造山带^[5]。研究区出露寒武系九龙群崮山组、张夏组,寒武系长清群馒头组、朱砂洞组,其他地层埋藏于深部矿区,不整合面广泛发育。矿区内广泛发育北东、北西、近北西向断裂系统,环状、放射状裂隙群等均可成为很好的控矿构造。而接触带、层间破碎带、深部不整合面等是矿区的主要容矿构造。围岩蚀变包括绿泥石化、矽卡岩化、高岭土化、褐铁矿化、绿帘石化,局部有硅化、绢云母化等。

与成矿作用密切相关的岩体均为燕山晚期多期次侵入的杂岩体,表现为由中性—中酸性—酸性的演化序列,时间跨度小。铜井杂岩体为闪长岩—闪长玢岩—二长闪长玢岩系列,金场杂岩体为花岗闪长岩—二长花岗斑岩—花岗斑岩—石英斑岩系列^[6]。金矿床类型主要为与闪长玢岩关系密切的矽卡岩型金矿床和浅成热液型金矿床。其中,鲁西地区广泛发育的古生界碳酸盐岩建造,对于矽卡岩型矿床和浅成热液型金矿床是有利的成矿围岩^[7]。

2 矿化蚀变信息提取方法

研究区蚀变异常提取采用的数据源为 Aster 数据,该数据 SWIR 波段具有对蚀变异常分类的能力,弥补了 TM/ETM+数据的不足。覆盖研究区的 Aster 数据为经过辐射校正和几何校正的 L1B 产品,其获取日期为 2004 年 11 月 12 日,本图幅气象条件良好,没有云覆盖,影像清晰,层次丰富,可满足信息提取的要求。

Aster 搭载于 1999 年 12 月发射升空的 Terra 卫星之上,通过覆盖可见光近红外、短波红外及热红外谱域的 14 个波段获取地球表面的多光谱数据,具体影像参数见表 1。

主要处理流程包括(图 1):影像预处理、主成分分析、选择有效成分、异常等级切割、矿化蚀变信息处理等步骤。原始数据经过一系列的图像预处理,包括大气校正,掩膜去除干扰信息等;再选择特征波段进行主成分分析;处理后选择载荷特征因子的有效成分用异常切割标准处理,突出蚀变信息;最后与已知的矿点资料进行叠合分析,验证提取的蚀变结果。在进行预处理时要充分考虑到 VNIR 波段的 15 m 分辨率,因此将 SWIR 波段重采样到分辨率为 15 m,又由于大部分蚀变矿物中铁染和羟基因子在 SWIR 波段具有强吸收的特征,所以将 VNIR 与 SWIR 范围内的 9 个波段合成到一幅影像中以便于接下来的

表 1 ASTER 数据波长特征

Tab. 1 Spectral characteristics of ASTER data

波段	波长/ μm	中心波长/ μm	空间分辨率/m
1	0.52~0.60	0.560	15
2	0.63~0.69	0.660	
3N	0.78~0.86	0.820	
3B	0.78~0.86	0.820	
4	1.60~1.70	1.650	30
5	2.145~2.185	2.165	
6	2.185~2.225	2.205	
7	2.235~2.285	2.260	
8	2.295~2.365	2.330	
9	2.360~2.430	2.395	
10	8.125~8.475	8.300	
11	8.475~8.825	8.650	
12	8.925~9.275	9.100	
13	10.250~10.950	10.600	
14	10.950~11.650	11.300	

信息提取。之后对图像进行大气校正,提高影像的清晰度。由于研究区内植被较为发育,是进行蚀变异常信息提取的主要干扰因素,故在进行蚀变信息提取前应消除植被的影响。作者采取的方法是通过计算植被指数,利用二值化图像掩膜的方式去除植被的干扰。

参考 Aster Spectral Library^[8-9] 和 USGS (United States Geological Survey, 美国地质勘探局) Digital Spectral Library^[10], 即得到研究区蚀变矿物的反射波谱曲线。

根据蚀变矿物的反射波谱曲线并结合 ASTER 影像的波长特征, 可以得到以下结论:

1) 褐铁矿化的光谱曲线在 0.5 μm 和 0.9 μm 处存在强吸收特征, 对应 Aster 数据波段 Band 1 和 Band 3(图 2(a))。故通过 Band 1, Band 2, Band 3, Band 4 波段主成分分析来提取铁染蚀变信。

2) 含羟基矿物在 2.2 μm 处存在强吸收特征, 常见的矿物为透闪石、阳起石、绿泥石、透辉石、绿帘石等, 对应 Aster 数据波段 Band 8(图 2(b))。故通过 Band 1, Band 3, Band 4, Band 8 波段主成分分析提取羟基蚀变信息。

铁染异常信息提取: 褐铁矿化是矿区表生带的主要蚀变类型, 而且与金矿化关系最为密切, 因此褐铁矿化蚀变异常的提取工作是本区蚀变异常提取工作的关键部分^[11]。构建 Aster 数据的铁化提取模型, 即 4 波段(Band 1, Band 2, Band 3, Band 4)主成分分析。主成分分析的特征向量矩阵(表 2)表明 B3, B4 对 PC4 分量的贡献较大, 且其特征向量数值符号相反, 反映铁染化蚀变信息的分量为 PC4。

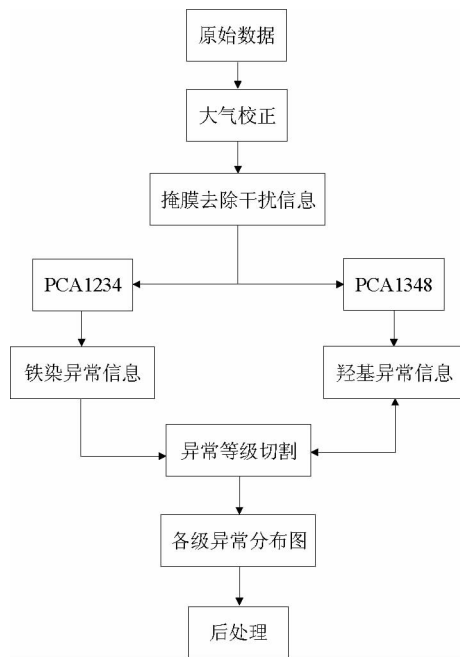
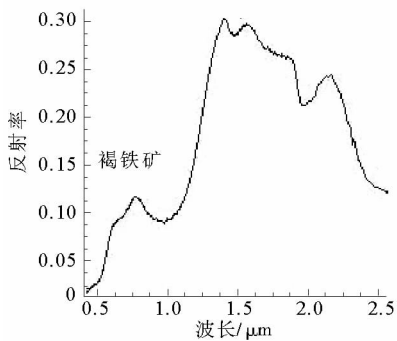
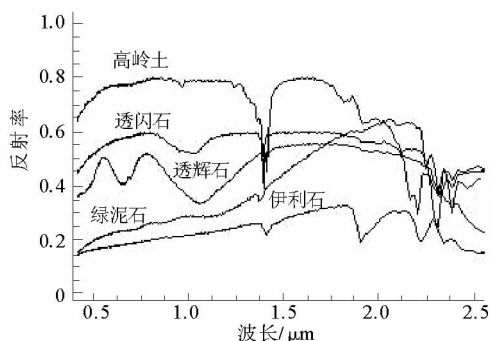


图 1 Aster 遥感数据蚀变遥感异常提取流程图

Fig. 1 Flow chart of the Aster remote sensing data of alteration anomaly



(a) 铁染矿物波谱曲线
(a) Spectral curves of iron-bearing minerals



(b) 含羟基矿物波谱曲线
(b) Spectral curves of hydroxyl-bearing minerals

图 2 蚀变矿物波谱曲线^[10]

Fig. 2 Alteration mineral spectral curve

表 2 Band1, Band 2, Band3, Band 4 主成分分析特征向量矩阵

Tab. 2 Eigenvector matrix for Band 1, Band 2, Band 3, Band 4

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	0.441 996	0.562 379	0.446 476	0.537 614
Band 2	0.738 752	0.172 904	-0.204 312	-0.618 552
Band 3	-0.287 211	0.687 310	-0.663 662	0.068 314
Band 4	0.419 995	-0.425 956	-0.564 330	0.568 944

羟基异常信息提取:图像经过 4 波段主成分分析(Band 1, Band 3, Band 4, Band 8)处理,特征向量矩阵分析(表 3)表明,在羟基蚀变信息提取中,B4, B8 对 PC4 分量的贡献较大,且其特征向量数值符号相反,反映羟基蚀变信息的分量为 PC4。

表 3 Band 1, Band 3, Band 4, Band 8 主成分分析特征向量矩阵

Tab. 3 Eigenvector matrix for Band 1, Band 3, Band 4, Band 8

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 8
Band 1	0.390 887	0.436 470	0.563 281	0.582 594
Band 3	0.886 955	0.047 846	-0.367 487	-0.275 636
Band 4	0.185 569	-0.810 282	-0.071 130	0.551 315
Band 8	-0.161 501	0.388 135	-0.736 620	0.529 774

遥感异常分级:在做异常切割时,利用 $(X+k\sigma)$ 确定异常下限和划分异常强度等级。 X 是某一成分的统计均值代表区域背景, σ 是该成分的标准差。 k 取值一般是 $(1\sim 3)$,有了这一标准,切割异常时可以减少主观任意性,并使操作较为规范化。经 PCA 处理后得到的各成分是互不相关的,根据标准差的倍数进行等级划分。理论上可以看成是单一的地物,但由于大气、传感器、异物同谱等影响,各成分并不只是单一的地物,所以在提取异常时利用阈值切割法。

遥感异常分级所显示的遥感异常,由高到低可分为一级到三级,每级间的 $k\sigma$ 值相差 0.5, $k\sigma$ 值最大的为一级,次之为二级,最小的为三级。级别划分采用均(中)值 $+n$ 倍标准离差切割($n=1.5\sim 3.0$)确定。本次采用的 $k\sigma$ 值如表 4 所示,将异常分为三级,从一级异常到三级异常表现为从强至弱。

表 4 异常等级划分

Tab. 4 Anomalies classification

FCA 门限化	OHA 门限化
一级异常(2.5σ)	一级异常(2σ)
二级异常(2σ)	二级异常(2.5σ)
三级异常(1.5σ)	三级异常(3σ)

将经过遥感异常分级后的图像覆盖到原图上得到图 3 和图 4。

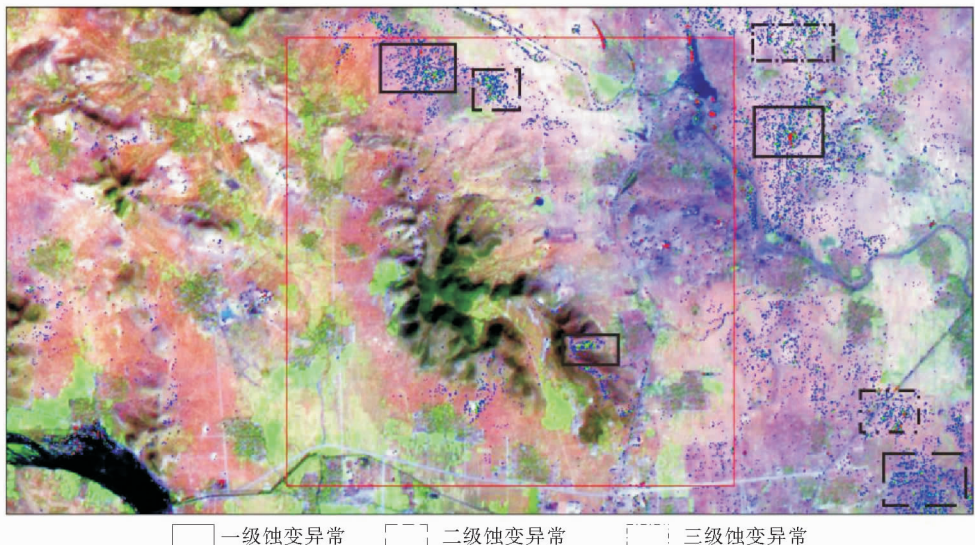


图 3 铁染蚀变异常信息分布图

Fig. 3 Anomaly distribution images of Iron stained alteration

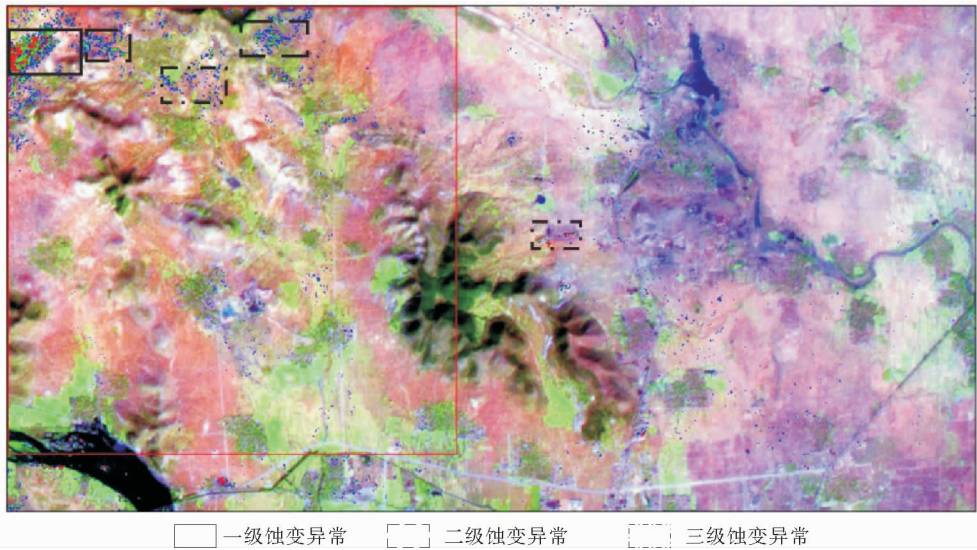


图 4 羟基蚀变异常信息分布图

Fig. 4 Anomaly distribution images of hydroxyl alteration

3 提取结果分析

结合研究区地质图对两种蚀变异常信息提取的结果进行分析,发现蚀变信息基本上均匀分布于已知矿点及其周边区域,这说明处理所得结果与勘探结果具有较好的相关性。根据蚀变异常信息分布图(图 4)可以看到,区内铁染异常信息较弱且较分散,主要分布在铜井矿区龙头旺附近;羟基异常信息分部较集中,主要集中在左上角区域,该区域为金场矿区两泉庄村附近。经实地勘探两地均已见矿,由此可以根据蚀变异常分布图进行成矿有利地段的圈定。根据该区地质背景和遥感构造特征,在分析已知矿床的成矿模式并充分考虑已知矿区的外围地段,以提取的铁染和羟基蚀变异常信息作为依据,发现在铁染异常信息分布图上有 2 处地段蚀变信息显示良好,所以可以圈定为 2 处成矿有利地段(图 5)。成矿有利地段内一级、二级、三级异常信息密集,呈面状分布,规模大,连续性好,异常强度高,周围分布有多个金矿体,是寻找金矿的有利区域。

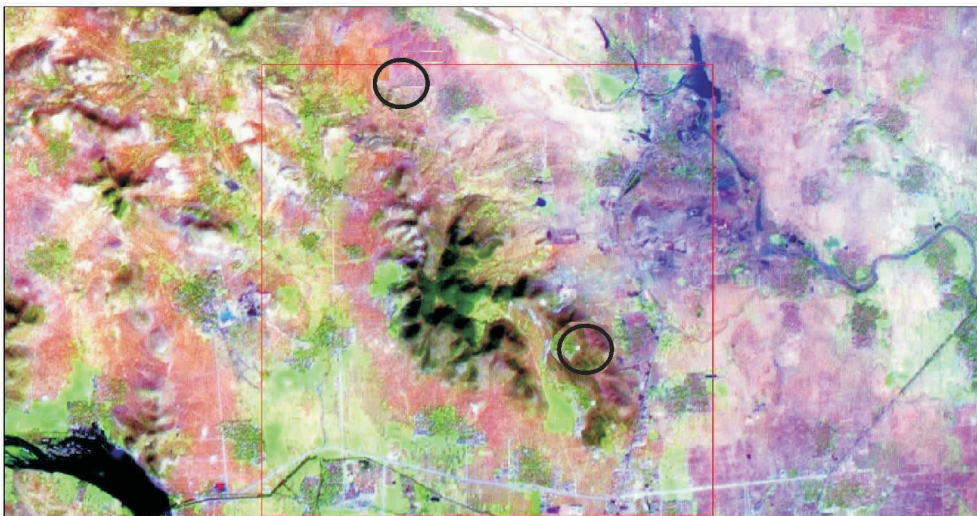


图 5 成矿远景区(圆圈处)

Fig. 5 Favorable mineralization zones(circled area)

4 找矿远景分析

铜井-金场矿区已探明的几处金矿,包括沂南金矿在内的鲁西地区众多金矿床的形成均与郯庐断裂带构

造-岩浆演化过程密切相关。早白垩世郯庐断裂带走滑拉张阶段,深切至壳-幔边界的沂沭断裂所诱发的深源岩浆上侵,于浅部 NW 向盖层断裂与 NE 向沂沭断裂带次级断裂的交汇部位就位,形成铜井和金场杂岩体,并通过与新元古界—寒武系以碳酸盐岩为主的围岩发生一系列接触交代等作用,在岩浆岩与围岩接触带、层间破碎带及不整合面等处形成矽卡岩型 Au-Cu-Fe 矿体^[6]。根据所得到的矿化蚀变异常信息,结合地质图与已知的矿点资料进行叠合分析,验证提取的蚀变结果。

5 结论

1)利用 Aster 数据对沂南县城北部铜井-金场矿区矿化蚀变增强信息进行提取处理,取得了较好的效果。对该区进行蚀变异常信息提取的研究方法,对沂沭断裂带其他类似地区的金矿蚀变遥感异常提取具有一定的参考价值。

2)Aster 数据相比较于 TM/ETM+遥感数据,在短波红外、近红外波谱区的光谱分辨率有所提高,有利于岩性判别和蚀变异常信息的提取,但在岩性判别方面还不够有效,提取的蚀变异常信息中仍包含一定数量的伪信息。

3)因条件所限,并未获得该研究区实测的地物反射波谱曲线,仅是参考已有波谱库 USGS 中的波谱数据进行分析,因此提取的矿化蚀变异常信息会与实际情况有所偏差。

4)研究区蚀变异常信息不一定全部由金矿床引起,利用 Aster 数据进行处理和分析并不能完全准确地圈定成矿靶区,还需要进行野外实地验证。

参考文献:

- [1]张玉君,杨建民,姚佛军.用 Aster 数据进行不同类型矿床蚀变异常提取研究[J].矿床地质,2006,25(S):507-510.
Zhang Yujun, Yang Jianmin, Yao Fojun. The extraction of OHA from different types of deposits by using Aster data[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(S): 507-510.
- [2]叶发旺,刘德长.高分卫星遥感数据在铀矿化褪色蚀变识别分析中的应用[J].国土资源遥感,2012(4):117-123
Ye Fawang, Liu Dechang. Application of high resolution satellite remote sensing technology in identification and analysis of the uranium mineralization bleached alteration[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2012(4): 117-123.
- [3]Loughlin W P. Principal component analysis for alteration mapping[C]// 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, USA, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991:293-306.
- [4]Rokos D, Argialas D, Mavrantza R, et al. Structural analysis for gold mineralization using remote sensing and geochemical techniques in a GIS Environment; Island of Lesbos, Hellas[J]. Natural Resources Research, 2000, 9(4): 277-293.
- [5]王勇生,朱光,胡召齐,等.郯庐断裂带沂沭段伸展活动断层泥 K-Ar 同位素定年[J].中国科学 D 辑:地球科学,2009,39(5): 580-593.
Wang Yongsheng, Zhu Guang, Hu Zhaoqi, et al. K-Ar dating of extensional fault gouge from the Yi-Shu segment of the Tanlu fault zone[J]. Science China Series D-Earth Science, 2009, 39(5): 580-593.
- [6]董树义.山东沂南金矿床成因与成矿规律和成矿预测[D].北京:中国地质大学,2008:37-40.
- [7]王来明,熊乐,郭瑞朋,等.山东沂沭断裂带中段金矿床地质特征及找矿方向[J].黄金,2013,34(2):21-24.
Wang Laiming, Xiong Yue, Guo Ruipeng, et al. Geological characteristics of gold deposits in mid Yi-shu fault zone and prospecting directions[J]. Gold, 2013, 34(2): 21-24.
- [8]Jet Propulsion Laboratory, JPL Spectral Library[EB/OL]. [1999-04-20][2014-01-06] http://speclib.jpl.nasa.gov/documents/jpl_desc.
- [9]Baldridge A M, Hook S J. The Aster spectral library version 2.0[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(4): 711-715.
- [10]Swayze G A, Wise R, Livo E, et al. USGS digital spectral library splib06a[R]. Denver, CO: US Geological Survey, 2007: 42-48.
- [11]丛丽娟,岑况,朱所,等.利用 Aster 数据提取蚀变异常方法研究:以内蒙古朱拉扎嘎金矿为例[J].河南理工大学学报:自然科学版,2007,26(6):652-663.
Cong Lijuan, Cen Kuang, Zhu Suo, et al. Study on the method of alteration information extraction by using Aster data: Taking Zhulazhaga gold deposit of Inner Mongolia as an example[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2007, 26(6): 652-663.