第27卷 第2期 铀 矿 地 质 Vol. 27 No. 2
2011年 3月 Uranium Geology Mar. 2011

甘肃岌岭地区碱交代蚀变岩高光谱遥感探测

祝民强[1]，何建国[2]，周万蓬[1]，毛玉仙[2]

(1. 东华理工大学江西省数字国土重点实验室、核资源与环境教育部重点实验室，江西 抚州 344000；
2. 核工业北京地质研究院，北京 100029)

[摘要] 应用 Hyperion 高光谱数据，通过比值法和最小噪声去除法（MNF）提取了甘肃岌岭701地区的赤铁矿化碱交代蚀变岩的分布。选择最小噪声去除后的主成分 MNF b8、b3 和 b4 组合可以增强赤铁矿化碱交代蚀变岩的信息，并填绘出该地区赤铁矿化碱交代蚀变岩的分布。

[关键词] 甘肃岌岭；碱交代蚀变岩；高光谱遥感

[文章编号] 1000-0658(2011)02-0123-06 [中图分类号] TP79 [文献标识码] A

1 碱交代蚀变岩特征

甘肃岌岭加里东期岩体沿背斜核部呈北西向展布，长达 54 km，宽数公里至十余公里，出露面积 746.6 km^2。岩体主要为由花岗岩、闪长岩、正长岩及酸性和基性脉岩组成的复式杂岩体。701 铀矿床产于岌岭花岗岩体南缘马路沟断层北侧的碱交代岩中。区内碱交代岩主要分布于岌岭岩体的内外接触带上，常常受断裂带控制，沿断裂带呈带状或面状分布，面状分布的钠交代最有利于富大矿体的产出。碱交代岩在外貌上具有一些显著特点：岩石强烈红化（赤铁矿化），红化程度可指示碱交代作用的强度；原生石英消失，并被钠长石和方解石所交代，在强碱交代岩中，钠长石含量可达 90%以上。碱交代岩的矿物组成简单，原岩中的矿物几乎被蚀变矿物所取代，新生矿物主要为钠长石（65%～80%）、方解石（5%～15%）、绿泥石（3%～10%）、其次为赤铁矿和新生石英等。碱交代过程中铁总量基本保持不变，但价态发生变化，即 Fe_2O_3 增加，FeO 减少。

2 碱交代蚀变岩石野外光谱特征

图 1、2 分别为 701、706 地区各蚀变岩带蚀变的野外反射光谱平均曲线。除 701-Ⅲ号带的钠长石化二长花岗岩和 706-Ⅴ号带的绢云母化二长花岗岩在 2.2 μm 具有明显的吸收特征外，两地区的碱交代岩和二长花岗岩带大致具有相类似的吸收特征，它们的特征吸收波段分别位于 0.51、0.87、1.41、1.91、2.20、2.33、2.47（图 1、2）。其中 0.51、

[基金项目] 核资源与环境教育部重点实验室（东华理工大学）开放基金项目（060611）和江西省数字国土重点实验室开放基金项目（DLLJ2005II）资助。

[收稿日期] 2009-09-14 [改回日期] 2010-05-22

[作者简介] 祝民强（1964-），男，教授，主要从事遥感地质和铀矿地质方面的教学与研究工作。E-mail：zhuminqiang@163.com

万方数据

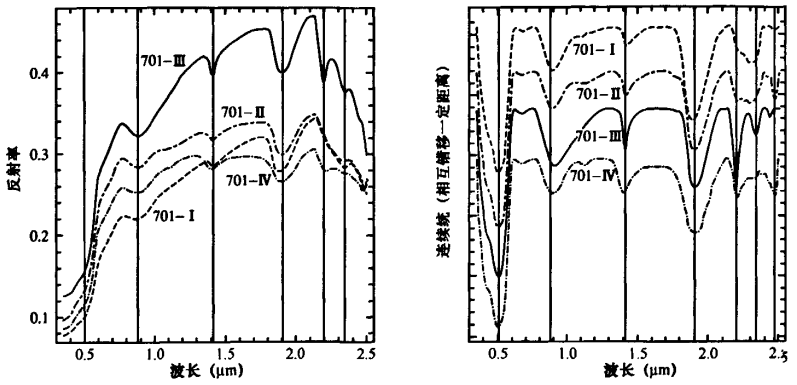

图1　701地区各蚀变带蚀变岩的野外反射率光谱平均曲线（左图）和连续统去除曲线（右图）

Fig. 1　Field (left) and continuum removed (right) spectra of altered rocks from 701 area

701-Ⅰ、701-Ⅳ为赤铁矿绿泥石方解石钠长石化交代岩；701-Ⅱ为赤铁矿方解石绿泥石钠长石化交代岩；701-Ⅲ为赤铁矿绿泥石方解石钠长石化二长花岗岩。

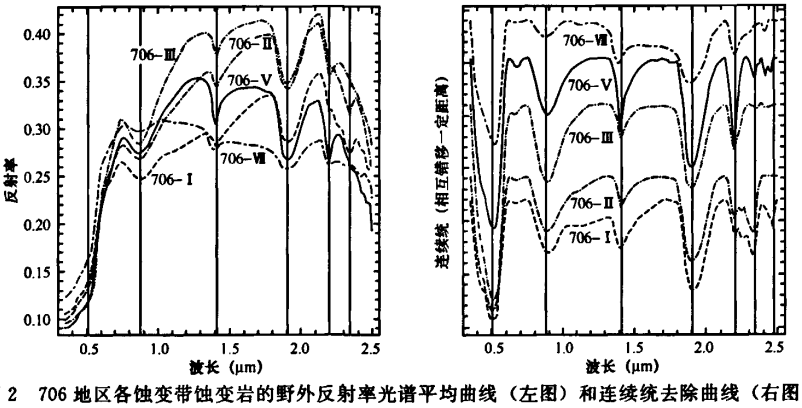

图2　706地区各蚀变带蚀变岩的野外反射率光谱平均曲线（左图）和连续统去除曲线（右图）

Fig. 2　Spectra of field (left) and continuum removed (right) speotran of altered rocks from 706 area

706-Ⅰ、706-Ⅱ为赤铁矿方解石绿泥石钠长石化交代岩；706-Ⅲ为赤铁矿绿泥石钠长石化交代岩；706-Ⅴ为绿泥石赤铁矿绢云母化二长花岗岩；706-Ⅶ为绢云母绿泥石赤铁矿钠长石化交代岩。

0.87 μm为典型的赤铁矿Fe^{3+}的特征吸收波段（图3）；1.41、1.91 μm为含羟基（OH）矿物和黏土矿物（如绢云母、高岭石、伊利石等）的特征吸收波段；2.33和2.47 μm为方解石和绿泥石的特征吸收波段（图3）。反射率总体曲线形态比较结果显示：706地区的706-Ⅴ、Ⅶ带蚀变岩与706-Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ带蚀变岩有较大的区别（图2），可能与前者发育绢云母化、同时不发育碳酸岩化有关。

3　Hyperion高光谱数据转换及大气校正

3.1　Hyperion高光谱数据转换

研究区获取的两景高光谱数据分别为2005年7月16日和5月29日701地区的132-33和706地区的132-33Hyperion Level 1B数据，格式为USGS HDF，242波段，光谱分辨率近10 nm，光谱覆盖范围0.36～2.57 μm。

为了使用ENVI软件对高光谱数据进行处理，首先需将HDF格式数据转换为ENVI软件可读的BIL数据格式。通过数据格式的转换，ENVI软件会自动定义每个波段的波长、FWHM和坏波段列表等元数据，同时通过内插技术修复局部坏数据，并产生一个ASCII文件格式的Hyperion比例因子文件（Hyperion-Scale-Factors.txt），此文件在利用FLAASH进行大气校正时要用到。

万方数据

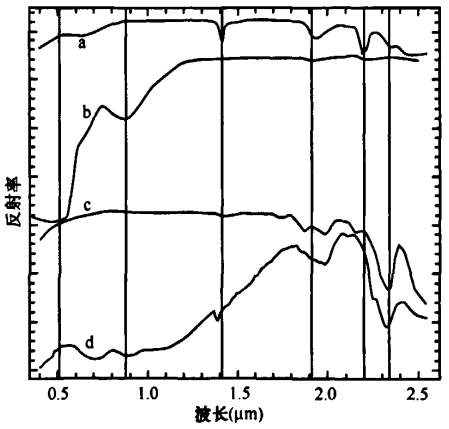

图 3　几种相关蚀变矿物的光谱曲线
（引自 USGS 光谱库，Clark，2003）

Fig. 3　Spectra of related alteration minerals (from USGS spectral database, Clark, 2003)

a——钠长石；b——赤铁矿；c——方解石；d——绿泥石。

3.2　Hyperion 高光谱数据大气校正

Hyperion 传感器接受的能量是太阳辐射通过大气照射到物体表面然后再反射回传感器的辐射能量。由于大气强吸收及传感器定标原因，Bands 1 ～ 7（0.356 ～ 0.417μm）、Bands 120～132（1.346～1.467μm）、Bands 165～187（1.800 ～ 2.022μm）、Bands 221 ～ 242（2.365～2.577μm）获取的辐射数据基本不可用，加上可见光和近红外两个传感器的波长重叠部分 Bands 58～78，Hyperion 高光谱数据总共只有 158 个波段可用。本研究采用 FLAASH 2.0 大气校正软件[1]来实现对 Hyperion 高光谱数据大气影响的去除。具体步骤如下：

（1）Hyperion 原始辐射数据恢复。启动 FLAASH，导入先前保存的 Hyperion 比例因子文件“Hyperion-Scale-Factors. txt”。此步骤实现对 Hyperion 原始辐射数据的比例恢复，即 VNIR 波段除以 400，SWIR 波段除以 800，恢复后的辐射数据单位为 $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$（USGS，2004）。

（2）定义相关校正参数。按软件要求输入相关信息，并作相应波段的选择，最后得到大气校正后的高光谱反射率数据以及大气柱水气含量数据。大气校正后，Bands 54～57、Bands 79～82 噪声仍较大，因此将其归入坏波段（Bad Bands）。最终大气校正后的有用波段为 150 个。最后将校正后反射率值除以 10000，转换为百分比。

3.3　FLAASH 大气校正后的效果评价

图 4 为 701 地区健康植被大气校正前后的光谱曲线。从健康植被大气校正后的曲线看，其总体形态特征基本符合健康植被的特点（图 4）。从 701 矿区野外光谱测量点附近选取一碱交代岩分布区做大气校正后局部光谱平均（Region #1），并与野外光谱测量曲线 701-Ⅱ-3 和 701-Ⅳ-10 比较（图 5），其光谱形态和总体反射率水平两者基本一致，表明大气校正效果良好。0.51 和 0.87μm 的 Fe^{3+} 吸收带有一定的反映。但从曲线形态看，0.427 ～ 0.467μm 波段校正后数据有一定的失真。同时，在短波红外波段（2～2.5μm），因大气强吸收和数据信噪比较低，Hyperion 数据岩矿光谱识别有一定局限性。

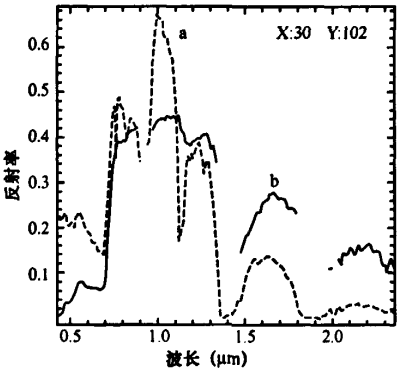

图 4　701 地区健康植被校正前后的光谱曲线

Fig. 4　Vegitation spectral before and after atmospheric correction of a pixel of Hyperion image in 701 area

a——健康植被大气校正前的原始光谱曲线；b——健康植被大气校正后的光谱曲线。

4　赤铁矿化碱交代岩信息提取

4.1　比值法提取赤铁矿化蚀变信息

从图 3 分析可明显看出 0.51 μm 和 0.87 μm是赤铁矿的诊断吸收带，赤铁矿化碱交代岩的野外光谱测量曲线也明显具有此吸

万方数据

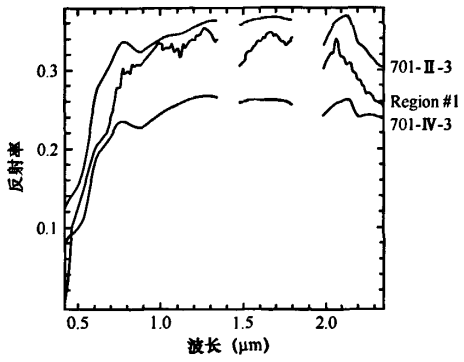

图5　701矿区碱交代岩局部光谱平均与野外测量反射率曲线的比较

Fig. 5　Hyperion spectra of flat field calibrated and field in -situ spectra of alkalic-metasomatic rocks at the same area

收波段，同时0.76和1.26 μm为赤铁矿非吸收的稳定波段，因此可以利用反射率比值“0.76/ 0.51 μm”和“1.26/ 0.87 μm”来提取赤铁矿化蚀变的分布信息[2,3]。其中波段比值“0.76/0.51 μm”在有植被地区明显受到植被近红外高反射的影响，其值主要反映植被的信息，而非赤铁矿化蚀变信息。因此该“0.76/0.51 μm”比值适用无植被发育或植被稀疏地区，而比值“1.26/ 0.87 μm”不受植被影响。

图6为701地区比值法提取赤铁矿化蚀变分布信息。图7－b中红色为“0.76/ 0.51 μm”比值范围等于2.3～2.7的比值分割图像，比值大于2.7的白色部分及中西部地区主要为植被发育区，不具赤铁矿化蚀变信息提取的意义。701矿区附近及其图东部的两片红色地区植被不发育（图6－a），通过图像提取的光谱曲线与野外测量的赤铁矿化碱交代匹配比较，两者较为吻合（图5），推测为赤铁矿化碱交代岩分布区，且轮廓明显。而南部红色分布区只是赤铁矿化高场区，而非碱交代岩分布区。图6－c中红色为“1.26/ 0.87 μm”比值大于1.18的比值分割图像，它与图6－b有一定差异，但赤铁矿化高场区分布基本一致，尤其是中部条带状碱交代岩分布检测效果明显。

4.2　MNF法提取赤铁矿化碱交代蚀变岩信息

最小噪声去除法[1,4,5]，简称MNF法，其原理是对高光谱图像数据进行两次主成分分析（PCA），其结果是产生噪声去除后的主成分，压缩各波段间的冗余信息，集中有用的、差异的信息到少数的主成分中。在最小噪声去除后波段MNF b1～b8的灰度图像中，MNF b1为东西向明暗变化梯度成分不具成分鉴别意义；MNF b2主要显示植被信息（植被越好色调越暗）；MNF b3、b4、b8地质岩石成分信息较为丰富，而MNF b5～b7沿列方向的噪声较大。因此，笔者探索用MNF b834彩色合成来识别岩性单元分布。图7－c即为MNF b8（Red）、b3（Green）、b4（Blue）彩色组合图像。

在图7－c中，赤铁矿化碱交代蚀变岩被赋予红色，其分布与比值法圈定的赤铁矿化碱交代蚀变岩分布基本吻合，且排除了植被等因素的干扰，集合了两种比值法共性结果。701地区赤铁矿化碱交代岩的分布有两种类型。一种呈面状分布，包括701矿区马路沟断层的南北两侧及其东部的一块三角形区域，其边界仍为断层控制。另一种为线状分布，主要位于701矿区的南部及东南部，呈狭长的带状，受断裂及岩体接触边界控制。

5　讨论

在研究区，基于赤铁矿的两个诊断吸收特征波段为0.51和0.87 μm，利用比值法和最小噪声去除法（MNF）成功地提取了甘肃岌岭701地区的赤铁矿化碱交代蚀变岩的分布。其中波段比值0.76/ 0.51 μm、1.26/ 0.87 μm和（0.76＋1.26）/ 0.87μm可以用来提取赤铁矿化蚀变的分布信息，但0.76m / 0.51 μm易受植被的影响，宜在植被不发育地区使用。选择适当最小噪声去除法后的主成分MNF b8-b3-b4组合可以增强赤铁矿化碱交代蚀变岩的信息，并填绘赤铁矿化碱交代蚀变岩的分布（图8）。

万方数据

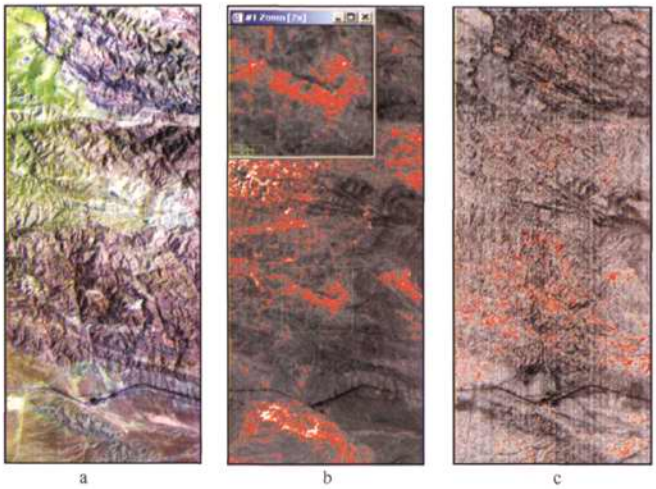

图 6　701 地区比值法提取赤铁矿化蚀变信息

Fig. 6　Substracted hematized altration in 701 area by Band ratio

a——Bands 151-51-31（分别为 1.659、0.864 和 0.661 μm）的 RGB 组合图像；b——0.76/0.51 μm 比值分割图像，红色为比值=2.3～2.7，白色为比值>2.7，左上角窗口为图中绿色框部分（701 矿区）的局部放大；c——1.26/0.87 μm 比值分割图像，红色为比值>1.18。

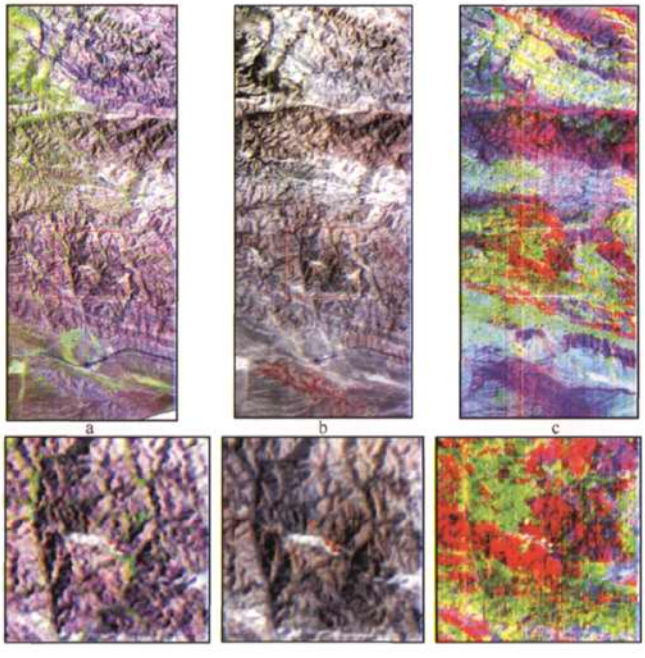

图 7　701 地区假彩色（a）、真彩色（b）、MNF b834（c）合成图像

Fig. 7　Pseudo (a), true (b) colour and MNF b834 (c) composite image of 701 area

a——Bands 151-51-31（1.659、0.864 和 0.661 μm）假彩色合成图像；b——Bands 31-21-11（0.661、0.559 和 0.457 μm）真彩色合成图像；c——MNF b8（R）、b3（G）、b4（B）假彩色组合图像，红色为赤铁矿化碱交代岩的分布区；各图对应的下方为 701 矿区的局部放大，其红十字和白十字均为野外光谱测量位置。

万方数据



图8 701地区赤铁矿化碱交代岩的分布（红色）

Fig. 8 The distribution of hematized alkalic-metasomatic rock (red color) in 701 area

[参考文献]

[1] RSI. FLAASH Module User's Guide [M]. Research Systems Inc. 2005.

[2] Clark, R. N. In A. N. Rencz (Ed.). Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy, 3 ed. Remote sensing for the earth sciences: Manual of remote sensing [M]. 1999. 3. 3～58.

[3] Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Kokaly, R. F., Sutley, S. J., Dalton, J. B., et al. Imaging Spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems [J]. Journal of Geophysical Research, 2003. 108 (E12): 5131.

[4] Green, A. A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M. D., A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1988. 26 (1): 65～74.

[5] Boardman, J. W., Kruse, F. A. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing [C]. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, 1994.

Remote sensing detaction of Alkalic-metasomatic rocks with Hyperion data in Jiling, Gansu, China

ZHU Min-qiang[1], HE Jian-guo[2], ZHOU Wan-peng[1], MAO Yu-xian[2]

(1. *Digital Land Key Lab of Jiangxi Province, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi* 344000, *China*; 2. *Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing* 100029, *China*)

Abstract: The hematization alkalic-metasomatic rocks are detected with Hyperion data by the method of band ratio and minimum noise fraction (MNF) in 701 area of Jiling, Gansu. The band composition of MNF b8、b3 and b4 can highlight the information of the hematization alkalic-metasomatic rock and can be used to map the alteration rocks.

Key words: Jiling; Gansu; alkalic-metasomatic rock; hyperspectral remote sensing

万方数据