

文章编号: 1006-6616 (2012) 03-0319-12

西藏冈底斯成矿带甲马段蚀变遥感 异常信息提取研究

宋晚郊¹, 胡道功², 张绪教¹, 熊攀³, 李波¹, 赵钊¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要: 以西藏冈底斯成矿带甲马铜矿作为研究区, 基于围岩矿化蚀变理论, 利用 ASTER 遥感影像对矿化异常信息进行提取。首先对 ASTER 影像进行预处理, 包括重采样、辐射定标、大气校正和去干扰; 然后对甲马矿床内典型矿物蚀变 (矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化) 信息进行探测, 以 USGS 光谱库内典型蚀变矿物的波谱特征为参照编制矿物特征分析表并进行波谱特征分析, 在对前人已有方法的实验、比较和总结的基础上, 选择研究区内的各蚀变类型特征向量组, 提取对应的 3 类蚀变矿物信息; 最后综合研究区内 3 类异常信息圈定了蚀变异常靶区, 证明了该方法在类似地区提取蚀变工作的指导性。

关键词: 冈底斯成矿带; 甲马铜矿; ASTER; 蚀变信息

中图分类号: P627

文献标识码: A

0 引言

1999 年 12 月发射的 Terra 卫星上携带的 ASTER 传感器专门为地质应用和火山监测而设计, 其光谱分辨率较 TM/ETM+ 有较大提高, 国内外学者应用 ASTER 数据进行蚀变矿物信息提取研究取得了良好效果^[1-6]。此外, 张玉君等^[7-8]和杨建明等^[9]在矿床地质学与蚀变矿物光谱参数特征的基础上, 提出了“去干扰异常主分量门限化技术”及区分 3 种类型矿床的不同提取模式, 利用蚀变类型波谱特征相似性有针对性地提取不同类型矿床的蚀变异常; 吕凤军等^[6]通过 ASTER 遥感数据提取 Mg-OH、Al-OH、CO₃²⁻和 Fe³⁺信息; 余健等^[10]在赞比亚谦比希铜矿带采用 RBD 和波段比值的方法对蚀变信息进行了增强处理。还有很多学者相继在青海东昆仑地区、新疆加甫沙尔苏地区、新疆天湖铁矿、新疆西准噶尔包古图斑岩区、西藏泽当矿田、西藏多龙等地开展 ASTER 示范研究, 都取得了较好的效果^[11-16]。

西藏冈底斯斑岩铜矿带位于印度-亚洲大陆碰撞造山带之拉萨地体南缘、冈底斯火山-岩

收稿日期: 2012-04-06

基金项目: 国家发改委高技术产业化示范工程项目“基于我国卫星的野外地质调查应用高技术产业化示范工程”; 中国地质调查局项目“西藏冈底斯及邻区深部过程与构造岩浆成矿研究”

作者简介: 宋晚郊 (1990-), 女, 中国地质大学 (北京) 硕士研究生, 地质工程专业, 研究方向: 遥感与地理信息系统应用。E-mail: songwj90@163.com

浆弧的中东段, 平行于雅鲁藏布江缝合带展布, 是中国目前最具资源潜力的铜多金属成矿带, 发育了众多斑岩型和矽卡岩型铜矿床, 如驱龙、南木、冲江、厅宫、甲马、拉抗俄等^[17]。其中甲马铜多金属矿床是青藏高原冈底斯构造岩浆带上目前已探明的唯一大型铜多金属矿床, 它是一个以 Cu 为主、共生 Mo 和 Pb、伴生 Zn、Au、Ag 等有用组分的大型多金属矿床。在该矿区近年来已取得一些研究结果, 但由于甲马矽卡岩型铜矿海拔高, 工作条件差, 地表难以采集新鲜岩石, 总体研究程度较低。本文基于光谱信息丰富的 ASTER 数据在甲马地区进行蚀变矿物信息提取分析, 以期在遥感找矿理论及实践方面寻求更大的突破, 并为甲马矽卡岩型铜矿带下一步勘探提供参考。

1 区域地质背景

甲马铜多金属矿床位于西藏墨竹工卡县甲马乡境内, 距离县城约 20 km (见图 1)。构造上处于冈底斯火山-岩浆弧东段, 矿床位于甲马-日多中生代盆地中段中部, 其北侧为旁多-松多中生代隆起岛链带, 南侧为冈底斯南缘侏罗纪-白垩纪岛弧带。矿区及外围出露地层主要为多底沟组、林布宗组、叶巴组、楚木龙组和却桑温泉组, 其中多底沟组和林布宗组为甲马矿床的含矿地层^[18]。

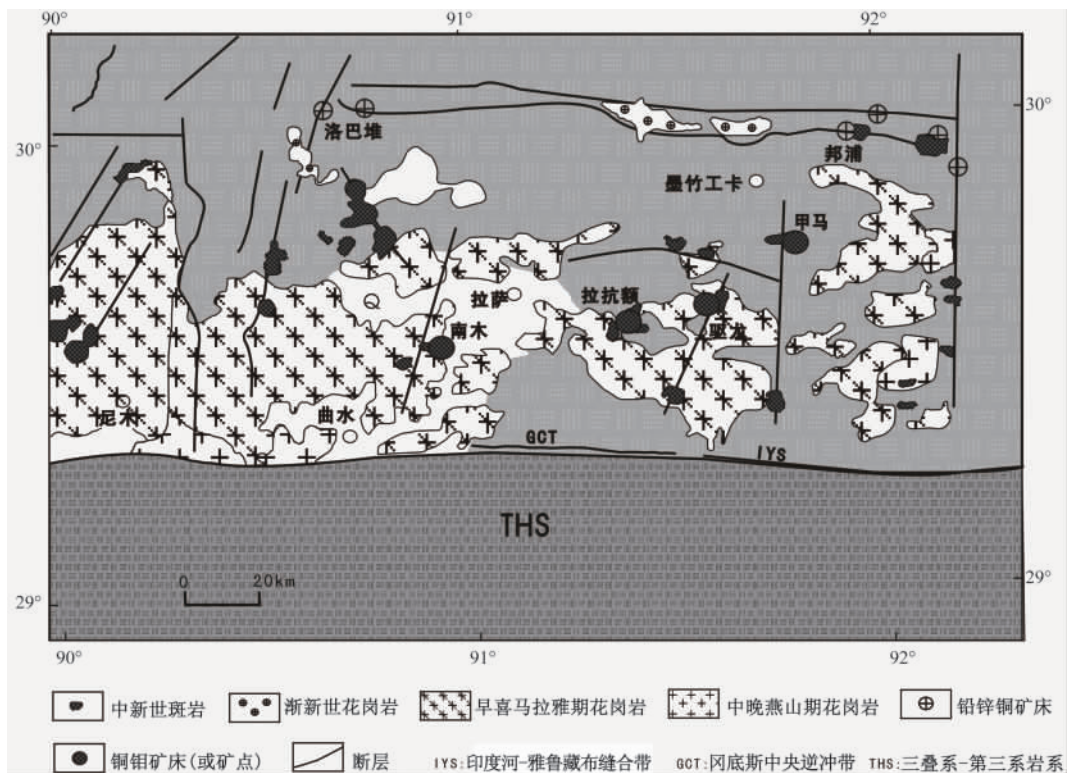


图 1 研究区区域地质图 (据杨志明^[18]修改)

Fig. 1 Regional geological map

矿区内断裂构造以北西西向和北东东向为主, 前者与矿层有较强的空间生成关系, 断裂的规模较大。矿区内褶皱发育, 规模宏大, 褶皱轴面大都为北西西向, 代表南北向的挤压条件, 主要岩石类型有花岗斑岩、花岗闪长斑岩和石英钠长斑岩。

矿区围岩蚀变强烈，最主要的围岩蚀变是矽卡岩化，其次是大理岩化，少量云英岩化、绢云母化、硅化、角岩化和绿帘石化，同时在矽卡岩内可见少量石英脉及方解石脉。围岩蚀变中，以矽卡岩化、大理岩化、硅化、角岩化与成矿关系最为密切，蚀变作用贯穿整个成矿作用始终，蚀变岩石直接作为矿区矿体的赋矿岩石，可作为矿区邻区的直接找矿标志^[19]。

2 ASTER 数据的基本特征及图像预处理

2.1 ASTER 数据的基本特征

ASTER 是一台安装在 Terra 卫星上的先进的多光谱成像仪^[20]，包括了从可见光到热红外共 3 个谱段 14 个光谱通道，几乎覆盖了光学遥感所有大气窗口的谱段，拥有光学传感器各波段较高的几何分辨率和辐射分辨率，其扫描幅宽均为 60 km。这些特征可以满足地球资源和环境问题研究的要求，在遥感地质领域得到较为广泛的应用^[21]。

2.2 图像预处理

2.2.1 重采样与辐射定标

本文选取的数据为 2003 年 12 月 12 日 ASTER 的 L1B 级数据。根据该数据的特点，首先需要短波红外波段数据重采样，使其与可见光、近红外波段影像的像元相同。然后把可见光—近红外和短波红外波段按波段顺序合并成新的文件，与此同时也进行了数据融合，将 ASTER 数据的 15 m 与 30 m 分辨率图像进行了图像融合，从而提高图像的分辨率。高分辨率图像在融合之前采用边缘滤波增强技术，使结构细节更加突出。

使用 ENVI 软件编辑新文件的头文件，将单位换成 nm。ASTER L1B 数据记录的量纲为 $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$ ，而 FLAASH 大气校正模块中要求辐射能量的量纲为 $\mu W/(cm^2 \cdot nm \cdot sr)$ ，在 ENVI 软件中可以通过波段运算实现量纲数量级的转换。此外，由于 ENVI 软件的数据格式一般为波段顺序格式 (BSQ)，而 FLAASH 大气校正模块使用的是波段逐行交叉顺序 (BIL) 或波段逐像元交叉顺序 (BIP) 格式，所以 ASTER 数据预处理还需要把 BSQ 格式的文件转换成 BIL 或 BIP 格式的文件^[22]。

2.2.2 大气校正

大气校正的目的是消除大气和光照等因素对地物反射的影响，获得地表的真实物理模型参数，如地物反射率、辐射率、地表温度等。本次研究根据研究区情况，采用基于光学传输模型的 FLAASH 大气校正方法^[23]，具体参数见表 1。

表 1 大气校正参数 (据文献 [23] 修改)

Table 1 The atmosphere correction parameters

中心经纬度	气溶胶 模型	初始能 见度/m	Scale 高度/km	成像时间	MODTRA 分辨率/ cm^{-1}	大气 模型	输出缩 放因子
91.009166°E, 29.924377°N	Rural	40	2	2002-02-01, 4:42'38"	5	MLW	10000
91.871717°E, 29.392429°N				2002-02-01, 4:42'47"			

2.2.3 干扰去除

影响遥感异常提取的因素很多，如地面辐照度、大气反射和散射、天空中的云雾水汽和尘埃颗粒物、地表地形 (如阴影)、地面上的植被、水体、沼泽及盐碱地等，在实际提取蚀变异常时，这些影响因素常形成干扰异常，雪域周边湿地、河道两侧的湿地以及沼泽等亦多形成干扰异常^[24]。

为了消除以上地物对遥感异常提取结果的影响,可以利用不同地物波谱曲线的特点,通过比值和高低端切割等方法去除干扰(见表2)。

表2 地物干扰消除方法(据杨金中^[24]修改)

Table 2 Methods of removing interferences from surface features

干扰地物	去除方法
阴影	ASTER 9/ASTER 1, ASTER 1 高端切割
植被	ASTER 4/ASTER 3
冰雪	ASTER 9/ASTER 1

3 基于 ASTER 数据的遥感矿化蚀变信息特征

从总体上看,整景 ASTER 蚀变异常信息的提取以主成分分析为主,辅以比值方法。本文根据野外地质调查及收集的地质资料综合分析后得出,研究区典型的矿物蚀变主要是矽卡岩化、绿泥石化和碳酸盐化。它们各自特征谱带的位置与 ASTER 数据通道的对应位置是区分提取这些矿物的最关键因素^[20]。图2显示了这几类矿物在 USGS (美国地质调查局) 波谱库中的波谱及与 ASTER 数据相对应的通道分布情况。

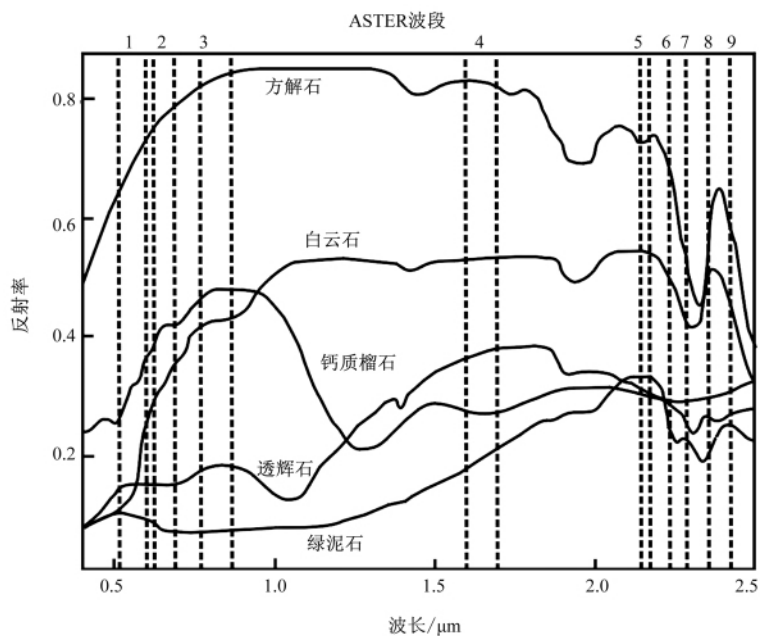


图2 蚀变矿物波谱曲线(来源于 NASA 波谱库)

Fig. 2 Spectral curves of alteration minerals

本文利用 USGS (美国地质调查局) 数字光谱库,在美国地质调查局所做不同矿物反射光谱中增加了对应于 ASTER 波段的竖线(见图2)。通过波谱统计规律分析研究区主要蚀变矿物透辉石、钙质榴石、绿泥石、白云石和方解石的波谱在 ASTER 可见光、近红外及短波红区的形态特征(见图2),并编制了光谱特征分析表(见表3)。将波段4作为其他短波红外波段与之比较的基准,其光谱具有高值和平坦形态,对波段4的高平程度做了3种标记: +++, ++, +; 对短波红外区(ASTER 5—9)不同波段的吸收程度由强至弱用了3种不同的标记: ---, --, -。

表3 研究区 ASTER 数据光谱特征分析 (据张玉君等^[7,25]修改)

Table 3 Analysis of spectral characteristics of ASTER data in the study area

围岩蚀变类型	蚀变矿物	分子式	ASTER SWIR 波段号					
			4	5	6	7	8	9
矽卡岩化	透辉石	Ca,Mg(Si ₂ O ₆)	+++			-	---	--
	石榴石	(Mg, Fe) ₂ [SiO ₄]	++				---	--
绿泥石化	绿泥石	(Mg, Fe) ₅ Al[AlSi ₃ O ₁₀](OH) ₈	+	-	-	--	---	-
碳酸盐化	方解石	CaCO ₃	+++	-		-	---	-
	白云石	CaMg(CO ₃)	+++	-		--	---	

根据表3所给出的不同矿物 ASTER 4—9波段的吸收特征, 可以将蚀变矿物分为3组: ①矽卡岩化矿物透辉石和石榴石, 二者都是矽卡岩型矿床的主要蚀变矿物, 含量较多, 在 ASTER 8 和 ASTER 9 波段有强吸收, 故分为一组; ②层状硅酸盐中单矿物绿泥石化, 为 Mg-OH 矿物, 特征吸收在 2300~2400 nm, 即在 ASTER 7 和 ASTER 8 波段有强吸收, 作为蚀变矿物对矿体有较好的指示作用; ③碳酸盐化矿物方解石和白云石, 与层状硅酸盐不同, 二者在 2320~2340 nm 处有强吸收, 即在 ASTER 8 波段有强吸收, 在 ASTER 5 和 ASTER 7 波段有次强吸收。

4 遥感矿化蚀变信息提取方法与分析

4.1 矽卡岩化蚀变信息提取

针对矽卡岩化的蚀变异常信息提取, 刘婷婷等^[26]提出 PCA (1, 3, 4, (8+9)/2) 和 PCA (1, 3, 4, (7+8)/2) 的主分量波段选择组成方式, 运用到本研究区, 提取出来的异常信息效果较好, 相似度很高, 在矿区内也有一定分布。已知研究区矿床的矽卡岩化矿物主要有钙质榴石、透辉石等, 由图2, 二者曲线的相似性在短波红外区强弱对比不明显, 而在 ASTER 8 和 ASTER 9 波段是吸收谷, 故在甲马地区运用 PCA (1, 3, 4, (8+9)/2) 的组合方式提取矽卡岩化信息。由特征向量表(见表4)可以看出, 特征向量 PC 3 中的 ASTER 4 与 ASTER (8+9)/2 波段具有符号相反的贡献值且高负载荷, 因此, PC 3 能增强矽卡岩类矿物的信息。

表4 主成分 1, 3, 4, (8+9)/2 特征向量表

Table 4 Eigenvectors of PCA 1, 3, 4, (8+9)/2

特征向量	贡献值			
	ASTER 1	ASTER 3	ASTER 4	ASTER (8+9)/2
PC 1	-0.130255	-0.153896	-0.921220	-0.332721
PC 3	0.043854	0.054300	0.325324	-0.943023
PC 4	-0.849205	-0.488303	0.201018	0.001740
PC (8+9)/2	-0.509864	0.857279	-0.071481	0.000993

通过对 PC 3 做二维散点图及密度分割分析, 得到了矽卡岩化的蚀变信息增强图像(见图3), 得到的感兴趣区与 USGS 光谱库的曲线匹配验证了提取的蚀变分别为钙质榴石与透辉石。图3中红色代表钙质榴石信息, 绿色代表透辉石信息, 从图中可见, 蚀变相对聚集, 并出现两种蚀变相互叠加, 对于表征矽卡岩型矿床具有较好的指示作用。

4.2 绿泥石化蚀变信息提取

针对绿泥石化蚀变异常信息提取, Rowan 等^[27]提出利用 ASTER (7+9)/8 波段比值提

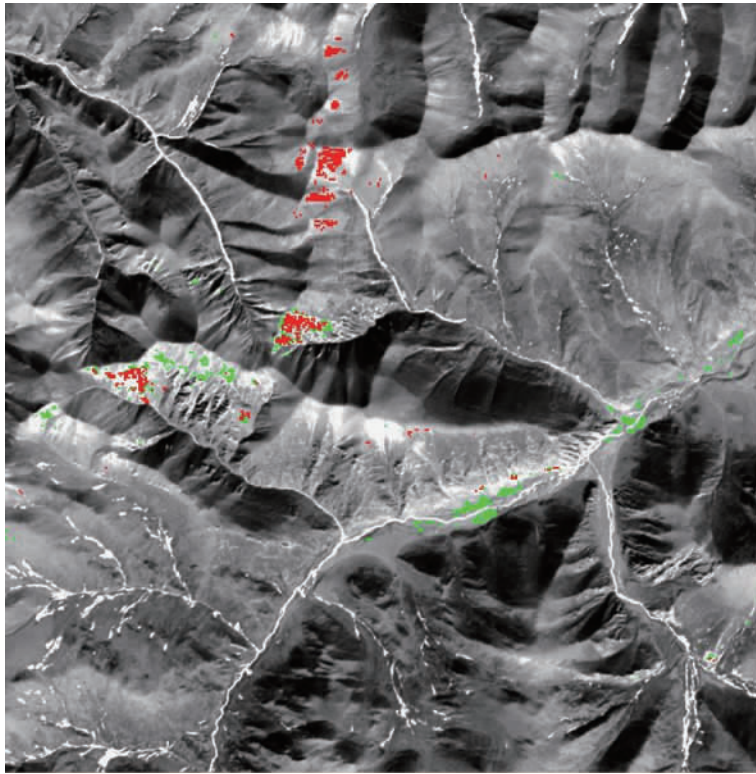


图3 矽卡岩化蚀变提取图 (红色为钙质榴石, 绿色为透辉石)

Fig. 3 Extraction of skarn alteration

取绿泥石和绿帘石。分析本研究区蚀变矿物绿泥石已知波谱曲线特征得知, 在 ASTER 5 和 ASTER 9 波段有明显反射峰, 在 ASTER 7 和 ASTER 8 波段有强吸收谷 (见表 3), 故可以采用 ASTER (5 + 9) / (7 + 8) 波段比值进行绿泥石化蚀变信息的提取; 此外, 绿泥石在 ASTER 1 和 ASTER 3 波段有弱反射峰, 在 ASTER 2 和 ASTER 4 波段有弱吸收, 因此也可采用 PCA (1, 2, 3, 4, 8, 9) 主分量波段组成方式进行提取。

本文通过 ASTER 1, 2, 3, 4, 8, 9 波段 6 个主成分分析相结合提取绿泥石化信息, 由特征向量表 (见表 5) 可以看出, PC 2 中的 ASTER 8 与 ASTER 9 波段具有相反的贡献值且高负载荷, 因此, PC 2 能增强绿泥石化矿物的信息。

表 5 主成分 1, 2, 3, 4, 8, 9 特征向量表

Table 5 Eigenvectors of PCA 1, 2, 3, 4, 8, 9

特征向量	贡献值					
	ASTER 1	ASTER 2	ASTER 3	ASTER 4	ASTER 8	ASTER 9
PC 1	-0.024537	-0.026960	-0.029970	-0.176511	0.972562	0.144012
PC 2	-0.014474	-0.017781	-0.018801	-0.117467	0.123093	-0.984972
PC 3	-0.134948	-0.144303	-0.157937	-0.942320	-0.197408	0.095312
PC 4	-0.666620	-0.593877	-0.375397	0.249000	0.000629	-0.001934
PC 8	0.501741	0.011483	-0.862018	0.071051	-0.000737	0.000308
PC 9	-0.533715	0.790767	-0.299676	0.005352	0.000385	-0.001303

采用 ASTER (5 + 9) / (7 + 8) 波段比值法提取绿泥石化蚀变异常信息, 得出的异常结果在空间分布上基本叠合一致, 但结果较为分散, 故不在此赘述。而主成分分析的结果较为

集中，且具有更强烈的中心浓度，故后续处理工作主要针对主成分图像 PC 2 进行处理。

通过对 PC 2 做二维散点图及密度分割分析，得到了绿泥石化蚀变信息增强图像（见图 4），得到的感兴趣区与 USGS 光谱库的曲线匹配验证了提取的蚀变为绿泥石。从图 4 中可见，绿泥石化蚀变聚集区与上述的矽卡岩类蚀变信息（见图 3）相互叠加，对于指示矿床的存在具有较好的导引作用。

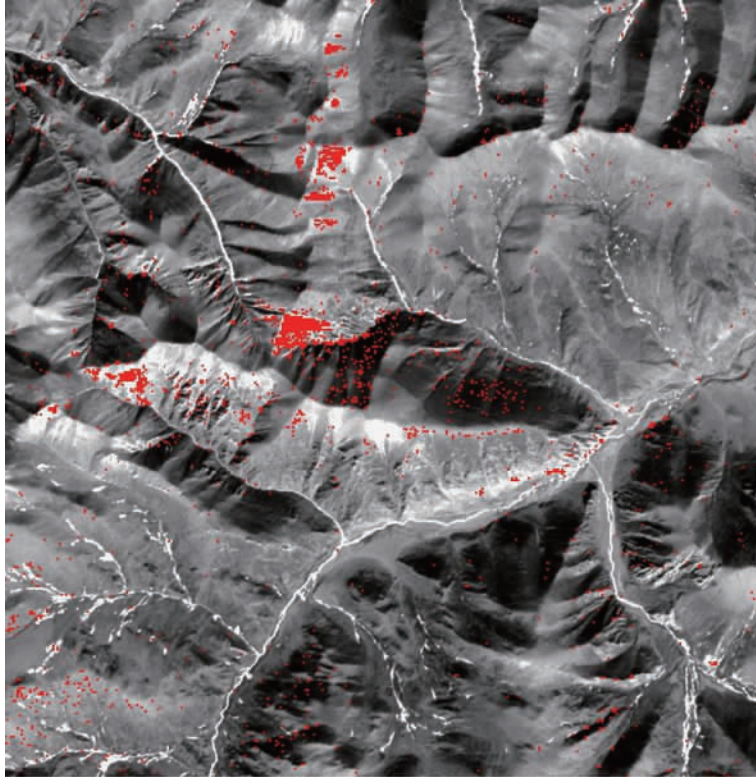


图 4 绿泥石化蚀变提取图

Fig. 4 Extraction of chlorite alteration

4.3 碳酸盐化蚀变信息提取

针对碳酸盐化的蚀变异常信息提取，孙卫东^[28]提出可通过 ASTER (6 + 9) / 2 / 8 波段比值提取碳酸盐。本研究区的碳酸盐化矿物主要有方解石、白云石等，其中方解石是组成灰岩和大理岩的主要矿物，在已知波谱的前 3 个 ASTER 波段反射率呈阶段上升的趋势，是由于方解石等矿物多为浅色，在可见光—近红外波段都具有较高反射率；经过平缓的第 4 波段之后，在 ASTER 6 和 ASTER 9 波段有较强的反射峰，在 ASTER 5 和 ASTER 8 波段有一个次吸收谷和一个强吸收谷。故本文选用 PCA (1, 3, 4, (5 + 8) / 2) 的组合向量提取碳酸盐化异常信息。由特征向量表（见表 6）可以看出，PC 3 中的 ASTER 4 与 ASTER (5 + 8) / 2 波段具有相反的贡献值且高负载荷，因此，PC 3 能增强矽卡岩类矿物的信息。

通过对 PC 3 做二维散点图及密度分割分析，得到了碳酸盐化的蚀变信息增强图像（见图 5），得到的感兴趣区与 USGS 光谱库的曲线匹配验证了提取的蚀变为方解石。从图 5 中可见，碳酸盐化蚀变聚集区与上述的矽卡岩类蚀变信息（见图 3）及绿泥石化蚀变信息（见图 4）相互叠加，得到的效果较好。

表6 主成分1, 3, 4, (5+8)/2 特征向量表
Table 6 Eigenvectors of PCA 1, 3, 4, (5+8)/2

特征向量	贡献值			
	ASTER 1	ASTER 3	ASTER 4	ASTER (5+8)/2
PC 1	0.053272	0.066208	0.394518	0.914950
PC 3	0.127151	0.149099	0.893724	-0.403558
PC 4	0.849004	0.488509	-0.201363	0.002044
PC (5+8)/2	0.510085	-0.857173	0.071172	0.001640

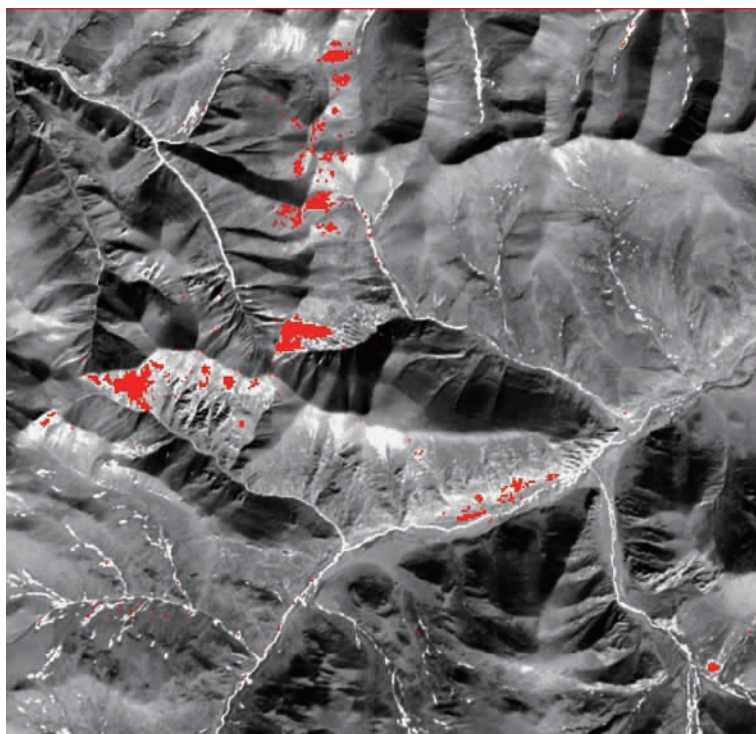


图5 碳酸盐蚀变提取图

Fig 5 Extraction of carbonate alteration

4.4 蚀变信息综合

将上述矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化3类蚀变信息叠加后得到蚀变异常综合图(见图6),从图中可以发现3类蚀变异常范围相互重叠,野外验证表明,异常范围较好地反映了甲马矿的蚀变分带情况。

此外,在研究区的中部,矽卡岩化、绿泥石化与碳酸盐化在空间地理位置上形成了呈环形的特征,而甲马矿床主要位于甲马环形构造的边缘地区,其总体体现了线环交错的特征,这与前人研究的甲马矿床的蚀变特征^[29]吻合。

5 结论

本次研究以西藏冈底斯成矿带甲马矿区为例,提取出矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化共3类蚀变异常,所用的3种主成分分析方法提取矽卡岩类矿床的典型蚀变矿物具有较好的成

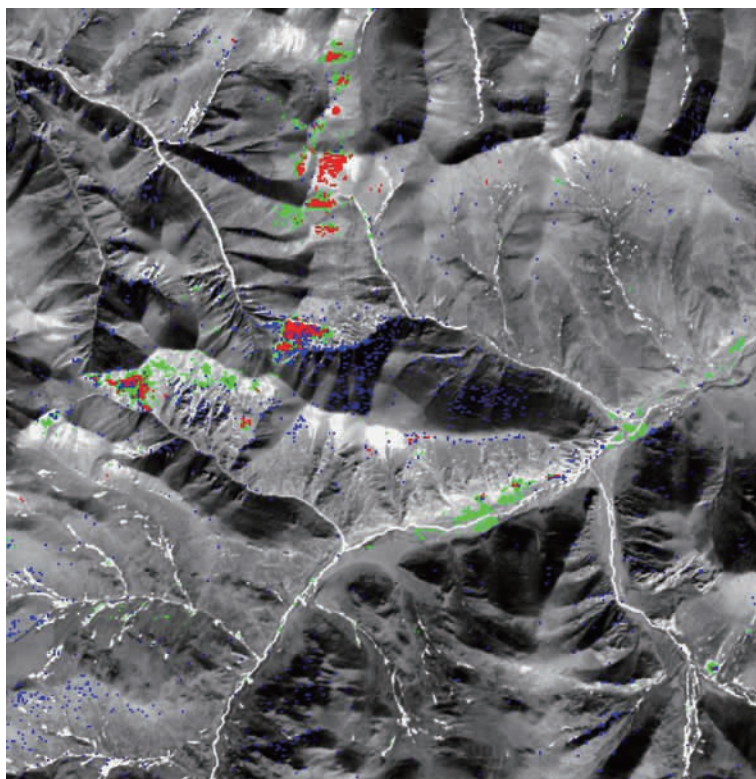


图 6 甲马地区综合异常图

(绿色为矽卡岩化蚀变, 蓝色为绿泥石化蚀变, 红色为碳酸盐化蚀变)

Fig. 6 Composite anomaly map of alteration in Jiama area

效, 得到的蚀变信息综合图与实际矿点吻合较好, 蚀变较强烈的区域正是所提取的各类异常叠加的位置。综合研究区内 3 类异常信息圈定了蚀变异常区, 经野外验证异常范围较好地反映了甲马矿的蚀变分带情况, 证明了该方法在类似地区提取蚀变工作的指导性。

参 考 文 献

- [1] Gomez Cécile, Delacourt C, Allemand Pascal, et al. Using ASTER remote sensing data set for geological mapping in Namibia [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2005, 30 (1-3): 97~108.
- [2] Mars J C, Rowan L C. Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms [J]. *Geosphere*, 2006, 2 (3): 161~186.
- [3] Rowan L C, Hook S J, Abrams M J, et al. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system [J]. *Economic Geology*, 2003, 98 (5): 1019~1027.
- [4] 丛丽娟, 岑况, 朱所, 等. 利用 ASTER 数据提取蚀变异常方法研究: 以内蒙古朱拉扎嘎金矿为例 [J]. *河南理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 26 (6): 652~658.
CONG Li-juan, CEN Kuang, ZHU Suo, et al. Study on the method of alteration information extraction by using ASTER data: Taking Zhulazhaga gold deposit of Inner Mongolia as an example [J]. *Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science*, 2007, 26 (6): 652~658.
- [5] 李建国, 毛德宝. 基于 ETM+ 与 ASTER 数据的矿化蚀变信息提取方法研究: 以满都拉地区为例 [J]. *地质调查与研究*, 2007, 30 (3): 234~240.

- LI Jian-guo, MAO De-bao. The methods for extracting alteration anomalies based on the ETM + and ASTER data: A case study of the Mandula area [J]. Geological Survey and Research, 2007, 30 (3): 234 ~ 240.
- [6] 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.
- LÜ Feng-jun, HAO Yue-sheng, SHI Jing, et al. Alteration remote sensing anomaly extraction based on ASTER remote sensing data [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30 (2): 271 ~ 276.
- [7] 张玉君, 杨建明, 姚佛军. 多光谱遥感技术预测矿产资源的潜能: 以蒙古国欧玉陶勒盖铜金矿床为例 [J]. 地学前缘, 2007, 14 (5): 63 ~ 70.
- ZHANG Yu-jun, YANG Jian-ming, YAO Fo-jun. The potential of multi-spectral remote sensing techniques for mineral exploration: Taking the Mongolian Oyu Tolgoi Cu-Au deposit as an example [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (5): 63 ~ 70.
- [8] 张玉君, 杨建明, 姚佛军. 用 ASTER 数据进行不同类型矿床蚀变异常提取研究 [J]. 矿床地质, 2006, 25 (增刊): 507 ~ 510.
- ZHANG Yu-jun, YANG Jian-ming, YAO Fo-jun. The extraction of OHA from different types of deposits by using ASTER data [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (Supp.): 507 ~ 510.
- [9] 杨建明, 张玉君, 姚佛军, 等. 遥感找矿信息在新疆罗东镍矿发现中的主导作用 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (10): 2647 ~ 2652.
- YANG Jian-ming, ZHANG Yu-jun, YAO Fo-jun, et al. Dominant role of remote sensing mineral exploration information in the discovery of the Luodong Ni deposit, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (10): 2647 ~ 2652.
- [10] 余健, 董玉森, 张志, 等. 基于 ASTER 影像的蚀变异常提取方法研究: 以赞比亚谦比希铜矿床地区为例 [J]. 国土资源遥感, 2011, (3): 54 ~ 60.
- YU Jian, DONG Yu-sen, ZHANG Zhi, et al. Research on the methods for extraction of alteration information by using ASTER data: A case study of the Chambishi copper deposit in Zambia [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2011, (3): 54 ~ 60.
- [11] 高万里, 张绪教, 王志刚, 等. 基于 ASTER 遥感图像的东昆仑造山带岩性信息提取研究 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 59 ~ 69.
- GAO Wan-li, ZHANG Xu-jiao, WANG Zhi-gang, et al. Extraction of lithologic information from the east Kulun orogenic belt using ASTER remote sensing image [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 59 ~ 69.
- [12] 梁伟超, 刘磊, 何晓刚, 等. 新疆加甫沙尔苏地区 ASTER 多光谱数据蚀变矿物填图与找矿研究 [J]. 西部探矿工程, 2011, 23 (6): 118 ~ 121.
- LIANG Wei-chao, LIU Lei, HE Xiao-gang, et al. The mapping of alteration minerals and research of prospecting ore based on ASTER multi-spectral data in Xinjiang shaersu region [J]. West-China Exploration Engineering, 2011, 23 (6): 118 ~ 121.
- [13] 陈建明, 孙卫东, 闫柏琨, 等. ASTER 多光谱遥感异常提取在新疆天湖铁矿中的应用 [J]. 新疆地质, 2009, 27 (4): 368 ~ 372.
- CHEN Jian-ming, SUN Wei-dong, YAN Bai-kun, et al. The application and research of the anomaly extraction process base on the ASTER multi-spectral remote sensing in Tianhu iron ore mine [J]. Xinjiang Geology, 2009, 27 (4): 368 ~ 372.
- [14] 耿新霞, 杨建明, 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]. 地质论评, 2008, 54 (2): 184 ~ 191.
- GENG Xin-xia, YANG Jian-ming, ZHANG Yu-jun, et al. The application of ASTER remote sensing data for extraction of alteration anomalies information in shallow overburden area: A case study of the Baogutu porphyry copper deposit intrusion in western Junggar, Xinjiang [J]. Geological Review, 2008, 54 (2): 184 ~ 191.
- [15] 黄照强, 李祥强. 基于 ASTER 和 ETM + 数据的蚀变信息提取比较研究: 以西藏泽当矿田为例 [J]. 地质与勘探, 2009, 45 (5): 606 ~ 611.
- HUANG Zhao-qiang, LI Xiang-qiang. Extraction of alteration anomalies based on ASTER and ETM + data: A case study of Tsedang orefield, Tibet [J]. Geology and Exploration, 2009, 45 (5): 606 ~ 611.
- [16] 代晶晶, 曲晓明, 辛洪波. 基于 ASTER 遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取 [J]. 地质通报, 2010, 29

- (5): 752 ~ 759.
- DAI Jing-jing, QU Xiao-ming, XIN Hong-bo. Extraction of alteration mineral information using ASTER remote sensing data in Duolong area, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29 (5): 752 ~ 759.
- [17] 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 等. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿 [J]. 矿床地质, 2008, 27 (3): 279 ~ 318.
- YANG Zhi-ming, HOU Zeng-qian, SONG Yu-cai, et al. Qulong superlarge porphyry Cu deposit in Tibet: Geology, alteration and mineralization [J]. Mineral Deposits, 2008, 27 (3): 279 ~ 318.
- [18] 冯孝良, 管仕平, 牟传龙, 等. 西藏甲马铜多金属矿床的岩浆热液交代成因: 地质与地球化学证据 [J]. 地质地球化学, 2001, 29 (4): 40 ~ 48.
- FENG Xiao-liang, GUAN Shi-ping, MU Chuan-long, et al. Geological characteristics and genesis of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. Geology-Geochemistry, 2001, 29 (4): 40 ~ 48.
- [19] 西藏自治区地质矿产勘查开发局. 中国区域地质调查报告 (拉木幅, 巴洛幅, 普隆岗幅, 班禅牧场幅, 比例尺 1: 50000) [R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产勘查开发局, 2000.
- Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of the Tibet Autonomous Region. Report of the regional geological exploration of China [R]. Lhasa: Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of the Tibet, 2000.
- [20] 毛晓长, 刘文灿, 杜建国, 等. ETM+ 和 ASTER 数据在遥感矿化蚀变信息提取应用中的比较: 以安徽铜陵凤凰山矿田为例 [J]. 现代地质, 2005, 19 (2): 309 ~ 314.
- MAO Xiao-chang, LIU Wen-can, DU Jian-guo, et al. Comparison between ETM+ and ASTER data for extraction of alteration information: A case study of Fenghuangshan orefield, Tongling, Anhui Province [J]. Geoscience, 2005, 19 (2): 309 ~ 314.
- [21] 程博, 刘少锋, 杨巍然. Terra 卫星 ASTER 数据的特点与应用 [J]. 华东地质学院学报, 2003, 26 (1): 15 ~ 17.
- CHENG Bo, LIU Shao-feng, YANG Wei-ran. Application and characteristics of ASTER data on Terra Satellite [J]. Journal of East China Geological Institute, 2003, 26 (1): 15 ~ 17.
- [22] 罗慧芬, 苗放, 叶成名, 等. 基于 FLAASH 模型的 ASTER 卫星影像大气校正 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (17): 8101 ~ 8102, 8133.
- LUO Hui-fen, MIAO Fang, YE Cheng-ming, et al. Atmospheric correction on ASTER satellite image based on FLAASH model [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2009, 37 (17): 8101 ~ 8102, 8133.
- [23] ENVI Tutorial: Using ASTER Data with the FLAASH Module [EB/OL]. <http://database5.com/e/envi-tutorial-using-aster-data-with-the-flaash-module-w3474.html>
- [24] 杨金中. 多光谱遥感异常提取技术方法体系研究 [J]. 国土资源遥感, 2007, (4): 43 ~ 46.
- YANG Jin-zhong. The technical system of multispectral remote sensing anomaly extraction [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, (4): 43 ~ 46.
- [25] 张玉君, 姚佛军. 应用多光谱 ASTER 数据对 ETM 遥感异常的定性判别研究: 以东昆仑五龙沟为例 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (4): 963 ~ 970.
- ZHANG Yu-jun, YAO Fo-jun. Application study of multi-spectral ASTER data for determination of ETM remote sensing anomaly property: Taking Wulonggou region of eastern KunLun mountain range as example [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (4): 963 ~ 970.
- [26] 刘婷婷, 和政委, 崔晓亮, 等. 基于 ASTER 的砂卡岩型铅锌矿异常提取模型构建 [J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2012, 48 (1): 100 ~ 105.
- LIU Ting-ting, HE Zheng-wei, CUI Xiao-liang, et al. The structure of the model for skarn-type lead-zinc deposit based on ASTER data [J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2012, 48 (1): 100 ~ 105.
- [27] Rowan L C, Mars J C. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84 (3): 350 ~ 366.
- [28] 孙卫东. 新疆土屋—黄山一带遥感异常提取及铜多金属找矿预测研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2010: 63 ~ 73.

- SUN Wei-dong. Researches on remote sensing anomaly extraction and copper multi-metal deposit prediction in Tuwu and Huangshan region of Xinjiang [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010: 63 ~ 73.
- [29] 郭娜, 陈建平, 唐菊兴, 等. 基于 RS 技术的西藏甲玛铜多金属矿外围成矿预测研究 [J]. 地学前缘, 2010, 17 (4): 280 ~ 289.
- GUO Na, CHEN Jian-ping, TANG Ju-xing, et al. A study of the metallogenic prognosis for the periphery of Jiama copper polymetallic ore, Tibet based on the RS method [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17 (4): 280 ~ 289.

RESEARCH ON EXTRACTION OF REMOTE SENSING ALTERATION ANOMALIES IN JIAMA COPPER DEPOSIT IN GANGDISE METALLOGENIC BELT, TIBET

SONG Wan-jiao¹, HU Dao-gong², ZHANG Xu-jiao¹, XIONG Pan³, LI Bo¹, Zhao Zhao¹

(1. College of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China)

Abstract: Taking Jiama Copper of Gangdise area in Tibet Province as research area, based on the theory of surrounding rock mineralized alteration, the alterative information was extracted by ASTER data. First, ASTER data was preprocessed which included resampling, radiometric calibration, atmospheric correction and filtering interference. Then the typical mineral alteration (skarnization, chloritization, carbonatization) in Jiama copper was detected. Taking the spectral characteristics of typical altered minerals in USGS spectral library as reference, the analysis table of mineral characteristics, and analysis the spectral character were carried. Based on the previous experiment, we contrasted and summarized the methods, and then chosen eigenvector groups of each alterative type, with extracting three corresponding kinds of alterative mineralize information. Finally, compositing three kinds of alteration overlap regions; it coincided with the former research results, which indicated that this method had guidance in similar area for extracting alterative information.

Key words: metallogenic belt of Gangdise; Jiama copper deposits; ASTER; alterative information