

组合分析蚀变信息提取方法研究

李森森, 邢立新, 潘 军, 乔振民, 王红红

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

摘要:目前主成分分析法、比值法、光谱角制图法等已广泛应用于遥感矿化蚀变信息提取中,且取得了很好的效果。根据研究区遥感数据特点,采用比值与主成分组合分析的方法,结合 FLAASH 大气校正、中值滤波以及彩色密度分割等图像处理方法,对新疆且末地区 ASTER 数据进行蚀变信息提取。经 USGS 标准矿物波谱库中典型矿物光谱的验证,组合分析方法能够去除数据冗余和噪声,有利于各类蚀变信息的提取。

关键词:蚀变信息;主成分分析;比值分析;组合分析

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2011)03-0303-06

1 引言

围岩蚀变是在热液成矿作用下,近矿围岩与热液发生反应而形成的一系列旧物质为新物质所替代的交代作用^[1]。蚀变围岩因其矿物成分、岩石结构与正常围岩有所不同,所以二者在遥感图像表现为不同的色调,在波谱维表现为截然不同的波谱曲线^[2-3]。在多数热液成矿中,会产生铁染、绿泥石、高岭土、绢云母等蚀变矿物,这些蚀变矿物中含有 Mg—OH、Al—OH 和 Fe³⁺ 离子,它们在多光谱遥感数据中均有诊断性波谱特征存在^[4],经过图像变换,这些指示蚀变信息的基团或离子均可以增强。

目前,基于多光谱数据进行矿化蚀变信息提取的方法主要有主成分分析法、比值方法、光谱角法等^[5-6]。这些方法在大量的实践中均表现出了不同的问题^[7],主成分分析法依据蚀变围岩与非蚀变围岩波谱差异提取矿化蚀变异常时,使得提取微弱的蚀变围岩信息淹没于背景噪声中,比值方法在波段相除时减弱源数据的信噪比,光谱角方法因多光谱数据谱带过宽、数目偏少而导致结果精度偏低。针对以上问题,本研究采用比值和主成分组合分析的方法,对新疆且末地区 ASTER 数据进行矿化蚀变信息提取,通过比较提取结果发现,二者组

合的方法较好地克服了假异常及蚀变信息被弱化的问题。

2 典型蚀变矿物的波谱特征

Mg—OH、Al—OH 和 Fe³⁺ 离子在波谱上具有各自的诊断性光谱特征。从 USGS 标准波谱库查得铁的氢氧化物针铁矿、铁的氧化物赤铁矿以及明矾石族矿物黄钾铁矾,含 Al—OH 基团矿物高岭石、绢云母,含 Mg—OH 基团矿物绿泥石的波谱曲线(图 1)。赤铁矿、针铁矿及黄钾铁矾的光谱曲线形状相近,均在 0.5 μm 和 0.9 μm 处有吸收谷,对应 ASTER 数据的 Band1 和 Band3;OH⁻ 通常在 SWIR 光谱区间内产生特征谱带,具体位置由与 OH⁻ 相连的金属离子决定,Al—OH 的吸收谷在 2.2 μm 左右,常见的矿物有高岭石、伊利石,对应 ASTER 数据的 Band5 和 Band6;Mg—OH 的吸收谷在 2.3 μm 附近,常见的矿物为绿泥石,对应 ASTER 数据的 Band8。

3 研究区概况及数据预处理

研究区为新疆且末地区,地处阿尔金大断裂南部,地形起伏高差大,基岩裸露。研究区出露地层有:奥陶系祈曼塔格群砂岩、粉砂岩;下元古界埃连卡特群绢云绿泥片岩;中泥盆统布拉克巴什组碎屑

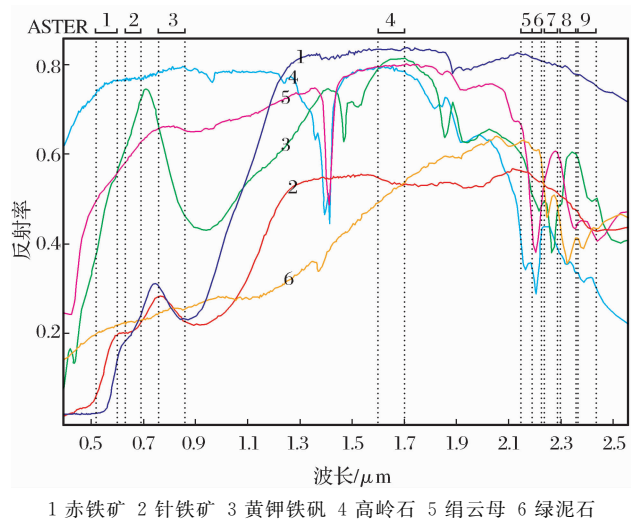


图 1 USGS 波谱库中蚀变矿物光谱与
ASTER 数据通道的对应关系

Fig. 1 Correlations of altered mineral spectral
reflectance and the bands of ASTER data

岩、灰岩；下石炭统托库孜达坂群碎屑岩及火山碎屑岩夹灰岩透镜体；上石炭统締め苏组碳酸岩；中下侏罗统叶尔羌群碎屑岩；下二叠统碧云组碎屑岩夹灰岩；下白垩统犬牙沟组砾岩、砂砾岩。研究区内岩体较发育，主要有花岗岩和二长花岗岩，时代为从青白口纪到三叠纪，其次含少量的闪长岩和辉长岩。构造线走向总体呈北东东向，断裂构造较发育。研究区主要的蚀变类型有：赤铁矿化、黄铁矿化、高岭土化、绢云母化以及绿泥石化。

本研究采用 ASTER L1B 级数据，数据获取时间为 2002 年 9 月 16 日。首先对 VNIR 和 SWIR 波段进行投影变换、融合、大气校正(图 2)等处理，得到地物的反射值。另外，为避免雪对蚀变信息提取结果的干扰，对地表常年积雪覆盖区，设置阈值将积雪掩膜掉。

4 蚀变信息提取

4.1 主成分分析方法异常提取

主成分分析法很好地去除了多波段间的相关性，使得变换后各主分量之间相互独立，分别代表不同的地质意义，并且互不重复，矿物的蚀变信息集中于某一个主分量中^[8-9]。为了使主成分分析中向量维数尽量少，而且蚀变矿物的信息集中于某一向量内，采用 ASTER 的 b1、b3、b4、bn 组合进行主成分分析，PC1 为各波段反射率的加权和，反映光谱总体反射率的大小，主要包含地形和植被的信息。PC2 反映近红外和短波红外光谱差值的斜率变化，反映

光谱曲线的斜率变化。PC3 与 PC4 反映了岩石矿物的信息。经过分析，PC3 与 PC4 主分量符合岩矿信息提取的要求。

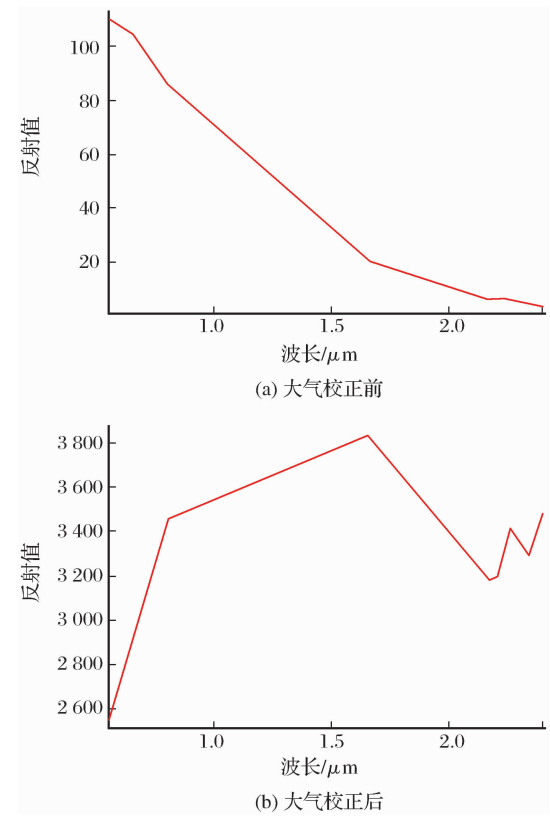


图 2 大气校正前后的波谱曲线图

Fig. 2 The spectrum graphs before and
after the atmosphere correction

4.1.1 铁化蚀变异常提取

根据含铁矿物的波谱特征(图 1，赤铁矿、针铁矿和黄钾铁矾)，0.5 μm 和 0.9 μm 处的吸收谷对应 ASTER 数据的 Band1 和 Band3，构建 ASTER 数据的铁化提取模型。将 Band1、Band2、Band3、Band4 四个波段进行主成分分析，主成分分析的特征向量矩阵(表 1)表明第 4 主分量(PC4)取反后的图像符合铁化蚀变在 Band1 和 Band3 吸收的特点，即 Band1 和 Band3 为负，且与 Band2、Band4 符号相反，增强了铁化蚀变异常。

4.1.2 高岭石化、绢云母化蚀变异常提取

由于此类蚀变矿物对应的 Band6 是吸收谷，因此 Band6 应为负，同理，Band4 为正，由表 2 知，PC4 取反后的图像符合要求。

4.1.3 绿泥石化蚀变异常提取

此类蚀变矿物对应的 Band4 是吸收谷，因此 Band4 应为负，同理，Band8 应为正，由表 3 知，PC4 的特征向量符合要求。

表 1 Band1、Band2、Band3、Band4 主成分分析特征向量矩阵
Table 1 Eigenvector matrix for Band1、Band2、Band3、Band4

主成分	Band1	Band2	Band3	Band4
PC1	0.504738	0.514921	0.517937	0.460258
PC2	0.430162	0.255643	0.091698	−0.860929
PC3	0.626897	−0.057621	−0.746154	0.216645
PC4	0.408902	−0.816200	0.408151	−0.005418

表 2 Band1、Band3、Band4、Band6 主成分分析特征向量矩阵
Table 2 Eigenvector matrix for Band1、Band3、Band4、Band6

主成分	Band1	Band3	Band4	Band6
PC1	0.463265	0.542824	0.543414	0.442074
PC2	0.589752	0.400654	−0.563385	−0.417452
PC3	0.578703	−0.661330	−0.189166	0.438135
PC4	−0.320439	0.327814	−0.592887	0.662074

表 3 Band1、Band3、Band4、Band8 主成分分析特征向量矩阵
Table 3 Eigenvector matrix for Band1、Band3、Band4、Band8

主成分	Band1	Band3	Band4	Band8
PC1	0.455655	0.534327	0.535869	0.468741
PC2	0.597072	0.408380	−0.551405	−0.415552
PC3	0.519359	−0.614086	−0.285305	0.521312
PC4	−0.407615	0.413060	−0.572188	0.579510

4.2 比值分析方法异常提取

当波段间差值相近但斜率不同时,利用反射波段和吸收波段的比值处理来增强各种岩性之间的波谱差异^[10]。比值法在增强不同地物之间的这种微小差异时,地形因素对多波段的影响一般是给辐射值加一个乘性因子^[11-12],该因子在阳坡和阴坡不同,求两个波段的比值能够极大地减弱甚至消除地形的影响。因此,常使用比值分析来增强蚀变信息以及识别岩石类型。

识别热液蚀变的波段比值有: Band4/1、Band4/3、Band2/1,用于识别铁化蚀变矿物,其中,由于 Band2 与 Band1 的反射率差异较大,并且其比值可以很好地消除地形的影响,因此选用 Band2/1;利用 Band4/6 识别高龄石、绢云母化蚀变信息;

利用 Band8/4识别绿泥石化蚀变信息。

4.3 组合分析方法异常提取

采用比值与主成分组合分析的方法,先用比值分析将异常信息聚类,提高异常提取的精度,然后对得到的比值图像进行主成分分析去除其相关性。

由于 Band4/1、Band2/1 载荷着铁化蚀变信息, Band4/6 表达高龄石、绢云母化蚀变信息, Band8/4 为绿泥石化蚀变信息,而且这四个波段存在相关性(表 4),可用 Band4/1、Band2/1、Band4/6 及 Band8/4 4 个波段做主成分分析来提取蚀变信息,既消除了数据间的相关性,又增强了围岩蚀变信息。主成分变换后得到的特征向量矩阵如表 5。由表 5 可知可用 PC3 波段来提取铁蚀变信息,PC2 波段提取铝羟基蚀变信息,PC4 波段提取镁羟基蚀变信息。

表 4 比值后波段间的相关系数
Table 4 The correlation coefficient between the ratio bands

相关系数	Band4/1	Band2/1	Band4/6	Band8/4
Band4/1	1.000000			
Band2/1	0.736487	1.000000		
Band4/6	0.226869	0.321701	1.000000	
Band8/4	−0.087625	−0.054144	−0.555601	1.000000

表 5 组合分析特征向量矩阵

Table 5 Eigenvector matrix for combination analysis

主成分	Band4/1	Band2/1	Band4/6	Band8/4
PC1	−0.991834	−0.126816	−0.007337	0.011403
PC2	−0.027833	0.122924	0.854397	−0.504105
PC3	0.124112	0.983948	−0.094417	0.086759
PC4	0.009366	−0.025552	0.510919	0.859198

5 数据后处理及结果分析

将前面符合要求的主成分波段进行 3×3 的滤波处理,以消除噪声,优化得到蚀变信息结果,来进行异常分割。当多光谱数据覆盖面积足够大时,多光谱数据各个波段及其线性处理结果统计规律具有

正态分布的特点^[13-15],因此,以多元统计分析为基础,将 3 种方法所得的结果数据依照均值加 n 倍的标准差作为异常切割的方法,使各级异常切割有一个统一的标准,通常情况下切割到 3 级异常,文中按照 3.0、2.5、2.0 倍标准差,提取 1~3 级异常^[16-18]。结果如图 3 所示。

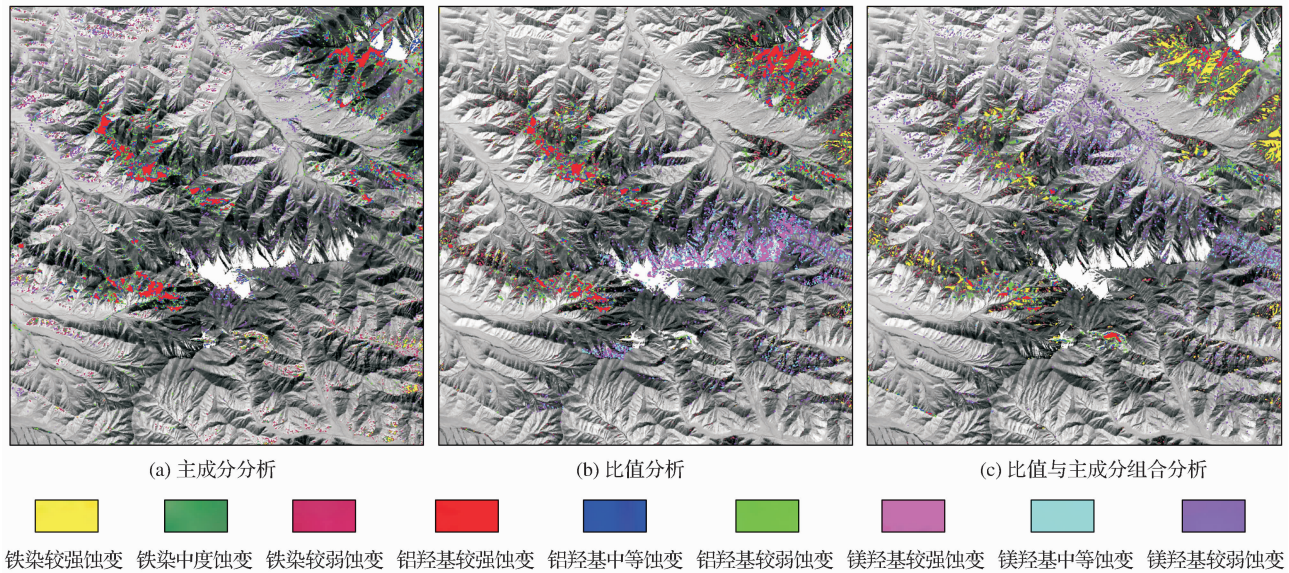


图 3 蚀变异常提取结果

Fig. 3 The result of hydrothermal altered rocks

鉴于以上 3 种方法蚀变信息提取结果的差异性,采用 USGS 标准波谱库中的矿物光谱来验证。根据 ASTER 数据各波段的波长区间,将 USGS 标准波谱数据库中的反射率数据,重采样到 ASTER 数据相应的波段,建立其在 ASTER 数据中的波谱曲线。图 3 中主成分分析和比值分析方法得到的含铁蚀变信息与组合分析方法得到的含铝羟基蚀变信息结果混淆较大,所以选取混淆部分进行验证。将大气校正后的波谱曲线与重采样后的标准矿物波谱库做相似性匹配,结果表明,混淆部分的波谱曲线与光谱库中赤铁矿的匹配度达到 72.6%(图 4),而赤铁矿为铁化异常,与组合分析方法提取出的结果(铁染蚀变)一致。因此,相对于前两种方法,比值与主

成分组合分析方法提取的蚀变信息更为准确。

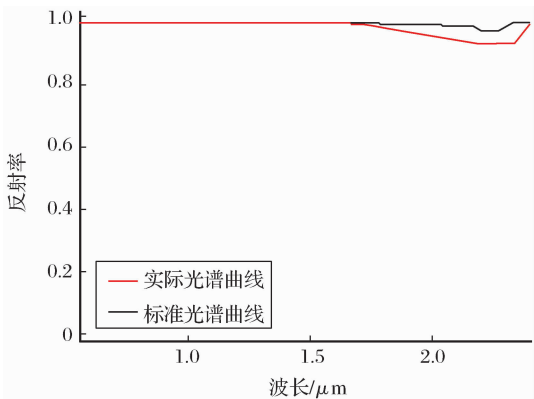


图 4 光谱曲线匹配结果

Fig. 4 The result of spectrum curve matching

主成分分析法虽然可以降低波段间的相关性和冗余性,但是由于雪(未掩膜掉的微弱部分)等干扰地物,以及乘性噪声(部分大气衰减和地形差异等)的存在,影响异常信息提取,如冲沟中由于淋滤作用存在的铁染异常。而单纯比值处理仍然存在波段间的相关性,不利于异常的提取。组合方法一方面利用比值消除地形的影响,强化异常信息,使得异常提取更为容易;另一方面,使用主成分去除波段间的相关性,分离出无意义的异常信号,利于各类蚀变信息的区分,提取结果更具有实际意义。

6 结 语

ASTER 数据在短波红外光谱范围内有较高的光谱分辨率,能区分高岭石化蚀变与绿泥石化蚀变,是蚀变异常提取工作中重要的数据源。数据在预处理时将 SWIR 数据与 VNIR 数据进行融合,充分利用 VNIR 的 15 m 分辨率,提高了 SWIR 的空间分辨率。

主成分分析法、比值分析法是现今遥感蚀变信息提取中广泛应用的方法。使用比值分析方法提取异常时,比值之后的波段间仍然存在相关性,不利于异常的提取。主成分分析法,需要将干扰地物去除才能取得较好的效果。比值与主成分组合分析法,不仅利用比值去除地形的影响,而且用主成分分析去除了波段间的相关性,很好地克服了使用常规方法出现的问题。

在运用这些方法的同时,应结合研究区的实际情况,运用其他的遥感图像处理方法,如中值滤波、彩色密度分割等,从而达到较好的提取效果。

参考文献(References):

- [1] Lv Fengjun, Xing Lixin, Fan Jizhang, *et al.* Extraction of Remotely Sensing Alteration Information based on Statistical Identification Model[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2005, 35(4): 535-538. [吕凤军, 邢立新, 范继璋, 等. 基于统计识别模型的遥感蚀变信息提取[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(4): 535-538.]
- [2] Carranza E J M, Hale M. Mineral Imaging with Landsat Thematic Mapper Data for Hydrothermal Alteration Mapping in Heavily Vegetated Terrane[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23: 22, 4827-4852.
- [3] Crosta A P, Desouza F C R. Targeting Key Alteration Minerals in Epithermal Deposits in Patagonia, Argentina, Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(21): 4233-4244.
- [4] Moore F, Rastmanesh F, Asadi H, *et al.* Mapping Mineralogical Alteration Using Principal-component Analysis and Matched Filter Processing in the Takab Area, North-west Iran, from ASTER Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(10): 2851-2867.
- [5] Zhang Yujun, Yang Jianmin. The Method of Abstracting Remote Sensing Information of Altered Rocks in the Uncovered Bedrocks Area[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1998, 36(2): 46-53. [张玉君, 杨建民. 基岩裸露区蚀变岩遥感信息的提取方法[J]. 国土资源遥感, 1998, 36(2): 46-53.]
- [6] Zou Lin, Yang Zi'an, Zhu Guchang, *et al.* New Method of Alteration Information Extraction from Multi-spectrum Remote Sensing Data[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(6): 71-76. [邹林, 杨自安, 朱谷昌, 等. 多光谱遥感蚀变信息提取新方法研究[J]. 地质与勘探, 2006, 42(6): 71-76.]
- [7] Jing Feng, Chen Jianping. The Review of the Alteration Information Extraction with Remote Sensing[J]. Remote Sensing Information, 2005, 2: 62-65. [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.]
- [8] Wu Dewen, Zhu Guchang, Zhang Yuanfei, *et al.* A Remote Sensing Approach to the Depth of the Highly Concentrated Salt Lakes[J]. Remote Sensing for Land&Resources, 2006, 67(1): 22-30. [吴德文, 朱谷昌, 张远飞, 等. 多元数据分析与遥感矿化蚀变信息提取模型[J]. 国土资源遥感, 2006, 67(1): 22-30.]
- [9] Liu Li, Xiang Yali, Lu Xue. Study on the Eigenvector Combination Model of Mineralizing Alteration Information Extraction based on the ASTER Data[J]. Geoscience, 2010, 24(2): 403-408. [刘李, 向雅莉, 芦雪. 基于 ASTER 数据矿化蚀变信息提取的主成分特征向量组合模型研究[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 403-408.]
- [10] Chen Shupeng, Tong Qingxi, Guo Huadong. Mechanism of Remote Sensing Information [M]. Beijing: Science Press, 1998. [陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [11] Geng Xinxia, Yang Jianmin, Zhang Yujun, *et al.* The Application of ASTER Remote Sensing Data for Extraction of Alteration Anomalies Information in Shallow Overburden Area[J]. Geological Review, 2008, 54(2): 184-191. [耿新霞, 杨建民, 张玉军, 等. ASTER 数据在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中的应用[J]. 地质评论, 2008, 54(2): 184-191.]
- [12] Xiang Meilin, Chen Jianguo, Liu Xiangxu. Study on Extraction of Remote Sensing Alteration Information in Wulashan[J]. Journal of Geology, 2010, 34(1): 28-32. [向美琳, 陈建国, 刘祥旭. 乌拉山地区遥感蚀变信息提取研究[J]. 地质学刊, 2010, 34(1): 28-32.]
- [13] Rutz-Armenta J R, Proh-Ledesma R M. Techniques for Enhancing the Spectral Response of Hydrothermal Alteration Minerals in Thematic Mapper Images of Central Mexico[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 1981-2000.
- [14] Moghtaderi A, Moore F, Mohammadzadeh A. The Application

of Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection (ASTER) Radiometer Data in the Detection of Alteration in the Chadormalu Paleocrater, Bafq Region, Central Iran[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 30: 238-252.

[15] Gan Fuping, Wang Runsheng. Investigation on Principles and Techniques of Extracting Information of Rocks and Minerals Using Remote Sensing Data[J]. Beijing: The Geological Publishing House, 2004. [甘甫平, 王润生. 遥感岩矿信息提取基础与技术方法研究[M]. 北京: 地质出版社, 2004.]

[16] Xing Lixin, Lv Fengjun, Pan Jun, *et al.* Remote Sensing Alteration Information Field Building and Its Information Extraction[J]. Remote Sensing Information, 2006, 4: 12-14. [邢立新, 吕凤军, 潘军, 等. 遥感蚀变信息场的确立及其信息提取[J]. 遥感信息, 2006, 4: 12-14.]

[17] Lv Fengjun, Xing Lixin, Fan Jizhang, *et al.* Extracting Alteration Information of Remote Sensing based on Alteration Information Field[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(2): 65-68. [吕凤军, 邢立新, 范继璋, 等. 基于蚀变信息场的遥感蚀变信息提取[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 65-68.]

[18] Lv Fengjun, Hao Yuesheng, Shi Jing, *et al.* Alteration Remote Sensing Anomaly Extraction based on ASTER Remote Sensing Data[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(2): 271-276. [吕凤军, 郝跃生, 石静, 等. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 271-276.]

Research of Combinatory Analysis Method in Altered Information Extraction

LI Miao-miao, XING Li-xin, PAN Jun, QIAO Zhen-min, WANG Hong-hong
(Faculty of GeoExploration Science and Technology, Jilin Unirersity, Changchun 130026, China)

Abstract: Currently, the principal component analysis, the ratio analysis, the spectral angle mapping method has been widely applied in mineralized alteration information extraction, and have got good results. According to the remote sensing data characteristics of the study area, this paper use the combinatory analysis of ratio and principal component, combining image processing method such as FLAASH atmosphere correction, median filtering and color density divide, to extract the mineralized alteration information of Qiemo region. The typical mineral spectrum of the USGS standard mineral spectrum library veriflicated that the combinatory analysis method can remove the data redundancy and noise, be convenien to obtain the alteration information.

Key words: Alteration information; Principal component analysis; Ratio analysis; Combinatory analysis