

文章编号: 1006-6616 (2016) 04-0907-14

基于多源遥感数据的高山峡谷区 岩性信息提取研究

——以新疆乌什县北山 1:50000 填图试点为例

孟鹏燕¹, 孙杰¹, 于长春², 穆超³,
帅爽³, 谢菲³, 孟丹³

(1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074;

2. 中国地质调查局国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

3. 湖北省国土测绘院, 武汉 430010)

摘要: 新疆乌什县北山 1:50000 填图试点项目位于塔里木盆地西北边缘和西南天山交接部位, 海拔较高, 地形切割较深, 属于典型的高山峡谷区。利用 ASTER、SPOT6、GF-2 等多源遥感数据, 基于典型岩性光谱吸收特征, 进行岩性差异信息增强与提取研究, 总结出一套基于多源遥感数据进行岩性单元边界划分的方法。以 ASTER 数据、ASTER 与 SPOT6 协同数据、ASTER 与 GF-2 协同数据等为基础影像数据, 并选择最佳波段组合进行 RGB 彩色合成, 从而增强影像差异, 结合已有研究区地质资料, 初步圈定不同影像单元边界; 继而利用矿物丰度指数、SMACC 端元丰度提取等方法识别研究区内主要岩性的分布位置和范围; 最后结合野外实际调查数据, 依据实际地质背景和影像质量进行筛选, 获得最终的岩性单元解译图。研究结果为该区进一步进行地层优化划分及对比提供了参考资料。

关键词: 高山峡谷区; 多源数据协同; 矿物丰度指数; SMACC; 岩性信息提取

中图分类号: P623

文献标识码: A

0 引言

新疆乌什县北山 1:50000 填图试点区位于塔里木盆地西北边缘和西南天山交接部位, 海拔较高, 地形切割较深, 属于典型的高山峡谷区。传统地质调查与研究因其恶劣的地质地貌条件难以全面开展, 而遥感地质调查较之传统方法具有研究范围广、快速、高效等特点, 利用遥感数据进行地质填图、岩性识别等工作经过长期发展, 已成为一个成熟有效的技术方法。近年来, 随着遥感传感器空间和光谱分辨率的进一步提高, 可应用于地质调查的遥感数据源也不断增多, 如何利用多源遥感数据各自优势, 将其协同应用于遥感调查是至关重要的

收稿日期: 2000-09-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060)

作者简介: 孟鹏燕(1989-), 男, 硕士, 研究方向为遥感地质、国土资源遥感。E-mail: meng_pengyan@sina.com

通讯作者: 孙杰(1982-), 男, 博士, 研究方向为遥感数据处理。E-mail: sunjie_cug@163.com

研究课题。本文基于 ASTER、SPOT6、GF-2 等多源遥感数据对该地区进行岩性信息识别、提取与解译, 图是为该区优化地质填图提供重要参考。

利用多源遥感数据进行岩性差异信息增强与提取是当前遥感地质应用领域的热点研究内容之一^[1]。自 20 世纪 80 年代以来, 各国遥感地质学者深入研究各种岩石、矿物的光谱原理, 总结出从单一矿物到岩石组合等的诊断性光谱特征, 并研究了多种矿物、岩石产生特征光谱的原因^[2-6], 提出多种遥感增强岩性信息差异的方法^[7]。针对数据源的选择, 早期国内外多采用 TM、ETM+ 等多光谱数据进行研究^[8-9], 随着 Terra 卫星的升空, 短波红外波段光谱分辨率方面比 TM、ETM+ 等数据具有更多优势的 ASTER 数据在基础地质调查和矿产调查中得到了广泛应用^[10-11]。但 ASTER 数据最大空间分辨率为 15 m, 部分地质体的空间特征信息难以识别, 获得岩性边界不够清晰, 难以开展较大比例尺的地质调查研究。随着多种高空间分辨率传感器的升空, 如法国 1.5 m 空间分辨率的 SPOT6, 我国 0.8 m 空间分辨率的 GF-2, 其光谱范围均在 0.4~0.9 μm 之间, 能够有效弥补 ASTER 数据在可见光—近红外区域空间分辨率上的不足。

本文以新疆乌什县北山 1:50000 填图试点为例, 利用 ASTER、SPOT6、GF-2 等多源遥感数据, 以数据协同理论和矿物光谱理论为基础, 总结出一套基于多源遥感数据进行岩性单元边界划分的方法, 并最终结合野外实际调查资料对该地区碳酸盐岩和碎屑岩进行差异增强、岩性识别和岩性单元界线圈定, 取得了良好的效果。

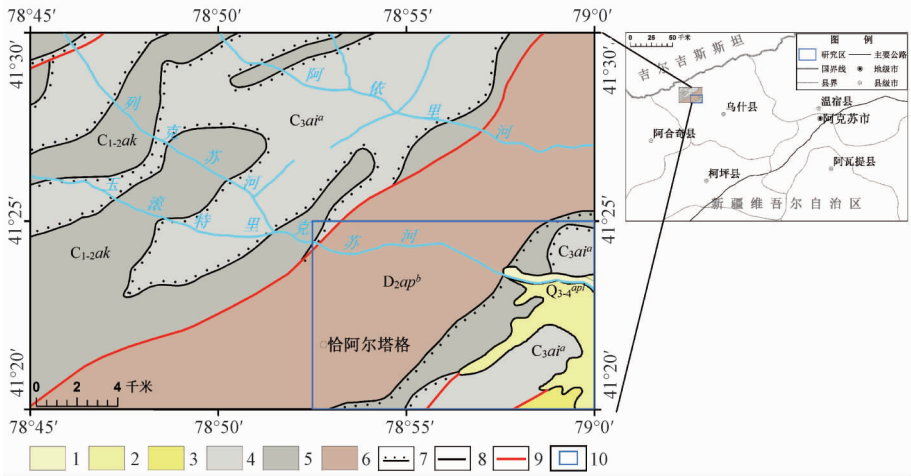
1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区西南部, 行政区划隶属新疆维吾尔自治区乌什县(见图 1), 地理坐标: 78°52'30"—79°E, 41°20'—41°25'N。该区平均海拔大于 3000 m, 切割深度一般大于 1000 m, 为海拔较高的深切切割区。自然地理环境恶劣, 交通不便, 车辆通行困难, 绝大多数地区只能以骆驼和马作为运输工具。

研究区处天山造山带和塔里木板块的结合部位, 据前人资料, 该区大地构造单元主要包括西南天山造山带的乌鲁克恰提—迈丹—库瓦特晚古生代裂陷槽和塔里木板块北缘边缘断陷带^[12-14]。该区主要出露泥盆系、石炭系, 属于西南天山地层小区, 地层走向与天山山脉走向大体平行, 呈北东—南西向展布。出露的地层岩石主要包括: 中泥盆统阿帕达尔康下亚组大理岩化灰岩、鲕状灰岩夹凝灰砾岩泥质粉砂岩薄层, 下一中石炭统阿克恰衣群薄层状砂岩, 粉砂岩夹砾岩、灰岩, 上石炭统阿依里下亚组石灰岩、纺锤灰岩, 砾状灰岩及钙质砂岩夹铝土矿层, 上新统一更新统安吉然组砾岩夹钙质粗砂岩以及全新统松散冲洪积物堆积层(见图 1)。

2 遥感数据源及预处理

前人研究岩石地层差异信息提取时多采用 Landsat7 ETM+ 或 ASTER 等单一数据源, 而单一数据源一般会在光谱或空间分辨率上存在不足。本文在研究过程中利用 ASTER 以及 ASTER 与 SPOT6 协同、ASTER 与 GF-2 协同影像进行研究, 其影像波段物理特征及像元空间特征见表 1。



1, 2—第四系冲洪积物 (Q_{3-4}^{pl}); 3—安吉然组砾岩夹钙质粗砂岩 ($(N_2^2-Q_1) ad$); 4—阿依里下亚组石灰岩、纺锤灰岩、砾状灰岩及钙质砂岩夹铝土矿层 (C_{3ai}^a); 5—阿克恰衣群薄层状砂岩、粉砂岩夹砾岩、灰岩 (C_{1-2ak}); 6—阿帕达尔康下亚组大理岩化灰岩、鲕状灰岩夹凝灰砾岩泥质粉砂岩薄层 (D_{2ap}^b); 7—不整合接触界线; 8—正常接触界线; 9—断层; 10—研究区

图 1 研究区地理位置和地质构造简图

Fig. 1 Location and geological sketch of the study area

表 1 GF-2、SPOT6、ASTER、ETM + 遥感数据基本特征

Table 1 Characteristics of GF2, SPOT6, ASTER and ETM + remote sensing data

数据源	波段	波长/nm	空间分辨率/m	数据源	波段	波长/nm	空间分辨率/m
GF-2	1	450 ~ 520	3.2	SPOT6	1	425 ~ 525	6.0
	2	520 ~ 590	3.2		2	530 ~ 590	6.0
	3	630 ~ 690	3.2		3	625 ~ 695	6.0
	4	770 ~ 890	3.2		4	760 ~ 890	6.0
	Pan	450 ~ 900	0.8		Pan	455 ~ 745	1.5
ASTER	VNIR1	520 ~ 600	15	ETM +	1	450 ~ 520	28.50
	VNIR2	630 ~ 690	15		2	520 ~ 600	28.50
	VNIR3N, 3B	780 ~ 860	15		3	630 ~ 690	28.50
	SWIR4	1600 ~ 1700	30		4	760 ~ 900	28.50
	SWIR5	2145 ~ 2185	30		5	1550 ~ 1750	28.50
	SWIR6	2185 ~ 2225	30		7	23080 ~ 2350	28.50
	SWIR7	2235 ~ 2285	30		8	500 ~ 900	14.25
	SWIR8	2295 ~ 2365	30				
	SWIR9	2360 ~ 2430	30				

由于卫星传感器自身物理特性及电磁波传输途径中易受外界因素干扰, 致使所获取遥感数据记录的地物特征在一定程度上与地表实际情况存在一定的差异。为了减弱这种差异对岩石地形信息提取所造成的误差, 在数据实际应用前需要对其进行预处理, 预处理工作主要包括辐射定标、大气校正、几何校正和异源遥感数据配准、去干扰等。

ASTER 数据进行常规影像预处理之前, 需进行 CROSSTALK (串扰) 校正, 其目的是去除由于 ASTER 传感器设计的原因所致短波红外通道传感器的相互干扰对数据的影响。本文利用针对 ASTER 数据的 CROSSTALK 校正软件完成针对研究区受影响的 4 个波段的校正。

岩石地层信息提取需要利用其光谱特性, 对 ASTER 数据进行辐射定标和大气校正处理

是必要的工作。采用 FLAASH 工具对两种多光谱数据进行大气校正,以消除大气等因素对地物真实反射率的影响。

由于异源数据协同,在分别对 ASTER、SPOT6、GF-2 等数据进行几何校正后,还需进行异源数据配准。具体做法是:以空间分辨最高的 GF-2 (全色 0.8 m) 为参考影像,通过手动选取同名控制点,分别配准 ASTER 和 SPOT6 数据。在进行 SPOT6 的手动配准前,首先利用 Moravec 匹配算法对 GF-2 和 SPOT6 影像进行自动匹配,然后再手动调整匹配较差的同名点,直至匹配残差小于 1。由于 ASTER 数据和 GF-2 有较大的空间分辨率差异,自动匹配算法难以有效提取同名点,因此采用手动选取同名点进行匹配的方法。

3 岩性信息提取方法

3.1 多源遥感数据协同增强法

协同理论就是将两种或两种以上组分相匹配在一起,达到组合效果优于多个组分单独应用时效果的总和^[15]。协同理论在遥感地质领域中主要指将不同卫星平台所搭载的不同传感器或者同一传感器数据的光谱分辨率、空间分辨率构成一个系统。卫星传感器成像过程中瞬时视场的限制使同一传感器获取的影像难以同时满足高空间分辨率和高光谱分辨率^[16]。在遥感岩性信息提取应用中,高空间分辨率遥感影像可以较好地描述地表细节信息^[17],如不同类型岩石层理以及岩性单元之间的接触关系;中等分辨率多光谱数据的短波红外波段数据相对于可见光波段则能够有效描述岩石矿物的光谱差异,有利于主体岩性划分提取。如果能有效地将多源数据结合起来实现优势互补,将十分有利于岩性信息识别和提取能力的发展和进步。因此,如何有效实现多源遥感数据的空间分辨率优势和光谱分辨率优势的协同是研究者关注的热点。

SPOT6 数据全色波段空间分辨率为 1.5 m,GF-2 空间分辨率为 0.8 m,均属于高空间分辨影像,明显优于空间分辨率为 15 m 的 ASTER 数据;但 ASTER 数据拥有包括可见光、近红外、短波红外在内的 9 个波段,尤其是 ASTER 数据在短波红外区拥有 6 个波段,光谱分辨率有了很大改善,对于矿物吸收波谱特征的反应也更加灵敏。因此,可以利用 Gram-Schmidt 光谱锐化法,将经过预处理的 ASTER 反射率数据分别与 SPOT6、GF-2 全色波段融合,形成分辨率分别为 1.5 m、0.8 m 的高分辨率多光谱 9 波段协同数据。

从 ASTER 数据 9 个波段中选择 3 个波段进行假彩色合成,以便于更好地表达图像信息之间的色调差异。通过计算 ASTER 影像不同波段之间的相关性,确定合适的波段组合。相关性矩阵可以反映不同波段之间的相关性(波段之间的相关系数越大,各波段所包含的信息之间越可能出现大量的重复和冗余;相关系数越小,各波段的图像数据独立性越高,图像质量就越好),因此,选择波段间相关性尽可能小的进行彩色合成。为了提高彩色合成图像的效果,增加岩性单元之间的可分程度,本研究通过多次波段组合实验,观察彩色合成效果,并最终选择波段相关性(见表 2)相对较小的短波红外 8 波段、近红外 4 波段和可见光 1 波段进行假彩色合成。图 2—图 4 分别为研究区 ASTER 原始影像、ASTER 与 SPOT6 协同影像、ASTER 与 GF-2 协同影像的 8、4、1 波段彩色合成图。

通过直观地对比分析可知,三种图像总体展现出的色调基本一致,均能较好地表现影像单元之间的差异,清晰描述影像单元边界,且后两种协同影像无论在色调差异性上还是影像空间纹理清晰度上均优于原始影像。对比 ASTER 与 SPOT6 协同影像(见图 3)和 ASTER 与

表 2 相关系数矩阵

Table 2 Correlation index matrix

相关性	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	1.000	0.983	0.734	0.775	0.832	0.835	0.854	0.861	0.863
B2	0.983	1.000	0.739	0.819	0.876	0.877	0.892	0.894	0.899
B3	0.734	0.739	1.000	0.857	0.749	0.768	0.764	0.751	0.751
B4	0.775	0.819	0.857	1.000	0.960	0.966	0.955	0.925	0.939
B5	0.832	0.876	0.749	0.960	1.000	0.996	0.991	0.970	0.982
B6	0.835	0.877	0.768	0.966	0.996	1.000	0.992	0.972	0.982
B7	0.854	0.892	0.764	0.955	0.991	0.992	1.000	0.988	0.991
B8	0.861	0.894	0.751	0.925	0.970	0.972	0.988	1.000	0.988
B9	0.863	0.899	0.751	0.939	0.982	0.982	0.991	0.988	1.000

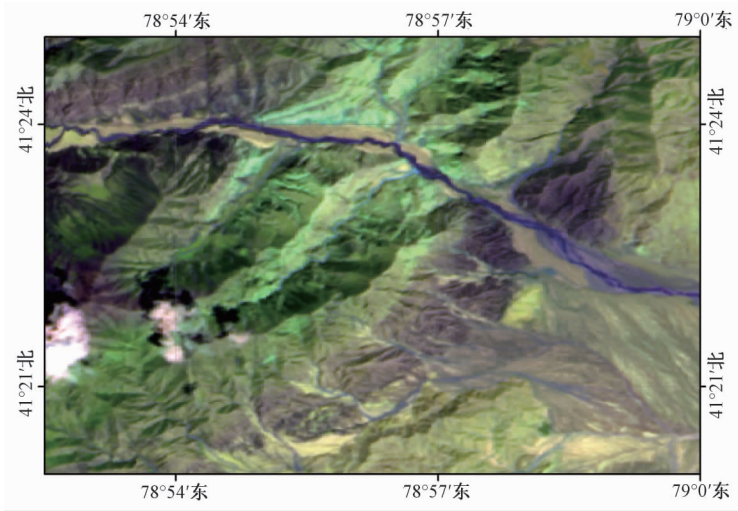


图 2 ASTER 原始影像 (R: 8, G: 4, B: 1)

Fig. 2 Original image of ASTER (R: 8, G: 4, B: 1)

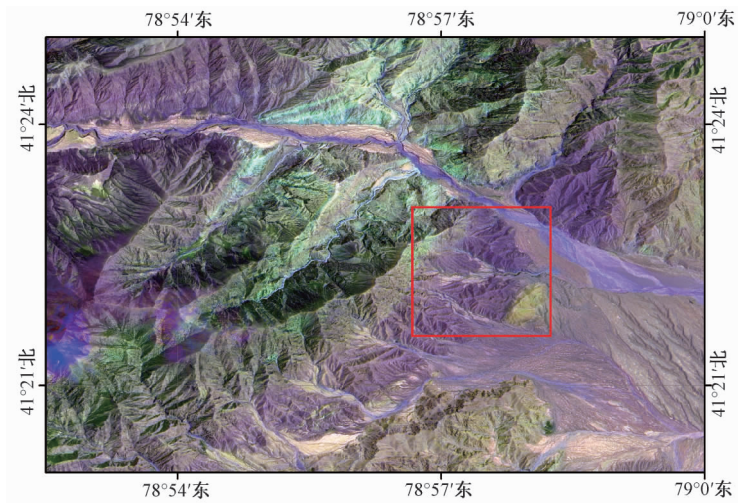


图 3 ASTER 与 SPOT6 协同影像 (R: 8, G: 4, B: 1)

Fig. 3 Cooperative image of ASTER and SPOT6 (R: 8, G: 4, B: 1)

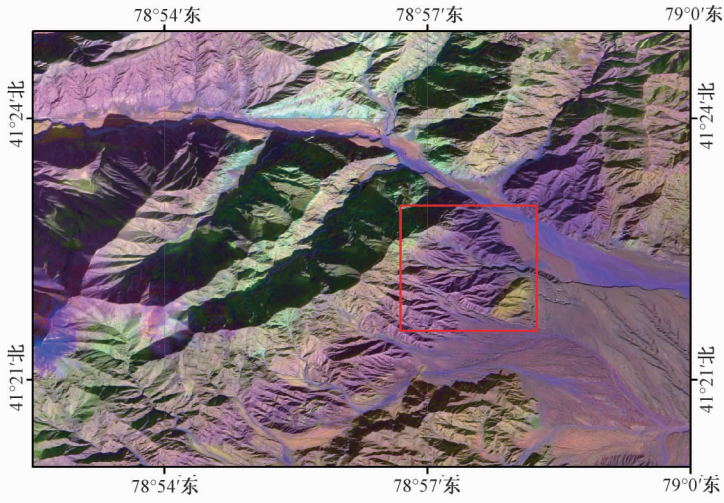


图4 ASTER与GF-2协同影像(R: 8, G: 4, B: 1)

Fig. 4 Cooperative image of ASTER and GF-2 (R: 8, G: 4, B: 1)

GF-2 协同影像(见图4), ASTER与GF-2协同数据在影像纹理清晰度上比ASTER与SPOT6协同数据更胜一筹,如图4红色矩形框内地貌具有清晰的树枝状、梳状影像形迹,能够非常直观地被识别出来,而图3中地貌特征则需仔细甄别。此外,由于太阳高度、地形高差以及SPOT6、GF-2两种传感器数据采集模式的差异,GF-2影像没能较好地消除阴影的影响,致使ASTER与GF-2协同数据在阴影区数据显示效果上弱于ASTER与SPOT6协同数据。因此,在地形起伏较大的地区可采用ASTER与SPOT6协同数据,起伏不大的地区可采用ASTER与GF-2协同数据,进行岩石影像单元边界的圈定,使地质界线解译效果达到最佳。

3.2 矿物丰度指数法

矿物丰度指数法能有效减弱大气反照率、地形坡度等因素的干扰,增强不同矿物光谱特征之间的差异,被广泛应用于地质填图中^[18]。矿物丰度指数法主要是利用矿物的诊断性光谱特征突出矿物在影像上的信息,以便于进一步划分主体岩性、细化填图。

据乌什县区域地质构造资料,研究区主体岩性为碳酸盐岩和碎屑岩,二者所包含矿物在光谱特征上有较大的区别。碳酸盐岩多表现出由 CO_3^{2-} 矿物引起的吸收特征,在可见光、近红外波段,碳酸盐矿物的光谱特征主要取决于金属阳离子电子的跃迁,但这个过程所引起的谱带特征相对短波红外振动过程产生的谱带特征表现较弱。振动过程一般呈现5个主要的光谱特征($2.55\ \mu\text{m}$ 、 $2.35\ \mu\text{m}$ 、 $2.16\ \mu\text{m}$ 、 $2.0\ \mu\text{m}$ 、 $1.9\ \mu\text{m}$),这些特征是由 CO_3^{2-} 基团分子振动的倍频或合频或二者共同引起,亦或是该基团与晶格振动的相互作用产生。其中表现最强的谱带位于 $2.33\sim 2.37\ \mu\text{m}$ 和 $2.52\sim 2.57\ \mu\text{m}$ 波段间,因而成为识别碳酸盐矿物的诊断性谱带,而 $2.33\sim 2.37\ \mu\text{m}$ 谱带恰好对应ASTER影像短波红外波段第8波段,因而 $\text{ASTER}(B7+B9)/B8$ 可以用于识别和提取碳酸盐岩信息。碎屑岩多表现出由含 Fe^{3+} 矿物、含 Al-OH 或 Mg-OH 等黏土矿物引起的吸收特征,其对应谱带分别为 $0.5\sim 0.9\ \mu\text{m}$ 、 $2.16\sim 2.215\ \mu\text{m}$ 、 $2.3\ \mu\text{m}$ 。ASTER第1波段对应 Fe^{3+} 矿物 $0.5\ \mu\text{m}$ 附近的吸收特征,因此通过 $\text{ASTER}(B2/B1)$ 来提取 Fe^{3+} 矿物的分布信息; Al-OH 矿物在 $2.2\ \mu\text{m}$ 波长的对称吸收光谱特征对应于ASTER影像短波红外波段第6波段,因此利用 $\text{ASTER}(B5+B7)/B6$ 可以计算 Al-OH 矿物的丰度; Mg-OH 矿物在 $2.3\ \mu\text{m}$ 存在双重吸收谱带,与 CO_3^{2-} 的特征吸收谱带的位置相同,但

Mg-OH 矿物的吸收谱带深度较 CO_3^{2-} 的浅, 基于此, 通过设置 ASTER (B7 + B9)/B8 不同的阈值可以区分 Mg-OH 矿物 (见图 5), 设置 ASTER (B7 + B9)/B8 较高的阈值可以提取碳酸盐矿物丰度指数, 较低值区域则为 Mg-OH 矿物丰度指数。

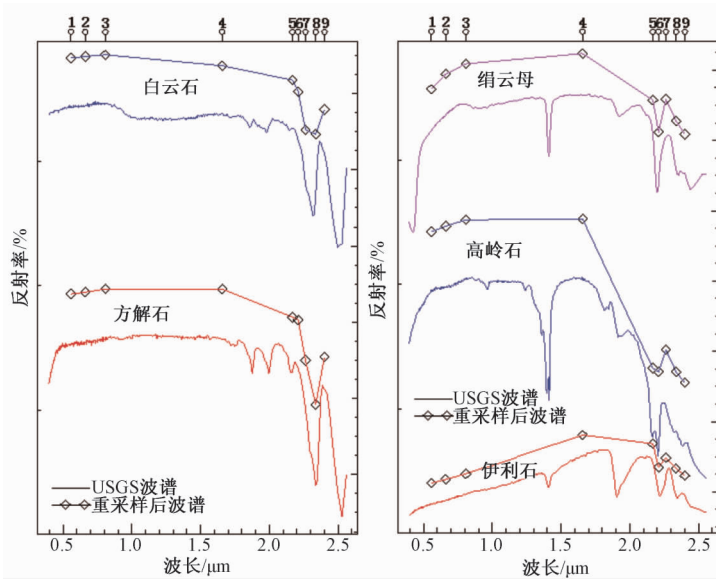


图 5 碳酸盐矿物和典型黏土类矿物光谱曲线

Fig. 5 Spectral curves of carbonate minerals and typical clay minerals

通过彩色合成法将矿物丰度指数 ASTER (B7 + B9)/B8、ASTER (B5 + B7)/B6、ASTER (B2/B1) 分别赋予红通道 (R)、绿通道 (G)、蓝通道 (B), 从矿物丰度指数合成图 (见图 6) 来看, 碳酸盐矿物在合成图上主要呈红色、品红色、粉红色、橙红色; Mg-OH 黏土矿物在合成图上呈橙黄色、黄色; Al-OH 黏土矿物在合成图上主要呈深绿色、浅绿色、蓝绿色、黄绿色; 含 Fe^{3+} 矿物在合成图上主要呈深蓝色、浅蓝色、蓝紫色。对比矿物丰度指数合成图 (见图 6) 与传统的彩色短波红外、近红外、可见光合成影像 (见图 2) 可见, 矿物丰度指数法所得结果影像拥有更为丰富的色彩信息, 色差更为明显, 岩性的微弱差别更为显著, 可为进一步判别主体岩性, 圈定岩性界线提供重要依据。

3.3 端元提取及波谱分析法

端元提取及波谱分析法是利用有效地算法将混合像元中具有稳定光谱特征的地物像元 (端元) 分解出来, 并将其与实验室光谱或野外实测光谱进行匹配, 最终确定该端元实际地物类别的一种地物识别方法, 在快速岩性填图、高效地划分岩性单元方面被广泛应用。

岩石光谱主要由组成岩石的矿物光谱叠加而成, 矿物光谱特征是岩石光谱特征的主要决定因素。端元是具有稳定光谱特征的地物单元 (纯净光谱像元), 岩石光谱随矿物成分及含量不同而发生较大变化, 因此端元选取时重点考虑组成岩石主要矿物的光谱。图像端元提取常选用纯净像元指数 (Pixel Purity Index, PPI) 法和逐次最大角凸锥体 (SMACC) 法等获得^[19]。PPI 法是对原始影像做纯净像元筛选, 剔除不纯净像元, 有效提高端元选择精度。但该方法采用交互性提取端元, 受分析者主观因素影响较大。SMACC 法是一种基于凸锥模型的自动获取图像中端元并提供端元丰度图像的方法, 自动的端元提取方式大大提高了数据处理效率, 消除了人为因素对结果的影响, 适用于大面积快速进行中小比例尺岩性的提取工

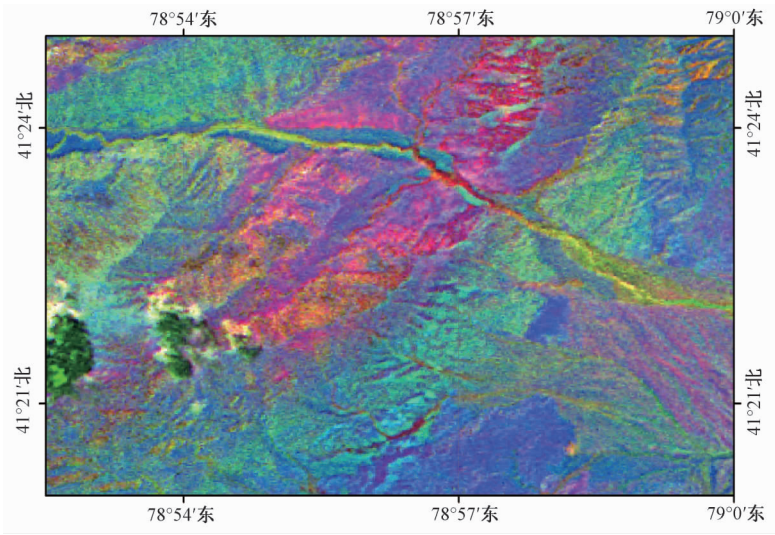


图6 矿物丰度指数法彩色合成图

Fig. 6 Synthesized color image according to mineral abundance index

作^[20]。SMACC 算法公式如下^[21]：

$$E(b, i) = \sum_k^n R(b, k) A(k, j) \quad (1)$$

式中： E —端元波谱； b —波段索引； i —像素索引； j, k —从1到最大端元 n 的索引； \mathbf{R} —包括端元波谱（列）的矩阵，行表示独立像元； \mathbf{A} —包括每个像素中端元 j 对端元 k 的丰度矩阵。

本研究利用 SMACC 算法共提取 10 个端元，通过对比遥感影像和利用 JPL 光谱库对端元进行光谱分析，排除阴影、水体、云、植被等干扰端元以及分布破碎的端元，最后剩下能辅助解译和岩性信息提取的端元为 3 个。对端元波谱进行分析可知，端元 2 光谱在 $0.5 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 之间有弱吸收特征，吸收中心大致对应 ASTER 第 1 波段，在 $2.209 \mu\text{m}$ 、 $2.336 \mu\text{m}$ 附近存在 2 个吸收特征，吸收中心对应 ASTER 第 6 波段和第 8 波段，根据波谱分析结果可知该端元具备含 Fe^{3+} 矿物、 Al-OH 矿物和 CO_3^{2-} 矿物的特征；端元 4 在 $2.16 \sim 2.20 \mu\text{m}$ 有强烈的吸收特征，中心波长对应 ASTER 第 6 波段，根据波谱分析结果，该端元主要吸收特征为含 Al-OH 矿物的典型吸收特征；端元 5 在 $2.33 \mu\text{m}$ 有较为强烈的深吸收特征，吸收中心大致对应 ASTER 第 8 波段，根据波谱分析结果，该端元与含 CO_3^{2-} 矿物光谱特征匹配（见图 7）。

对利用 SMACC 算法所提取的端元 2、端元 4、端元 5 丰度图分别赋予红通道（R）、绿通道（G）、蓝通道（B）进行彩色合成，得到 SMACC 端元丰度合成图（见图 8），图中碳酸盐矿物主要呈红色、橙红色、黄色、黄绿色、浅绿色； Al-OH 矿物主要呈绿色、蓝绿色。与以往 ASTER 的彩红外合成影像（见图 2）相比，SMACC 端元丰度合成图（见图 8）色差更明显，岩性细微差别更为显著；与矿物丰度指数法所得彩色合成图（见图 6）相比，SMACC 算法所得结果更加准确突出了岩性的色调和纹理细节。综合分析可知，3 幅图像总体色调区分基本一致，说明大类岩性的区分在 3 幅图上均可分辨。相对于传统彩色合成图，经矿物丰度指数法和 SMACC 算法提取端元丰度合成的影像色彩更加丰富，细节更显著，对岩性边界圈定十分有利。

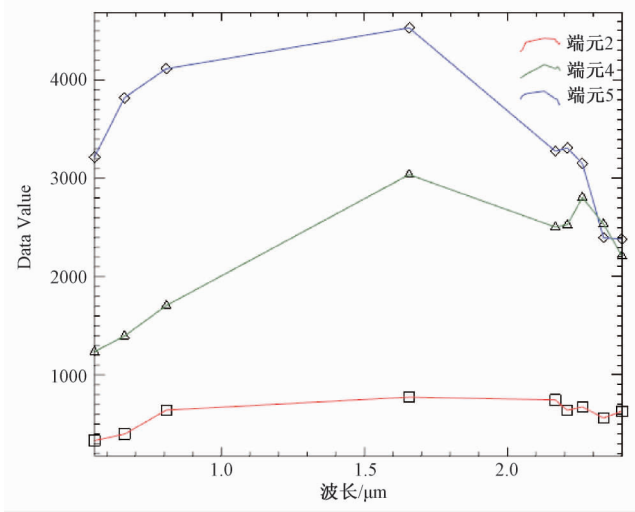


图7 SMACC 算法所提取端元波谱

Fig. 7 The spectral extracted by SMACC algorithm

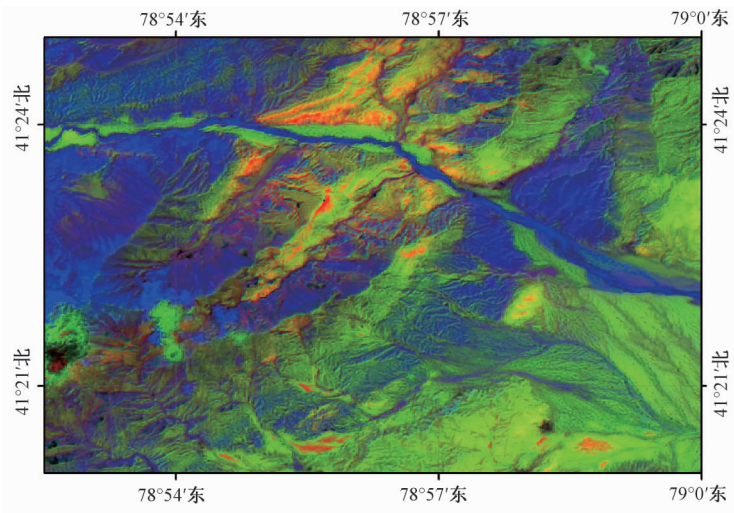


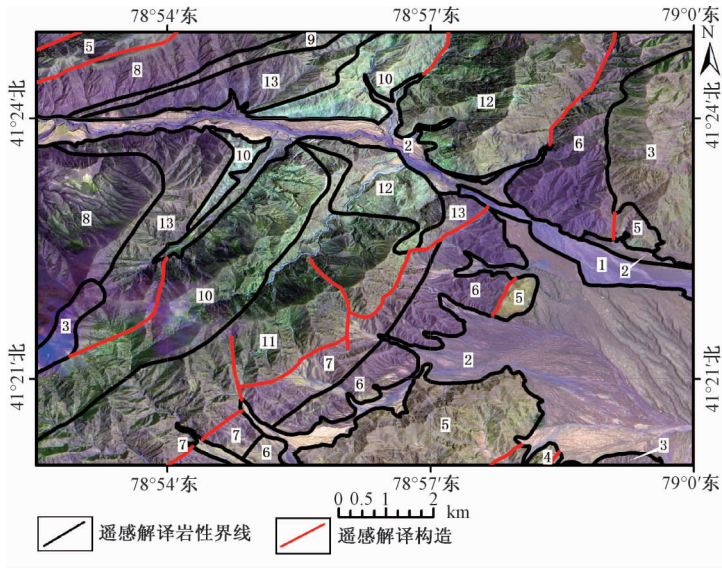
图8 SMACC 端元丰度合成图

Fig. 8 Synthesis image according to SMACC end member abundance

4 岩性单元提取结果分析

本次研究以 ASTER 数据、ASTER 与 SPOT6 协同数据、ASTER 与 GF-2 协同数据等为基础影像数据, 并选择最佳波段组合进行 RGB 彩色合成增强影像差异, 结合已有研究区地质资料, 初步圈定岩性影像差异单元边界, 继而利用矿物丰度指数法、SMACC 端元丰度提取等方法识别研究区内主要大类岩性的分布位置和范围, 最后结合野外实际调查数据, 依据实际地质背景和影像质量进行筛选, 获得最终的岩性单元解译图 (见图 9、图 10)。

根据岩性解译图和野外实际调查可知, ASTER 及其与 GF-2、SPOT6 协同数据解译的地



1—冲洪积物；2—灰色半固结砾石层；3—灰色厚-巨厚层状粗砾岩夹巨砾岩、中细砾岩、砂岩；4—灰白色、灰色厚层状含生物碎屑粉晶、亮晶灰岩；5—深灰色厚层状与薄层状生物碎屑灰岩互层；6—灰-灰黄色钙质粉砂岩、灰色粉砂质灰岩，夹灰黑色薄层；7—灰色薄层状与厚层状泥晶灰岩不等厚互层，夹钙质粉砂岩；8—灰黑色厚层状泥晶灰岩，夹浅灰绿色薄层状钙质粉砂岩，局部见褐铁矿化黄铁矿颗粒；9—深灰色-浅灰绿色中薄层状粉砂质灰岩、钙质粉砂岩；10—灰白色与灰色中厚层状含生物碎屑灰岩；11—深灰色与浅灰色中厚层状含生物碎屑灰岩；12—灰白色厚层状含生物碎屑灰岩；13—深灰色夹灰白色中厚层、中薄层状含生物碎屑灰岩

图9 研究区遥感解译岩性构造图

Fig. 9 Lithology and structure map interpreted by remote sensing image of study area

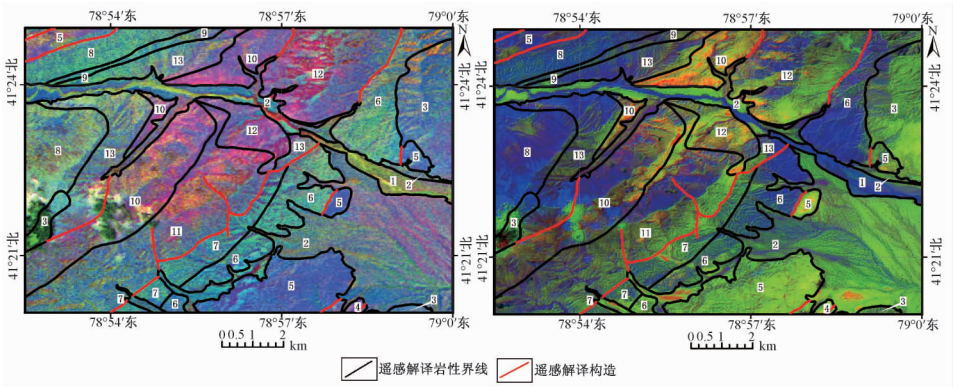
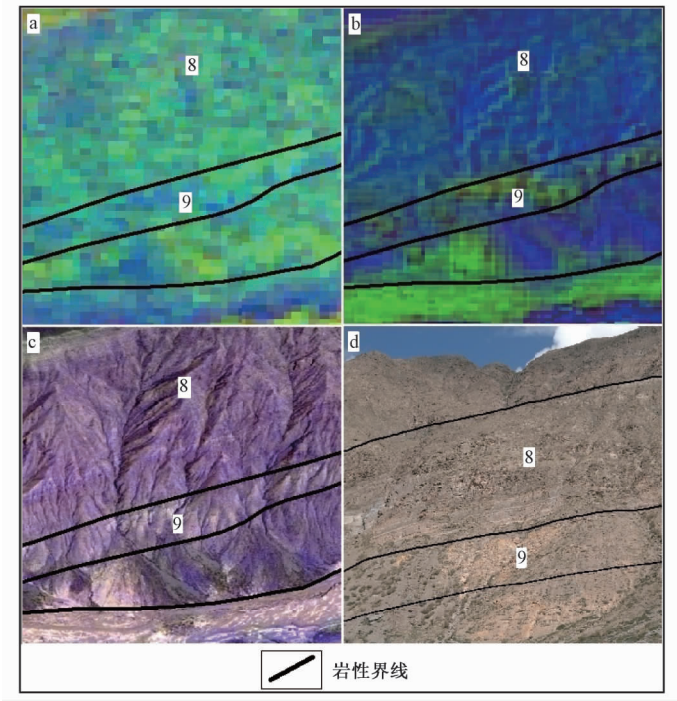


图10 矿物丰度指数图、SMACC端元丰度合成图与遥感解译岩性构造叠加图
Fig. 10 Stacking chart of mineral abundance index image, synthesis image of SMACC end member abundance and lithology-structure map

质界线和提取的岩性信息是客观存在的，野外区分标志除了岩性差别外，主要区别是颜色的不同（见图11、图12）。矿物丰度指数法和SMACC端元波谱分析法能够清晰圈定差异岩性的界线，但对于相同岩性不同颜色特征的岩石则难以取得较好的效果（见图10、图11a、图11b）；SMACC端元波谱分析法在较小地质体或薄层岩性单元上识别效果优于矿物丰度指数法，如图11a、11b中岩性单元8（灰黑色厚层状泥晶灰岩，夹浅灰绿色薄层状钙质粉砂岩，



a—矿物丰度指数图; b—SMACC 端元丰度合成图; c—ASTER 与 SPOT6 协同影像; d—野外照片; 8—灰黑色厚层状泥晶灰岩, 夹浅灰绿色薄层状钙质粉砂岩, 局部见褐铁矿化黄铁矿颗粒; 9—深灰色-浅灰绿色中薄层状粉砂质灰岩、钙质粉砂岩

图 11 岩性单元 8 和单元 9 遥感地质特征及野外地质特征

Fig. 11 The remote sensing and field outcrop geological characteristics of lithology unit 8 and unit 9

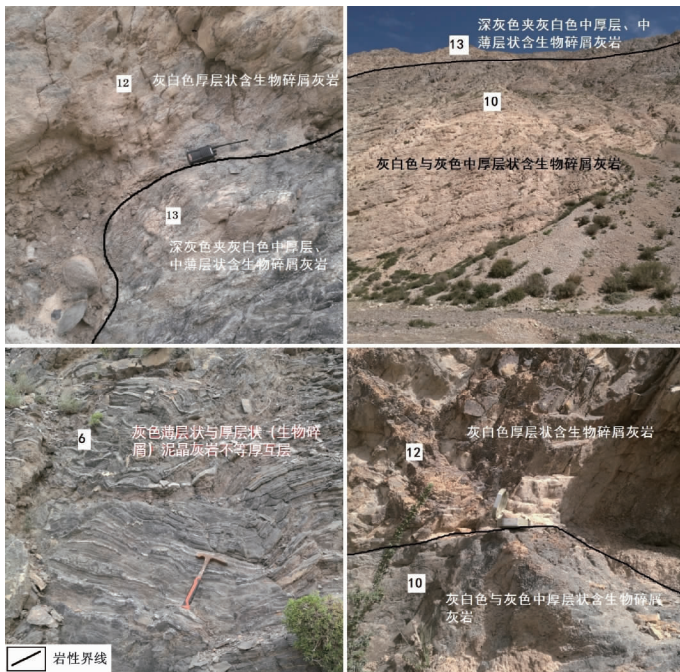


图 12 岩性单元野外照片

Fig. 12 Outcrop photos of lithology units

局部见褐铁矿化黄铁矿颗粒)和岩性单元9(深灰色—浅灰绿色中薄层状粉砂质灰岩、钙质粉砂岩)之间的界线,利用矿物指数法难以确定,而SMACC端元波谱分析法则清晰展示了该岩性单元的轮廓。ASTER与SPOT6、GF-2的协同数据能够在色调纹理上区分相同岩性不同颜色特征地质界线,如图9中协同影像的色调和纹理特征清晰表示了岩性相似的10、11、12、13等岩性单元之间的差异。因此,有效地结合多源数据协同增强法、矿物丰度指数法、SMACC端元波谱分析法能够最大化地利用遥感地质手段圈定岩性单元界线,为进一步进行研究区地层划分提供重要的参考资料。

5 结论

本文对新疆乌什县北山1:50000填图试点进行岩性单元信息提取研究,并利用典型矿物光谱特征规律对ASTER、GF-2、SPOT6影像使用不同的方法进行岩性信息增强,取得了良好的效果。

ASTER与GF-2、SPOT6影像协同方法较好地增强了岩石的空间纹理特征和影像清晰度;相对于协同影像,经矿物丰度指数法和SMACC算法提取端元丰度合成的影像色彩更加丰富,细节更显著,对岩性边界圈定十分有利;与矿物丰度指数法相比,SMACC算法所得结果更能准确地突出岩性色调差异和岩石纹理细节。

通过多源数据协同、矿物丰度指数方法和SMACC端元分析法等的综合应用,得到了符合填图精度要求、信息丰富的遥感影像图,并在此基础上很好地细分了研究区的岩性单元。

经野外验证,所解译岩性界线与野外实际较为吻合,表明此次研究较好地体现了遥感技术在艰险区域岩性信息提取应用中的优越性,有效地结合多源数据协同增强法、矿物丰度指数法、SMACC端元波谱分析法能够最大化地利用遥感地质手段圈定岩性单元界线,为进一步进行研究区地层划分提供重要的参考资料。

由于数据质量原因及西北艰险区、无人区的严酷条件,给野外验证工作带来了许多不便,部分矿物异常难以验证。此外高程差引起的地表分带性特征干扰了矿物指数的正确应用。云、植被、阴影以及冰缘冻融作用所产生的碎屑坡积物等干扰因素较多,使得量化遥感的应用不能有效实施。

参 考 文 献

- [1] 王润生,熊盛青,聂洪峰,等. 遥感地质勘查技术与应用研究[J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1699~1743.
WANG Run-sheng, XIONG Sheng-qing, NIE Hong-feng, et al. Remote sensing technology and its application in geological exploration [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1699~1743.
- [2] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks I: Silicate minerals [J]. Modern Geology, 1970, 1: 238~300.
- [3] Hunt G R, Salisbury J W. Visible and Near Infrared Spectra of Minerals and Rocks II: Carbonates [J]. Modern Geology, 1971, 2: 23~30.
- [4] 燕守勋,武晓波,周朝宪,等. 遥感和光谱地质进展及其对矿产勘查的实践应用[J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 13~29.
YAN Shou-xun, WU Xiao-bo, ZHOU Chao-xian, et al. Remote sensing and spectral geology and their applications to mineral exploration [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(1): 13~29.
- [5] 甘甫平,王润生,马嵩乃,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.

- [6] 王晋年, 李志忠, 张立福, 等. “光谱地壳”计划——探索新一代矿产勘查技术 [J]. *地球信息科学学报*, 2012, 14 (3): 344 ~ 351.
- WANG Jin-nian, LI Zhi-zhong, ZHANG Li-fu, et al. “Spectral Crust” project: Research on new mineral exploration technology [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2012, 14 (3): 344 ~ 351.
- [7] 刘超群, 马祖陆, 莫源富. 遥感岩性识别研究进展与展望 [J]. *广西科学院学报*, 2007, 23 (2): 120 ~ 124.
- LIU Chao-qun, MA Zu-lu, MO Yuan-fu. Progress and prospect of study on remote sensing lithologic identification [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2007, 23 (2): 120 ~ 124.
- [8] Loughlin W. Principal component analysis for alteration mapping [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1991, 57 (9): 1163 ~ 1169.
- [9] 丑晓伟, 傅碧宏. 干旱区 TM 图像岩石地层信息提取与分析方法研究 [J]. *沉积学报*, 1995, (s1): 164 ~ 170.
- CHOU Xiao-wei, FU Bi-hong. Extraction and analysis of lithostratigraphic information from Landsat Thematic Mapper Imagery in arid region [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, (s1): 164 ~ 170.
- [10] Rowan L C, Mars J C, Simpson C J. Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 99 (1/2): 105 ~ 126.
- [11] 时丕龙, 付碧宏, 二官芳树. 基于 ASTER VNIR-SWIR 多光谱遥感数据识别与提取干旱地区岩性信息——以西南天山柯坪隆起东部为例 [J]. *地质科学*, 2010, 45 (1): 333 ~ 347.
- SHI Pi-long, FU Bi-hong, Ninomiya Y. Detecting lithologic features from ASTER VNIR-SWIR multispectral data in the arid region: A case study in the eastern Kalpin uplift, southwest Tianshan [J]. *Chineses Journal of Geology*, 2010, 45 (1): 333 ~ 347.
- [12] 刘本培. 西南天山构造格局与演化 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- LIU Ben-pei. Tectonic pattern and evolution of southwest Tianshan [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.
- [13] 梁群峰, 杨克俭, 杨运军, 等. 西南天山梅尔盖西地区成矿地质条件及成矿预测 [J]. *西北地质*, 2013, 46 (1): 91 ~ 102.
- LIANG Qun-feng, YANG Ke-jian, YANG Yun-jun, et al. Metallogenic prognosis in the Meiergaixi region, southwest Tianshan orogeny [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46 (1): 91 ~ 102.
- [14] 赵仁夫, 杨建国, 王满仓, 等. 西南天山地区矿产资源潜力综合评价报告 [R]. 西安: 西安地质矿产研究所, 2003.
- ZHAO Ren-fu, YANG Jian-guo, WANG Man-cang, et al. Comprehensive evaluation report on mineral resources potential in southwest Tianshan region [R]. Xi'an: Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, 2003.
- [15] Itami H, Roehl T W. Mobilizing Invisible Assets [M]. Harvard University Press, 1991.
- [16] 马艳华. 高空间分辨率和高光谱分辨率遥感图像的融合 [J]. *红外*, 2003, (10): 11 ~ 16.
- MA Yan-hua. Fusion of high spatial resolution and high spectral resolution remote sensing image [J]. *Infrared*, 2003, (10): 11 ~ 16.
- [17] Hunt G R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared [J]. *Geophysics*, 1977, 42 (3): 501.
- [18] Amer R, Kusky T, Ghulam A. Lithological mapping in the central eastern desert of Egypt using ASTER data [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2010, 56 (2): 75 ~ 82.
- [19] 杨可明, 刘士文, 王林伟, 等. 光谱最小信息熵的高光谱影像端元提取算法 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34 (8): 2229 ~ 2233.
- YANG Ke-ming, LIU Shi-wen, WANG Lin-wei, et al. An algorithm of Spectral Minimum Shannon Entropy on extracting endmember of hyperspectral image [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34 (8): 2229 ~ 2233.
- [20] 褚海峰, 翟中敏, 赵银娣, 等. 一种多/高光谱遥感图像端元提取的凸锥分析算法 [J]. *遥感学报*, 2007, 11 (4):

460 ~ 467.

CHU Hai-feng, ZHAI Zhong-min, ZHAO Yin-di, et al. A Convex Cone Analysis Method for end member selection of multispectral and hyperspectral images [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11 (4): 460 ~ 467.

[21] 高晓惠, 相里斌, 魏儒义, 等. 基于光谱分类的端元提取算法研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31 (7): 1995 ~ 1998.

GAO Xiao-hui, XIANG Li-bin, WEI Ru-yi, et al. Research on endmember extraction algorithm based on spectral classification [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31 (7): 1995 ~ 1998.

LITHOLOGICAL INFORMATION EXTRACTION IN MOUNTAIN CANYON REGION BASED ON MULTI-SOURCE REMOTE SENSING DATA: A CASE STUDY OF 1:50000 PILOT GEOLOGICAL MAPPING IN BEISHAN AREA IN WUSHI, XINJIGAN

MENG Peng-yan¹, SUN Jie², YU Chang-chun², MU Chao¹,
SHUAI Shuang¹, XIE Fei¹, MENG Dan¹

(1. *School of Earth Sciences, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China;*

2. *China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;*

3. *Hubei Institute of Land Surveying And Mapping, Wuhan 430010, China)*

Abstract: The location of 1:50000 pilot geological mapping program in Beishan, Wushi County, lies at the junction point of north-west margin of Tarim basin and south-west of Tianshan. According to the geomorphic characteristics of high altitude and deep negative relief, the study area belongs to alpine valley region. Based on the typical lithology spectral absorption characteristics, we carried out some research on the enhancement and absorption of lithologic differences information, and summarized a series of methods to divide the lithological units margins according to multi-source remote sensing data. On the foundation of ASTER, ASTER and SPOT6 cooperative data, ASTER and GF-2 cooperative data, we choose the best wave combination to synthesize RGB color and enhance the difference between images. And we preliminarily mark the boundaries of different image units according to the known geological data of study area. Then, the final lithology units can be interpreted by combining field survey data, realistic geological background, and geomorphic images. Thus, the study results provide reference for further optimized stratum division and comparison.

Key words: alpine valley region; multi source remote sensing data; mineral abundance index; SMACC; lithological information extraction