doi:10.3799/dqkx.2015.121

# 基于特征导向主成分分析遥感蚀变异常提取方法

谢明辉<sup>1,2</sup>,张 奇<sup>2</sup>,陈圣波<sup>1</sup>,李艳秋<sup>1</sup>,查逢丽<sup>1</sup>

1.吉林大学地球探测科学与技术学院,吉林长春 130026
2.吉林建筑大学管理学院,吉林长春 130118

摘要:为利用多光谱遥感数据提取蚀变异常信息,在分析蚀变矿物的先进星载热发射和反射辐射仪(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER)和影像短波近红外(visible and near IR-short wave-length IR, VNIR-SWIR)谱带的特征光谱曲线的基础上,对传统的主成分分析法进行了改进,利用特征导向主成分分析法对辽宁兴城地区进行 矿物蚀变信息提取,成功的对该地区内的褐铁矿(Fe<sup>3+</sup>)、绿泥石(Mg-OH 基团矿物)和高岭石(Al-OH 基团矿物)进行了蚀变 异常信息提取.通过实践验证和研究区地质资料表明,特征导向主成分分析法能够有效地提取蚀变信息并识别研究区内主要 矿物,可以为该区的成矿预测工作提供一定的依据.

**关键词:**先进星载热发射和反射辐射仪;Crosta分析;蚀变异常;遥感;兴城地区. **中图分类号:** P627 **文章编号:** 1000-2383(2015)08-1381-05 **收稿日期:** 2015-03-20

## Extraction of Alteration Anomaly Information by Feature-Based Principal Component Analysis from ASTER Data

Xie Minghui<sup>1,2</sup>, Zhang Qi<sup>2</sup>, Chen Shengbo<sup>1</sup>, Li Yanqiu<sup>1</sup>, Zha Fengli<sup>1</sup>

1.College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China2.School of Management, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, China

Abstract: In order to extract the alteration anomaly information with multi-spectral remote sensing data, this paper improves the traditional principal component analysis is improved and the mineral alteration information of Xingcheng region of Liaoning using the method of the feature oriented principal component analysis is extracted, successfully for the alteration anomaly of the limonite ( $Fe^{3+}$ ), chlorite (Mg-OH group minerals) and kaolinite (Al-OH group minerals) based on the analysis of the characteristic curve of canopy spectral in VNIR-SWIR (visible and near IR-short wave-length IR) band of ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) data about alteration mineral. Field practice and geological data of research area indicate that the method above can effectively extract the alteration information and identify the mainly mineral of research area, which can provide a certain basis for the metallogenic prediction.

Key words: ASTER; Crosta analysis; alteration anomaly; remote sensing; Xingcheng area.

0 引言

围岩蚀变是成矿的重要指示信息,利用多光谱 遥感数据提取蚀变异常信息可以为找矿提供新的思 路和手段,有利于促进找矿工作的发展并且可以降 低找矿成本(陈建平等,2009).

近年来,国内外许多学者利用多光谱遥感数据 开展了多种遥感蚀变信息提取方法的研究,并都取 得了显著的成果.赵洪元等(1991)提出了波段比值 的主成分复合法;马建文(1997)提出了"TM 掩模+ 主成分变换+分类识别"提取矿化信息的方法;杨建

**基金项目**:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(Nos.2012AA12A308,2008AA121100);深部探测关键仪器装备野外实验与示范项目(No. 201011083 SinoProbe09-06);国家自然科学基金项目(No.41402293).

作者简介:谢明辉(1974-),男,博士研究生,主要从事遥感技术研究.E-mail: JIjyan@163.com

引用格式:谢明辉,张奇,陈圣波,等,2015.基于特征导向主成分分析遥感蚀变异常提取方法.地球科学一一中国地质大学学报,40(8):1381-1385.

民等(2003)综合应用比值法、主成分法和光谱角法 在东天山进行了遥感示矿信息提取研究.国外对这 方面的研究也开始较早,Lough(1991)采用主成分 分析法进行了蚀变岩的研究;Rokos et al.(2000)用 TM5/TM7、TM3/TM1 波段比值和主成分分析方 法对爱琴海盆地 Quaternary 岛弧中的低温热液型 金矿进行了蚀变信息提取和找矿预测;Tangestani and Moore(2001)利用不同的主成分分析对伊朗 Meiduk 地区的斑岩铜矿进行了蚀变信息提取.上述 研究的蚀变信息提取法能有效可靠的提取矿化蚀变 信息,但由于需要不断调试来选取波段,在进行波段 组合时带有一定的主观因素,从而降低了蚀变矿物 信息提取的精度.因此对于成矿类型不同的地区,应 基于蚀变矿物的特征有针对性的选择波段进行主成 分分析,以期达到更好的效果.

本文通过分析辽宁兴城地区蚀变矿物的先进星 载热发射和反射辐射仪(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer, ASTER)影像 短波近红外(visible and near IR-short wave-length IR, VNIR-SWIR)谱带的特征光谱曲线得出其在 ASTER 各波段的吸收、反射特征,针对研究区含铁 染蚀变、高岭石、绿泥石化3组蚀变矿物的实际地质 情况,选择合理波段组合进行主成分分析来提取蚀 变信息,提高了遥感蚀变矿物信息提取的精度,最终 圈定蚀变异常区域.

## 1 研究区地质概况

研究区位于辽宁省西南部兴城地区,兴城地区地 理坐标为 120°42′E, 40°37′N. 兴城地区大地构造位置 上隶属于山海关古隆起与辽西中生代凹陷带的过渡 区,中生代时期岩性复杂,地层厚度变化大.侏罗系为 陆相碎屑岩及陆相火山岩建造,下部由含砾砂岩、玄 武岩和页岩夹煤层组成;中部以玄武岩、安山岩及火 山碎屑岩为主夹砂页岩:上部以凝灰质砂页岩及砾岩 为主夹泥灰岩,白垩系为陆相火山岩及陆相碎屑岩建 造,岩性还有砂砾岩、安山岩、玄武岩及砾岩(杨明, 2010).区内矿床分布广泛,其中位于研究区中部的杨 家杖子地区是我国重要的钼矿生产基地,砂卡岩型钼 矿床(如杨家杖子钼矿床)规模较大.此外,还有一些 规模不等的热液成因矿床(如松北铅锌矿床)、沉积型 矿床(高于庄锰矿床)等.矿区内的岩石一般都具有不 同程度的蚀变,主要为斜长石的高岭石化、黑云母的 绿泥石化和褐铁矿化.蚀变岩的广泛分布为本研究区



Fig.1 Regional geological sketch of the study area 1.石盒子组;2.红砬组;3.义县组;4.变质表壳岩;5.海房沟组;6.大红 峪组;7.砂砾岩;8.土城子组

进行矿物蚀变信息的提取提供了基本条件(图1).

## 2 数据预处理

本文使用的 4 组 ASTER LEVEL 1B 影像数据,获取时间为 2001 年 10 月 5 日~2002 年 10 月 15 日.影像分辨率分别为 15 m 和 30 m,波长范围为 0.5~2.5  $\mu$ m.由于原始数据在接受时受到各种因素 的影响,为了减小误差,提高蚀变信息提取的精度, 需要对原始数据进行重采样、几何校正及大气校正 的预处理.

### 3 蚀变信息提取

#### 3.1 蚀变矿物光谱特征分析

本文采用美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS) 丹佛光谱实验室采集的标准 矿物波谱库中的波谱曲线, 对研究区主要蚀变矿物 进行波谱对比分析(图 2).

从波谱特征曲线得出:褐铁矿的波谱在0.55 μm 和 0.85 μm 处均有强吸收特征,其对应 ASTER1 波 段和 ASTER3 波段.在 0.65 μm 处有强的反射特征, 对应的是 ASTER2 波段;含 Al 离子的矿物如高岭 石,在 ASTER4 波段到 ASTER5 波段的反射率随 波段号的递增而变低;在 ASTER5 波段到 ASTER7 波段则相反呈递增趋势,在 ASTER6 波段形成吸收 谷.绿泥石和绿帘石是典型的含 Mg 离子矿物,其特





Fig.2 Curves of standard spectral characteristics of each

alteration minerals in the study a还4类蚀变矿物的蚀变信息 波谱库来源于 USGS;图中方框的意义表示的是每个波段的波长 范围

征吸收谷在 2.315~2.335  $\mu$ m 附近,绿泥石矿物在 ASTER1 波段到 ASTER4 波段的反射率随波段号 的递增而变高,在 ASTER5 波段呈反射峰特征,而 在 ASTER8 波段形成吸收谷.

#### 3.2 矿物蚀变信息提取

特征导向的主成分分析(Crosta 技术)其实质 上是一种主成分分析法,主要用于进行数据压缩或 减少数据维数,其目的是把原来多波段图像的有用 信息集中到数目尽可能少的新的主成分图像中,并 通过正交线性变换使这些主成分图像之间互不相 关,也就是说各个主成分的信息内容不重叠,从而大 大减少总数据量,并使图像信息得到增强(Crosta and Moore,1989).

在 Mg-OH 基团的蚀变信息提取过程中,由上 述波谱特征分析可以得出:绿泥石和绿帘石的波谱 在 ASTER8 和 ASTER9 波段都有较大反差且在 ASTER5波段具有强反射,在 ASTER2 波段有较强 的吸收. 故选择 ASTER2、ASTER5、ASTER8 和 ASTER9波段来做 Crosta 分析,从而得出 Mg-OH 基团信息提取的主成分特征向量矩阵.在表 1 中可 以看出,PC4 主分量所包含的信息中 ASTER8 的权 值最大,ASTER5 波段次之,且两者一正一负,正好 体现了绿泥石在 ASTER8 和 ASTER5 波段的光谱 特征,因此笔者认为 PC4 为 Mg-OH 基团的主分量. 将第四主分量进行 PC4×(-1)处理后,高亮区即为 Mg-OH 基团的蚀变强烈区.

根据上述对高岭石光谱特征的分析可以选择 ASTER1、ASTER4、ASTER6和ASTER7波段来

#### 表 1 Mg-OH 基团信息提取的主成分特征向量矩阵

Table 1 Eigenvalue matrix of the PCA for extraction of Mg-OH group information

主成分	ASTER2	ASTER5	ASTER8	ASTER9
PC1	-0.132692	0.050 713	0.030 612	0.024 256
PC2	-0.796479	0.159 458	0.035 955	0.038 493
PC3	0.093 727	0.790 366	-0.329421	-0.506628
PC4	0.021 811	0.652 560	-0.750309	0.103 284

#### 表 2 Al-OH 基团信息提取的主成分特征向量矩阵

Table 2 Eigenvalue matrix of the PCA for extraction of Al-OH group information

主成分	ASTER1	ASTER4	ASTER6	ASTER7
∍ <u>₽</u> C1	-0.504827	-0.490005	-0.507766	$-0.497\ 210$
™ <del>T</del> PC2	-0.855414	0.393 318	0.253 753	0.221 760
PC3	0.115 823	0.767 756	-0.330855	-0.536349
PC4	0.001 260	0.125 483	-0.753869	0.644 929

#### 表 3 Fe<sup>3+</sup> 信息提取的主成分特征向量矩阵

Table 3 Eigenvalue matrix of the PCA for extraction of  $$\rm Fe^{3^+}$$  group information

主成分	ASTER1	ASTER2	ASTER3	ASTER4
PC1	-0.525 319	-0.592313	-0.407143	-0.455456
PC2	-0.575272	-0.194051	0.758 061	0.238 225
PC3	$-0.194\ 113$	-0.167755	-0.457760	0.851 254
PC4	$-0.596\ 173$	0.763 785	-0.223683	-0.105713

做主成分分析,从而得出 Al-OH 基团信息提取的主成分特征向量矩阵.由表 2 可以看出第4 主成分 (PC4)主要贡来源于 ASTER6(-0.753 869)和 AS-TER7 (0.644 929),且其权值的符号能体现高岭石 在ASTER6吸收和 ASTER7 反射的光谱特征.因此 笔者认为 PC4 为 Al-OH 基团蚀变矿物的主分量.

通过上述对褐铁矿的光谱特征的分析可以选择 ASTER1、ASTER2、ASTER3 和 ASTER4 波段来 做主成分分析,从而得出 Fe<sup>3+</sup>信息提取的主成分特 征向量矩阵.由表 3 可以看出 PC4 主要贡献来源于 ASTER1(-0.596 173)、ASTER3(-0.223 683)和 ASTER2 (0.763 785),且各波段权值的符号与光谱 的吸收和反射特征相对应.PC4 最能体现 Fe<sup>3+</sup>蚀变 矿物的波谱特征,可作为其主分量.

将上述4类蚀变矿物的蚀变信息主分量分别提 取出来后,采用主分量阈值化技术分级的作法,计算 单波段图像的平均值及标准离差σ,以标准离差的 值作为分级的尺度,并以3.0、2.5和2.0的标准离差 的倍数作为阈值,用于限定异常水平.最后,为了避 免提取结果图中的大量噪声点,对结果数据进行了



图 3 研究区蚀变矿物异常信息分布及其验证

Fig.3 Anomaly distribution images of alteration minerals of the study area

a.Mg-OH 基团蚀变异常信息分布; b.Al-OH 基团蚀变异常信息 分布; c.三价铁蚀变异常信息分布

窗口为5×5的中值滤波,得到蚀变矿物异常信息.

#### 3.3 结果分析与验证

通过野外的实施考察资料和相关的地质资料分析3类蚀变信息提取结果可看出,研究区内的蚀变信息多分布于已知矿点及其周围地区.三价铁氧化蚀变信息主要分布在研究区地质走廊带中部的褐铁矿,以及在杨家杖子和矿湖之间,其呈多条带分布,NE走向.Al-OH 基团蚀变矿物主要分布于走廊带东部的牤牛山地区,以及义县组和张夏组中.Mg-OH 基团蚀变矿物主要以绿泥石为主,大部分分布在义县组的安山岩中以及在六家子镇和娘娘庙乡之间,其蚀变信息的分布与实验区地质图能很好地对应.在图 3 中的 3 个采样点发现的岩石也都能与所提取的蚀变矿物很好地对应,提取结果达到了预想

的应用效果.

具体分析 3 类蚀变信息提取结果,笔者发现 3 类蚀变矿物的分布虽整体在空间关系上具有较好的 一致性,但仔细观察蚀变信息的分布情况可以发现, 三者的覆盖范围具有很低的重合率,说明利用特征 导向主成分分析法能比较完整地提取研究区各类蚀 变异常信息,也能更好地体现 ASTER 数据对粘土 矿物的识别能力.

## 4 结论

通过分析辽宁兴城地区各类典型蚀变矿物的波 谱特征,笔者选择合适的波段进行主成分分析,提取 了研究区内的3类蚀变矿物信息.野外实践和研究 区的地质资料表明基于特征导向的主成分分析方法 能有效提取遥感蚀变矿物信息.

本文的研究突显了特征导向主成分分析法进行 蚀变异常信息的灵活性.针对不同研究区蚀变矿物 的实际地质情况,灵活的选择更合适的波段进行主 成分分析,有利于蚀变异常信息的提取并可以减少 由波段选择不合理产生的误差.

采用特征导向主成分分析法提取的 3 类蚀变矿 物信息在空间分布上重叠率较低,证明了 ASTER 数据对含有 Mg-OH 和 Al-OH 基团的蚀变矿物具 有很好的识别能力.

#### References

- Chen, J. P., Wang, Q., Dong, Q. J., et al., 2009. Extraction of Remote Sensing Alteration Information in Tuotuohe, Qinghai Province. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 34 (2): 314-318 (in Chinese with English abstract).
- Crosta, A. P., Moore, J. M., 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain. Proceedings of the 9th Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology. Calgary, 1173-1187.
- Loughlin, W. P., 1991 Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(6):1163-1169.
- Ma, J, W., 1997. Methodology Study of Quickly Identifying Mineral Bearing Alterations from TM Data. Journal of Remote Sensing, 1(3): 208-213, 244 (in Chinese with English abstract).

- Rokos, D., Argialas, D., Mavrantza, R., et al., 2000. Structural Analysis for Gold Mineralization Using Remote Sensing and Geochemical Techniques in a GIS Environment: Island of Lesvos, Hella. *Natural Resources Research*, 12 (4):277-293.
- Tangestani, M. H., Moore, F., 2001. Comparison of Three Principal Component Analysis Techniques to Porphyry Copper Alteration Mapping: A Case Study, Meiduk Area, Kerman, Iran. Canadian Journal of Remote Sensing, 27 (2): 176 - 182. doi: 10.1080/07038992.2001. 10854931
- Yang, J. M., Zhang, Y. J., Chen, W., et al., 2003. Application of ETM+ (TM) Remote Sensing Alteration Anomaly Extraction Technique to Gobi Area, East Tianshan Mountains. *Mineral Deposits*, 22 (3): 278 - 286 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M., 2010. The Lithostratigraphic Characters of the Mesoproterozoic Dahongyu Formation in Xingcheng Area, Liaoning Province (Dissertation). Jilin University, Changchun, 12-13(in Chinese with English abstract).

Zhao, Y. H., Zhang, F. X., Chen, N. F., 1991. The Application of Principal Component Integraion of Band Ratios to Extracting Hydrothermal Alteration Information. *Remote Sensing for Land & Resources*, 3(3):12-17 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 陈建平,王倩,董庆吉,等,2009.青海沱沱河地区遥感蚀变信 息提取.地球科学——中国地质大学学报,34(2): 314-318.
- 马建文,1997.利用 TM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究. 遥感学报,1(3):208-213,244.
- 杨建民,张玉君,陈薇,等,2003.ETM+(TM) 蚀变遥感异常 技术方法在东天山戈壁地区的应用.矿床地质,22(3): 278-286.
- 杨明,2010.辽宁省兴城地区中元古代大红峪组岩石地层特 征(硕士学位论文).长春:吉林大学.
- 赵元洪,张福祥,陈南峰,1991.波段比值的主成份复合在热 液蚀变信息提取中的应用.国土资源遥感,3(3): 12-17.