

铀矿化蚀变遥感信息识别技术 ——以江西桃山地区为例

宣艳秀, 张杰林

(核工业北京地质研究院, 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

摘要: 本文以卫星多光谱遥感影像数据为主要信息源, 综合研究了彩色合成、波段比值、主成分分析及图像彩色分割等技术方法。在铀矿化蚀变岩矿光谱特征分析的基础上, 提取了桃山地区遥感图像中与铀矿化密切相关的多种蚀变信息, 为铀成矿条件分析提供依据。

关键词: 信息识别; 矿化蚀变; 桃山地区

矿化蚀变遥感信息 (又称遥感找矿异常) 识别技术是指从遥感数据中提取与成矿围岩、矿化蚀变等密切相关的岩石矿物光谱信息^[1]。围岩蚀变是成矿作用发生的重要标志之一, 其主要包括含铁离子类蚀变矿物的铁化蚀变、含羟基类蚀变矿物的高岭石化、水云母化和绿泥石化以及碳酸盐化、硅化等矿化蚀变遥感异常。利用遥感数据提取围岩矿化蚀变信息的遥感物理基础主要是与周围正常岩石相比, 蚀变岩石的物质成分、结构构造等发生变化, 其导致了蚀变岩石反射光谱特征的变异, 并且在某些特定的光谱波段形成了可诊断吸收光谱异常。但由于受到周边地物信息的干扰, 加上受遥感图像的波谱分辨率与空间分辨率的限制, 这些遥感异常信息通常表现为微弱信息, 需要通过遥感数据增强与信息识别技术才能将其有效提取, 笔者根据研究区的实际地质情况, 结合该区与矿化相关的主要热液蚀变矿物的可诊断光谱特征, 采用“比值运算+主成分分析+密度分割+噪声消除”^[2]等多方法组合的数据分析、图像增强及地物分类的蚀变信息提取技术, 获取最佳变量集, 增强微弱矿化信息, 并逐步去除干扰信息, 最终实现矿化蚀变信息的提取与遥感地质制图。

1 基于 ETM + 矿化蚀变信息提取

ETM+数据蚀变信息的提取主要采用了波段比值变换和主成分分析的方法(PCA), 异常信息的圈定采用阈值分割法。

1.1 比值变换

比值变换主要是利用遥感不同波段地物反射率比值计算, 即利用地物反射波段与吸收波段的比值处理, 来增强不同地物的光谱差异, 突出影像中待识别地物的光谱特征, 消除或抑制地形、山影、云影等影响, 从而实现蚀变信息的有效识别和提取^[3]。

大量的研究表明, 蚀变矿物在不同的 ETM + 波段之间存在光谱反差, 含羟基类矿物 (粘土矿物和云母) 碳酸盐矿物在 ETM7 波段具有强吸收, 而在 ETM5 波段为强反射; 铁的氧化物, 包括褐铁矿、赤铁矿、针铁矿和黄钾铁矾等在 ETM3 波段表现为高反射, 而在 ETM1、ETM2 和 ETM4 则具有不同程度的吸收特征。因此, 利用 ETM3/1 可增强褐铁矿化信息, 用来提取 Fe^{3+} 蚀变; 利用 ETM5/4 可以增强亚铁矿物类信息, 用来提取 Fe^{2+} 蚀变; ETM5/7 可增强碳酸盐化及绿泥石化类信息。

1.2 主成分分析

主成分分析法是广泛应用的岩石蚀变信息提取方法。基于主成分分析变换, 遥感多波段数据生

作者简介: 宣艳秀 (1963—), 女, 吉林榆树市人, 学士, 高级工程师, 地质勘查专业

基金项目: 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室基金项目 (YGZJ200501)

成的每一个主分量代表特定的地质意义，并与某一波段相关，信息的冗余性小，便于信息的识别与提取。针对桃山地区的实际地质情况，主要采用选择主成分分析法（即“克罗斯塔”分析法），根据地物波谱特征和主成分分析变换后生成的特征向量矩阵中的各波段载荷因子大小，选择集中反映某个波段（或某种地物）特征波谱信息的主成分来提取目标地物光谱信息^[3]。

由于铁的氧化物在 ETM3 波段具有反射峰，而在 ETM1 波段反射率较低，克罗斯塔分析计算中，利用 ETM1、3、4、5 等 4 个波段进行主成分分析来提取 Fe^{3+} 信息，铁化信息反映最强的分量应是 ETM3 和 ETM1 的特征向量载荷因子绝对值较大，且两者符号相反的主分量，根据特征向量分析结果（见表 1），PC4 符合，这样在 PC4 负值图像中铁氧化物将以高亮色调突出出来。

表 1 ETM1、ETM3、ETM4、ETM5 波段主成分分析特征向量

主成分	ETM1	ETM3	ETM4	ETM5	特征值(%)
PC1	0.3745	0.5238	0.4515	0.6176	78.2865
PC2	0.4751	0.4591	-0.7379	-0.1380	16.6092
PC3	0.6178	-0.0920	0.4587	-0.6320	3.6464
PC4	0.5023	-0.7116	-0.2030	0.4473	1.4579

粘土矿物（含 OH^- ）和碳酸盐矿物（含 CO_3^{2-} ）在 ETM7 波段上存在强烈的吸收谷，而在 ETM5 波段上反射率很高，因此，采用 ETM1、4、5、7 等 4 个波段进行主成分分析，可以提取羟基蚀变信息，根据特征向量分析结果（见表 2），在 PC4 中绿泥石、白云母、高岭石等常见蚀变矿物得到增强。因此，把 PC4 作为粘土蚀变矿物信息增强图像。

表 2 ETM1、ETM4、ETM5、ETM7 波段主成分分析特征向量

主成分	ETM1	ETM4	ETM5	ETM7	特征值(%)
PC1	0.3398	0.4366	0.6050	0.5726	80.8922
PC2	-0.4914	0.7912	0.0466	-0.3609	13.7528
PC3	0.7969	0.3320	-0.3109	-0.3976	4.7853
PC4	0.0889	-0.2704	0.7316	-0.6195	0.5698

1.3 信息提取效果分析

对前面利用波段比值提取的铁化蚀变信息（ETM3/ETM1）和粘土化蚀变信息（ETM5/ETM7）进行合理的阈值分割，然后通过均值滤波去除噪声和孤立点，并将其叠加在遥感影像上，得到相应的蚀变分布图（图 1、图 2）。

在 Fe^{3+} 蚀变分布图中（图 1），桃山断裂和罗坑断裂带夹持部位（即桃山铀矿田主要矿床集中区）为高值区，代表 Fe^{3+} 含量高，表明了该区红化蚀变较强，这与实际地质调查与该区的铀成矿环境相一致；同时，断陷红盆（宁都盆地、洛口盆地和汉源盆地）亦是 Fe^{3+} 高值区，其反映了盆地内氧化

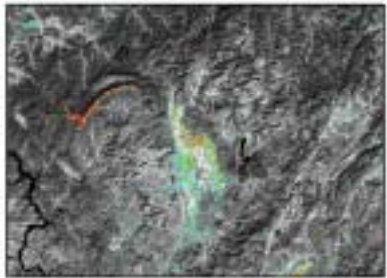


图 1 Fe^{3+} 蚀变信息提取图像
（斑块为铁化信息异常，异常按强度分级）

环境下红色砂岩 Fe^{3+} 含量高。在粘土化蚀变分布图中（图 2），高值区代表了白云母化、水云母化、绿泥石化等混合蚀变信息，主要反映了燕山早期的打鼓寨岩体、黄陂岩体、钨峰岩体及部分燕山晚期花岗岩岩体空间分布，表明后期岩体蚀变较强。

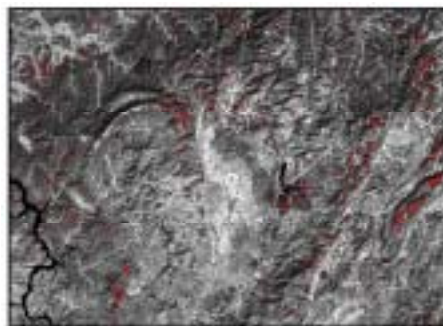


图 2 混合蚀变提取图像

2 基于 ASTER 数据的蚀变信息提取

Terra 卫星的 ASTER 数据与 Landsat 卫星的 ETM+(TM)数据相比，其空间分辨率与光谱分辨率都有了很大的提高，ASTER 数据除了具有 15m 空间分辨率的可见光与近红外 3 个波段(VMIR)，还增加了专门为地质矿产勘查设置的 6 个短波红外波段(SWIR) 空间分辨率为 30m 和 5 个热红外波段(TIR) 空间分辨率为 90m^[4]。

ASTER 数据在短波红外波段具有较高的波谱分辨率，这使得 ASTER 数据具有较好的区分粘土矿物的能力，可以对高岭土、绢云母、绿泥石等蚀变矿物进行有效的区分，因此利用 ASTER 数据短波红外的 6 个波段（波段 4～波段 9）提取泥化信息可以取得更好的效果，这在国外地质勘查中已经得到广泛的应用。

ASTER 数据的蚀变信息提取主要利用了光谱角填图（光谱角匹配）法。该方法是在由岩矿光谱组成的多维矢量空间，利用一个岩矿光谱矢量的角度测度函数(θ)求解岩矿参考光谱端元矢量(r)与图像像元矢量光谱(t)的相似程度，即

$$\theta = \arccos \frac{t * r}{\|t\| * \|r\|}$$

上式， $\|t\|$ 和 $\|r\|$ 为光谱向量的模。参考端元光谱可以是实验室光谱或野外测定光谱或是从图像上提

取的像元光谱。 θ 介于 $0 \sim \frac{\pi}{2}$ 间，其值愈小二者的相似程度愈高，提取的信息愈可靠。通过合理的阈值选择，获取蚀变信息的二值图像^[5]。

基于光谱角填图法的蚀变信息提取，主要是利用了 USGS（美国地质调查局）标准波谱库，根据 ASTER 遥感数据的光谱分辨率对 USGS 波谱数据库进行重采样，形成了 ASTER 遥感数据光谱。根据研究区的泥化蚀变类型，选取了绢云母、绿泥石、高岭石等典型波谱曲线，由它们的波谱曲线图可以看出，这些蚀变在 ASTER6 波段（波长 2.2090 μm ）或 ASTER8 波段（波长 2.3360 μm ）具有诊断波谱，并呈强吸收的特点（如图 3）。根据这一特点，采用光谱角填图技术，选取适当的角度阈值提取出全区各蚀变信息，经密度分割后形成蚀变异常分布图（如图 4）。

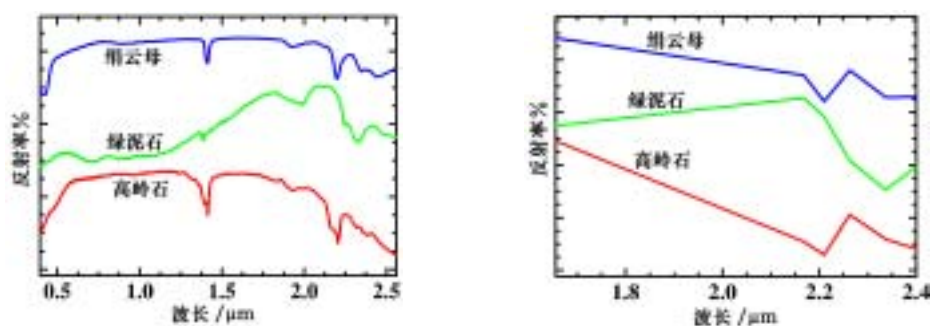


图3 绢云母、绿泥石和高岭石标准波谱

(据 USGS 波谱库 左为标准波谱, 右为重采样波谱 纵坐标经零点偏移)

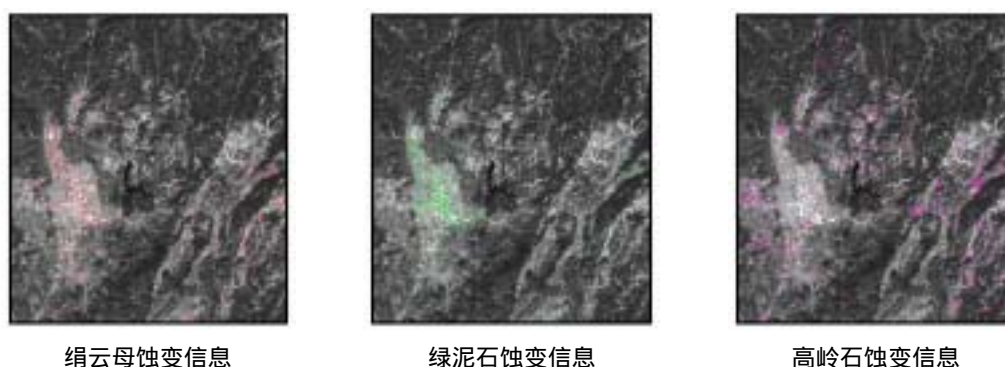


图4 研究区蚀变信息提取分布图

光谱角填图技术方法提取泥化蚀变信息结果显示,研究区内高岭土化蚀变最强,绢云母化次之,绿泥石化蚀变较弱。

3 结语

针对桃山铀矿田地表植被覆盖的实际地质背景,笔者通过对 ETM+和 ASTER 不同波段固有的结构特征和光谱特征分析,采用不同的波段组合、波段比值、主成分分析、光谱角填图法等多功能组合方法,有效地增强了该地区与铀成矿相关的地质信息。同时,基于低通卷积滤波、均值滤波等算法抑制数据噪声,增强和突出了控矿构造信息,提高了影像对构造和岩性的综合识别能力,为该区进一步找矿提供了基础资料,为区域遥感地质填图及找矿识别标志的提取做出了有意义的尝试^[6]。

参考文献:

- [1] 张玉君,杨建民,陈薇.ETM+(TM+)蚀变遥感异常提取方法研究与应用[J]. 国土资源遥感, 2002, 54(4):30-37.
- [2] 赵元洪,张福祥,陈南峰,等.波段比值的主成分复合在热液蚀变信息提取中的应用[J]. 国土资源遥感, 1991,(3): 12-17.
- [3] 王晓鹏,谢志清,伍跃中. ETM 图像数据矿化蚀变信息的提取——以昆仑塔什库尔干地区为例[J]. 地质与资源, 2002, 11(2): 119-122.
- [4] 耿新霞,杨建民,张玉君,等 ASTER 数据在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中的应用——以新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿岩体为例[J]. 地质评论, 2008, 54(2): 184-191.
- [5] 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,2004:59.
- [6] 张杰林. 桃山铀矿田地成矿要素光谱特征分析[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(4): 216-221.

Techniques of uranium mineralization alteration remote sensing information identification and its application in Taoshan area, Jiangxi province

XUAN Yan-xiu , ZHANG Jie-lin

(Beijing Research institute of Uranium Geology, National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the spectrum characteristics analysis of uranium mineralization alteration rocks and minerals, and using satellite multi-spectral remote sensing image data as the main information sources, multiple remote sensing data processing techniques and methods such as color compound, band ratio, principal component analysis and image color segmentation, are synthetically applied to extract uranium mineralization and alteration information from the remote sensing image. The results of this study provided basic data for analysis of uranium ore-formation conditions in the area.

Key words: information identification; mineralization and alteration; Taoshan area.