



遥感技术在黑龙江东宁地区植被覆盖区地质调查中的应用

李 卓, 颜翔锦, 黄 伟, 陈桂虎

中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157000

摘 要: 针对东宁地区高植被覆盖和基岩出露少的特点, 采用不同分辨率遥感影像横向比对的方式, 在目视解译的基础上, 通过比值分析、波段组合和三维高程渲染等方法, 重点分析地形、地貌与岩性之间的联系, 并结合室内解译与野外验证建立解译标志。对研究区地层、侵入岩以及断裂构造分别进行解译, 取得很好效果。

关键词: 遥感; 影像处理; 植被覆盖区; 解译标志; 黑龙江省

APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY IN GEOLOGICAL SURVEY OF VEGETATION-COVERED AREA IN DONGNING, HEILONGJIANG PROVINCE

LI Zhuo, YAN Xiang-jin, HUANG Wei, CHEN Gui-hu

Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Mudanjiang 157000, Heilongjiang Province, China

Abstract: In view of the characteristics of high vegetation coverage and little bedrock exposure in Dongning area, by comparison of remote sensing images with different resolutions, based on the visual interpretation, the authors use the methods of ratio analysis, band combination and 3D elevation rendering to study the relation between topography, geomorphology and lithology, and establish the interpretation marks by combining indoor interpretation and field verification. The stratigraphy, intrusive rocks and fault structures in the area are interpreted respectively. The results are effective.

Key words: remote sensing; image processing; vegetation-covered area; interpretation mark; Heilongjiang Province

0 前言

研究区位于黑龙江省东宁市境内, 地处长白山支脉向东延伸地带, 山岭和谷地互相交错, 地形复杂, 属中低山森林区自然景观。区内植被的严重覆盖为地质调查带来极大不便。通过遥感解译既可降低调查难度, 又能为野外调查提供指导^[1-3]。

目前对于遥感技术在岩石裸露区的应用主要集中

在 4 个方面: 1) 分析地表植被与下伏土壤、岩石之间关系, 进而反推岩性, 从而到达解译目的。例如多种卫星影像分析植被与土壤和基岩的联系, 到达解译地质体的目的^[2]; 利用 Hypreion 高光谱数据分析植被与下伏土壤-岩体之间联系, 通过不同植被特征反推岩性分类^[3]。2) 通过遥感影像处理提取地质体光谱特征, 根据颜色、色调等差异识别岩体^[4]。3) 对遥感影像进

收稿日期: 2021-12-14; 修回日期: 2022-03-21。编辑: 张哲。

基金项目: 中国地质调查局项目“东北边境珲春-东宁地区综合地质调查”(DD20208014)。

作者简介: 李卓(1992—), 男, 主要从事应用地质工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail/l1zz920205@gmail.com

通信作者: 颜翔锦(1992—), 男, 主要从事应用地质工作, 通信地址 黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街 45 号, E-mail/412298975@qq.com

行处理,利用研究区已有地质资料建立训练区,采用最大似然法进行岩体分类^[5]。4)针对遥感影像通过比值-主成分分析法、去干扰-主分量分析-异常筛选法等手段提取蚀变信息^[6-7]。虽然近年来遥感技术在岩石裸露区应用的研究已经趋于成熟^[8-15],但甚少涉猎植被覆盖严重的区域。本研究主要针对如何提升植被高覆盖地区遥感解译正确率进行探索。

由于研究区地表植被茂密,基岩出露少,因此收集多种遥感数据融合突出不同地质特征。本研究主要采用 OLI 影像数据,利用其覆盖范围广、色调信息丰富、地表形态突出的特点,进行初步区域构造的解译;采用 GF-1 影像数据,利用其分辨率高、可以有效突出地质体局部信息的特点,进行中小型构造以及岩性单元的解译^[15-16];利用 GF-1 影像与 DEM 数据融合,显示研究区地形地貌特征,突出构造标识以及不同地质体地貌差异,分析地形地貌与下伏岩体之间关系,减少植被影像,提升解译效果^[17-19]。

1 区域地质概况

研究区大地构造位置处于兴凯湖-布列亚山地块区(I级)老爷岭地块(亚I级)太平岭隆起东南部老黑山断陷内。地层由老到新依次为古生界二叠系下统双桥子组(P_1s),中生界三叠系上统罗圈站组(T_3l)、侏罗系下统绥芬河组(J_1s),及新生界中-上新统船底山组(N_{1-2c})。区内岩浆活动较频繁,侵入岩较发育,多呈岩株状产出,其形成时代主要有晚三叠世一早侏罗世(T_3-J_1)、早白垩世(K_1)。主要岩性包括晚三叠世一早侏罗世花岗斑岩($T_3J_1\gamma\pi$)、石英闪长岩($T_3J_1\delta o$)、石英闪长玢岩($T_3J_1\sigma o\mu$)、二长花岗岩($T_3J_1\eta\gamma$)、花岗闪长岩($T_3J_1\gamma\delta$)以及早白垩世二长花岗岩($K_1\eta\gamma$)^[20],如图1所示。

2 上遥感影像处理

鉴于研究区植被严重覆盖的特点,单一遥感数据不能满足解译需求。此外,不同影像数据由于成像原理、分辨率等不同,对同一地质体的细节展示也不尽相同,因此选择多种影像数据解决相应的解译需求。本研究主要采用 OLI 与 GF-1 数据,同时利用 DEM 数据制作 3D 渲染图,增强解译效果。影像数据详见表1。

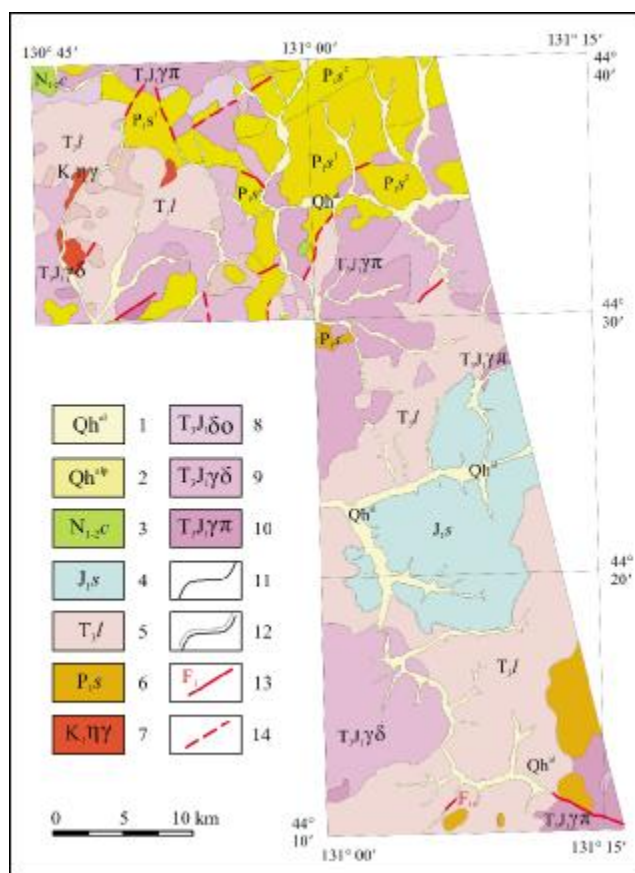


图1 研究区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

1—河流冲积(fluvial outwash); 2—冲洪积(alluvium-diluvium); 3—船底山组(Chuandishan fm.); 4—绥芬河组(Suifenhe fm.); 5—罗圈沟组(Luoquangou fm.); 6—双桥子组(Shuangqiaozi fm.); 7—早白垩世二长花岗岩(Early Cretaceous monzogranite); 8—晚三叠世—早侏罗世石英闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic quartz diorite); 9—晚三叠世—早侏罗世花岗闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic granodiorite); 10—晚三叠世—早侏罗世花岗斑岩(Late Triassic-Early Jurassic granite porphyry); 11—地质界线(geological boundary); 12—岩相界线(lithofacies boundary); 13—实测断层(surveyed fault); 14—遥感解译断层(remote sensing interpreted fault)

影像处理主要使用 ENVI5.3 软件,通过 RPC Orthorectification Workflow 方法进行正射校正;采用 Gram-Schmidt Pan Sharpening 方法进行全色图像与多光谱图像融合,使影像既具有高分辨率又具有多光谱特征;通过 Seamless Mosaic 方法进行多景图像镶嵌,便于以后解译工作^[21];最后根据地形图数据对影像空间位置进行校正,确保影像空间位置与实际相符,其中 OLI 波段组合为 3(R)5(G)7(B),GF-1 波段组合为 3(R)4(G)1(B)。对于 3D 渲染图使用 ArcGIS 10.2,

表 1 遥感影像数据表

Table 1 Remote sensing image data

数据源	轨道/行列号	获取时间	空间分辨率/m	主要用途
OLI	115/029	2019-10-09	15(全色), 30(多光谱)	遥感宏观解译,提取区域构造框架,绘制构造草图
	5721939	2018-11-06		
	5721938	2018-11-06		
GF-1	6206252	2019-03-17	2.5(全色), 8(多光谱)	遥感微观解译,区分地质体细节差异,绘制研究区解译图
	6206251	2019-03-17		
	6220786	2019-03-17		
	6220785	2019-03-17		
	6220784	2019-03-17		

将影像图叠加于高程之上,同时制作山体阴影,透明度设置为 40%.

3 解译标志

由于计算机对于地质单元的圈定精度不够,因此研究中主要通过目视解译进行研究区地质填图. 具体为通过低分辨率影像(OLI)宏观解译构造框架,结合高分辨率数据(GF-1)进行详细解译的方式,主要通过色调、地形、地貌对构造与岩性进行解译.

3.1 构造解译标志的建立

研究区总体构造较发育,以北东向构造为主. 线性构造在影像图上常以水系、地形、岩性界限等反映出来^[22-23],其主要特征归纳如下:

1)水系分布特征反映的线性构造

水系类型沿着某一线性界面发生突变;河道突然变宽或变窄;水体的局部异常段,如直线河、直宽谷河曲;对头沟、对口河的出现;线状排列的河流异常点(段);地下水溢出点处于同一直线上. 这些都可以是线性构造的反映. 如图 2 所示,河流由西南流向东北,突然沿北西方向转变,由此可解译为该处存在两条断裂构造,分别为北东向和北西向.

2)地貌组合层线性展布

此类构造的特征主要包括:陡崖、峡谷呈直线延伸,山脊和洼地线状分布;岛屿、海岸、湖泊的平直岸边;地貌单元的直线分界,不同地形、地貌形态组合的连续直线分布等如图 3 所示,断层三角面沿北东方向呈线状分布.

3)岩性的平直界线

此类构造的特征主要包括:两组地层的明显边界;古老岩系和基岩的平直不整合线;第四系岩性有规律



图 2 河道突变 GF-1 遥感影像图

Fig. 2 GF-1 remote sensing image of river channel change

1—断层(fault); 2—晚三叠世-早侏罗世花岗闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic granodiorite); 波段组合(band combination): R (4) G (3) B (2)

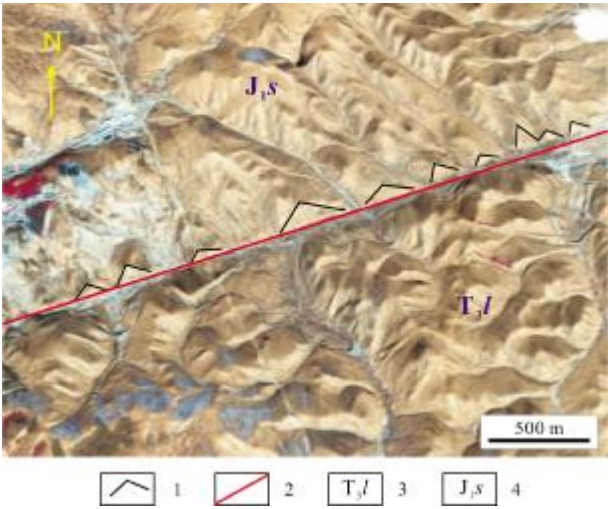


图 3 断层三角面线性展布 GF-1 遥感影像图

Fig. 3 GF-1 remote sensing image showing the linear distribution of fault facet

1—断层三角面 (fault facet); 2—断层 (fault); 3—下三叠统罗圈沟组 (Lower Triassic Luoquangou fm.); 4—上侏罗统绥芬河组(Upper Jurassic Suifenhe fm.); 波段组合(band combination): R (4) G (3) B (2)

的直线分布等.如图 4 所示,早白垩世二长花岗岩沿断层发生线性错动.

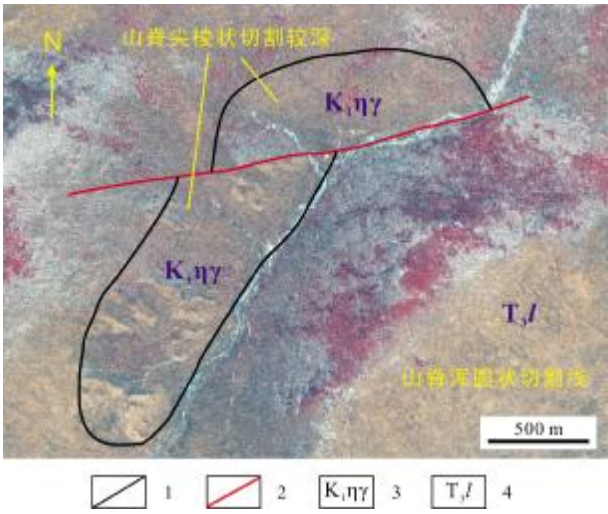


图 4 线性地质界线 GF-1 遥感影像图

Fig. 4 GF-1 remote sensing image showing the linear geological boundary

1—地质界线(geological boundary); 2—断层(fault); 3—早白垩世二长花岗岩 (Early Cretaceous monzogranite); 4—上三叠统罗圈沟组(Upper Triassic Luoquangou fm.); 波段组合 (band combination): R (4) G (3) B (2)

4)地形上反映的线性构造

通过三维渲染可明显发现一些形态组合的负地形呈线性分布,这些形态分别看线性不明显,整体看各种地物连成了线性.这种特征反映出来的线性构造在地表并不见得断裂显示,它常常与地壳深部的断裂有关,是对较大规模的断裂构造的反映,如图 5 所示.

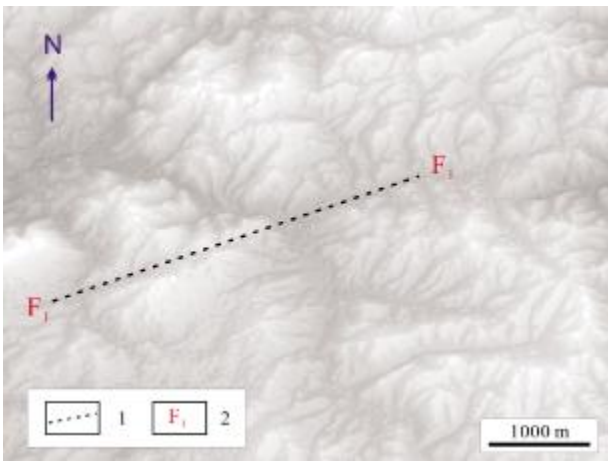


图 5 三维渲染负地形的线性展布图

Fig. 5 Linear distribution of negative relief by 3D rendering
1—负地形(negative relief); 2—断裂构造(fault); DEM 透明度(DEM transparency): 40%

依据以上线性构造的影像特征,结合相关的地质资料,确定研究区构造解译标志.

3.2 岩性解译标志的建立

1)通过色调差异建立解译标志

通过色调差异来建立解译标志有两个基本条件:一是该处为基岩裸露区,由于不同岩性其矿物组合不同,对光的反射也不同,所以在色调上存在差异;二是不同岩性其上覆植被类型不同,通过不同植被类型反射的色调差异反推下伏基岩类型.由于研究区植被覆盖严重,故此通过第二种方式进行解译,如图 6 所示.由于影像采集时间为 10 月初,东北地区树叶还未完全掉落,不同植被反映的色差还存在.图 6 中部的早白垩世二长花岗岩中斜长石风化较强,导致下伏土层较厚,植被多为高大乔木、松木,可见其色调成草绿色;其西侧晚三叠世花岗闪长岩风化较之稍次,故植被发育多为杂木林,颜色为黄绿色夹杂土褐色与草绿色;东侧为上三叠统罗圈沟组安山岩,其风化程度最弱,上覆土厚度薄,植被以灌木为主,影像上呈黄绿色.

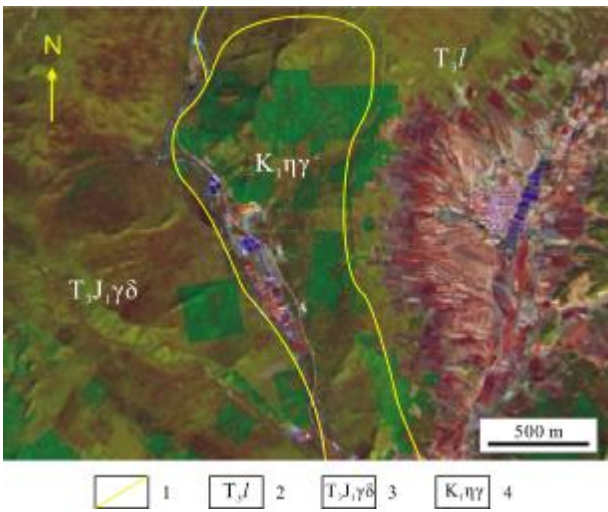


图 6 不同岩性的色调差异 Landsat 8 影像图

Fig. 6 Landsat 8 image showing the color variation of different lithologies

1—地质界线 (geological boundary); 2—上三叠统罗圈沟组(Upper Triassic Luoquangou fm.); 3—晚三叠世-早侏罗世花岗闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic granodiorite); 4—早白垩世二长花岗岩(Early Cretaceous monzogranite); 波段组合 (band combination): R (3) G (5) B (7)

2)通过地貌差异建立解译标志

由于不同岩性其矿物组成不同,所呈现的硬度、风

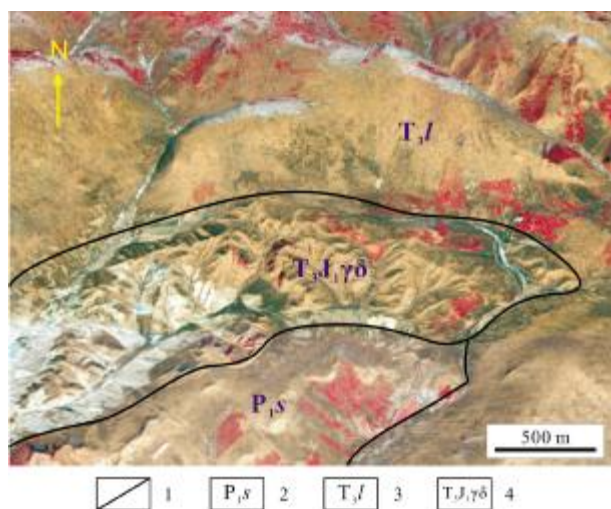


图7 不同岩性的地貌差异 GF-1 影像图

Fig. 7 GF-1 remote sensing image showing the geomorphic variation of different lithologies

1—地质界线 (geological boundary); 2—下二叠统双桥子组 (Lower Permian Shuangqiaozi fm.); 3—上三叠统罗圈沟组 (Upper Triassic Luoquangou fm.); 4—晚三叠世-早侏罗世花岗闪长岩 (Late Triassic-Early Jurassic granodiorite); 波段组合 (band combination): R (4) G (3) B (2)

化程度、节理发育程度也不同。如图7所示,花岗闪长岩由于其节理发育,风化程度较高,故其地表水系冲沟发育,山脊呈尖棱状;其南侧双桥子组主要岩性为板岩,风化程度较差,节理不发育,导致其表面山脊呈次尖棱状;北侧罗圈沟组主要岩性为安山岩,抗风化程度最强,节理不发育,其山脊呈浑圆状,水系冲沟不发育。

4 遥感工作成果

通过野外验证证实所建立的解译标志基本准确,72处验证点正确率为87.5%。通过总结得出不同地质体解译评价结果如下。

1)第四系:相较于传统的目视遥感解译,本研究采用的融合DEM与DOM方法能更好地突出地形起伏特征,在划分第四系河流冲积、冲洪积、阶地及坡洪积方面效果显著。解译正确率100%,进一步细化了研究区内第四系的划分。

2)构造:通过Landsat 8影像建立全区构造框架,利用GF-1影像以及DEM数据解译中小型构造断裂。对于构造的解译程度较高,达到92%。补充研究区断裂构造36条。

3)岩体:通过室内解译与室外验证相对比发现该方法在解译侵入岩时效果更好,对沉积岩及变质岩的解译效果一般。综合研究发现,由于研究区内侵入岩风化程度较高,地形起伏及形态特征更明显,相对更容易划分地质体界限。沉积岩及变质岩相对风化程度较小,地形起伏不明显或地表特征不易识别,即使融合了DEM数据对突出地形特征方面的作用也不太明显,故此解译效果一般。

通过不同色调以及地貌差异,分别解译出17种不同岩性如表2和图8。

通过建立研究区各个地质体解译标志,结合室外实地验证,对研究区地质图进行了更新,新增地质单元9类,其中岩体7类、第四系2类,同时更新了部分地质界线,填补了境外地质空白(图9)。

5 结论

通过研究区的遥感解译工作,总结出在植被高覆盖区遥感工作解译流程。由于低分辨率数据对地貌形态表示清晰,因此首先通过低分辨率影像提取调查区构造框架;其次由于植被高覆盖区基岩露头较少,通过色调区分岩性只能当作参考;不同岩石的不同矿物类型,导致其风化与剥蚀性不同,最主要的反映就是地表形态与地貌组合有明显差异,故此通过分析不同地表形态与地貌组合来识别岩性最为可靠。通过将影像与高程数据融合夸张显示地貌特征的方法更利于表现出地形地貌特征,相较于传统目视解译准确性更高,特别是植被覆盖严重区域解译效果更好。

参考文献(References):

- [1] 苏然, 赵紫威. 浅析地质调查中遥感技术的应用与发展[J]. 科技风, 2020(13): 11-12.
Sun R, Zhao Z W. The application and development of remote sensing technology in geological exploration[J]. Technology Wind, 2020(13): 11-12. (in Chinese)
- [2] 李志忠, 穆华一, 刘德长, 等. “遥感先行”服务自然资源调查技术变革与调整[J]. 地质与资源, 2021, 30(2): 153-160.
Li Z Z, Mu H Y, Liu D C, et al. Remote sensing first: Service for the technological revolution and innovation in natural resources survey [J]. Geology and Resources, 2021, 30(2): 153-160.
- [3] 王大鹏, 李林川, 鲍东明, 等. 遥感在辽宁丹东地区1:5万区域地质调查中的应用[J]. 地质与资源, 2014, 23(2): 184-187.
Wang D P, Li L C, Bao D M, et al. Application of RS in the 1:50 000

表 2 不同岩性解译标志及特征

Table 2 Interpretation signs and characteristics of different lithologies

岩性	影像特征
上新统绥芬斯卡亚组砾岩(N _{sf})	主要为亮白色,植被发育较稀疏,地势较平缓,水系发育;主要岩性为砂岩、砾岩(图 8a)
中新统乌斯季-达维多夫斯卡亚组砂岩(N _{ud})	植被发育较稀疏,地势较平缓,水系发育;主要岩性为砂岩,与科多金斯卡亚组片岩影像特征差距较大,易于分辨,与绥芬斯卡亚组主要由地势与影纹斑杂情况进行区分(图 8b)
中新统船底山组玄武岩(N _{cb})	主要为土黄色,影纹粗糙,植被覆盖稀疏;与周围花岗闪长岩区别主要为地势平坦,无明显冲沟(图 8c)
下侏罗统绥芬河组安山岩(J _s)	呈土黄色,斑杂状,破碎感强烈,影纹粗糙,与周围罗圈沟组安山质凝灰岩界线明显;水系发育较好,分布杂乱,地势较平坦(图 8d)
上三叠统罗圈沟组安山质凝灰岩(T _{3l})	呈深土黄色,纹理粗糙,山脊呈浑圆状,延伸较远,走向较稳定,水系冲沟不发育;地势起伏相对晚三叠世二长花岗岩较低,且伴有轻微流纹相(图 8e)
下二叠统下扎维塔组砾岩(P _{2pp})	主要呈土黄色,地势相对平坦;与附近双桥子组安山岩相比冲沟发育较少,影纹较光滑(图 8f)
下二叠统巴拉巴斯卡亚组砂岩(P _{2br})	呈土褐色,影纹较为斑杂;与附近绥芬斯卡亚组砾岩相比冲沟发育明显,水系较发育,地势高(图 8g)
下二叠统双桥子组安山岩及凝灰岩(P _{2s})	呈土黄色,水系较发育,山脊呈次尖楞状,二级水系呈扇形展布;地势相对罗圈沟组凝灰岩起伏较大(图 8h)
志留-泥盆系科多金斯卡亚组砂质泥岩、片岩(S-Dkr)	呈土黄色,地势较高,山脊呈次尖棱状;相对于绥芬斯卡亚组砾岩地势较高,水系冲沟发育(图 8i)
早白垩世二长花岗岩(K _{1ηγ})	呈土黄色,山脊次棱角状,水系冲沟较发育,走向不稳定,分布较杂乱;相对于罗圈沟组安山质凝灰岩地势较高,界线较明显(图 8j)
晚三叠世—早侏罗世花岗闪长岩(T _{3J1γδ})	呈土黄色,山脊呈棱角状,走向较不稳定,水系冲沟发育且切割较深,二级水系呈扇形分布,地势起伏较大(图 8k)
晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩(T _{3J1ηγ})	呈土黄色,有轻微斑杂状,山脊呈尖棱状,水系冲沟发育,一级水系延伸较短,呈扇形展布(图 8l)
晚三叠世—早侏罗世花岗斑岩(T _{3J1γπ})	呈土黄色,影纹较平滑,山脊呈尖棱角状,走向较稳定,沟谷切割较深,水系发育呈平行状展布,地势起伏较大(图 8m)
晚三叠世—早侏罗世石英闪长玢岩(T _{3J1σoμ})	颜色为土黄色夹杂红色,山脊呈尖棱状(图 8n)
晚三叠世—早侏罗世中粒石英闪长岩(T _{3J1δo})	呈浅红色,影纹较粗糙,山脊凹凸不平,地势相对较高,水系冲沟不发育(图 8o)
中二叠世花岗岩(P _{2γ})	呈土黄绿色,地势明显突出,且水系冲沟不发育;与周围花岗闪长岩区别主要为冲沟不发育且地势起伏更高(图 8p)
中二叠世闪长岩(P _{2δ})	区内出露较少,主要为土黄色夹杂少量浅红色;与周围科多金斯卡亚组砂质泥岩区别为地势起伏较低,水系冲沟笔直(图 8q)

regional geological survey of Dandong area, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2014, 23(2): 184–187.

[4] 栗万荣, 赵强, 阙靖. 基于 OLI 多光谱数据的遥感解译在黑龙江省长兴乡地质调查中的应用[J]. 中国金属通报, 2018(10): 198–199.

Li W R, Zhao Q, Kan J. Application of remote sensing interpretation based on OLI multispectral data in geological survey of Changxing Township, Heilongjiang Province [J]. China Metal Bulletin, 2018 (10): 198–199. (in Chinese)

[5] 李娜, 董新丰, 甘甫平, 等. 高光谱遥感技术在基岩区区域地质调查填图中的应用[J]. 地质通报, 2021, 40(1): 13–21.

Li N, Dong X F, Gan F P, et al. Application of hyperspectral remote

sensing technology to regional geological survey and mapping in bedrock area [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(1): 13–21.

[6] 曹会, 张廷秀, 李雨柯, 等. 基于中、高分辨率遥感影像的羟基和铁染蚀变信息提取与成矿预测——以吉林市等六幅为例[J]. 地质与资源, 2021, 30(6): 710–715, 706.

Cao H, Zhang T X, Li Y K, et al. Hydroxyl and iron-stained alteration information extraction and metallogenic prediction based on medium-high-resolution remote sensing images: A case study of six map sheets in Jilin City [J]. Geology and Resources, 2021, 30(6): 710–715, 706.

[7] 江山, 张渝金, 汪岩, 等. 基于 Landsat 8 OLI 数据的遥感蚀变异常

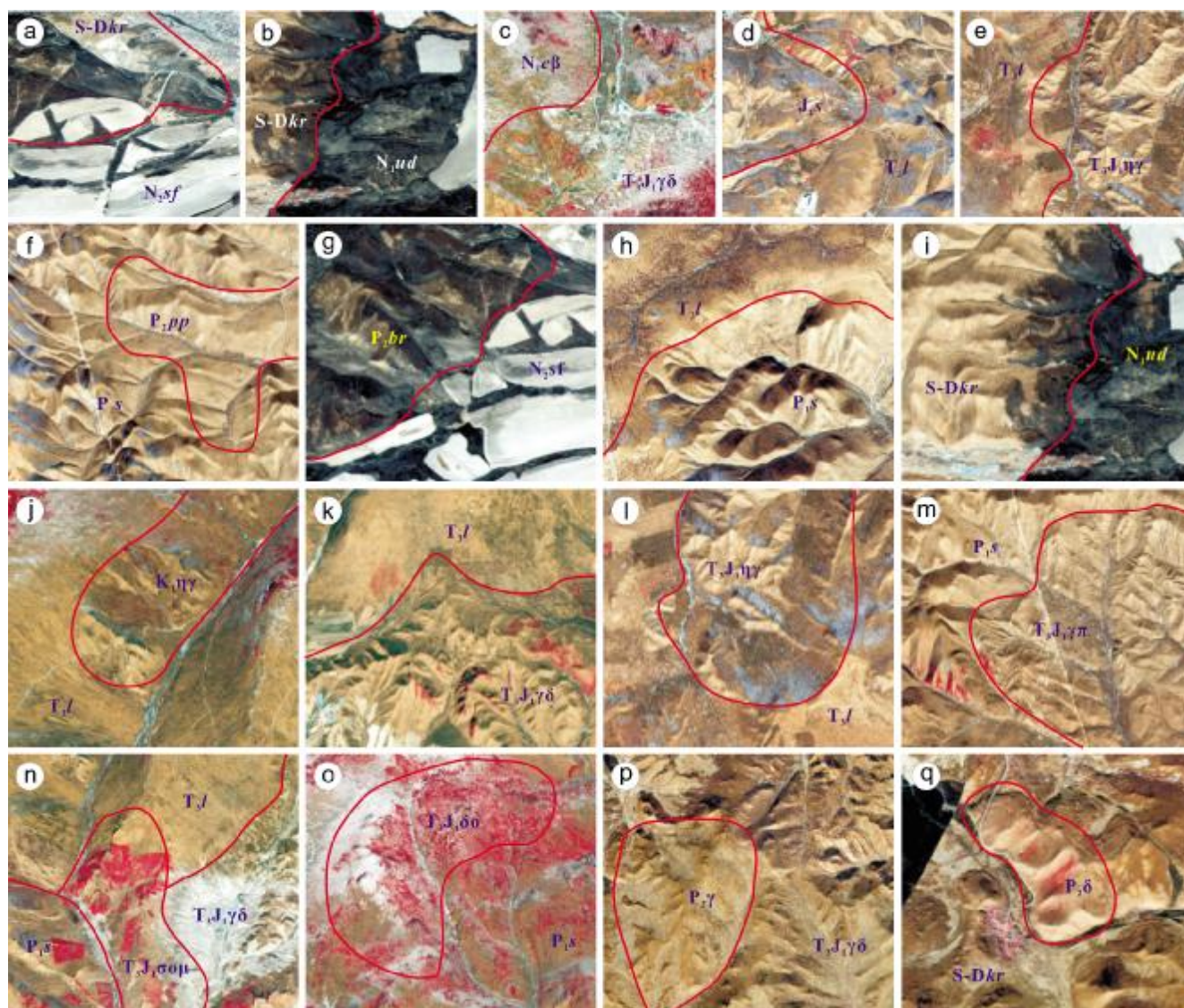


图8 不同岩性遥感影像特征

Fig. 8 Remote sensing image characteristics of different lithologies

提取应用研究——以内蒙古阿鲁科尔沁旗地区为例[J]. 地质与资源, 2018, 27(1): 93-98.

Jiang S, Zhang Y J, Wang Y, et al. Application of alteration anomaly extraction by remote sensing based on Landsat 8 OLI Data: A case study of Ar Horqin Qi, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 2018, 27(1): 93-98.

[8]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.

Hu G B, Liu F, Dang W, et al. Application of remote sensing technology to geological mapping in the vegetation covered area of southwest Yunnan[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2019, 31(2): 224-230.

[9]陈圣波, 刘彦丽, 杨倩, 等. 植被覆盖区卫星高光谱遥感岩性分类[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(6): 1959-1965.

Chen S B, Liu Y L, Yang Q, et al. Lithologic classification from hyperspectral data in dense vegetation cover area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(6): 1959-1965.

[10]刘灿, 王宏伟. 高植被覆盖区遥感岩性识别研究[J]. 矿物学报, 2011, 31(S1): 966-967.

Liu C, Wang H W. Study on lithology identification by remote sensing in high vegetation cover area[J]. Journal of Minerals, 2011, 31(S1): 966-967. (in Chinese)

[11]杜伟强. 新疆温泉县扎冷木特一带 1:5 万区域地质调查遥感技术应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017.

Du W Q. The application of remote sensing technology in the 1:50 000 regional geology and mineral resources survey, Zhalengmute, Xinjiang [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2017.

[12]凤骏. 遥感技术在新疆乌齐里克它鸟一带 1:5 万区域地质矿产调

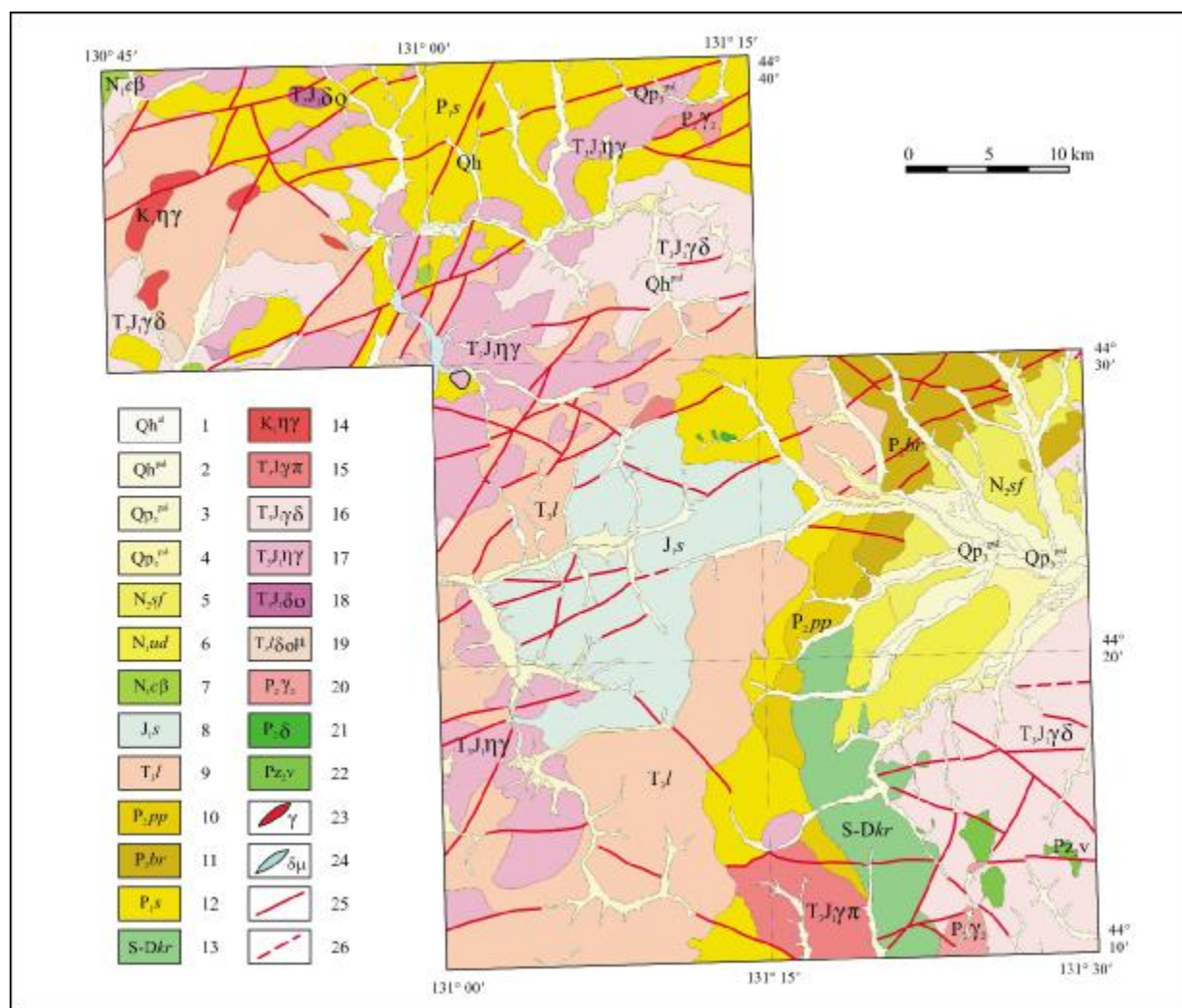


图9 研究区遥感解译地质图

Fig. 9 Geological map of the study area interpreted through remote sensing image

1—河流冲积(fluvial outwash); 2—冲洪积(alluvium-diluvium); 3—阶地(terrace); 4—坡洪积(slope diluvium); 5—绥芬斯卡亚组(Seifenskaya fm.); 6—乌斯季-达维多夫斯卡亚组(Usti-Davydovskaya fm.); 7—船底山组(Chuandishan fm.); 8—绥芬河组(Suifenhe fm.); 9—罗圈沟组(Luoquangou fm.); 10—下扎维塔组(Lower Zavita fm.); 11—巴拉巴斯卡亚组(Barabaskaya fm.); 12—双桥子组(Shuangqiaozi fm.); 13—科多金斯卡亚组(Cordogenskaya fm.); 14—早白垩世二长花岗岩(Early Cretaceous monzogranite); 15—晚三叠世-早侏罗世花岗斑岩(Late Triassic-Early Jurassic granite porphyry); 16—晚三叠世-早侏罗世花岗闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic granodiorite); 17—晚三叠世-早侏罗世二长花岗岩(Late Triassic-Early Jurassic monzogranite); 18—晚三叠世-早侏罗世石英闪长岩(Late Triassic-Early Jurassic quartz diorite); 19—晚三叠世石英闪长岩(Late Triassic quartz diorite porphyrite); 20—中二叠世花岗岩(Middle Permian granite); 21—中二叠世闪长岩(Middle Permian diorite); 22—中生代基性岩(Mesozoic basic rock); 23—花岗岩脉(granite dike); 24—闪长岩脉(diorite porphyrite dike); 25—遥感解译断层(remote sensing interpreted fault); 26—遥感解译推测断层(inferred fault by remote sensing interpretation)

查中的应用[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2014.

Feng J. Application of remote sensing technology in 1:50 000 regional geological and mineral survey in Wuyilik Taitao area, Xinjiang[D].

Urumqi: Xinjiang University, 2014.

[13]张磊, 孟令华, 周龙涛. 新疆温泉县牙马特一带 1:5 万区域地质调查的遥感技术应用[J]. 山东国土资源, 2020, 36(3): 66-73.

Zhang L, Meng L H, Zhou L T. Application of remote sensing

technology in regional geological survey with the scale of 1:50 000 in Yamate area in Wenquan in Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Shandong Land and Resources, 2020, 36(3): 66-73.

[14]周慧敏, 郝伟涛. 遥感技术在云南建水地区 1:5 万区域地质调查中的应用[J]. 地质学刊, 2019, 43(1): 111-121.

Zhou H M, Hao W T. Application of remote sensing to the geological survey at 1:50 000 scale in Jianshui, Yunnan[J]. Journal of Geology,

- 2019, 43(1): 111–121.
- [15]胡官兵, 刘舫, 党伟, 等. 不同尺度遥感数据在乌蒙山西部区域地质调查中的应用[C]//云南省首届青年地质科技论坛优秀学术论文集. 昆明: 云南省科学技术协会, 2017: 10.
- Hu G B, Liu F, Dang W, et al. Application of remote sensing data of different scales in regional geological survey of western Wumeng Mountain[C]//Yunnan Provincial Association of Science and Technology. Geological Society of Yunnan Province, 2017: 10. (in Chinese)
- [16]张聪, 包书景, 段文哲. 遥感技术在复杂山区页岩气早期勘探中的应用[J]. 地质与资源, 2014, 23(5): 492–494, 499.
- Zhang C, Bao S J, Duan W Z. Application of remote sensing technology in early exploration for shale gas in complex terrain[J]. Geology and Resources, 2014, 23(5): 492–494, 499.
- [17]霍润斌, 刘博, 鲁敏, 等. 遥感影像三维可视化在白音吉日嘎拉大队幅 1:5 万区域地质调查中的应用[J]. 现代矿业, 2018, 34(7): 67–69.
- Huo R B, Liu B, Lu M, et al. Application of 3D visualization of remote sensing image in 1:50 000 regional geological survey of Rigala in Baiyinjia area[J]. Modern Mining, 2018, 34(7): 67–69. (in Chinese)
- [18]邢京磊, 朱杰勇, 王雷. 基于遥感影像的地理特征信息的提取与分析——以云南省会泽县为例[J]. 地质与资源, 2012, 21(2): 250–255.
- Xing J L, Zhu J Y, Wang L. Extraction and analysis of geographical characteristic information based on remote sensing image: A case study of Huize area, Yunnan Province[J]. Geology and Resources, 2012, 21(2): 250–255.
- [19]钱建平, 伍贵华, 陈宏毅. 现代遥感技术在地质找矿中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2012, 27(3): 355–360.
- Qian J P, Wu G H, Chen H Y. The application of modern remote sensing technology to geology and ore exploration[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2012, 27(3): 355–360.
- [20]张兴洲, 马志红. 黑龙江东部中—新生代盆地演化[J]. 地质与资源, 2010, 19(3): 191–196.
- Zhang X Z, Ma Z H. Evolution of Mesozoic-Cenozoic basins in the eastern Heilongjiang Province, Northeast China [J]. Geology and Resources, 2010, 19(3): 191–196.
- [21]杨佳佳, 冯雨林, 孙中任, 等. 基于多源遥感数据的融合算法变换效果对比研究[J]. 地质与资源, 2015, 24(5): 489–495.
- Yang J J, Feng Y L, Sun Z R, et al. Comparative study on the transformation effects of fusion algorithm based on multisource remote sensing data[J]. Geology and Resources, 2015, 24(5): 489–495.
- [22]赵院冬, 迟效国, 车继英, 等. 延边—东宁地区晚三叠世花岗岩地球化学特征及其大地构造背景[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(3): 425–434.
- Zhao Y D, Chi X G, Che J Y, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Late Triassic granites in Yanbian-Dongning area [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009, 39(3): 425–434.
- [23]林敏. 福建沿海高植被覆盖区构造地质遥感解译应用研究[J]. 福建地质, 2020, 39(4): 294–307.
- Lin M. Research on remote sensing interpretation of structural geology in high plant cover area, Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 2020, 39(4): 294–307.
-
- (上接第 461 页/Continued from Page 461)
- [17]曾妍妍, 周金龙, 乃尉华, 等. 新疆喀什噶尔河流域地下水形成的水文地球化学过程[J]. 干旱区研究, 2020, 37(3): 541–550.
- Zeng Y Y, Zhou J L, Nai W H, et al. Hydrogeochemical processes of groundwater formation in the Kashgar River Basin, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(3): 541–550.
- [18]赵春红, 申豪勇, 王志恒, 等. 汾河流域地表水水化学同位素特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2022, 43(10): 4440–4448.
- Zhao C H, Sheng H Y, Wang Z H, et al. Hydrochemical and isotopic characteristics in the surface water of the Fenhe River Basin and influence factors[J]. Environmental Science, 2022, 43(10): 4440–4448.
- [19]杨景燕, 杨余辉, 胡义成, 等. 新疆伊犁喀什河流域地表水水化学特征及控制因素[J]. 环境化学, 2021, 40(12): 3815–3827.
- Yang J Y, Yang Y H, Hu Y C, et al. Hydrochemical characteristics and possible controls of the surface water in Kashi River Basin, Ili, Xinjiang[J]. Environmental Chemistry, 2021, 40(12): 3815–3827.
- [20]郝启勇, 徐晓天, 张心彬, 等. 鲁西北阳谷地区浅层高氟地下水化学特征及成因[J]. 地球科学与环境学报, 2020, 42(5): 668–677.
- Hao Q Y, Xu X T, Zhang X B, et al. Hydrochemical characteristics and genesis of high-fluorine shallow groundwater in Yanggu area of the northwestern Shandong, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2020, 42(5): 668–677.
- [21]王建, 张华兵, 许君利, 等. 盐城地区地下水溶质来源及其成因分析[J]. 环境科学, 2022, 43(4): 1908–1919.
- Wang J, Zhang H B, Xu J L, et al. Provenance of groundwater solute and its controlling factors in Yancheng area[J]. Environmental Science, 2022, 43(4): 1908–1919.