

引用格式: Yin Chuntao, Xie Wenyang, Wang Qi, *et al.* Study on Multi-source Remote Sensing Lithologic Mapping in Baixiani Mountain Area of Beishan, Gansu Province[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(5): 1146-1157. [尹春涛, 谢文扬, 王奇, 等. 甘肃北山白峡尼山地区多源遥感岩性制图研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(5): 1146-1157.]
doi: 10.11873/j.jissn.1004-0323.2020.5.1146

甘肃北山白峡尼山地区多源遥感岩性制图研究

尹春涛¹, 谢文扬¹, 王奇², 刘磊¹, 孟刚刚¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054;

2. 中国资源卫星应用中心, 北京 100094)

摘要: 甘肃北山地区地质构造复杂, 岩浆活动强烈, 该区工作程度较低, 已有1:20万、1:5万地质图对区内岩性(如中酸性侵入岩)圈定较为笼统, 且界线不够准确。以甘肃北山白峡尼山地区为研究区, 利用彩色空间变换(IHS)、Brovey等方法对ETM多光谱图像与资源三号(ZY3)全色波段高分辨率图像进行空间分辨率融合, 获得兼具ETM光谱分辨率与资源三号空间分辨率之长的高分辨率图像。再对原始影像进行比值、主成分分析及假彩色合成等增强处理, 突出其岩性差异, 将各种方法处理的影像与数字高程模型(DEM)数据结合构建三维影像, 进行综合解译。对解译结果进行野外验证、样品薄片鉴定及反射光谱特征分析, 据此对结果进行修正, 获得了研究区遥感解译地质图。结果表明: 对于西部基岩露头较好地区, 利用多源遥感数据融合可更新现有地质图, 为后续填图、找矿工作提供参考。

关键词: 多光谱; 岩性解译; 光谱分析; 多源数据

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)05-1146-12

1 引言

随着遥感影像空间分辨率和光谱分辨率的不断提高, 遥感在区域地质调查及矿产资源勘查中得到了广泛应用, 相关应用主要集中在构造、岩性解译及蚀变信息提取方面^[1-2]。遥感岩性制图是通过遥感探测器获取到的地表岩石的电磁波谱信息, 结合影像处理和野外调查结果, 分析不同岩性的波谱特征之间的差异并达到识别研究区不同岩性单元的目的^[3]。

甘肃北山地区位于哈萨克斯坦、准噶尔和塔里木三大古陆系统或板块的交界部位^[4], 该区地质构造复杂, 岩浆活动强烈且时间跨度大(从新元古代至古生代末期)、空间分布范围广, 岩浆岩总出露面积占测区总面积的40%以上。除去新生界, 地层单

元所占面积不足总面积的20%。

同时, 北山成矿带是我国西北地区固体金属矿产的重要资源地, 目前已发现铜-多金属、镍铜、富铅锌、铀、优质锰等矿产地90余处, 其中大中型以上矿床20余处, 已发现的矿床主要有黑山镍铜矿、辉铜山铜矿、金滩子金矿等^[5], 因此该区被作为金、铜有关的岩浆矿床的重点勘查区。甘肃北山地区干旱少雨, 植被覆盖稀少, 第四系大多仅分布在河谷和洼地, 基岩出露面积大^[6-7], 为遥感地质研究的理想区域, 有利于岩性制图工作的开展。

本研究以甘肃北山白峡尼山地区为研究对象, 前期在该区开展野外工作过程中发现, 已有1:20万、1:5万地质图对岩性(如中酸性侵入岩)圈定较为笼统, 且有大量较小岩体、岩脉被遗漏。针对这一问题, 本研究采用多源遥感数据(多时相ETM多

收稿日期: 2019-08-22; 修订日期: 2020-08-15

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2018KJXX-062), 中央高校基本科研业务费专项资金(300102278303, 300102270204)。

作者简介: 尹春涛(1998—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事遥感地质应用研究。E-mail: 2019127067@chd.edu.cn

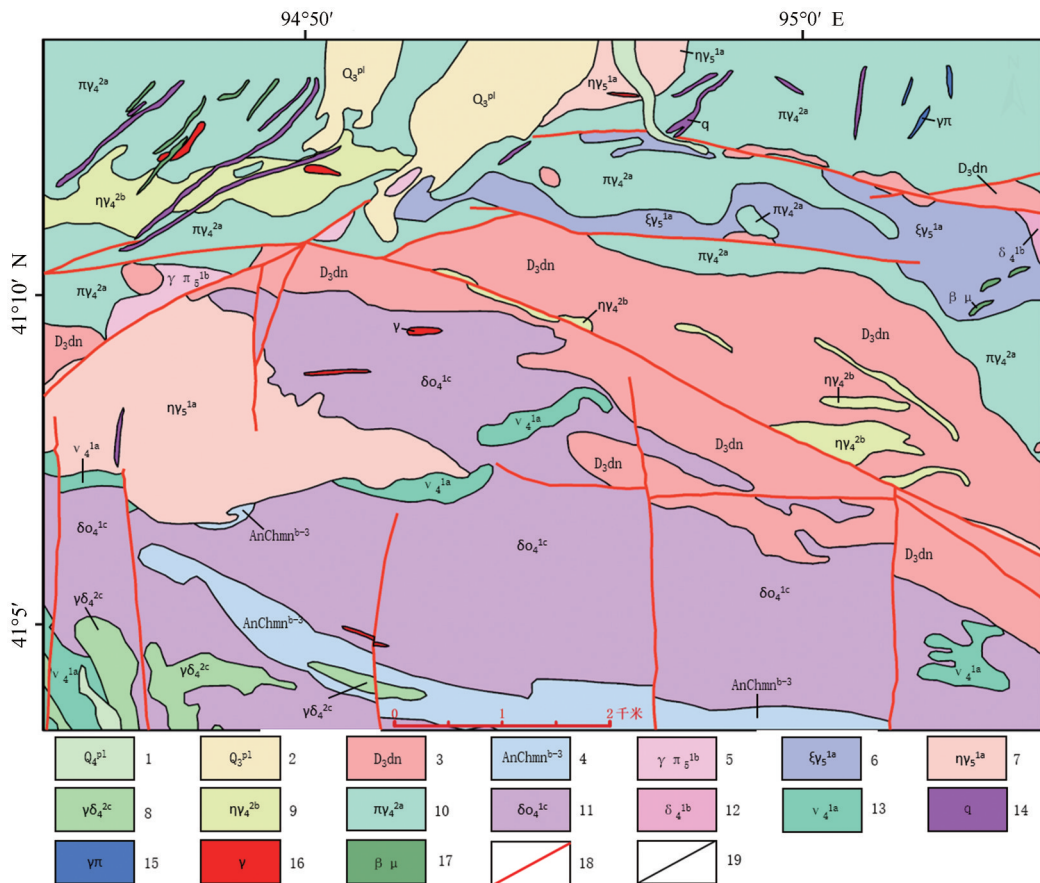
通讯作者: 刘磊(1982—), 男, 黑龙江克东人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事遥感应用研究。E-mail: liul@chd.edu.cn

光谱与资源三号多光谱及全色波段),在对数据进行预处理的基础上,通过空间分辨率融合、比值、主成分分析等多种数字图像处理对多光谱遥感图像进行增强处理,并与数字高程模型(DEM)数据结合构建三维影像,依据地质图及野外查证点建立解译标志,解译岩体、火山岩、岩脉和地层单元,编制研究区遥感岩性解译图。

2 研究区地质概况

甘肃北山白峡尼山地区地层出露较简单,主要

为前长城系明舒井群上亚群三岩组($AnChmn^{b-3}$)和泥盆系上统墩墩山群(D_3dn),其次为第四系上更新统(Q_3^{pl})及全新统(Q_4^{pl})。其中前长城系明舒井群上亚群三岩组($AnChmn^{b-3}$)呈近东西向带状、条带状产出,岩性组合以条痕状混合岩、片岩、片麻岩、石英岩、变粒岩、大理岩为主;泥盆系上统墩墩山群(D_3dn)呈北西—南东向产出,主要岩性为斜长流纹岩、英安岩、安山岩,岩石发生一定程度的变形;第四系上更新统(Q_3^{pl})为洪积砂砾石及砂土层;第四系全新统(Q_4^{pl})为洪积砂砾石及砂土(图1)。



1. 第四系全新统洪积砂砾石及砂土; 2. 第四系上更新统洪积砂砾石及砂土层; 3. 泥盆系上统墩墩山群灰绿色斜长流纹岩、英安岩、安山岩; 4. 前长城系明舒井群上亚群三岩组条痕状混合岩、片岩、片麻岩、石英岩; 5. 印支期第二次砖红、深肉红色钾长花岗斑岩、二长花岗斑岩; 6. 印支期第一次肉红色钾长花岗斑岩; 7. 印支期第一次肉红色二长花岗岩; 8. 华力西期中期第三次灰白、黄白色花岗闪长岩、二长花岗岩; 9. 华力西期中期第二次黄白色二长花岗岩; 10. 华力西期中期第一次黄白、肉红色巨斑似斑状钾长花岗斑岩、二长花岗岩; 11. 华力西期早期第三次灰白色片麻状石英闪长岩、石英二长闪长岩; 12. 华力西期早期第二次灰白、深灰色闪长岩; 13. 华力西期早期第一次灰黑、灰绿色角闪辉长岩; 14. 石英岩; 15. 花岗斑岩脉; 16. 花岗岩脉; 17. 辉绿玢岩脉; 18. 断层; 19. 地质界线

图1 研究区1:5万地质简图

Fig.1 1:50 000 geological map of the study area

甘肃北山地区岩浆作用较频繁,而这些岩浆侵入与喷发事件记录了古亚洲洋发生裂解、扩展和消亡的循环过程^[8]。研究区内花岗岩类岩石出露最多,辉长岩次之,同时发育多种类型脉岩。该区侵入岩具有多期性侵位的特点,主要为华力西期与印

支期岩浆侵入的产物。其中,华力西期早期的中性侵入岩主要侵入泥盆纪墩墩山群中,且被后期花岗岩侵入,岩性为闪长岩、片麻状石英闪长岩、石英二长闪长岩;华力西期中期岩性主要为巨斑似斑状钾长花岗斑岩、二长花岗岩、花岗闪长岩,侵入于华力

西期早期闪长岩及泥盆纪墩墩山群中;印支期共有两次侵入,第一次为钾长花岗岩、二长花岗岩,第二次为钾长花岗斑岩、二长花岗斑岩(图1)。区内岩脉较发育,主要有花岗岩脉、花岗闪长岩脉、花岗斑岩脉、辉绿玢岩脉和石英脉等。

研究区内构造变形强烈,断层较为发育,总体可分为南北向和近北西—南东向两组。其中,近北西—南东向断层与该区域构造线方向大致相同,是区域性断裂的一部分,范围大、延伸远,与该大断裂近平行发育较多小规模次级断裂(图1)。区内南北向断层为一组右行平移断层。

3 数据与方法

3.1 数据源

采用的遥感数据为Landsat 7 ETM数据与资源三号数据。ETM数据的轨道号为137/032,获取时间为2001年10月28日;资源三号数据的轨道号为124/352,获取时间为2017年7月6日。其中,ETM数据共有7个多光谱波段,1~5和7波段空间分辨率为30 m,6波段空间分辨率为60 m。资源三号(ZY3)数据全色波段空间分辨率为2.1 m,多光谱数

据有近红外、红、绿、蓝4个光谱波段,空间分辨率为6 m。在进行图像增强处理前对遥感影像进行预处理,以研究区1:5万比例尺地形图为准,对遥感影像进行几何校正;利用FLAASH模型对两种影像进行大气校正,去除大气的影响。

利用数字高程模型(DEM)与遥感影像结合构建三维影像模型,可从不同角度观察各岩性在色调、纹理、水系、粗糙度等方面的差异,提高解译精度^[9-10]。本文采用ASTER数据获取的30 m DEM数据与遥感影像结合构建三维影像。

3.2 岩石反射光谱特征分析

岩石是由矿物组成的集合体,各种矿物具有不同的光谱特征,不同岩石由于矿物组合、含量不同而具有不同的光谱特征^[11-12]。

采用美国Spectral Evolution公司SR-3500地物光谱仪对野外采集的主要岩石样品进行光谱测试,对测得的光谱曲线重采样至ETM和ZY3数据光谱范围,研究区内典型岩石光谱曲线如图2所示。花岗岩与英安岩反射率较高,且在1.4、1.9、2.2与2.35 μm 均有明显吸收特征,但花岗岩在1.4、2.2 μm 处的吸收强度较大。二长花岗岩反射率总体较低,没有明

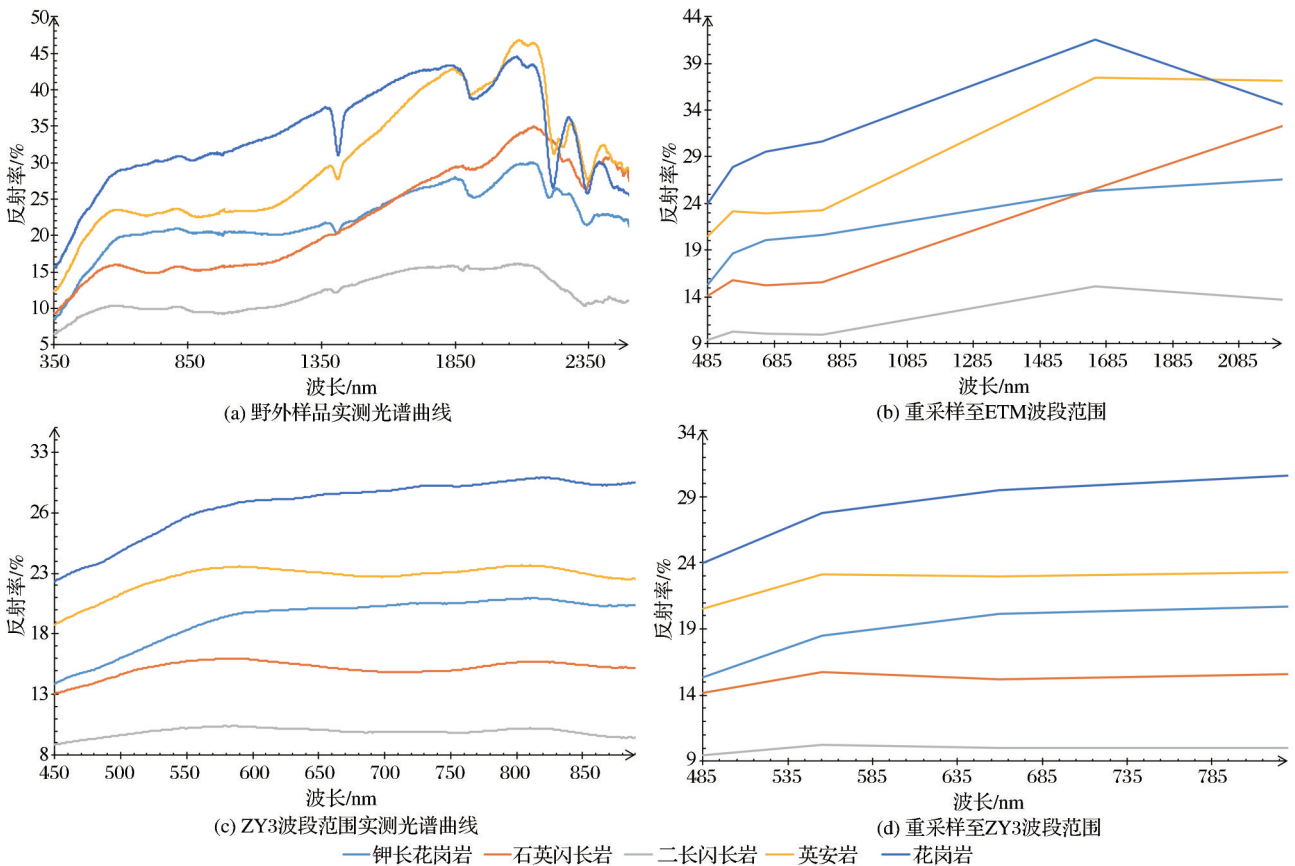


图2 研究区典型岩性样品光谱曲线

Fig.2 Spectral profiles of representative rock samples in the study area

显的吸收特征,但在近红外区间反射率有明显下降。在ZY3光谱范围内,各岩石在1、2波段反射率均随波长增大有不同程度的升高,在3、4波段曲线较平缓。花岗岩反射率最高,随波长增大而缓慢升高,反射率范围在22.41%至30.54%。二长花岗岩反射率最低,反射率范围在8.90%至10.40%。英安岩、钾长花岗岩与石英闪长岩反射率介于两者之间,且英安岩>钾长花岗岩>石英闪长岩。在ETM光谱范围内,花岗岩反射率较高,且第5波段反射率高于第7波段。二长闪长岩反射率最低,第5波段反射率也高于第7波段。石英闪长岩、钾长花岗岩与英安岩的反射率均随波长的增大而升高。钾长花岗岩与花岗岩第3波段反射率大于第2波段,但英安岩、石英闪长岩与二长闪长岩第2、3波段反射率相差不大。可以选取这些波段进行岩性增强处理。

3.3 图像处理方法

首先对遥感影像进行分辨率融合,然后采用比值法与主成分分析方法对研究区岩性进行增强处理。筛选出较好的岩性增强方法,并结合DEM数据构建三维影像,从二维、三维各种角度对研究区的各岩性特征进行观察。

3.3.1 影像分辨率融合

遥感数据的多光谱影像光谱信息较为丰富,但空间分辨率偏低,而全色影像空间分辨率较高,但不能显示色彩^[13]。通过将低分辨率的多光谱影像与高分辨率的全色波段影像进行融合处理,可使融合后的影像既具有多光谱特征,又有较高的空间分辨率^[14-15]。本文利用彩色空间变换(IHS)、主成分分析、Brovey等方法对ETM多光谱图像与资源三号(ZY3)全色波段高分辨率图像进行空间分辨率融合,获得兼具二者之长的高分辨率图像。图3为主成分分析方法融合后的741影像图。

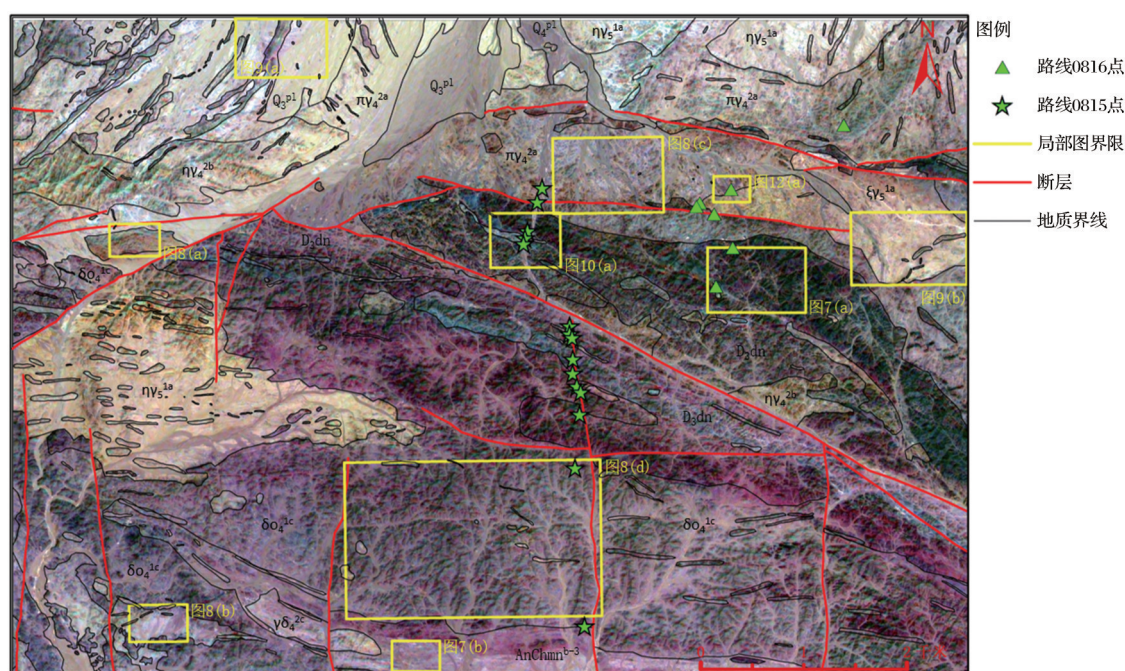


图3 主成分分析方法融合后的741影像

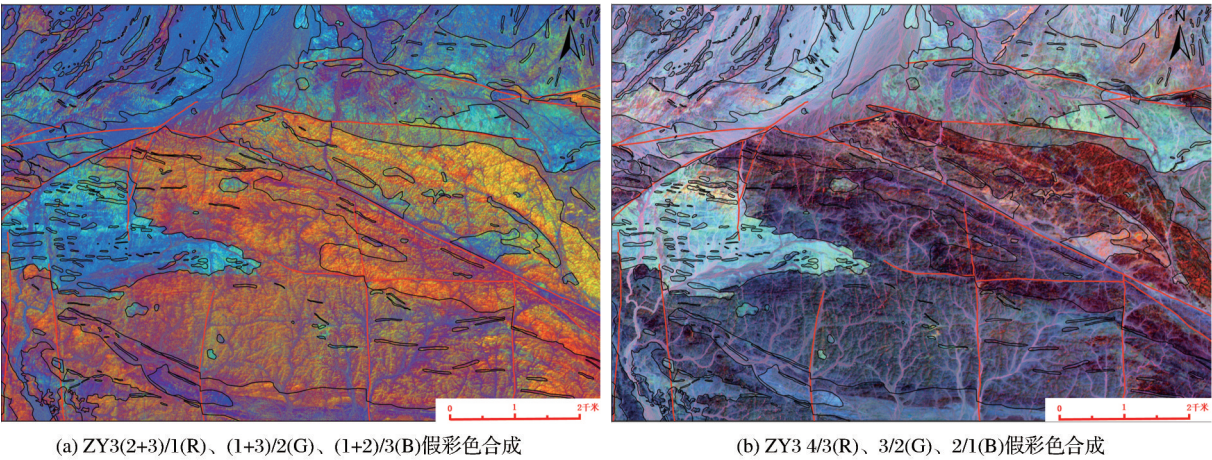
Fig.3 The 741 image fused by the principal component analysis

3.3.2 比值法

比值法可以扩大不同岩性之间较小的亮度差异,消除或减弱地形地貌等环境因素对解译的影响^[16],进而增强岩性信息。可将比值结果进行假彩色合成,即以若干个比值图像作为输入图像分别置于红绿蓝通道,在输出的彩色合成图像上常能有效地增强岩石的波谱信息差异。由于ETM数据空间分辨率低,单独使用比值法处理的效果并不理想,

而ZY3数据空间分辨率较高,所以采用ZY3进行比值处理。

选取4、3波段比值可以与植被区域进行对比,对ZY3多光谱数据进行 $R((2+3)/1)$ 、 $G((1+3)/2)$ 、 $B((1+2)/3)$ 与 $R(4/3)$ 、 $G(3/2)$ 、 $B(2/1)$ 等处理。图4为研究区资源三号多光谱影像 $(2+3)/1$ (R)、 $(1+3)/2$ (G)、 $(1+2)/3$ (B)假彩色合成图像与 $4/3$ (R)、 $3/2$ (G)、 $2/1$ (B)假彩色合成图像。



(a) ZY3(2+3)/1(R)、(1+3)/2(G)、(1+2)/3(B)假彩色合成 (b) ZY3 4/3(R)、3/2(G)、2/1(B)假彩色合成

图 4 比值假彩色合成图像

Fig.4 False color composite image of band ratio combination

3.3.3 主成分分析

主成分分析法可将具有相关性的多个波段信息压缩到少数几个完全独立的转换波段上,既可以获得绝大部分主要地物的信息,又可以压缩数据量,去除图像噪声,增强和处理岩性信息^[2,17-18]。

对研究区资源三号的 4 个波段进行主成分分析,表 1 为资源三号波段 1、2、3、4 主成分变换后的特征向量矩阵。通过分析变换后的特征向量载荷因子的大小与符号,可以看出:PC1 中所有波段的载荷均为正值,反映了各个波段的总体特征^[18];其中,与第 3 波段对应的特征向量载荷因子数值最大,贡

献值最大。PC2 中第 3、4 波段的载荷为正值,1、2 波段的载荷为负值,第 1 波段与第 4 波段贡献较大。PC3 中第 1、4 波段载荷为正值,2、3 波段为负值,且第 3、第 4 波段贡献较大。PC4 中第 2、4 波段载荷为正值,第 1、3 波段为负值,第 2 波段贡献最大,而第 4 波段贡献最小。

通过试验分析,将 PC1、2、3 分别置于红、绿、蓝通道进行假彩色合成对岩性区分能力最强,结果如图 5 所示。主成分处理结果对研究区第四系地层、印支期侵入岩、华力西期中期第三次侵入岩和石英脉的解译效果较好,岩性界线清晰。

表 1 ZY3 波段 1、2、3、4 主成分分析特征向量矩阵

Table1 Eigenvector matrix for principal component analysis of ZY3 band 1, 2, 3, 4

主成分\波段	Band1	Band2	Band3	Band4
PC1	0.38358724	0.512088198	0.577250448	0.50735434
PC2	-0.694536623	-0.37133521	0.338186531	0.515129995
PC3	0.384655525	-0.311570932	-0.561787936	0.662840853
PC4	-0.471720081	0.709083488	-0.486627276	0.194614145

3.4 三维影像构建

DEM 即数字高程模型,是根据地形高程数据对地形的数字化模拟,是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型^[19]。通过 DEM 数据与研究区遥感影像建立三维模型,从各种角度观察不同岩性特征,并结合三维影像不同角度下的色调、纹理、形态、水系和地貌等特征建立解译标志,圈定研究区各个岩性界线^[20]。构建的三维影像如图 6 所示。

4 遥感地质解译结果分析与野外验证

在对遥感影像进行图像融合及增强处理后,结

合研究区地质背景及前人 1:5 万地质图等资料,构建研究区各岩性单元的解译标志,利用 ArcGIS 软件进行研究区遥感岩性解译工作,形成研究区遥感岩性解译图。

4.1 遥感地质解译结果

4.1.1 地层

研究区主要地层为第四系全新统(Q₄^{pl})洪积砂砾石及砂土、第四系上更新统(Q₃^{pl})洪积砂砾石及砂土层、泥盆系上统墩墩山群(D₃dn)灰绿色斜长流纹岩、英安岩、安山岩及前长城系明舒井群上亚群三岩组(AnChmn^{b-3})条痕状混合岩、片岩、片麻岩、石英岩、变粒岩、大理岩。

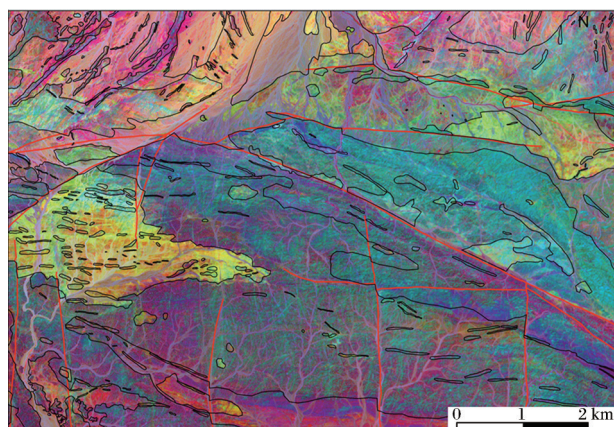


图5 资源三号4个波段主成分分析PC1、PC2、PC3假彩色合成图像

Fig.5 False color composite image of PC1, PC2 and PC3 in RGB

第四系全新统影像自然色调为灰色,融合后321影像上色调为深灰、灰绿色,影纹较细腻,为山前低洼处。第四系上更新统影像上自然色调为灰白色,ETM主成分分析后123影像上色调为淡蓝紫色,影纹细腻,小冲沟发育。泥盆系上统墩墩山群

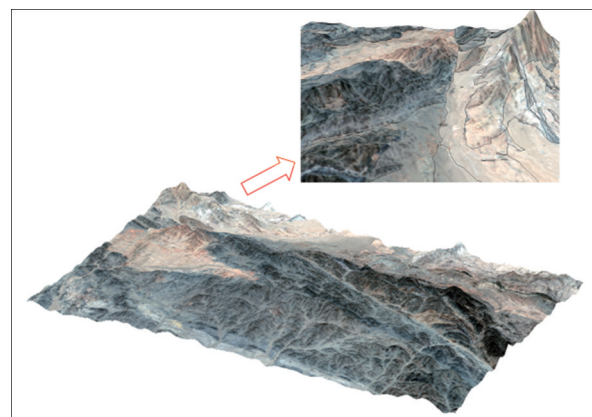
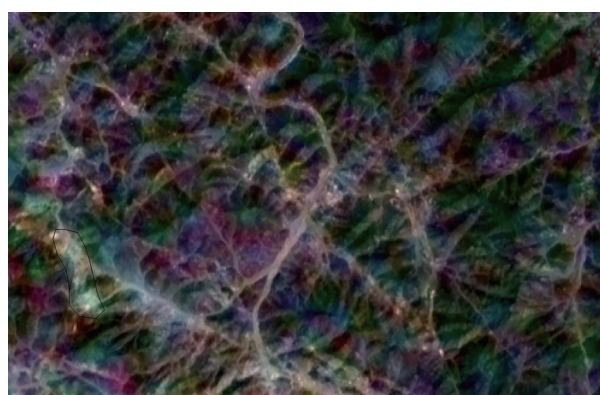
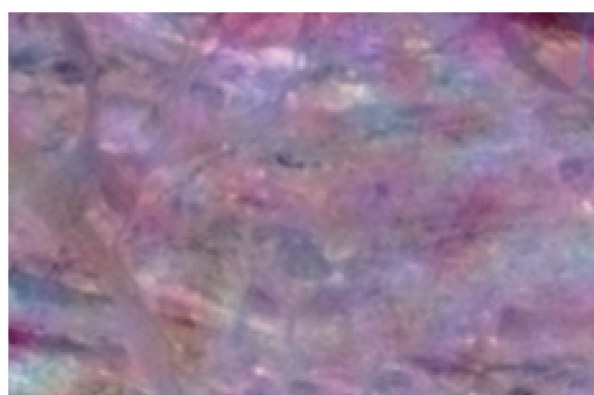


图6 由DEM数据构建的研究区三维影像
Fig.6 3D image constructed from DEM data in the study area

影像上自然色调为深灰—灰黑色,融合后741影像上色调为灰黑色,内部较粗糙,内含北西—南东向岩脉(图7(a))。前长城系明舒井群上亚群三岩组影像上自然色调为浅灰白色,主成分法融合741影像上色调为浅紫红色,内部总体较平滑,地形起伏较小(图7(b))。



(a) 泥盆系上统墩墩山群



(b) 前长城系明舒井群上亚群三岩组

图7 地层单元主成分法融合741影像特征

Fig.7 Principal component method fusion 741 image characteristics of stratigraphic unit

4.1.2 岩体与岩脉

研究区岩浆岩主要为钾长花岗斑岩、二长花岗斑岩、钾长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长闪长岩及角闪辉长岩等。

印支期第二次($\gamma\pi_5^{1b}$)砖红、深肉红色钾长花岗斑岩、二长花岗斑岩影像上自然色调为肉红色,IHS法融合后的321影像上色调为灰色,研究区出露较少,内部影纹较粗糙(图8(a))。印支期第一次($\xi\gamma_5^{1a}$)肉红色钾长花岗岩自然色调为浅肉红色,主成分法融合741影像上色调为黄白色,含稀疏北西—南东向岩脉。印支期第一次($\eta\gamma_5^{1a}$)肉红色二长花岗

岩自然色调为肉红色、灰白色,ZY3主成分分析PC1、PC2、PC3影像上色调为橙黄色,冲沟较为发育,内部平滑。

华力西期中期第三次($\gamma\delta_4^{2c}$)灰白、黄白色花岗闪长岩、二长花岗岩自然色调为浅灰白色,Brovey法融合后321影像为灰—灰白色,内部平滑,以近北西—南东向延伸(图8(b))。华力西期中期第二次($\eta\gamma_4^{2b}$)黄白色二长花岗岩自然色调为浅黄白色,主成分法融合后741影像为黄绿色,内部影纹较粗糙,呈近东西向展布。华力西期中期第一次($\pi\gamma_4^{2a}$)黄白、肉红色巨斑似斑状钾长花岗岩、二长花岗岩自

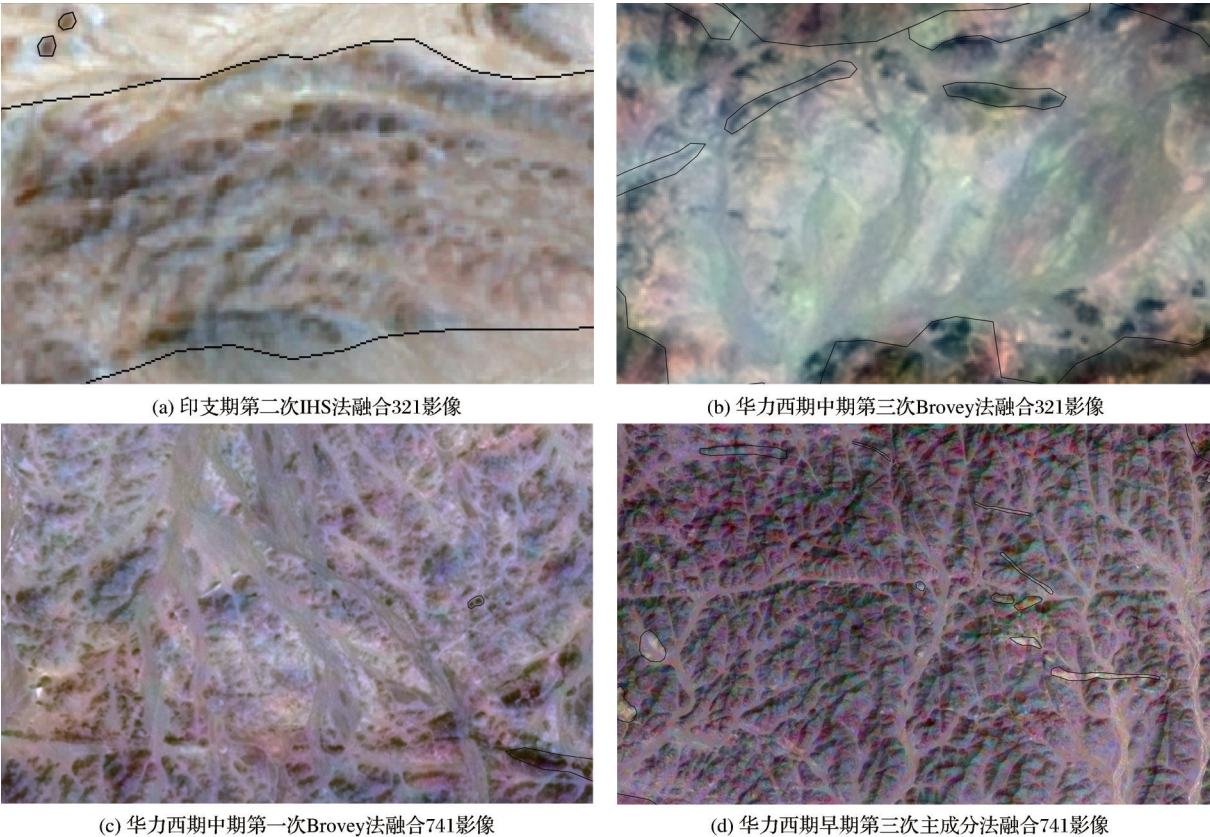


图8 研究区各岩体影像特征

Fig.8 Image characteristics of rock mass in the study area

然色为肉红色、黄白色,Brovey法融合后741影像为浅紫色,树枝状水系发育,内部粗糙,内含近东西向岩脉(图8(c))。华力西期早期第三次(δo_4^{1c})灰白色片麻状石英闪长岩、石英二长闪长岩自然色调为灰色,主成分法融合后741影像为浅紫色,影纹粗糙,稀疏树枝状水系发育(图8(d))。华力西期早期第一次(v_4^{1a})灰黑、灰绿色角闪辉长岩自然色为灰绿色,IHS法融合后321影像为灰色,内部较粗糙,出露较少,呈条带状展布。

研究区岩脉主要为石英脉、花岗斑岩脉、花岗岩脉、闪长岩脉和辉绿玢岩脉。为了使最终形成的地质图中岩脉较清晰,在岩脉解译过程中对岩脉做了部分夸大处理(图9(a))。石英脉影像上自然色调为灰白色,ZY3主成分分析PC1、PC2、PC3假彩色合成影像为蓝紫色(图9(a)),影纹较细腻,呈带状延伸。花岗斑岩脉影像上自然色调为浅灰色,影纹较细腻,带状延伸。花岗岩脉影像上自然色调为浅灰白色,相比周围地质体,花岗岩脉色调较浅,带

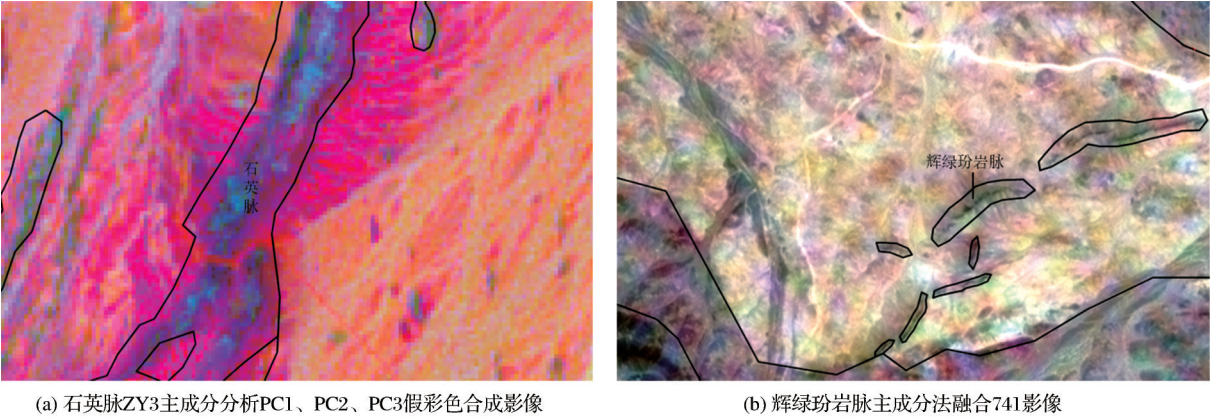


图9 研究区各岩脉影像特征

Fig.9 Image characteristics of dike in the study area

状或线状延伸,长轴方向以东西向为主。闪长岩脉影像上自然色调为深灰色,带状或线状延伸。辉绿玢岩脉影像上自然色调为灰黑色(图9(b)),纹理粗糙,线状延伸,解译标志明显,与周围地质体在色调、纹理上差异较大。

4.2 结果分析与验证

将获得的遥感岩性解译图与研究区的1:5万地质图进行对比,发现大部分面积较大的岩性的界线与前人的地质界线基本一致,但利用遥感影像解译出了大量前人地质图中未圈定出的小岩体、脉体、蚀变带。为了验证新解译的岩性界线的精度,课题组于2018年8月对研究区进行野外实地验证,共采集样品68个,其中选择15个样品磨片进行光薄片研究,同时对32个样品进行反射光谱测试。

发现一处为中酸性岩脉(图10中编号BS-0815-D4点),在经IHS法融合后的321影像图上显示色调明显呈脉状,且为浅灰白色,纹理较周围更加细腻。野外实地验证该点为中酸性岩脉,硅化及

绢云母化普遍,且风化较为强烈。镜下薄片验证该点为花岗岩脉(图10)。该点岩样光谱曲线反射率在350~1 850 nm之间随波长的增加而上升,且350~560 nm范围内斜率较大;在1 850~2500 nm之间呈缓斜下降趋势。光谱曲线共有5个明显的吸收带,分别为矿物中结晶水的1 400 nm、1 900 nm吸收峰,吸收深度分别为7.63、6.11;绢云母在2 220 nm的吸收峰^[21],吸收深度为13.05;以及绿帘石在2 350 nm处的特征吸收峰^[22],吸收深度为3.16。图10(a)中BS-0815-D3、D4、D5点的光谱曲线如图11所示。

发现在肉红色花岗岩中的小侵入体(图12中编号BS-0816-D5点),在经IHS法融合后的321影像上色调为黑色,浑圆状。野外验证为肉红色花岗岩体中的小侵入体,暗色矿物(短柱状角闪石)增多,石英含量减少,钾长石颗粒较小。小侵入体走向为240°(图12)。该小型侵入体在前人地质图上未进行填绘。

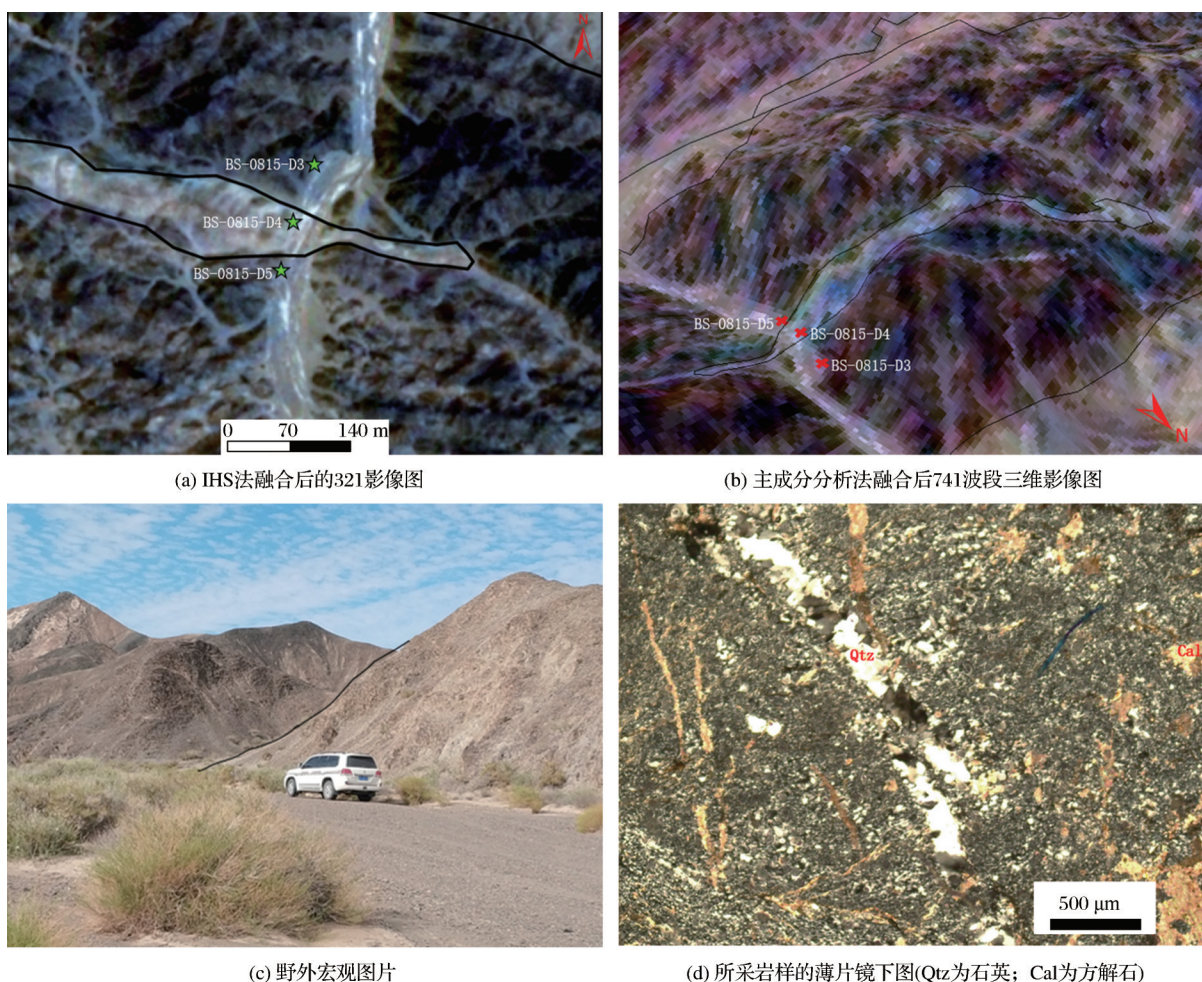


图10 中酸性岩脉实地验证图

Fig.10 Field validation image of intermediate acid dyke

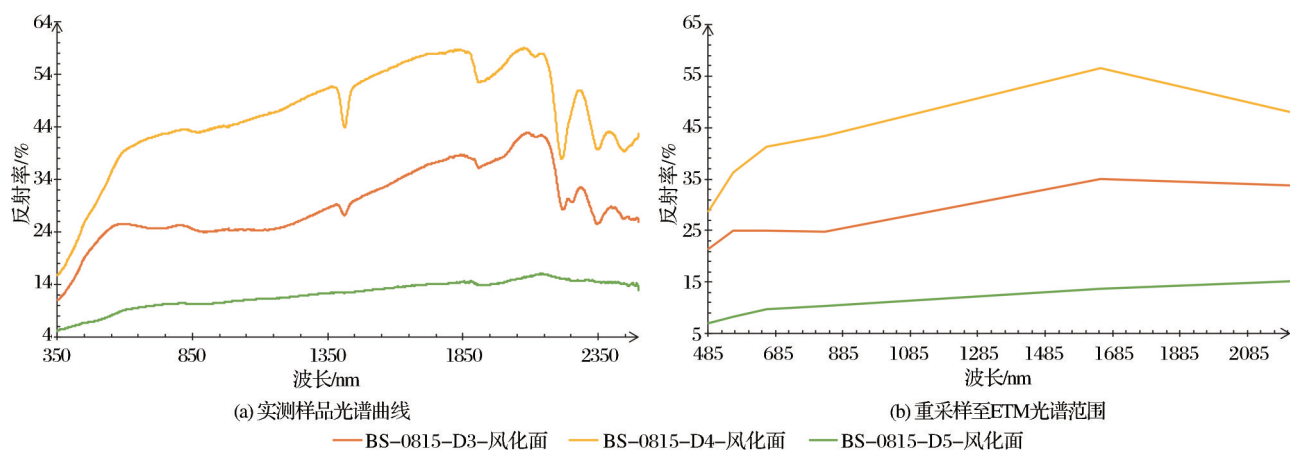


图11 BS-0815-D3、D4、D5点光谱曲线对比图

Fig.11 The spectrum curve comparison charts of BS-0815-D3, D4 and D5

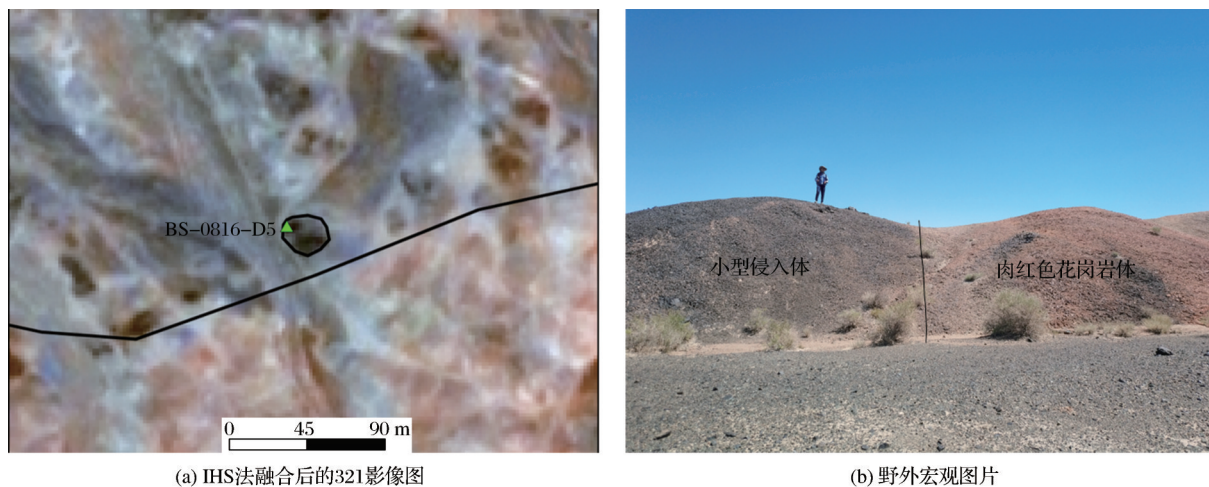


图12 小型侵入体实地验证图

Fig.12 Field validation image of minor intrusion

验证结果显示,应用多源遥感数据,结合图像融合与增强的处理手段,对甘肃北山白峡尼山地区进行遥感岩性解译工作结果较为理想。最终得到的遥感解译地质图如图13所示,在该结果中,大量地质界线得到了修正,大量遗漏的小岩体、脉体得以添加。相比前人地质图,共添加岩体29个,脉体257条(见图3~图12,部分经野外验证)。

5 讨 论

采用多源遥感数据,既可满足不同区域对影像分辨率的需求,又可有效地解决单一影像上由于云、阴影等造成部分区域影像不可用的情况^[23-24]。将ETM数据与ZY3数据进行空间分辨率融合,对于识别与鉴定不同岩性具有较好的效果。但是,由于传感器在获取光谱信息时,受到大气、地形、植被和云等影响,会造成数据的随机噪声^[21,25-27],而且ETM数据空间分辨率较低,导致其虽然光谱信息

丰富,但是进行图像增强处理时效果并不理想。相对于ETM数据,ZY3多光谱数据由于空间分辨率更高,进行比值与主成分分析突出岩性差异的效果更为理想。

采用野外地质工作与室内遥感影像处理结合的方法进行遥感岩性制图,野外工作与光谱特征分析均必不可少,特别是对于交通条件较差且植被覆盖率较低的基岩裸露区遥感解译工作的作用尤为明显。在进行光谱特征分析时,造岩矿物如角闪石、辉石、白云母等具有较好的可鉴定性,而对于许多次要矿物,如绿泥石,在后期热液蚀变或变质作用过程中加入,导致原始岩性叠加了后生矿物的光谱信息,容易造成岩性的错误解释^[11]。在这种情况下,需要结合野外验证结果、光薄片鉴定来确定岩性。

在今后工作中针对研究区的地物特点、研究需求等选取合适的遥感数据及处理方法,建议加大对

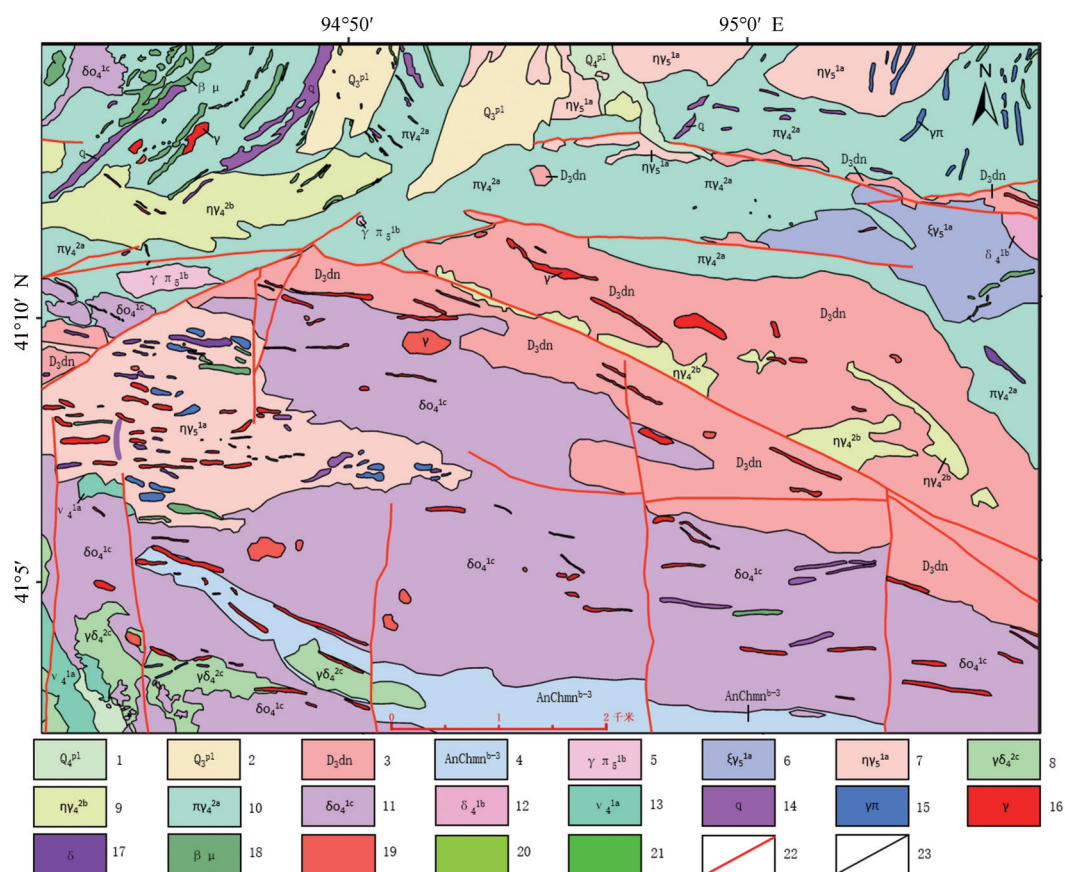


图 13 最终遥感解译地质图

Fig.13 Final geological map of remote sensing interpretation

高空间与高光谱分辨率遥感数据的应用,继续深入研究岩石矿物的光谱特征,尤其是对于有多种矿物岩石组合的岩性地层,总结地层单元成分与光谱的相关性特征及规律,结合更高精度的DEM数据,方可提高岩性解译准确度,为后期填图与找矿工作提供参考意义,在地质及矿产调查工作中发挥更大的作用。

6 结 论

本文以甘肃北山白峡尼山地区为研究对象,在充分利用前人研究的基础上,综合利用ETM多光谱数据、资源三号多光谱及全色数据,结合DEM数据,对研究区进行了岩性解译。取得的主要成果如下:

(1) 对研究区 ETM 图像与资源三号图像进行

分辨率融合,并通过波段组合、比值处理与主成分分析等方法对多光谱遥感数据进行了岩性增强,增强效果较为理想。

(2) 在岩性增强后结合 DEM 数据构建的三维影像建立了岩性解译标志,并结合影像信息对研究区进行了岩性解译,形成初步岩性解译图。

(3) 野外实地验证发现野外界线点与初步岩性解译图吻合程度较高。在对采集的样品进行光薄片、岩石反射光谱研究后,对解译图进行修改得到最终的遥感解译地质图。

参考文献 (References):

- [1] Wang Runsheng. On the Development Strategy of Remote Sensing Technology in Geology[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2008, 20(1): 1-12.[王润生. 遥感地质技术发展的战略思考[J]. 国土资源遥感, 2008, 20(1): 1-12.]

- [2] Wang Xuan, Wang Haipeng, Wang Ran, *et al.* Geological Interpretation of Remote Sensing Images based on Data Fusion of GF2 and Landsat 8[J]. *Geological Review*, 2019, 65(4): 918-928.[王烜,王海鹏,王然等.基于GF2号与Landsat8数据融合的遥感图像地质解译——以1:5万瓦房店市幅为例[J].地质论评,2019,65(4):918-928.]
- [3] Wang Pingping, Tian Shufang. Research on Lithological Information Enhancement Method based on WorldView2 Data: A Case Study of Zhagawusu District in Inner Mongolia[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2016, 28(4): 176-184.[王平平,田淑芳.基于WorldView2数据的岩性信息增强方法——以内蒙古扎嘎乌苏地区为例[J].国土资源遥感,2016,28(4):176-184.]
- [4] Yang Jianguo, Xie Chunlin, Wang Xiaohong, *et al.* Basic Tectonic Framework and Features of Metallogenic Series in Beishan Area, Gansu Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(Z1): 422-438.[杨建国,谢春林,王小红等.甘肃北山地区基本构造格局和成矿系列特征[J].地质通报,2012,31(Z1):422-438.]
- [5] Yang Hequn, Li Ying, Yang Jianguo, *et al.* Main Metallogenic Characteristics in the Beishan Orogen[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(2): 78-95.[杨合群,李英,杨建国等.北山造山带的基本成矿特征[J].西北地质,2006,39(2):78-95.]
- [6] Liu Lei, Zhou Jun, Feng Min, *et al.* Lithological Discrimination of the Mafic Rocks, Huitongshan, Beishan, Gansu, Using Remote Sensing Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2013, 28(3): 520-525.[刘磊,周军,冯敏,等.甘肃北山辉铜山地区镁铁岩体遥感识别方法研究[J].遥感技术与应用,2013,28(3):520-525.]
- [7] Wang Ruijun, Yan Baikun, Li Mingsong, *et al.* Remote Sensing Interpretation of Important Ore-controlling Geological Units in Hongshan Region of Gansu Province Using GF-1 Image and Its Application[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2018, 30(2): 162-170.[王瑞军,闫柏琨,李名松,等.甘肃红山地区重要控矿地质单元GF-1数据遥感解译与应用[J].国土资源遥感,2018,30(2):162-170.]
- [8] Lü Xinbiao, Zhu Jiang, Cao Xiaofeng, *et al.* Magmatism and Its Metallogenic Effects during the Paleozoic-triassic Continental Crustal Construction in the Liuyuan Area, South Beishan, NW China[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2012, 31(5): 119-127.[吕新彪,朱江,曹晓峰等.北山南部柳园地区古生代-早中生代大陆地壳增生过程中的岩浆活动与成矿效应[J].地质科技情报,2012,31(5):119-127.]
- [9] Zhou Shufang, Li Zengyuan, Fan Wenyi, *et al.* DEM Extraction and Its Application based on Airborne LiDAR Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22(3): 356-360.[周淑芳,李增元,范文义,等.基于机载激光雷达数据的DEM获取及应用[J].遥感技术与应用,2007,22(3):356-360.]
- [10] Wang Kailin, Li Haitao, Li Wenpeng, *et al.* Construction of DEM in Baiyangdian Wetland based on Remote Sensing Thematic Interpretation[J]. *Geoscience*, 2019, 33(5): 1098-1105.[王凯霖,李海涛,李文鹏,等.基于遥感专题解译的白洋淀湿地底部DEM构建[J].现代地质,2019,33(5):1098-1105.]
- [11] Zhang Ruisi, Cao Hui, Zeng Min, *et al.* Scientific Belt Lithologic Mapping based on ASTER Spectral Analysis: A Case Study from the Tashkorgan Area(Xinjiang, China)[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(12): 3835-3846.[张瑞丝,曹汇,曾敏,等.基于ASTER光谱特征的科技廊带岩性填图:以新疆塔什库干地区为例[J].岩石学报,2016,32(12):3835-3846.]
- [12] Han Haihui, Ren Guangli, Zhang Zhuan, *et al.* Spectral Characteristics of Typical Altered Rocks and Minerals from Fangshankou Area in Beishan[J]. *Northwestern Geology*, 2018, 51(4): 263-275.[韩海辉,任广利,张转,等.北山方山口地区典型蚀变岩矿的光谱特征研究[J].西北地质,2018,51(4):263-275.]
- [13] Deng Shubin. ENVI Remote Sensing Image Processing Methods[M]. Beijing: Science Press, 2010:87-90.[邓书斌. ENVI遥感图像处理方法[M].北京:科学出版社,2010:87-90.]
- [14] Li Wei, Wang Lanxia. Research on Fusion Methods of High Resolution Panchromatic Images and SPOT5 Images based on Pixel Level[J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2010, 33(3): 32-35.[李巍,王兰霞.基于像素级的SPOT5影像与高分辨率全色影像的融合方法探讨[J].测绘与空间地理信息,2010,33(3):32-35.]
- [15] Hu Guanbing. Interpretation of Geological Structures in Xishuangbanna, Yunnan based on Multi-source Remote Sensing Data[J]. *Journal of Geology*, 2019, 43(3): 460-468.[胡官兵.基于多源遥感数据的云南西双版纳地区地质构造解译[J].地质学刊,2019,43(3):460-468.]
- [16] Zhao Yingshi. Analysis Principle and Method of Remote Sensing Applications[M]. Beijing: Science Press, 2003: 183-188.[赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003:183-188.]
- [17] Wu Yunzhao, Tian Qingjiu, Chen Jun, *et al.* Application of Rock Laboratorial Reflectance Spectra in Hami Area based on Principal Component Analysis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(4): 761-766.[吴昉昭,田庆久,陈骏,等.基于主成分分析的反射光谱在岩石学中的应用——以哈密地区为例[J].岩石学报,2003,19(4):761-766.]
- [18] Liu L, Zhou J, Jiang D, *et al.* Targeting Mineral Resources with Remote Sensing and Field Data in the Xiemisitai Area, West Junggar, Xinjiang, China[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(7): 3156-3171. doi: 10.3390/rs5073156.
- [19] Li Chenwei, Zhang Ruisi, Zhang Zhutong, *et al.* Tectonic Interpretation and Analysis based on Multi-source Remote Sensing Data: A Case Study of Jitai River in Chayi, Tibet[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2018, 33(4): 657-665.[李晨伟,张瑞丝,张竹桐,等.基于多源遥感数据的构造解译与分析——以西藏察隅吉太曲流域为例[J].遥感技术与应用,2018,33(4):657-665.]

- [20] Hu Guanbing, Liu Fang, Dang Wei, *et al.* Application of Remote Sensing Technology to Geological Mapping in the Vegetation Covered Area of Southwest Yunnan[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2019, 31(2): 224-230.[胡官兵, 刘舫, 党伟, 等. 遥感技术在滇西南植被覆盖区地质填图中的应用[J]. *国土资源遥感*, 2019, 31(2): 224-230.]
- [21] Liu L, Zhou J, Jiang D, *et al.* Mineral Resources Prospecting by Synthetic Application of TM/ETM+, Quickbird and Hyperion Data in the Hatu Area, West Junggar, Xinjiang, China[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 21851; doi: 10.1038/srep21851.
- [22] Liu L, Feng J L, Rivard B, *et al.* Mapping Alteration Using Imagery from the Tiangong-1 Hyperspectral Spaceborne System: Example for the Jintanzi Gold Province, China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 64: 275-286.
- [23] Ma Guoyin, Tan Shucheng, Zhao Zhifang. The Interpretation Mark of Mine Monitoring based on High-resolution Remote Sensing Images [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2017, 29(5): 59-68.[马国胤, 谈树成, 赵志芳. 基于高分辨率遥感影像的矿山遥感监测解译标志研究[J]. *云南地理环境研究*, 2017, 29(5): 59-68.]
- [24] Zhang Jingfa, Jiang Wenliang, Tian Tian, *et al.* High Resolution Remote Sensing Application Research in Active Fault Surveying[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2016, 38(3): 386-398.[张景发, 姜文亮, 田甜, 等. 活动断裂调查中的高分辨率遥感技术应用方法研究[J]. *地震学报*, 2016, 38(3): 386-398.]
- [25] Liu Lei, Wu Mengmeng, Yin Cuijing, *et al.* Influence of the Different Spatial Resolutions for Alteration Mineral Mapping [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2019, 34(5): 1040-1047.[刘磊, 吴朦朦, 尹翠景, 等. 影像空间分辨率对蚀变信息提取结果的影响研究[J]. *遥感技术与应用*, 2019, 34(5): 1040-1047.]
- [26] Yan Jining, Zhou Kefa, Wang Jinlin, *et al.* A Stripes and Random Noises Removal Method for High-spectral Remote Sensing Data[J]. *Remote Sensing Information*, 2013, 28(3): 26-31.[阎继宁, 周可法, 王金林, 等. 一种高光谱遥感数据条带及随机点噪声去除方法[J]. *遥感信息*, 2013, 38(3): 26-31.]
- [27] Chen J S, Lin H, Shao Y, *et al.* Oblique Striping Removal in Remote Sensing Imagery based on Wavelet Transform[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(8): 1717-1723; doi: 10.1080/01431160500185516.

Study on Multi-Source Remote Sensing Lithologic Mapping in Baixiani Mountain Area of Beishan, Gansu Province

Yin Chuntao¹, Xie Wenyang¹, Wang Qi², Liu Lei¹, Meng Ganggang¹

(1. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. China Centre For Resources Satellite Data and Application, Beijing 100094, China)

Abstract: The geological structure of Beishan area in Gansu Province is complex, and the magmatic activity is intense. Due to the low level of work in this area, the 1:200 000 and 1:50 000 geological maps have been used to delineate the lithology (such as medium-acid intrusive rocks) of the Beishan, Gansu, but the boundaries are not accurate enough. Taking Baixiani Mountain in Beishan as the research area, the ETM multi-spectral image and the ZY3 panchromatic high spatial resolution image were fused by color spatial transformation (IHS), Brovey and other methods to obtain the high-resolution image with both ETM spectral resolution and ZY3 spatial resolution. Then the raw image was enhanced by ratio, principal component analysis and false color synthesis to highlight the lithological differences. The images processed by various methods were combined with Digital Elevation Model (DEM) data to construct 3D images for comprehensive interpretation. Based on the field verification of the interpretation results, sample thin section identification and reflection spectrum characteristic analysis, the results are modified to obtain the geological map of remote sensing interpretation in the study area. The results show that the existing geological maps can be updated by using multi-source remote sensing data fusion in western areas with good outcrop of bedrock, which can provide reference for subsequent mapping and ore-prospecting.

Key words: Multispectral; Lithologic interpretation; Spectrum analysis; Multi-source data