

基于光谱变异的遥感岩矿蚀变信息提取

甘甫平^{1 2)} 王润生²⁾ 马蔼乃¹⁾ 王青华²⁾

(1)北京大学 北京 ,100871 (2)中国国土资源航空物探遥感中心 北京 ,100083)

摘 要 岩矿蚀变是最重要的地质现象之一 ,在地质找矿与地质成生环境分析等地质应用领域都具有重要的指示意义。本文基于遥感地质应用的专属性 ,主要分析了热液蚀变矿物与原矿物光谱之间的关联与变化。在此基础上 ,选择新疆贝克滩地区多光谱(ETM⁺)数据 ,利用小波包分解技术提取矿化蚀变信息。最终分析矿物蚀变光谱效应研究在多光谱和高光谱地质应用的重要性 ,探讨蚀变矿物光谱效应在遥感深层次地质挖掘中可能性。

关键词 矿物蚀变 光谱效应 小波包分解 多光谱 高光谱 新疆贝克滩

Remote Sensing Information Extraction from Altered Rocks and Minerals Based on Variation of Spectra

GAN Fuping^{1 2)} WANG Runsheng²⁾ MA Ainai¹⁾ WANG Qinghua²⁾

(1)Peking University ,Beijing ,100871 ;

2)China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources ,Beijing ,100083)

Abstract Mineral alteration is one of the most important geological phenomena. As an indicator in the analysis of geological exploration and geological genesis ,it has the most important significance in geological prospecting work. Spectral relationships between hydrothermally altered and original minerals based on remote sensing data have been discussed in this paper. The information of mineralization or alteration in Beiketian ,Xinjiang , was extracted successfully from ETM⁺ image by using the Wavelet Packet technique. The importance of the spectral effect of altered minerals in geological application by means of multispectral and hyperspectral remote sensing is dealt with. Discussion is also given on the possibility of using this technique to extract the deep level geological information.

Key words mineral alteration spectral effect Wavelet Packet Technique multispectral and hyperspectral remote sensing Beiketian district of Xinjiang

蚀变围岩是重要的找矿标志。蚀变不仅可以标识地面矿体的形态和位置 ,而且也能指示地下盲矿体的存在。利用蚀变矿物共生组合的生长间断或蚀变矿物的共生关系可划分蚀变阶段、确定蚀变作用类型 ;从每一蚀变过程中的矿物分带性可确定蚀变带序或递进蚀变序列 ;分析矿物蚀变的共生组合分布的空间叠加情况可确定各阶段蚀变与成矿的关系 ;继而可更深入地研究蚀变形成的化学特点、温度、压力和成矿流体中组分的富集情况以及流体与围岩相互作用和作用的原因 ,探讨蚀变与成矿过程。因此 ,利用蚀变岩石组合的组成矿物、分布范围和强度 ,可以预测矿产的种类、赋存的位置以及富集的程度。

因此 ,在遥感地质应用中 ,无论是多光谱 ,还是高光谱 ,都非常重视对蚀变信息提取的研究(Kruse 等 ,1994 ;Loercher 等 ,1994 ;Resmini 等 ,1997 ;Harris 等 ,1998)。从矿物的光谱特征出发直接进行岩石矿物识别(甘甫平等 ,2000 ;Meer ,1997)或进行矿化信息提取^① ,量化地球化学信息(Baugh 等 ,1998)和分析成岩成矿地质环境。

本文从遥感地质应用的角度分析与总结低、中、高温热液蚀变中岩石矿物主要光谱特征的变异性 ,探讨矿物蚀变光谱的变化应用于遥感地质的可行性 ,展望矿物蚀变光谱特征研究在高光谱矿物填图中重要性和遥感地质深层次信息挖掘的可行性。

本文由国家自然科学基金项目(40201034)、国家 863 项目(2001AA136020-4)和国土资源部“十五”重点科研项目(2002206)共同资助。

第一作者 :甘甫平 男 ,1971 年生 ,博士 ,主要从事遥感方法技术与应用研究 ,E-mail :fpgan@263.net。

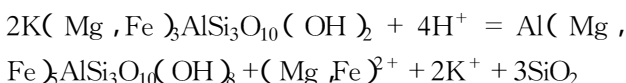
①甘甫平 ,马蔼乃等 ,2002. 基于光谱匹配滤波的蚀变信息提取. 中国图形图像学报(待刊)。

1 矿物蚀变光谱变异分析

矿物吸收特征的差异主要取决于矿物晶体物化属性的不同,即阴阳离子的化合价、阳离子的配位数、主要阳离子的质量、键的共价程度、阴阳离子间的距离、晶体对称的不同(Povarennykh, 1978)。由于热液的侵入,将导致围岩的成分、组成、结构等物化属性的变化,从而使蚀变前后光谱特征发生变异。对这种光谱变异的研究可以直接用于遥感进行蚀变信息的提取。

1.1 中低温围岩蚀变

1.1.1 绿泥石化 绿泥石化为中、低温热液常见且重要的蚀变作用。绿泥石主要是由富含铁、镁硅酸盐矿物(如黑云母、角闪石、辉石等)蚀变而来。如黑云母的绿泥石化可能反应式为:



另外,绿泥石化也可以产生在含铁、镁少的岩石中,由气水热液带来大量的铁、镁使一般的铝硅酸盐形成绿泥石。如钠长石岩的绿泥石化的反应可能为:

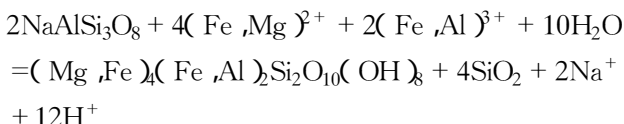


图 1 表示上述两类反应前后矿物的光谱特征,从图中光谱曲线可见,黑云母绿泥石化前后整体谱形大致一致,都产生 2 345 nm 波长的吸收特征。但蚀变后出现了一些新的特征:1 398 nm、1 995 nm 处的水谱带、OH 基团的谱带和 2 255 nm 波长处的吸收特征。绿泥石化钠长石光谱与绿泥石类矿物光谱仅因钠长石轻微水化而共有 1 400 nm 与 1 925 nm 附近的水吸收特征

类绿泥石化矿物的光谱综合特征中,绿泥石类矿物的光谱特征可能因源矿物的不透明或半透明的

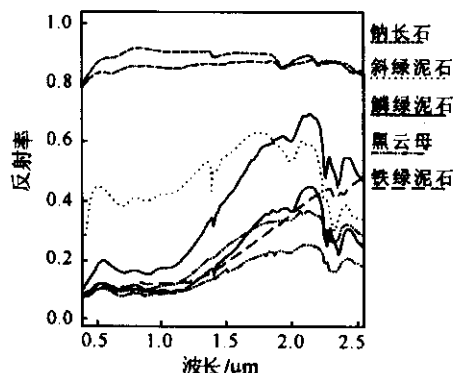


图 1 绿泥石化矿物光谱
Fig. 1 Spectra of chloritization mineral

光谱行为而被掩蔽掉,从而使光谱吸收深度下降、次级吸收峰消失或不明显。

1.1.2 绢云母化 绢云母化也是一种非常广泛和重要的中低温热液蚀变作用。它在中低温条件下比较稳定,并常含钾。一般而言,中、酸性火成岩最易绢云母化,长石类铝硅酸盐类矿物最易为绢云母所交代。正长石中的绢云母化反应式为:



由上式可见,蚀变后矿物中增加了 OH 基团,铝从配位体中析出成为阳离子可能与 OH 基团结合为 Al-O-H 配位键,形成了明显的 OH⁻ 基团的特征谱带。绢云母(白云母的细小鳞片)与正长石的光谱特征差异较大,Al-OH 的光谱特征显著(图 2)。

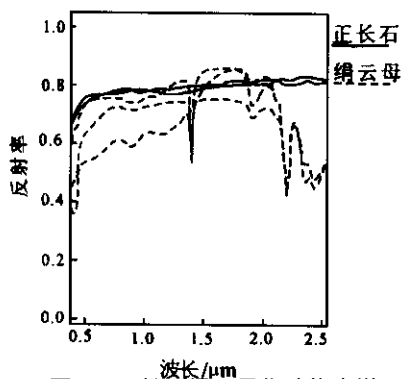
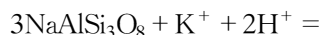


图 2 正长石绢云母化矿物光谱

Fig. 2 Spectra of orthoclase-sericitized mineral

1.2 高温围岩蚀变

云英岩化是一种重要的高温气水热液的蚀变作用,主要产生在花岗岩类中。蚀变后的云英岩呈浅灰、灰、灰绿及灰黄色。云英岩化的交代反应为钠长石或钾长石的白云母化:



从图 3 可见,与绢云母化一样,蚀变后主要是产生了 Al-OH 键的特征谱带。在具体的地质环境中矿物光谱吸收深度具有一定的差异。

2 蚀变信息提取

从上述矿物蚀变光谱效应分析可见,蚀变的最终结果产生了一些诸如 Mg-OH、Al-OH 或 Fe-OH 键等振动的合频或倍频光谱,增强了矿物原有光谱吸收特征,拓展了光谱的可分性。比如,在 400~2 500 nm 光谱区间,没有光谱特征的长石类矿物可能蚀变成具有特征吸收的绢云母(图 2、图 3);具有

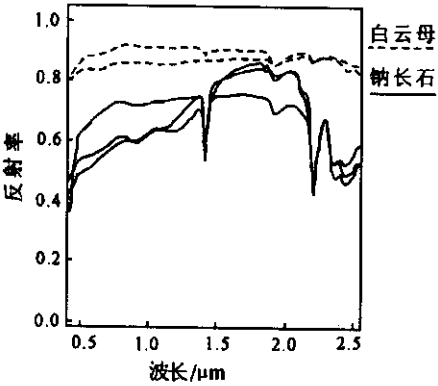


图3 云英岩化矿物光谱
Fig.3 Spectra of greisenization mineral

不透明光谱行为的深色超基性岩类矿物可能蚀变为具有特征光谱的绿帘石或绿泥石等(图1)。这种显著变化在遥感图象中以能量的形式记录,表现为灰度值的差异。这里拟用新疆阿尔金断裂带的若羌县贝克滩作为试验区,采用多光谱数据(ETM+)并结合光谱蚀变效应分析,提取该区可能存在的蚀变。

2.1 试验区地质

试验区选择新疆阿尔金断裂带的贝克滩地区(图4)。该区断裂构造发育,分布着大量的以超基性岩、辉绿岩以及辉石岩或辉长岩等为主的晚元古代第一期次的侵入岩,马特克布拉克组的灰绿色粉砂岩、砂岩、砂砾岩以及紫色砾岩夹灰岩和杏仁状玄武岩,少量斯来尔布拉克组灰绿色变质砂岩、变质砾岩、石英岩、泥质粉砂岩、结晶灰岩、泥灰岩。该区的ETM+彩色合成(741)图像(图5)色彩单调,遥感地质解译和地物识别比较困难。

另外,该区气候干燥,岩石的自然风化以物理风化为主。因此该区岩石矿化蚀变主要是地质形成过程中构造作用改造以及岩体侵位的热液蚀变。已有资料表明(崔军文等,1999),该区的矿产主要产于侵入岩体(这些侵入岩体大多受构造控制)的蚀变带中,对蚀变信息的提取可以圈出一些成矿远景区。

2.2 蚀变信息提取

由图1、图2和图3可知,蚀变后光谱特征发生显著变化,集中表现在1500~2500 nm区域出现蚀变矿物的特征吸收,即相当于在TM/ETM+的第5波段(1550~1750 nm)、7波段(2080 nm或2090~2350 nm)光谱发生显著变化。为此,采用小波包变换技术(郑南宁,1998;伯晓晨等,2000;Kumar等,2000),在不同分辨率下多次对图象进行分解,形成不同方向、不同分辨率的子带图象,实现

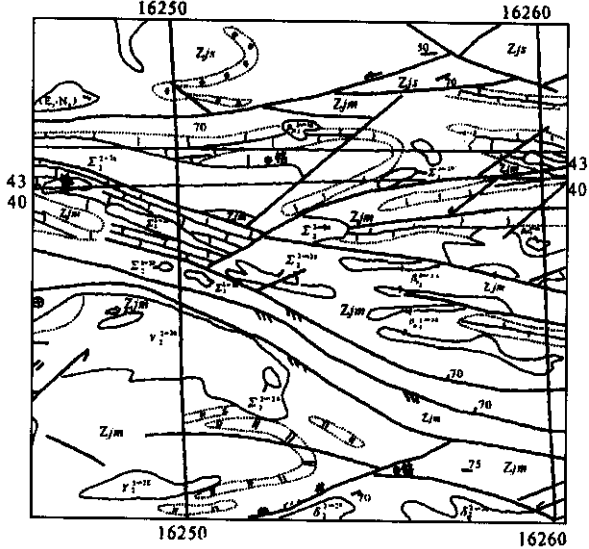


图4 试验区地质图
(据新疆若羌县贝克滩地区地质矿产图改编)

Fig.4 The geological map of the test area
 Σ_2^{2-2a} 、晚元古代中期第一侵入次超基性岩; Σ_2^{2-2a} 、晚元古代中期第一侵入次辉石岩、辉长岩; Σ_2^{2-2d} 、晚元古代中期第一侵入次辉绿岩; Σ_2^{2-2b} 、晚元古代中期第二侵入次闪长岩、角闪岩; Σ_2^{2-2c} 、晚元古代中期第五侵入次红色花岗岩; Z_{jm} 、马特克布拉克组的灰绿色粉砂岩、砂岩、砂砾岩以及紫色砾岩夹灰岩和杏仁状玄武岩; Z_{js} 、斯来尔布拉克组灰绿色变质砂岩、变质砾岩、石英岩、泥质粉砂岩、结晶灰岩、泥灰岩

对图象信息进行不同层次与方位的聚焦,强化不同尺度下信息的相似性与差异,从而实施对细微细节或微弱变化信息进行检测。针对岩矿蚀变分布与围岩分布的光谱差异和可检测性,分别对两幅强关联的遥感图象(主要指ETM+的第5和第7波段)进行多层小波包分解,然后在一定的尺度下对两幅图象的小波包分量(分解系数)进行差分,有目的地消除非蚀变信息的影响,提取岩矿蚀变光谱细微变化信息。图6为基于矿物蚀变光谱变异的小波包分解技术^①对试验区进行蚀变带信息提取的结果。

2.3 结果分析

在晚元古代中期,该区发生5次岩浆侵位。第1次侵入为超基性岩浆或基性岩浆,如辉绿岩、辉长岩与辉石岩等;第2次为偏中酸性的岩浆,如闪长岩、角闪岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等;第3、第4与第5次均为酸性岩浆侵入,如斑状花岗岩、粗粒或中粒黑云母花岗岩以及钾长花岗岩等。在岩浆侵位与构造演化过程中,由于热液作用,前期侵位的岩体被后期侵位作用改造而蚀变,或使侵位所经地层如一些晚元古代早期的灰岩或砂岩发生角岩化等。与已知的地质资料比较可知^②,识别出的蚀变(图6)主

① 甘甫平. 2001. 遥感岩矿识别基础与技术方法研究(中国地质大学,博士学位论文).

② 新疆地质矿产地质队. 1996. 新疆若羌县贝克滩地区地质矿产图.



图 5 试验区 741 彩色合成

Fig.5 RGH(741) composition of test area

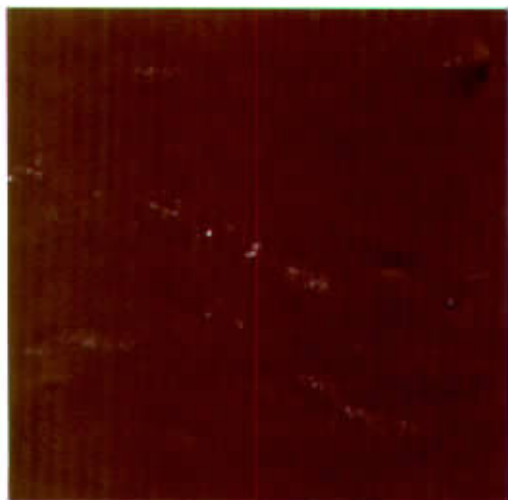


图 6 基于小波包变差的蚀变分布图

Fig.6 Alteration image segment based on wavelet package difference
(白色为蚀变分布)

要位于晚元古代中期第 1 次侵入超基性岩体、断裂旁侧或灰岩角岩化带上,蚀变呈条状分布。不同的蚀变类型将通过野外实地勘查来进一步确定。

3 讨论和结语

上述研究是基于光谱特征与数理方法有机结合并应用于地质遥感的事例。从这个例子可以看出,在仔细研究矿物蚀变光谱变化并熟练理解矿物光谱特征的基础之上,结合数理方法从岩石矿物的物理特性(主要是岩石矿物的光谱特征)出发进行蚀变信息提取比单纯地利用一些数理方法(如比值、主成分万方数据

分析等)更为有效。由于受 ETM⁺ 数据波段和光谱分辨率的限制,难以对蚀变类型、蚀变矿物种类进行细微的识别和更进一步地对蚀变成生环境进行分析。在遥蚀变矿物光谱研究中,尤其是随着高光谱技术的发展与突破,能够从矿物光谱的精细特征出发,加强蚀变矿物种类、蚀变类型比如对同质多像变体以及类质同像置换系列的识别与分析,研究成岩成矿作用和成生的地质环境。

在蚀变矿物光谱效应研究中,没有涉及到对矿物内部微粒变化对光谱特征的影响。相信在不久的将来,随着高光谱技术的进一步发展,人们会更加注重从矿物内部的细微变化并结合高光谱数据,从空中和面上直接获取相关地质成因信息。比如,加强对不同离子置换的研究,可以绘制流体运移图,并结合现代地质理论分析成岩成矿作用,进行基础地质与成矿预测等研究。

参 考 文 献

- 伯晓晨,李涛,刘路等. 2000. Matlab 工具箱应用指南——信息工程篇. 北京:电子工业出版社.
- 崔军文,唐哲民,邓晋福等. 1999. 阿尔金断裂系. 北京:地质出版社.
- 甘甫平,王润生,江思宏等. 2000. 基于完全谱形的成像光谱遥感岩矿识别技术与应用. 地质科学, 35(3):376~384.
- 郑南宁. 1998. 计算机视觉与模式识别. 北京:国防工业出版社.
- Baugh W M, Kruse F A, William W et al. 1998. Quantitative geochemical mapping of ammonium minerals in the Southern Cedar Mountains, Nevada, using the airborne visible/infrared imaging spectrometer(AVIRIS). Remote Sens. Environ. 65:292~308.
- Harris J R, Rencz A Z, Ballantyne B et al. 1998. Mapping altered rocks using Landsat TM and lithogeochemical data: Sulphurets-Brucejack Lake district, British Columbia, Canada. PE & RS, 64(4):309~322.
- Kruse F A, Baugh W M, Atkinson W W. 1994. Mapping alteration minerals in drill core using a field spectrometer and hyperspectral image analysis techniques. Presented at the Tenth thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio, II -37-II -43.
- Kumar A S, Kartikeyan B, Majumdar K L. 2000. Band sharpening of IRS-multispectral imagery by cubic spline wavelets. Int. J. Remote Sensing, 21(3):581~594.
- Loercher G, Endres S, Sommer S. 1994. Mapping hydrothermal alteration in the Landmannalaugar area (Iceland) using Mac-Europe 1991 AVIRIS data. Presented at the Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio, I -333-I -339.
- Resmini R G, Kappus M E, Aldrich W S et al. 1997. Mineral mapping with hyperspectral digital imagery collection experiment(HYDICE) sensor data at Cuprite, Nevada, U. S. A. . Int. J. Remote Sensing, 18(7):1553~1570.
- Sunshine J M, Pieters C M. 1998. Determining the composition of olivine from reflectance spectroscopy. J. Geophysic. Research., 103(E6):13675~13688.
- Var der Meer F, Bakker W. 1997. Cross correlogram spectral matching: Application to surface mineralogical mapping by using AVIRIS data from Cuprite, Nevada. Remote Sens. Environ. 61:371~382.
- Povarennykh A S. 1978. The use of infrared spectra for the determination of minerals, Am. Mineral. 63:956~959.