

文章编号: 1006-6616 (2010) 01-0059-11

基于 ASTER 遥感图像的东昆仑造山带 岩性信息提取研究

高万里¹, 张绪教¹, 王志刚², 张紫程¹, 张耀玲³

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101;

3. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 应用 ASTER 数据, 通过主成分分析和矿物指数等岩性信息提取方法, 对东昆仑造山带温泉水库地区进行了岩性信息的遥感识别与提取。研究表明, 主成分图像和矿物指数图能很好地反映岩石物质组成信息。元古宇结晶灰岩、二叠系灰岩、中三叠统闹仓组砂岩以及上三叠统八宝山组碎屑岩等分布面积较大的岩石地层单位在 ASTER 图像上可以识别出来。ASTER 图像对基岩裸露区岩性信息进行提取是行之有效的办法, 特别是碳酸盐岩及具有不同 SiO₂ 含量的沉积岩和火山岩; 但对厚度较小的岩性识别及岩石蚀变还需要进一步研究。

关键词: 高级星载热发射和反射辐射计 (ASTER); 岩性提取; 主成分分析; 矿物指数; 东昆仑造山带

中图分类号: P627

文献标识码: A

利用多光谱遥感图像提取岩石矿化信息一直以来是遥感研究的热点^[1,2]。传统的数据源多以美国的 Landsat 系列数据为主, 其应用广泛, 技术方法也比较成熟^[3,4]。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, 并在国外地质界得到广泛应用, 国内也开展了 ASTER 数据应用的实验研究^[5-8], 并在干旱区和基岩裸露区进行了岩石信息提取与识别研究。

东昆仑造山带为青藏高原北部的重要构造地貌边界, 经历了漫长的地质演化过程和多次造山运动, 形成了典型的复合造山带。由于该造山带对认识青藏高原的形成演化具有重要的科学意义, 因此备受国内外地质学家的关注^[9-17]。但是, 该区恶劣的气候条件和陡峭的地形已成为制约该区地质调查与研究的瓶颈。本文选择地形陡峭和基岩露头良好的温泉水库地区, 应用 ASTER 数据进行岩石定量识别研究, 获得了理想的结果。

1 研究区地质概况

研究区位于东昆仑造山带东段, 其大地构造单元包括东昆仑南地体和巴颜喀拉地体^[17],

收稿日期: 2009-12-04

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (1212010711510) 资助。

作者简介: 高万里 (1985-), 男, 在读硕士研究生, 第四纪地质学专业。E-mail: gwanli851202@163.com。

昆南断裂从研究区南部通过(见图1)。该地区山势雄伟,平均海拔在4 000 m以上。野外调查表明,该区出露的岩石地层主要有:中元古界万宝沟群灰白色结晶灰岩;石炭系浩特洛洼组灰黑色灰岩夹火山岩、哈拉郭勒组紫红色砂岩夹安山岩与灰岩;下二叠统碳酸盐岩组灰色灰岩及生物碎屑灰岩、上二叠统灰白色灰岩夹灰色砂岩;中三叠统闹仓坚沟组灰色砂岩和板岩、上三叠统八宝山组灰绿色砂岩夹火山岩、上三叠统巴颜喀拉山群灰黑色砂岩夹板岩;古新统一始新统沱沱河组($E_{1-2}t$)紫红色砂砾岩和灰绿—灰黄色泥灰岩层、灰紫—灰绿色砂砾岩、砂岩、泥岩互层的河湖相地层;渐新统雅西措组(E_{3y})砖红色和浅紫红色砂、泥岩互层。晚新生代地层分布于河谷两侧及雅西措组之上。

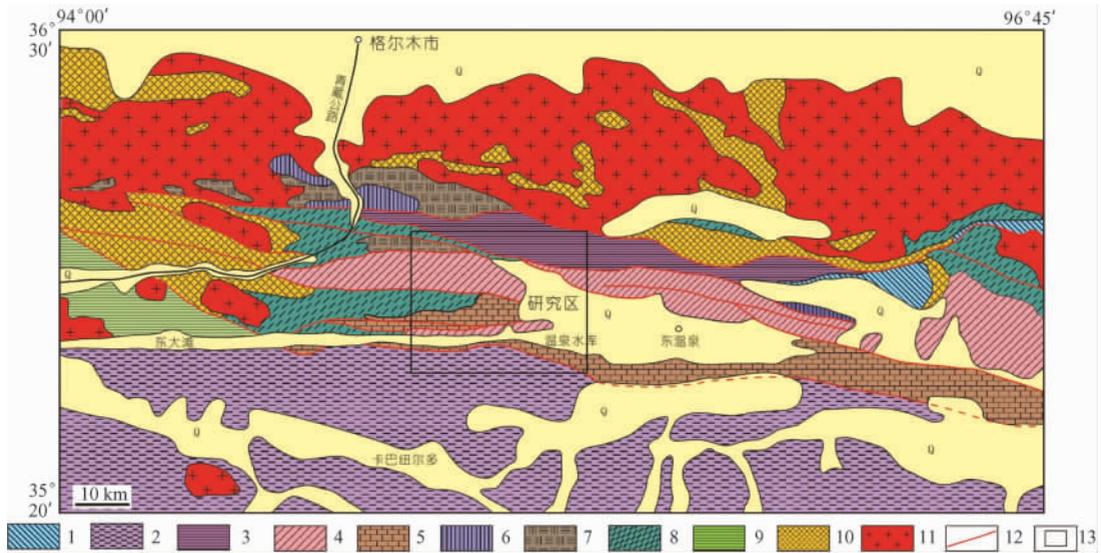


图1 格尔木南地质构造简图

Fig. 1 Geological map of the area south of Golmud showing sample locations

1. 下侏罗统羊曲组; 2. 三叠系巴颜喀拉山群; 3. 上三叠统八宝山组; 4. 中三叠统闹仓坚沟组; 5. 二叠系马尔争组;
6. 石炭系; 7. 志留—泥盆系牦牛山组; 8. 奥陶—志留系纳赤台群; 9. 寒武系沙松乌拉组;
10. 中元古界万宝沟群; 11. 花岗岩类侵入体; 12. 断层; 13. 研究区

2 ASTER 数据源的选择及基本特征

高级星载热发射反射辐射计(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, 简称 ASTER)是安装在 Terra 卫星上的多光谱成像仪。ASTER 有 14 个波段:3 个可见光—近红外(VNIR)波段,其分辨率为 15 m;6 个短波红外(SWIR)波段,分辨率为 30 m;5 个热红外(TIR)波段,分辨率为 90 m。各波段范围及空间分辨率见表 1。

ASTER 短波红外的 6 个通道可以对蚀变岩石类型进行详尽的划分,热红外的 5 个通道可以识别硅酸盐岩。在进行岩矿信息提取时,应用的基础物理数据是地物在 VNIR 与 SWIR 波段范围的反射光谱值^[18]。

表 1 ASTER 系统的基本物理参数^[8]

Table 1 Basic physical parameters of the ASTER system

子系统	波段序号	波长范围/nm	空间分辨率/m	范围/(km × km)
VNIR	1	520 ~ 600	15	60 × 60
	2	630 ~ 690		
	3N	780 ~ 860		
	3B	780 ~ 860		
SWIR	4	1 600 ~ 1 700	30	
	5	2 145 ~ 2 185		
	6	2 185 ~ 2 225		
	7	2 235 ~ 2 285		
	8	2 295 ~ 2 365		
	9	2 360 ~ 2 430		
TIR	10	8 125 ~ 8 475	90	
	11	8 475 ~ 8 825		
	12	8 925 ~ 9 275		
	13	10 250 ~ 109 50		
	14	10 950 ~ 11 650		

3 岩性信息提取方法

3.1 图像预处理

本次研究所采用的 ASTER 数据采集日期是 2001 年 9 月 3 日, 产品等级是 3A01, 数据已进行了传感器相关系数辐射校正。在进行几何精校正过程中, 校正控制点主要源于研究区于 20 世纪 70 年代完成的 1:100 000 地形图, 地形图的精度不高, 因此控制点的总平均误差控制在 2 个象元内。

依据《ASTER Mineral Index Processing Manual》^[19]的数据处理程序进行暗象元纠正, 消除大气散射对图像的影响。依据直方图找出各波段最小值的象元, 象元的每个波段最小值代表或近似大气辐射的影响, 减去最小值的象元即可。本次 ASTER 图像经过暗象元处理后相当于进行了一次背景值滤波, 使得短波红外区间的特征更加明显, 有利于提取矿物指数, 从而提取岩矿信息。

由于研究区下垫面影响因子复杂, 必须要消除云、雪、植被等下垫面复杂因素对基岩信息的干扰, 掩膜图像处理技术可以有效地扣除这些干扰信息。具体处理过程为: 首先, 在植被、云及雪覆盖的原始图像上提取植被 NDVI 指数, 制作 NDVI 指数图像, 然后做植被 0 ~ 1 掩膜, 再进行云和雪 0 ~ 1 掩膜, 最后将植被掩膜与云、雪掩膜图像叠加, 在此基础上进行有用信息的进一步处理, 制作掩膜图像。掩膜图像的效用有 2 个方面, 一是压缩图像处理样本的统计空间, 使有用的信息相对得到增强, 二是排除干扰信息可能引起的假异常。

3.2 主成分分析

主成分分析是遥感地质最有效和最常用的图像信息提取方法之一, 它是将原始的遥感数

据集变换成非常小且易于解译的不相关变量, 这些变量含有原始数据中大部分信息, 通过正交变换去除多波段图像中的相关信息, 使新的组分图像之间互不相关, 各自包含不同的地物信息, 这是一种重要的图像增强方法^[20]。

在本次研究中, 应用预处理后的掩膜图像进行主成分分析, 通过将原始图像进行主成分变换, 得到 SWIR 系统 4 到 9 波段的 5 个主成分的影像, 将其中的 PC3、PC4、PC5 主成分分别置于绿、红、蓝影像层, 生成主成分合成影像, 并将该影像与高空间分辨率的 VNIR 段影像进行融合, 生成新的主成分彩色合成影像。与传统的彩红外合成影像相比, 主成分合成影像色差可以识别更细微的岩性差别 (见图 2a、2b)。

3.3 矿物指数法

ETM 数据只能提供铁锰成分异常、羟基蚀变矿物异常等一些笼统的信息, 而 ASTER 的波段划分更精细, 能够提供更为明确的矿物信息^[21]。图 3 是一些常见矿物的实验室光谱曲线, 很多矿物的特征吸收带集中在 $2 \sim 2.3 \mu\text{m}$ 之间, 也即 ASTER 的 5~9 波段之间。ASTER 的第 4 波段尽管没有特征吸收存在, 但它是地质体反射率统计差异最大的遥感窗口。目前, 国际上流行的各类矿物指数方法很多, 它们很大一部分是基于上述这些矿物特征吸收带的波长位置及其与 ASTER 波段设置的关系, 通过简单的各类比值运算得来, 如《ASTER Mineral Index Processing Manual》(ASTER 矿物指数处理手册) 所收集的澳大利科工组织 (CSIRO) 和美国地质调查局 (USGS) 等机构经常使用的一些矿物指数。

对东昆仑造山带而言, 为了突出某一类矿物的信息, 分别选取同类矿物的 3 种矿物比值进行处理, 然后采用 3 种矿物指数进行 RGB 彩色合成 (即矿物组合) 来增强信息。以碳酸盐矿物的提取为例, 采用 $(7+9)/8$ 来识别碳酸盐、绿泥石类含量较高的地质体; 以 $(6+9)/(7+8)$ 来提取含绿泥石、绿帘石、角闪石较多的地质体; 以 $6/8$ 提取含角闪石类较高的地质体。当 $(7+9)/8$ 、 $(6+9)/(7+8)$ 和 $6/8$ 分别被赋予红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 时, 在图像上, 含碳酸盐类较多的地质体为白色或浅灰色, 含角闪石类较多的地质体为浅绿色或蓝绿色。对含铁类地质体、硅酸盐矿物以及二氧化硅异常的提取按同样的方法处理。

图 2c—2f 为按上述方法处理后的矿物指数图像。图 2c 为碳酸盐矿物提取图, 矿物指数含义为: R $((7+9)/8)$ 识别碳酸盐、绿泥石类含量较高的地质体, G $((6+9)/(7+8))$ 识别含绿泥石、绿帘石、角闪石较多的地质体, B $(6/8)$ 提取含角闪石较高的地质体。图 2d 为含铁类地质体的矿物指数图, 矿物指数含义为: R $(2/1)$ 为三价铁含量较高地质体, G $(5/4)$ 为含铁硅酸盐, B $((5+3)/(1+2))$ 为含二价铁较高地质体。图 2e 为硅酸盐类粘土类矿物指数图像, 矿物指数的含义为: R $((5+7)/6)$ 提取白云母、伊利石、蒙脱石含量较高地质体, G $((4+6)/5)$ 识别明矾石、高岭石含量较高的地质体, B $((5+7)/6^2)$ 为粘土类矿物。图 2f 是二氧化硅指数图, 矿物指数的含义为: R $(12/13)$ 为基性度指数, G $((11 \times 11)/(10 \times 12))$ 为硅质岩, B $(13/10)$ 为二氧化硅含量较高地质体。从以上 4 幅矿物指数图像可以看出, ASTER 数据能很好提取各种不同种类的矿物信息, 经过彩色合成后的影像能很好地反应含该类矿物较多的岩石信息。

4 岩性提取结果分析

图 2a、2b 为传统彩色合成影像与主成分分析后彩色合成影像的对比, 可以发现, 两幅图像总体的色调区分是一致的, 意味着大套岩性的区分在两幅图上都能够分辨出来, 其中东



图 2 东温泉地区 ASTER 图像

Fig. 2 ASTER images of Eastern Kunlun area

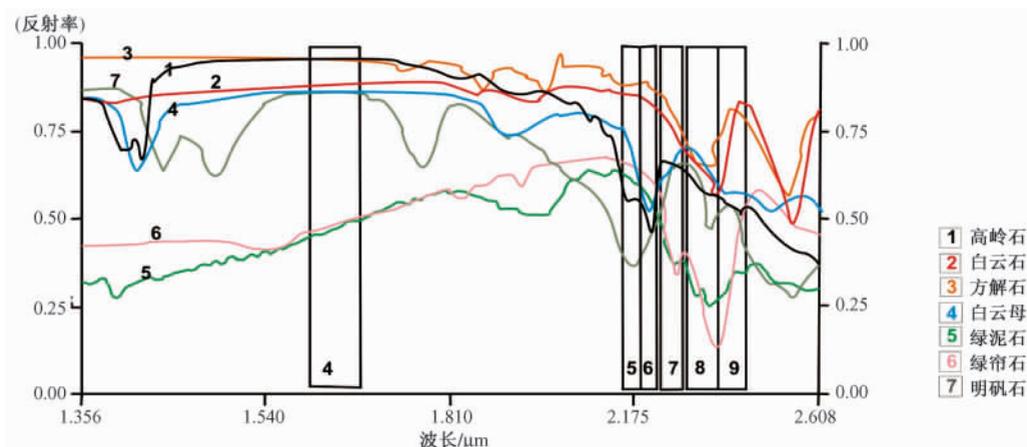


图3 ASTER 短波红外波段分布及其与常见矿物特征吸收带的关系

(方框内数字4~9为ASTER短波红外的6个波段。矿物光谱据USGS光谱库。)

Fig. 3 Distribution of the ASTER shortwave infrared band and its relationship with the specific absorption bands of common minerals

大滩北部的灰岩以及北部的火山熔岩其影像特征都很明显；但也不难看出，经过主成分分析后的图像细节更加突出，以雪水河北部三叠系闹仓坚沟组砂板岩为例，其中浅变质的板岩（图像中的红色）被明显突出出来。

从图2c中可以看出，在东大滩与雪水河之间以及温泉水库南部地区，矿物指数图像色调呈现白色，而且色调均一，碳酸盐矿物特征最为显著，该处基岩含白云石以及方解石等碳酸盐矿物较多。野外调查表明，该区域发育厚层状灰白色和紫红色灰岩，与遥感图像上的灰白色调基本吻合。图4a、4b为野外调查显示的东大滩北部的二叠系灰岩与其下部的三叠系砂岩。在遥感图像上可以清晰地圈出二叠系灰岩的界线。

图2d中，红土沟两侧为新生代红色砂砾岩， Fe^{3+} 含量较高，在含铁地质体矿物指数图像上为深黄色，可以清晰地分辨出来。同时可以发现，温泉水库的北部以及红土沟北部、东大滩北部均有深黄色调，野外实地调查中，这几处均分布有新生代红层。图4c、4d中，新生代紫红色砂砾岩的野外特征是很清晰的，可以根据遥感图上的深黄色调圈出新生代红层的界线。在碳酸盐指数图像上呈白色调的灰岩，在该图像中显示为红色调，岩性的界线也比较清楚；同时，北部玄武岩两侧也有红色调，野外调查显示，该区域亦为灰岩，但是该处灰岩与东大滩北部、雪水河谷口灰岩（见图2b、2d）颜色、结构差异较大，碳酸盐指数图像上该处色调与其不一致，说明其成分也不尽相同，该两处灰岩应该不是在同一时代形成的。

图2e中，前人的地质调查将雪水河北部划分为一套闹仓坚沟组砂岩，在此次的矿物指数图像处理中，该处图像有各种混杂的色调，但明显发现该区域有白云母和高岭土的条带状矿物异常，推测该处呈S形条带分布的可能为一浅变质的板岩。野外调查中，笔者在该处发现了变质的板岩，但是其界线并不像图像显示得那么清楚。总体来说，该处是以大套的成层性良好的砂岩夹一些火山碎屑岩，该段砂岩的野外特征是很清楚的（见图4e、4f）。呈红色调的碳酸盐岩以及呈深蓝色色调的玄武岩在该图像的特征也很明显，在野外也能明显看出色调上的差异（见图4c）。

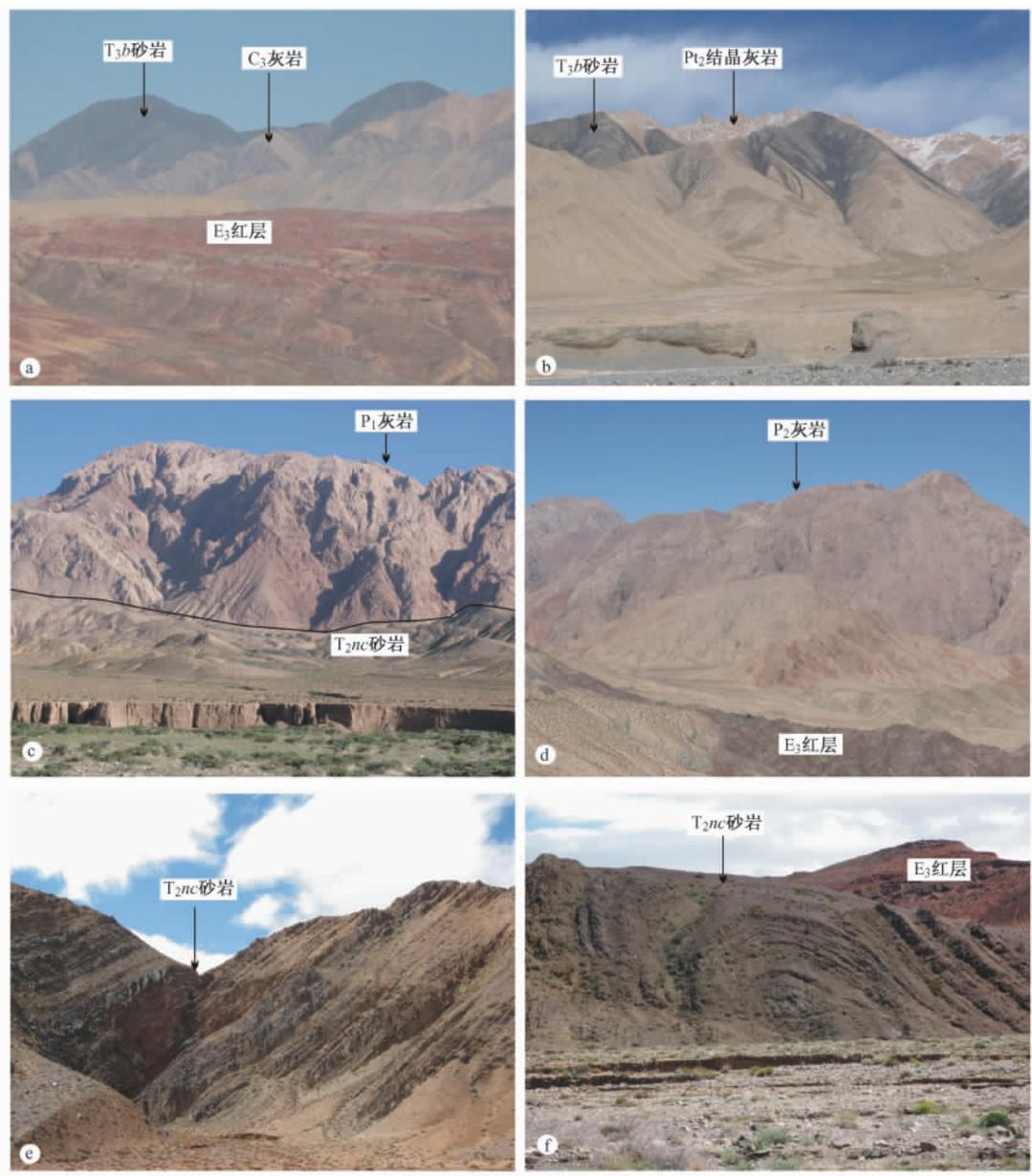


图 4 野外岩石地层地质照片

Fig. 4 Photos of lithologic units

a-红土沟北; b-大干沟北; c-东大滩北; d-雪水河谷口; e-红土沟东侧; f-红土沟南侧

图 2f 中, 红土沟北部, 矿物指数图像上呈北西走向的深色条带, 其基性度指数较高, 同时其角闪石、硅酸盐矿物指数也有异常; 野外调查显示, 该处为灰绿色砂岩与玄武岩、火山碎屑岩分布, 该岩性界线在图像上可以圈定出来。在上述几幅图像上该处的影像特征都是很清晰的, 其两侧分布的灰岩的界线也可以圈定; 在该图像上, 该灰岩与东大滩、温泉水库附近的灰岩影像特征一致。

经过分析可以发现, 东大滩北部的灰岩及北部火山岩的界线在各幅图像上的特征都很明显, 而且岩性的界线也比较清楚, 基本可以圈定其岩性界线。雪水河北部闹仓坚沟组的砂板

岩,虽然在矿物指数图像中也呈现出S形条带状异常界线,但在野外的实地调查中发现,该界线并不像遥感图像上显示的那么清楚,在圈定岩性界线的时候还是将其归为浅变质板岩。其他岩性的色调在图像上比较混杂,并没有统一的色调,因此在划定岩性界线时,结合了野外的实地调查。图5即为温泉水库地区的岩性信息综合解译图。经野外验证,ASTER遥感所解译出来的岩石地层分布基本上代表了组级岩石地层单位。

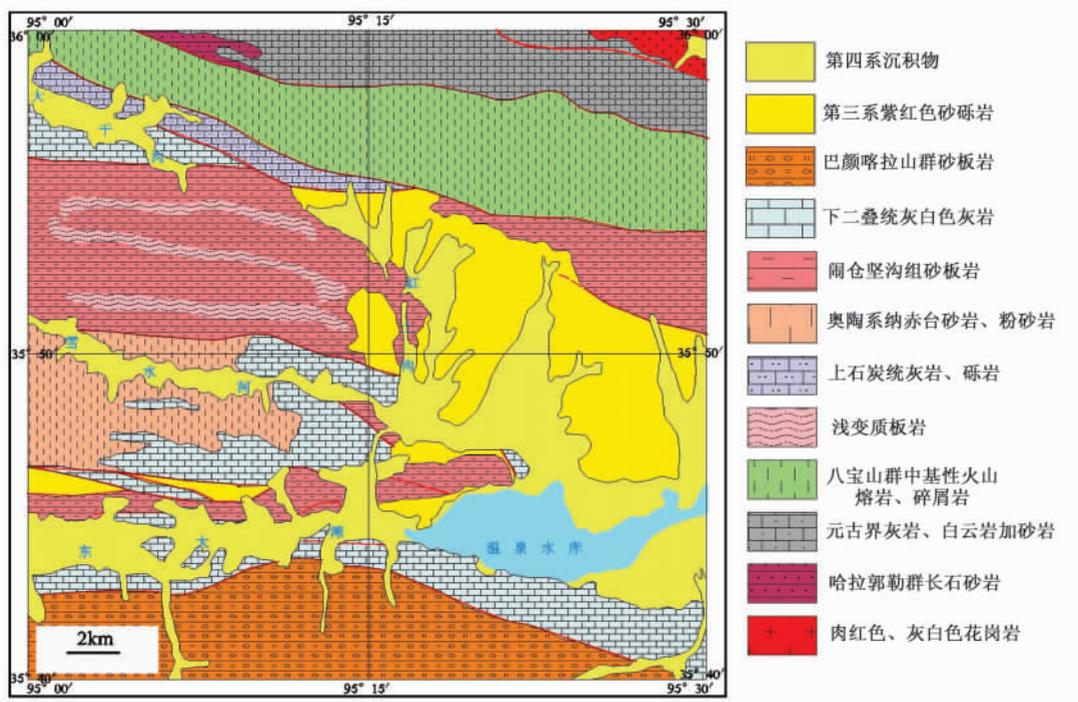


图5 温泉水库岩性单元解译图

Fig. 5 Interpretation figures for the lithologic units in the Wenquan Reservoir area

5 讨论与结论

东昆仑造山带 ASTER 遥感信息提取研究表明,ASTER 数据比传统的 ETM 数据光谱分辨率更高,提供的矿物信息更加精细、明确和丰富。特别是主成分分析和矿物指数方法能很好提取岩石及矿物信息,尤其对碳酸盐岩、偏基性岩的识别效果更为明显,可以在遥感图像上清晰地圈出不同的岩性界线,所圈出的岩性界线与地质图上的地质界线基本一致,这表明 ASTER 数据对基岩裸露区岩性信息提取是行之有效的。由于受 ASTER 数据空间分辨率和岩石出露宽度的影响,对段级岩石地层单位或厚度小于 ASTER 空间分辨率的单一岩性尚无法识别。

该区虽然也有一定的岩石蚀变,总的来说,岩石的蚀变不是很强,只是在特定区域的蚀变较强,所以 ASTER 数据在蚀变岩石信息提取方面的优势没有显示出来。另外,在信息提取过程中虽然进行了掩膜图像的处理,但是植被和云、雪的影响还是很大,在应用矿物指数方法提取矿物信息时,某些矿物的信息会发生混淆,当然波长位置的细微差别也是导致这一问题的主要原因。野外验证也表明,ASTER 矿物指数方法可以探测出矿物异常的存在,但

是矿物类别需要谨慎对待。因此, 矿物指数方法的应用还是有一定的局限性, 需要依据不同地区进行验证和调整。

参 考 文 献

- [1] 傅碧宏. 遥感岩石学的研究及进展 [J]. 地球科学进展, 1996, 11 (3): 252 ~ 258.
FU Bi-hong. Study and recent advances of remote sensine petrology [J]. Advance in Earth Science, 1996, 11 (3): 252 ~ 258.
- [2] 甘甫平, 王润生, 马蔼乃, 等. 光谱遥感岩矿识别基础与技术研究进展 [J]. 遥感技术与应用, 2002, 17 (3): 140 ~ 147.
GAN Fu-ping, WANG Run-sheng, MA Ai-nai, et al. The development and tendency of both basis and techniques of discrimination for minerals and rocks using spectral remote sensing data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2002, 17 (3): 140 ~ 147.
- [3] 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.
ZHANG Yu-jun, YANG Jian-min, CHEN Wei. A study of the method for extraction of alteration anomalies from the ETM⁺ (TM) data and its application: Geologic basis and spectral precondition [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2002, (4): 30 ~ 36.
- [4] 张玉君, 曾朝铭, 陈薇. ETM⁺ (TM) 蚀变遥感异常提取方法研究与应用——方法选择和技术流程 [J]. 国土资源遥感, 2003, (2): 44 ~ 49.
ZHANG Yu-jun, ZENG Zhao-ming, CHEN Wei. A study of the method for extraction of alteration anomalies from the ETM⁺ (TM) data and its application: Method selection and technological flow chart [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2003, (2): 44 ~ 49.
- [5] Ce'cile Gomez, Christophe Delacourt, Pascal Allemand, 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.
- [6] Vaughan R G, Hook S J, Calvin W M, et al. Surface mineral mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA, with multi-wavelength thermal infrared images [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99 (1-2): 140 ~ 158.
- [7] 二宫芳树, 傅碧宏. 帕米尔东北缘 ASTER 多光谱热红外遥感数据的岩性信息提取 [J]. 新疆地质, 2002, 21 (1): 22 ~ 30.
Yoshiki Ninomiya, FU Bi-hong. Extracting lithologic information from ASTER multispectral thermal infrared data in the northeastern Pamirs [J]. Xinjiang Geology, 2002, 21 (1): 22 ~ 30.
- [8] 耿新霞, 杨建民, 张玉君, 等. ASTER 在浅覆盖区蚀变遥感异常信息提取中应用——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-min, 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 Baoguto porphyry copper deposit intrusion in western Junggar, Xinjiang [J]. Geological Review, 2008, 54 (2): 184 ~ 191.
- [9] 倪晋宇, 胡道功, 周春景. 东昆仑造山带纳亦台群形成的大地构造环境探讨 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 11 ~ 20.
NI Jin-yu, HU Dao-gong, ZHOU Chun-jing. Discussion on tectonic environment of Naij Tal Group, East Kunlun orogenic belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 11 ~ 20.
- [10] 周春景, 胡道功, Barosh P J, 等. 东昆仑三道湾流纹英安斑岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 28 ~ 35.
ZHOU Chun-jing, HU Dao-gong, Barosh P J, et al. Zircon U-Pb dating of the rhyolite-dcite porphyry in the Sandaowan of east Kunlun MTS and its geological significance [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (1): 28 ~ 35.
- [11] 陆露, 胡道功, 张永清, 等. 昆中断裂带同构造花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (1): 36 ~ 43.

- LU Lu, HU Dao-gong, ZHANG Yong-qing, et al. Zircon U-Pb age for syntectonitic granitic porphyry and its tectonic significance in the middle Kunlun fault belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (1): 36 ~ 43.
- [12] 吴芳, 张绪教, 张永清, 等. 东昆仑冈底斯组流纹质凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (1): 44 ~ 50.
- WU Fang, ZHANG Xu-jiao, ZHANG Yong-qing, et al. Zircon U-Pb ages for rhyolite tuff of the Naocangjiangou Formation in the east Kunlun orogenic belt and their implication [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (1): 44 ~ 50.
- [13] 张紫程, 张绪教, 高万里, 等. 东昆仑左行韧性剪切带形成时代的锆石 U-Pb 年龄证据 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (1): 51 ~ 58.
- ZHANG Zi-cheng, ZHANG Xu-jiao, GAO Wan-li, et al. Evidence of zircon U-Pb ages for the formation time of the East Kunlun Left-Lateral Ductile Shear Belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (1): 51 ~ 58.
- [14] 张耀玲, 张绪教, 胡道功, 等. 东昆仑造山带纳赤台群流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (1): 21 ~ 27, 50.
- ZHANG Yao-ling, ZHANG Xu-jiao, HU Dao-gong, et al. SHRIMP-based zircon U-Pb ages for rhyolite of the Naiji Tal Group in the east Kunlun orogenic belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (1): 21 ~ 27, 50.
- [15] 薛腊梅, 赵希涛, 张耀玲, 等. 遥感技术在东昆仑新生代地质填图中的应用 [J]. *地质力学学报*, 2010, 16 (1): 70 ~ 77.
- XUE La-mei, ZHAO Xi-tao, ZHANG Yao-ling, et al. Application of remote sensing technique in the east Kunlun Cenozoic geological mapping [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (1): 70 ~ 77.
- [16] 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等. 青藏高原新生代构造演化与隆升过程 [M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- WU Zhen-han, WU Zhong-hai, HU Dao-gong, et al. Cenozoic tectonic evolution and uplift process of the Tibetan plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [17] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 造山的高原——青藏高原地体的拼合、碰撞造山及隆盛机制 [M]. 北京: 地质出版社, 2007. 1 ~ 458.
- XU Zhi-qin, YANG Jing-shui, LI Hai-bing, et al. An orogenic plateau: Terrain tectonics, collisional orogenesis, and rising mechanisms of the Qinghai-Tibet plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. 1 ~ 458.
- [18] 郭亚东, 史舟. 先进星载热发射和反射辐射仪 (ASTER) 的特点及应用 [J]. *遥感技术与应用*, 2003, 18 (5): 346 ~ 352.
- GUO Ya-dong, SHI Zhou. Characteristics and applications of ASTER [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2003, 18 (5): 346 ~ 352.
- [19] Aleks Kalinowski, Simon Oliver. ASTER mineral index processing manual [M]. *Remote Sensing Applications Geoscience Australia*, 2004, 10.
- [20] John R Jensen. 遥感数字影像处理导论 (第3版) [M]. 陈晓玲, 龚威, 李平湘, 等 (译). 北京: 机械工业出版社, 2007. 281 ~ 287.
- John R Jensen. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd Edition) [M]. CHEN Xiao-ling, GONG Wei, LI Ping-xiang, et al. (Trans.). Beijing: China Machine Press, 2007. 281 ~ 287.
- [21] 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 Mandala area [J]. *Geological Survey and Research*, 2007, 30 (3): 234 ~ 240.

EXTRACTION OF LITHOLOGIC INFORMATION FROM THE EAST KULUN OROGENIC BELT USING ASTER REMOTE SENSING IMAGE

GAO Wan-li¹, ZHANG Xu-jiao¹, WANG Zhi-gang²,
ZHANG Zhi-cheng¹, ZHANG Yao-ling³

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

2. *Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

3. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)*

Abstract: By using ASTER data and such methods for extraction of lithologic information as major composition image and the mineral index, a discrimination for and extraction of lithologic information has been made in the Wenquan Reservoir area of the East Kunlun orogenic belt. The results show that the major composition image and the mineral index can well reveal the composition of rocks. Clearly shown on ASTER images are lithostratigraphic units covering a relatively large area, including Proterozoic crystalline limestone, the limestone in Permian Malzheng Formation, the sandstone in Middle Triassic Naocangjiangou Formation and the clastic rocks in Upper Triassic Babaoshan Formation. ASTER images would prove to be an effective method for extraction of lithologic information in bedrock exposed areas, especially for carbonate rocks as well as sedimentary and volcanic rocks with varying SiO₂ contents. But for the rock units of small thickness or altered rocks, the methods need to be improved.

Key words: ASTER; lithologic extraction; major composition analysis; mineral index; East Kunlun orogenic belt