

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2016.04.012

基于 ASTER 的康古尔塔格金矿带 热液矿化蚀变信息提取

吴梦娟^{1,2,3}, 周可法^{1,2}, 王金林^{1,2}, 王珊珊^{1,2}, 张楠楠^{1,2}, 周曙光^{1,2,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆矿产资源与数字地质重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

3. 中国科学院大学, 北京 100080)

摘要: 新疆东天山的康古尔塔格金矿带矿产资源丰富, 其重要控矿要素之一是韧性剪切带。文章使用 ASTER 数据提取该地区遥感矿化蚀变信息, 并选择康古尔塔格金矿带的部分区域(因受数据获取限制, 选择 $N41^{\circ}38'$ — $N42^{\circ}20'$ 、 $E91^{\circ}20'$ — $E92^{\circ}20'$ 范围)作为研究区。研究表明, 区内矿化围岩蚀变特征明显, 可通过分析研究区岩矿光谱特征以及 ASTER 数据光谱特征, 分别选择假彩色合成、波段比值、特征向量主成分分析法(Crosta Technique)等图像处理技术来识别并提取研究区的矿化与蚀变矿物信息。结合 ArcGIS 将提取的矿化和蚀变信息与该地区的矿点与构造图层叠加, 并对叠加成果图进行分析与对比, 从叠加图中发现研究区中的金矿床沿韧性剪切带南侧的韧性剪切过渡带分布。通过阅读该地区的相关地质资料、成果文献等, 对提取的矿化和蚀变信息进行验证; 结果证明 ASTER 数据在相似干旱地区进行遥感蚀变信息提取具有可行性, 此法用于相似地域找矿具有很好的应用前景。

关键词: 康古尔塔格金矿带; ASTER; 遥感图像处理技术; 蚀变信息提取; 东天山; 新疆

中图分类号: P627, P618.51 **文献标识码:** A

0 引言

新疆东天山的康古尔塔格金矿带展布与韧性剪切带的分布相一致, 矿产以金矿为主, 目前发现的主要有石英滩金矿、康古尔金矿、西凤山金矿等。矿床种类主要为浅成低温热液型、剪切带交代蚀变岩型、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型^[1]。区内发育有较多物化探异常, 是重要的成矿和找矿远景地段^[2]。研究围岩蚀变不仅有助于阐明热液矿床形成过程的物理化学条件和矿床成因, 而且是重要的找矿标志

之一, 为找矿靶区圈定和地质成矿预测提供直接有力的根据^[3]。

遥感蚀变信息指在有利于成矿作用发生的空间实体中, 蚀变围岩(带)在遥感影像上反应出来的包括各类背景光谱(土壤、植被等)信息在内的综合光谱信息^[4]。遥感蚀变信息提取能为地区找矿提供直接的技术参数, 有利于在通行困难的区域进行大范围地质找矿而受到了国内外学者的普遍关注, 并且取得了一系列的研究成果^[5-12]。尤其是在戈壁荒漠区发现了许多矿(化)点和矿床及大量蚀变异常^[13]。

多光谱遥感数据 ASTER(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer)以其较

收稿日期: 2015-10-08; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:U1129302)、国家 973 计划(编号:2014CB440803)、新疆自治区重大专项(编号:2013301212、201330121-3)、西部博士基金项目(编号:XBBS201107、XBBS201203)联合资助。

作者简介: 吴梦娟(1990—), 女, 在读硕士研究生, 地球探测信息技术专业。通信地址:新疆乌鲁木齐市北京南路 818 号, 中国科学院新疆生态与地理研究所; 邮政编码:830011; E-mail:1429102678@qq.com

通信作者: 周可法(1972—), 男, 博士, 研究员, 从事资源环境数据库建设、地质资源遥感、地理信息系统和生态过程与演化模拟、中亚地球科学研究工作。通信地址:新疆乌鲁木齐市北京南路 818 号, 中国科学院新疆生态与地理研究所; 邮政编码:830011; E-mail:zhoukf@ms.xjb.ac.cn

低的价格和丰富的岩矿光谱信息在遥感地质领域取得较好的应用效果,在国内外已经得到广泛应用。其中,Crosta 等基于 ASTER 使用主分量分析对阿根廷地区的浅成热液矿床进行遥感蚀变矿物填图^[14];Mars 利用 ASTER 可见光-短波红外数据,探索斑岩铜矿的羟基蚀变矿物分带^[15];杨日红等使用 ASTER 数据建立了 B1、B3、B4、B8 和 B1、B4、B6、B7 主成分分析模型,分别提取秘鲁南部阿雷基帕省斑岩铜矿区典型蚀变带中青磐岩化和泥化-绢英岩化类蚀变矿物组合信息^[16]。本文将使用 ASTER 数据识别、提取康古尔塔格金矿带的矿化蚀变信息,并对信息提取结果进行对比分析和验证,以期对区内的金矿找矿工作有所帮助。

1 地质概况

康古尔塔格金矿带地处东天山地区,严格受控于阿奇山-雅满苏弧后盆地与大南湖-头苏泉岛弧带交接部位,与碰撞期后韧性剪切带的分布相一致^[17]。该金矿带呈 EW 向带状分布,延伸达 200 km,已发现金矿床(点)20 余处(图 1)。

区内主要出露地层为石炭系、二叠系海相火山

碎屑岩与正常沉积岩系;侵入岩为石炭纪-二叠纪中基性-酸性侵入岩^[18]。王义天等人^[1]依据矿床的产出和矿化特征、成矿物质的组成特征等,将康古尔塔格金矿带中的金矿床分为三种主要类型:浅成低温热液型(热泉型)、剪切带交代蚀变岩型、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型。其中,浅成低温热液型金矿床赋矿岩性主要为安山岩、英安岩、火山角砾岩、凝灰岩等,未遭受韧性剪切变形,围岩蚀变有青磐岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、硅化、泥化和碳酸盐化等,呈带状分布;剪切带交代蚀变岩型金矿床主要岩性有安山岩、英安岩和安山质凝灰岩、砂砾岩等,围岩蚀变强烈,从矿体中心向外侧依次出现硅化、绿泥石化-黄铁矿化、磁铁矿化-黄铁绢英岩化、绢云母化-青磐岩化的明显分带;与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床出露岩性主要为安山岩与安山质晶屑凝灰岩,矿体即产于花岗斑岩体边部、顶部及其附近的围岩之中,围岩蚀变较弱,主要发育绿泥石化、绢云母化和黄铁矿化等。不同类型的金矿床其主要岩性不同,且具有较为强烈的蚀变作用为该地区进行遥感蚀变信息提取提供了基本条件。

因受数据获取限制,本次研究选择康古尔塔格金矿带的部分区域($N41^{\circ}38'—N42^{\circ}20'$ 、 $E91^{\circ}20'—$

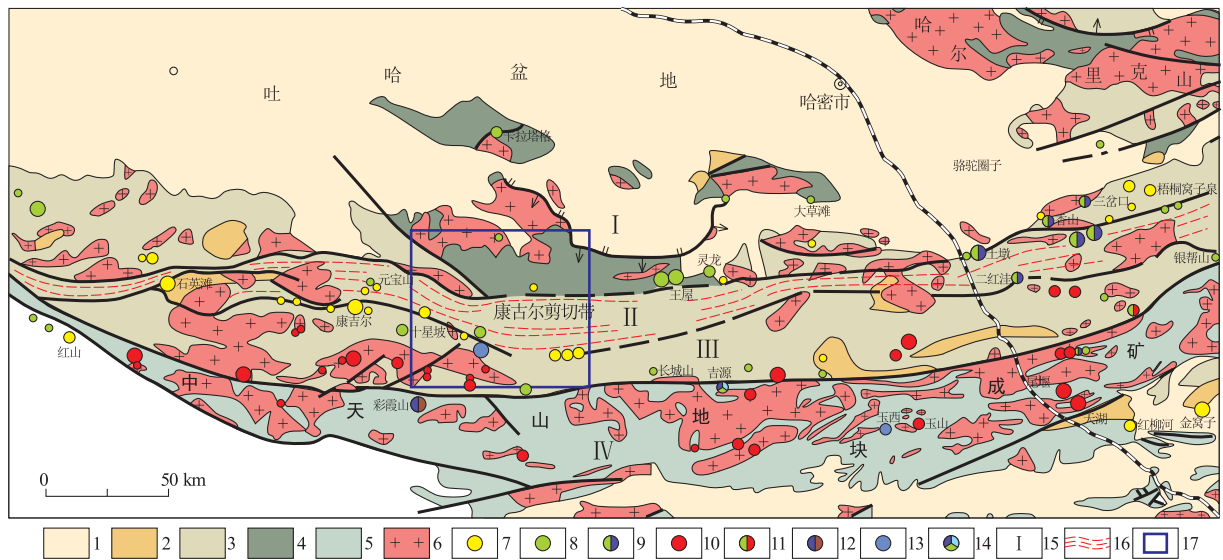


图 1 东天山构造格局及成矿带分布图

(据:王京彬等, 2006, 修编)

Fig. 1 Map showing tectonic frame and distribution of metallogenic belts in the Eastern Tianshan area

1. 中新生代沉积盖层; 2. 二叠纪陆相火山-沉积岩系; 3. 石炭纪火山-沉积岩系;
4. 奥陶-泥盆纪火山-沉积岩系; 5. 前寒武纪变质岩; 6. 花岗岩类;
7. 金矿床; 8. 铜矿床; 9. 铜镍硫化物矿床; 10. 铁矿床; 11. 铁铜矿床;
12. 铅锌矿床; 13. 银多金属矿床; 14. 多金属矿床;
15. 成矿带符号; 16. 剪切带; 17. 研究区位置

E92°20′)作为研究区(见图 1 图说 17)。

2 数据及其预处理

ASTER 传感器于 1999 年 12 月发射,其光谱分辨率、空间分辨率和辐射分辨率都有所提高。其中, VNIR 波段(0.52~0.86 μm)的空间分辨率是 15 m, SWIR 波段(1.6~2.43 μm)的空间分辨率是 30 m, TIR 波段的空间分辨率是 90 m。ASTER 数据每景的覆盖面积为 60 km×60 km。由于 ASTER 数据在短波红外区域拥有连续的 6 个波段(表 1),可以提升其区分地表矿物和岩石的能力,使得 ASTER 数据在岩性填图方面比其他遥感数据更具优越性^[19-22]。

本次研究将使用 ASTER 数据作为数据源来进行康古尔塔格金矿带矿化蚀变信息提取。所使用的 ASTER 数据获取时间为 2001 年 10 月 2 日,数据等级为 L1B,数据已经过几何纠正、辐射校正。利用 ENVI5.1 中的 FLAASH 模块对 ASTER 数据进行大气校正,消除光照和大气等因素对地物反射的影响,得到地物的真实反射率。由于 ASTER 的可见光-近红外波段为 15 m 分辨率,为了保证蚀变信息提取能够在相同空间分辨率基础下进行,ASTER 数据使用 Layer Stacking 将短波红外波段重采样为 15 m。然后通过裁剪获得研究区域的数据文件。干扰地物(如植被、河流、云等)会对提取蚀变信息造成影响,需根据干扰地物的特征光谱制成一幅掩膜图像,在蚀变信息提取前将干扰信息去除。常用的方法有比值法、高端或低端切割法、光谱角法等^[23]。

表 1 ASTER 波段设置
Table 1 ASTER band set

波长区域	ASTER	
	波段	波长/nm
可见光-近红外 (VNIR)	1	520~600
	2	630~690
	3N	780~860
	3B	780~860
短波红外 (SWIR)	4	1600~1700
	5	2145~2185
	6	2185~2225
	7	2235~2285
	8	2295~2362
	9	2360~2430
热红外 (TIR)	10	8125~8475
	11	8475~8825
	12	8925~9275
	13	10250~10950
	14	10950~11650

3 矿化蚀变信息提取与分析

3.1 研究区矿物的光谱特征

康古尔塔格金矿带主要容矿岩性为安山岩、英安岩和凝灰岩,矿体主要有含金石英绿泥石英蚀变岩,叠加有少量的含金黄铁石英细脉以及多金属硫化物石英脉^[24]。矿石中的金属矿物有黄铁矿、磁铁矿、孔雀石及少量黄铜矿等;脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石和碳酸盐类等^[25]。在此矿带中与矿化有关的蚀变作用为绢英岩化、绿泥石化、硅化、绢云母化等,特别的不同围岩蚀变组合的叠加是重要的找矿标志。

康古尔塔格金矿带中的主要矿物的波谱特征(利用 ENVI5.1 自带的 USGS 波谱库将多种矿物波谱进行显示)如图 2 所述。图 2 中显示的碳酸盐矿物方解石、白云石等,由于 CO₃²⁻ 的存在其重要的波谱吸收范围在 2.35 μm 附近,与 ASTER 数据的波段 8 相对应^[26-28]。含铁矿物有磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿(铁的氧化物)和黄铁矿、黄铜矿(铁的硫化物),其中含有 Fe³⁺ 的矿物在 0.5~0.9 μm 处具有光谱吸收特征,对应 ASTER 数据的波段 1^[26,29];含 Fe²⁺ 矿物在 0.65 μm 和 0.9~1.0 μm 附近其吸收特征减弱,对应于 ASTER 数据的波段 3。石英在 0.6~2.1 μm 附近有强烈的吸收特征。结合相关地质资料,将研究区的蚀变矿物分为:①与铁离子有关的蚀变矿物,主要在 ASTER 的第 1、3 波段有吸收特征;②与铝羟基有关的蚀变矿物,主要在 ASTER 的第 6 波段有深度吸收特征,如钾长石化、绢云母化;③与镁羟基、碳酸根有关的蚀变矿物,主要在 ASTER 的第 8 波段有深度吸收特征,如绿帘石化、方解石化。

3.2 热液矿化蚀变信息提取方法

根据研究区典型矿物波谱的分析,以及其在 ASTER 波段范围内的特征,通过借鉴前人使用多光谱遥感数据对矿物蚀变信息提取所提出的方法,本文将通过假彩色合成、波段比值和主成分分析等方法来对研究区进行矿物蚀变信息提取。

3.2.1 假彩色合成

根据研究区典型岩石及蚀变矿物光谱特征,选取 ASTER 数据的波段 8(2.295~2.365)、波段 3(0.78~0.86)、波段 1(0.52~0.60)进行假彩色合成。将得到的假彩色合成图像与研究区地质图进行

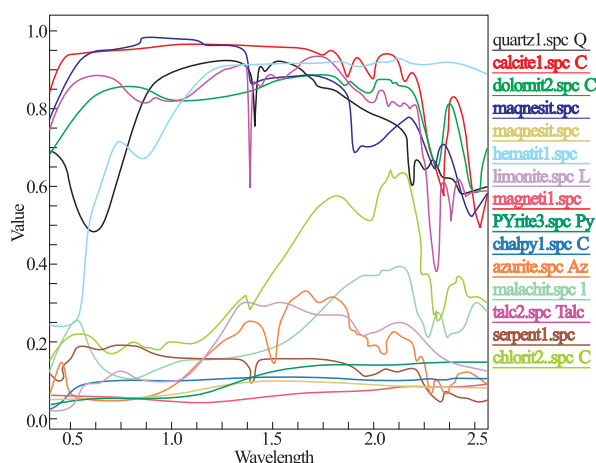


图2 USGS 波谱库中研究区典型矿物
和蚀变矿物波谱曲线

Fig. 2 The spectral curve of typical curves of the typical minerals and alteration minerals in the study area from the USGS Spectral Library

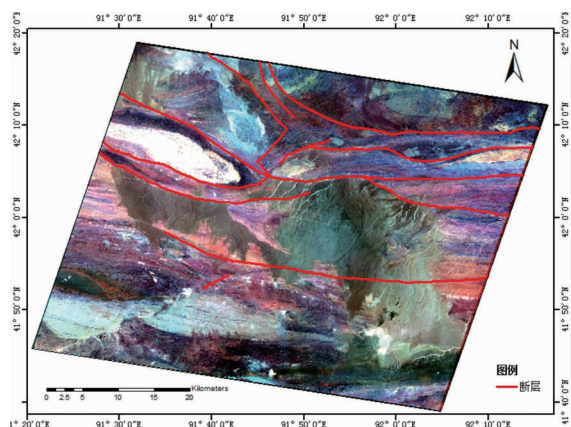


图3 康古尔塔格金矿带 ASTER8,3,1 波段假彩色合成
Fig. 3 False color composite image of ASTER band
8, 3, 1 of Kangguertag gold ore belt

对比,可以发现不同岩性信息在图中被充分的呈现出来(图3),并且遥感图像中的岩性边界与其在地质图中的岩性边界大致吻合,不同岩性的空间分布受断层影响。在图3中,亮白色是该地区典型地物舌状岩体斜长花岗岩,灰褐色是桃树园组,靛蓝是沙泉子组下亚组。

由于假彩色合成方法仅能将该地区不同地层、不同岩性组合区分,并划分它们的空间位置,而不能较好的展示不同矿物类型,因此需要使用波段比值法和主成分分析法来根据矿物在 ASTER 数据不同波段的吸收特征来识别典型矿物和蚀变带。

3.2.2 波段比值

对于不同岩性信息和蚀变矿物的识别,波段比值是一种最为常用的方法。并且在识别干旱区岩石类型中已经形成了许多较为成熟的波段比值方法。根据研究区碳酸盐和含镁铁硅酸盐矿物在 ASTER 数据 VNIR 和 SWIR 波段的波谱吸收特征,分别选择波段 9/8、4/3、2/1 比值进行彩色合成(图4)。

与地质图进行对比,图4中显示波段 9/8 比值将碳酸盐矿物很好的区分出来,波段 4/3 比值将风化岩石从所有的矿化和未蚀变的岩石中区别出来,波段 2/1 比值与波段 4/3 比值恰好形成互补能将矿化未经过蚀变的岩石区别。从上述 3 种波段比值的假彩色合成图像能够得到比波段 831 假彩色合成,更加清晰的反映出研究区不同岩性信息,与地质图吻合度更高。并且,图中呈现了随着岩石中碳酸盐和硅酸盐含量比例的变化,图像颜色从紫色变为深蓝;强烈风化的斜辉橄榄岩表现为深红色;而风化岩石和蚀变岩石组合由于铁含量的变化,图像色彩表现为从淡红色到粉红色的一系列变化;没有矿化和蚀变的辉长岩和橄榄岩根据硅酸盐含量的分布呈现黄色到黄绿色;纯净度高的辉长岩呈现为绿色,而掺杂有风化橄榄岩时表现为绿色混合有红色。

3.2.3 主成分分析法

主成分分析法是利用降维的思想,把多个波段的信息集中到少数几个波段中。主成分分析的输出结果能够有助于从背景信息中增强和提取某一特定类型地物的波谱信号。从而,可以有效从研究区中提取矿物蚀变信息。

本次研究中使用的主成分分析法将参照 Crosta 方法^[14]来对研究区的矿化蚀变信息进行提取。Crosta 法是一种经典的遥感蚀变信息提取方法,最初该方法是通过 TM1、TM4、TM5、TM7 主成分分析提取羟基蚀变信息。本次将在其基础上进行创新和改进,运用于康古尔塔格金矿带 ASTER 数据提取矿物蚀变信息。

使用 ASTER 数据提取铁染蚀变矿物,主要利用 ASTER1, ASTER2, ASTER3, ASTER4 进行主成分分析,因为黄铁矿、褐铁矿等含铁矿物的波谱在 ASTER1, ASTER3 波段都有强吸收特征,而在 ASTER2, ASTER4 波段都有强反射特征,总体波谱特征明显。含 Al 羟基类蚀变矿物的光谱特征是在短波红外区域 ASTER6 有吸收峰,而含 Mg 羟基或含碳酸根类蚀变矿物的光谱特征是在 ASTER8 有吸收峰。所以利用 ASTER1、ASTER3、ASTER4、ASTER6 进行 Crosta 主成分分析提取含 Al 羟基蚀

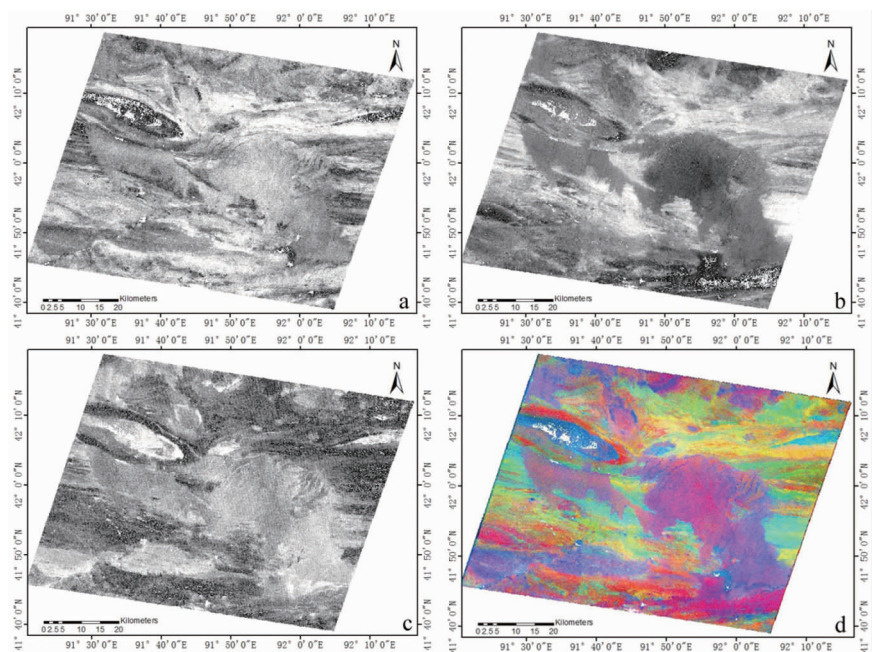


图 4 研究区 ASTER 数据波段比值及其假彩色合成图像

Fig. 4 ASTER band ratios and false color composite image of study area

a. 波段 9/8 的碳酸盐类矿物; b. 波段 4/3 的风化岩石; c. 波段 2/1 的矿化和未蚀变矿物;
d. 波段 9/8、波段 4/3、波段 2/1 的假彩色合成

变信息,利用 ASTER1、ASTER3、ASTER4、ASTER8 进行 Crosta 主成分分析提取含 Mg 羟基和含碳酸根类蚀变矿物信息。其中,进行 Crosta 主成分变换后的 4 个 PC 主分量含义分别为:PC1 是每个波段反射率的加权总和,反应了光谱总体反射率,叫做反照率因子;PC2 是近红外和短波红外波段反射率之差,反应了光谱曲线斜率变化;PC3 和 PC4 反应了岩石矿物信息。表 2—表 4 显示了进行 Crosta 主成分变换后的特征向量矩阵。一般来说,PC4 是蚀变矿物信息分量,代表蚀变矿物异常信息(图 5)。

3.3 蚀变信息分级

为了体现不同类型、不同蚀变强度的地质体构成的地质现象,更好的利用遥感蚀变异常指导地质找矿。在 Crosta 主成分分析结果的基础上,分别对 3 组图像进行遥感蚀变异常分级。常用的异常分级方法多以数理统计分析为基础,本文中采用“平均值

表 3 ASTER1、3、4、6 主成分分析的特征向量矩阵

Table 3 Eigenvector principal component analysis matrix of ASTER band1, 2, 3, 4, 6

主分量	通道			
	ASTER1	ASTER2	ASTER3	ASTER4
PC1	-0.813037	-0.556962	-0.161559	-0.051608
PC2	-0.578297	0.804929	0.132629	0.008419
PC3	-0.062954	-0.204459	0.952659	0.216043
PC4	-0.024093	0.008874	-0.220793	0.974983

表 4 ASTER1、3、4、8 主成分分析的特征向量矩阵

Table 4 Eigenvector principal component analysis matrix of ASTER band1, 2, 3, 4, 8

主分量	通道			
	ASTER1	ASTER2	ASTER3	ASTER4
PC1	-0.813727	-0.557436	-0.161692	-0.031140
PC2	-0.578611	0.803686	0.134458	0.034911
PC3	0.055208	0.207711	-0.965089	-0.149707
PC4	0.003165	-0.014500	-0.156142	0.987623

表 2 ASTER1、2、3、4 主成分分析的特征向量矩阵

Table 2 Eigenvector principal component analysis matrix of ASTER band1, 2, 3, 4

主分量	通道			
	ASTER1	ASTER2	ASTER3	ASTER4
PC1	-0.648686	-0.603973	-0.444746	-0.128932
PC2	-0.738711	0.37118	0.560983	0.042767
PC3	-0.031017	-0.178154	0.002055	0.983512
PC4	0.180416	-0.682424	0.698208	-0.119384

+N 倍标准差”作为分割阈值。

对于 Crosta 主成分变换后得到的矿物蚀变信息分量,选择 $N=2.0、2.5、3$,使用“均值 + $N \times$ 标准差”进行密度分割,并赋予不同颜色,最终得到矿物蚀变信息分级图。然后在 ArcGIS 中将羟基蚀变分级图叠加到研究区的遥感影像图上,最终得到蚀变信息提取图(图 6)。

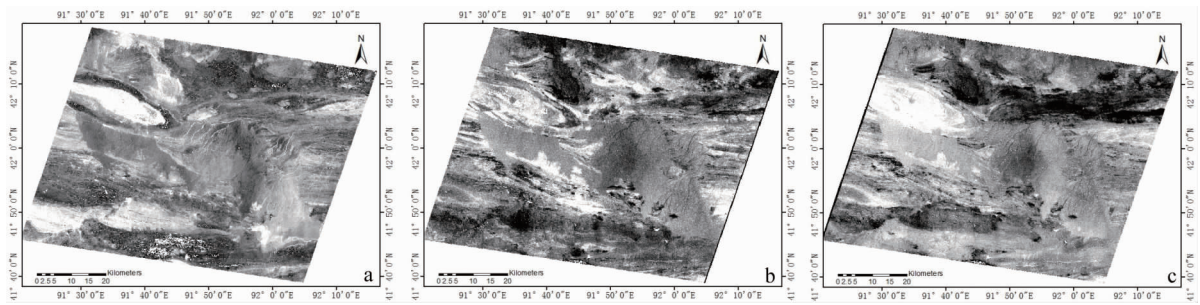


图 5 ASTER 数据 Crosta 主成分分析蚀变矿物分量图

Fig. 5 Alteration mineral component of ASTER data Crosta principal component analysis

a. 铁染蚀变矿物分量; b. 铝羟基类蚀变矿物分量; c. 镁羟基、碳酸根类蚀变矿物分量

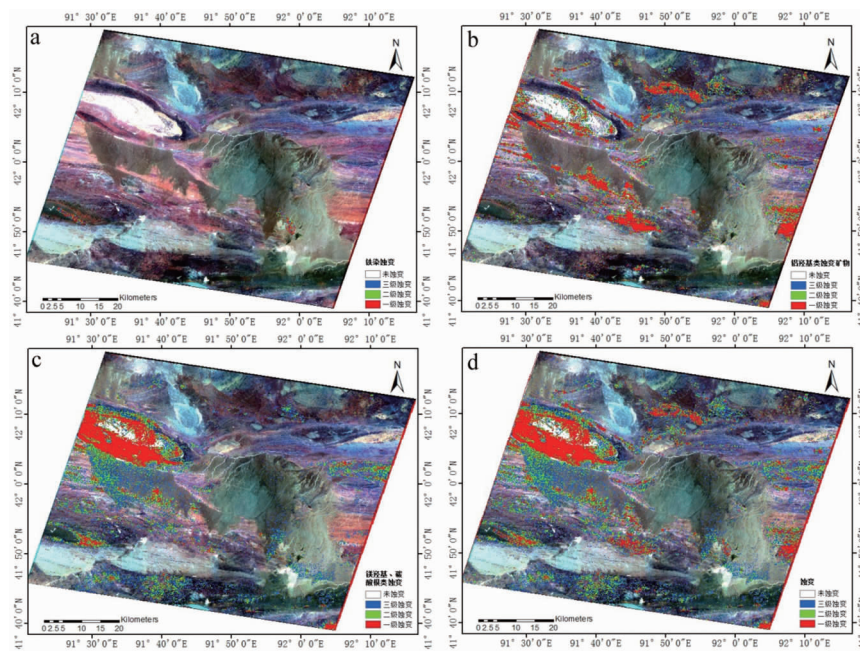


图 6 数理统计蚀变分级图

Fig. 6 Images of various alterations obtained by mathematical statistics

a. 铁染蚀变矿物; b. 铝羟基类蚀变矿物; c. 镁羟基、碳酸根类蚀变矿物; d. 所有蚀变矿物

3.4 矿化蚀变信息分析

将研究区矿点图层、断层图层分别与假彩色合成、波段比值、主成分分析蚀变分量分级图叠加(图 7)。

从叠加图中可以得到:

(1)首先研究区矿点的空间分布与康古尔塔格金矿带断层位置具有较高的匹配度。说明该地区金矿床的形成受控于康古尔塔格超壳断裂和苦水大断裂。研究区金矿床在一定范围内是随机分布的,但对于整个研究区来说受控于韧性剪切带。

(2)从假彩色合成图像与矿点和断层的叠加图可以看出,研究区断层构造附近的岩性多为凝灰岩与安山岩。这两种岩性与康古尔塔格金矿床出露岩

性相一致。并且断层附近分布有强烈蚀变岩石,铁染蚀变、铝羟基类蚀变、镁羟基类蚀变和碳酸盐类蚀变都有在断层附近分布。说明秋格明塔什-黄山韧性剪切带为康古尔塔格金矿床的形成提供了有利条件,因为韧性剪切带的南缘是岩石强弱变化的过渡带,为金矿床的形成提供了岩浆和流体活动空间。

(3)有研究者将康古尔塔格金矿带中发育的金矿床分为浅成低温热液型(热泉型)、剪切带交代蚀变岩型、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型^[1]。综合分析研究区假彩色合成、波段比值和主成分分析蚀变分量分级图像,将研究区中金矿床分为不同类型。假彩色合成与波段比值将研究区不同岩性区别开来,在安山岩和凝灰岩沉积岩覆盖层中分布有较

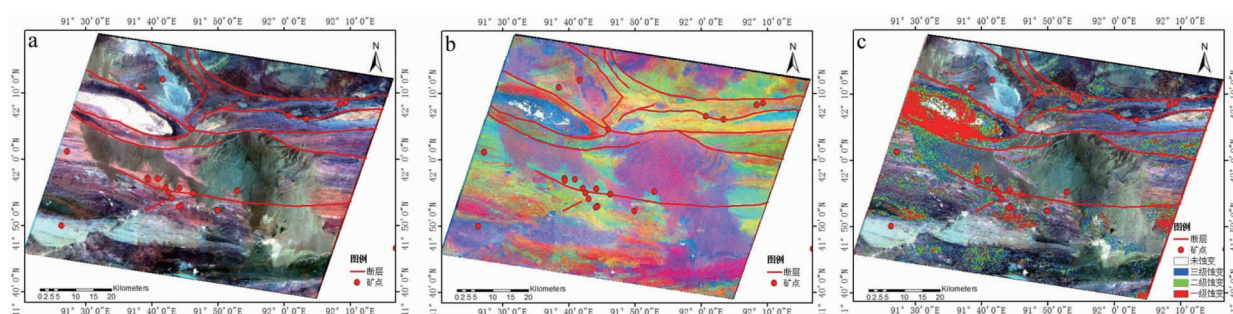


图 7 研究区蚀变矿化信息图层叠加图

Fig. 7 Layer overprint

a. 矿点图层、断层图层与假彩色合成图层叠加;b. 矿点图层、断层图层与波段比值图层叠加;

c. 矿点图层、断层图层与蚀变信息分级图层叠加

多的韧性、脆-韧性剪切糜棱岩带,并且该地区铝羟基类、镁羟基类和碳酸根类蚀变强烈,研究区中的马头滩金矿点就发育在这些构造变形带中,属于剪切带交代蚀变岩型金矿床。而岩石组合为灰绿色英安质晶屑凝灰岩、安山质凝灰岩、灰色英安质凝灰岩等,并且在秋格明塔什-黄山韧性剪切带的“反 S 形”弯曲中发育有研究区中的小尖山金矿床,属于与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床。由于研究区范围的限制,在研究区中没有浅成低温热液型(热泉形)金矿床的发现。

4 结论

(1) ASTER 数据在遥感蚀变信息提取中能发挥较好作用,可为大范围区域找矿定位找矿靶区节省人力、物力、财力。使用 ASTER 数据识别提取康古尔塔格金矿带的遥感蚀变信息,可以有效的圈定遥感矿化蚀变异常区,预测成矿有利区,康古尔塔格金矿带进一步找矿提供指导。

(2) 文中采用数据预处理、遥感图像处理技术、异常信息分级、RS 与 GIS 结合进行结果分析与成果展示等一系列方法进行遥感蚀变信息提取,提高了遥感蚀变异常信息提取的准确性和找矿预测的可靠性。

(3) 使用掩膜方法去除研究区内大量盐碱地、第四系覆盖物等干扰地物信息,可以提高矿化蚀变信息提取的准确度。但是,遥感蚀变信息的最终验证,还需进行野外工作的实地判别与验证。

参考文献:

[1] 王义天,毛景天,陈文,等. 新疆东天山康古尔塔格金矿带成

矿作用的构造制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(1): 236-244.

[2] 董连慧,冯京,刘德权,等. 新疆成矿单元划分方案研究[J]. 新疆地质, 2010, 28(1): 1-15.

[3] 杨自安,彭省临,朱谷昌,等. 多光谱遥感图像中蚀变信息及干扰因素的分析研究[J]. 地质与勘探, 2009, 45(1): 46-51.

[4] 吕凤军,刑立新,范继璋,等. 基于蚀变信息场的遥感蚀变信息提取[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 65-68.

[5] 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——地质依据和波谱前提[J]. 国土资源遥感, 2002(4): 30-36.

[6] 王建君,朱亮璞. 冀东地区金矿地质遥感信息提取方法研究[J]. 地质与勘探, 1998, 34(6): 29-32.

[7] 杨金中,方洪宾,张玉君,等. 中国西部重要成矿带遥感找矿异常提取方法的研究[J]. 国土资源遥感, 2003(3): 50-53.

[8] 燕守勋,张兵,赵永超,等. 矿物与岩石的可见-近红外光谱特性综述[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(4): 191-201.

[9] Ruiz-Armenta J R, Prohlesma R M. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(10): 1981-2000.

[10] Carranza E J M, Hale M. Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(22): 4827-4852.

[11] Crosta A P, Sabine C, Taranik J. Hydrothermal alteration mapping at Bodie California, using AVIRIS hyperspectral data[J]. Remote Sensing Environment, 2003, 65(3): 309-319.

[12] Lênio Soares Galvão, Raimundo Almeida Filho, Ícaro Vitorello. Use of ASTER short-wave infrared bands for the spectral discrimination of hydrothermally altered materials: evaluation in a tropical savannah environment[J]. Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, 16-21: 1783-1787.

[13] 姚佛军. 中国典型斑岩铜矿遥感蚀变分带模型研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.

[14] Crosta A P, De Souza Filho C R, Azevedo F. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Ar-

- gentina, using ASTER imagery and principal component analysis [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(21): 4233–4240.
- [15] Mars J C, Rowan L C. Regional mapping of phyllitic 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.
- [16] 杨日红, 李志忠, 陈秀法. ASTER 数据的斑岩铜矿典型蚀变矿物组合信息提取方法——以秘鲁南部阿雷基帕省斑岩铜矿区为例[J]. *地球信息科学学报*, 2012, 14(3): 411–418.
- [17] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. *新疆地质*, 2002, 20(4): 302–308.
- [18] 单小莉, 徐晟, 丁树强, 等. 东天山小热泉子铜矿床地质特征及成因分析[J]. *西部探矿工程*, 2009(10): 122–124.
- [19] Gad S, Kusky T. Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper (TM)[J]. *Earth Science*, 2006, 44: 196–202.
- [20] Gad S, Kusky T. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt[J]. *Gondwana Research*, 2007, 11(3): 326–335.
- [21] Ninomiya Y, Fu B, Cudahy T. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data [J]. *Remote Sensing Environment*, 2005, 99: 127–139.
- [22] Ninomiya Y, Fu B, Cudahy T. Corrigendum to “Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data [J]. *Remote Sensing Environment*, 2006, 101: 567.
- [23] 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(北京), 2010.
- [24] 张连昌, 姬金生, 李华芹, 等. 东天山康古尔塔格金矿带两类成矿流体地球化学特征及流体来源[J]. *岩石学报*, 2000, 16(4): 535–541.
- [25] 赵玉社, 张红英. 新疆鄯善县康古尔塔格金矿带小尖山金矿地质特诊及找矿标志[J]. *西北地质*, 2010, 43(4): 267–274.
- [26] Abrams M J, Rothery D A, Pontual A. Mapping in the Oman Ophiolite using enhanced Landsat Thematic Mapper images[J]. *Tectonophysics*, 1988, 151: 387–401.
- [27] Hunt G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared[J]. *Geophysics*, 1977, 42: 501–513.
- [28] Mars J C, Rowan L. C. Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals[J]. *Remote Sensing Environment*, 2010, 114: 2011–2025.
- [29] Rajendran S, Thirunavukkarasu A, Balamurugan G., et al. Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data [J]. *Asian Earth Science*, 2011, 41: 99–106.

Extraction of hydrothermal mineralization-alteration information based on the ASTER in Kangguertag gold ore belt

WU Mengjuan^{1, 2, 3}, ZHOU Kefa^{1, 2}, WANG Jinlin^{1, 2},

WANG Shanshan^{1, 2}, ZHANG Nannan^{1, 2}, ZHOU Shuguang^{1, 2, 3}

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Sciences,*

Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Urumqi 830011, China;

2. *Xinjiang Key Laboratory of Mineral Resources and Digital Geology, Urumqi 830011, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10080, China*)

Abstract: Kangguertag gold ore belt is abundant with mineral resources. Ductile shear zone is one of the ore-control factors. In this paper ASTER is used to extract remote sensing mineralization-alteration information and areas of $N41^{\circ}38'—N42^{\circ}20'$, $E91^{\circ}20'—E92^{\circ}20'$ in Kangguertag region are picked up to be study area. Analysis of the rock and ore spectral features, and spectral characteristics of ASTER data shows that false color composite, band ratio, principal component analysis, eigenvector (Crosta Technique) etc., image processing techniques were proper to identify mineralization-alteration and extract the information about the study area. Together with ArcGIS data the extracted mineralization-alteration information overprint the ore occurrence and tectonic layers of the study area and the layer overprint shows that the gold deposits (occurrences) are distributed along a transition zone on the southern side of the ductile shear zone. Referring to data and results of the study area the extracted information are coincided with the known deposit and occurrence thus ASTER data are feasible to make mineralization-alteration information extraction in the similar arid area.

Key Words: Kangguertag gold ore belt; ASTER; remote sensing image processing technology; extraction of alteration information; Eastern Tianshan; Xinjiang