

doi: 10.6046/zrzyg.2020403

引用格式: 陈富强,刘亚林,高旭,等. 遥感技术在中尼铁路工程地质勘察中的应用[J]. 自然资源遥感,2021,33(4):219-226.
(Chen F Q, Liu Y L, Gao X, et al. Application of remote sensing technology to the engineering geological survey for the construction of the China - Nepal railway[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(4): 219 - 226.)

遥感技术在中尼铁路工程地质勘察中的应用

陈富强, 刘亚林, 高旭, 宋明辉, 张占忠

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要: 中尼铁路作为世界上首条穿越喜马拉雅山脉的铁路工程,面临着高海拔、高落差、高寒气候、地震活动带、软岩变形、不良地质发育等诸多环境、地质问题,线路方案的设计、选择明显受地质条件的约束,需要彻底摸清区内各类地质问题。为了克服地表调查的局限性、减轻外业调查工作量、提高工作效率,文章充分发挥遥感技术特长,在分析已有基础地质、工程地质、地质环境等资料的基础上,采用多源遥感技术,对研究区内的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、滑坡、泥石流、风沙等不良地质要素开展了详细的解译分析,为工程地质调查以及线路方案设计、选线提供了较详细、全面、可靠的遥感成果资料,发挥了重要的技术支撑作用。

关键词: 中尼铁路; 地质解译; 工程地质; 滑坡; 泥石流

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2021)04-0219-08

0 引言

遥感技术应用于铁路设计勘测主要体现在以下几个方面:一是采用卫星遥感数据或航测遥感数据制作基础测绘成果,如数字高程模型(digital elevation model, DEM)、数字正射影像(digital orthophoto map, DOM)、数字线划地图(digital line graphic, DLG)、数字栅格地图(digital raster graphic, DRG),为前期路线设计调查提供基础地形资料支持;二是采用多源遥感影像,在铁路设计可研、初测以及定测阶段,开展遥感工程地质解译判读,通过对地层岩性、构造、不良地质、水文地质等要素的解译分析,形成基础的遥感解译资料,指导外业开展工程地质调查;三是利用遥感数据开展多目标信息自动提取分析,获取植被、水体、大气等环境因子,开展不同阶段铁路沿线周边生态环境影响评价及评估^[1-6]。

目前随着航空器、遥感传感器以及影像数据处理分析技术的高速发展,无人机高清航摄、机载雷达测量、三维遥感可视化等新兴手段逐渐应用于铁路工程地质勘察中。刘桂卫^[7]在蒙华铁路地质勘察中,将高分辨率遥感和三维遥感相结合,开展不良地质解译圈定,为铁路地质选线提供了参考;张占

忠^[8]通过制作大场景立体影像模型,恢复三维立体环境,有效减轻了外业调查工作量,为川藏铁路选线及勘察设计提供了重要信息支持;吕希奎等^[9]利用遥感技术和数字摄影测量技术建立三维真实地形及地理环境,虚拟铁路选线,取得良好效果。遥感技术目前已成为铁路选线及工程勘察设计的一种重要手段,尤其在切割强烈的复杂山区、人烟罕至的交通不便区、构造发育的地质环境复杂区以及我国西部的高海拔地区,利用遥感技术辅助工程地质勘察,具有不可替代的作用。

1 工程概况和数据源

1.1 工程概况

新建中尼铁路由我国西藏地区日喀则市延伸至尼泊尔首都加德满都,全段路线长约600 km,其中日喀则至吉隆口岸段(国内段)位于日喀则市西南部,线路东起拉日铁路日喀则西站,经拉孜县、萨迦县、定日县、吉隆县吉隆镇后设铁路口岸站,再取直至国界,预留向加德满都延伸线^[10-11]。本研究主要针对国境内日喀则至波绒段,全长约380 km。线路由北(东)至南(西)依次位于冈底斯地块内日喀则弧前盆地、印度河-雅鲁藏布江结合带内的雅鲁藏

收稿日期: 2020-12-14; 修订日期: 2020-04-04

基金项目: 铁一院科技研究项目“铁路勘察设计基础地理信息数据库建设”(院科19-88)资助。

第一作者: 陈富强(1989-),男,硕士,工程师,研究方向为遥感技术应用研究。Email: cfq531992@126.com。

通信作者: 刘亚林(1982-),男,硕士,高级工程师,研究方向为遥感技术应用研究。Email: lynm6100@126.com。

布江蛇绿混杂岩带、喜马拉雅造山带内的特提斯喜马拉雅北带和南带^[12]。整体呈先东西后南北向特征,全线最高处为吉隆县东侧马拉山一带,吉隆县以东地势南高北低、西高东低,自西向东海拔呈阶梯式递减,波状起伏,地形较复杂;吉隆县向南沿吉隆藏布海拔逐渐降低。

1.2 数据及应用

针对中尼铁路日喀则至波绒段地质构造复杂、不良地质类型多样且集中发育的特征,采用由粗到细、由宏观到局部的原则,利用多层次、多尺度、多类型遥感数据影像,参与遥感地质解译分析研究:以空间分辨率为 15 m 的 Landsat OLI 影像为基础,对区内控制性的断层、褶皱、特殊的岩组等开展解译分析,掌握区域内主要构造展布特征;以空间分辨率为 5.8 m 的资源三号(ZY-3)影像为基础,对区内地层岩性、构造、大型的不良地质等开展解译分析;以 0.5 m 空间分辨率的 WorldView-2 彩色影像以及立体相对数据为基础,对线路方案周边岩性组合、地质构造、不良地质、特殊岩土、地下水出露点等开

展详细的解译分析,并充分利用奥维互动地图、谷歌地球等网络平台数据,通过其三维影像观测环境以及历史影像资料,开展多方位、多时相解译,为线路方案布设、优选提供依据。

2 工程地质遥感调查分析

2.1 地层岩性判读

结合已有地质资料,采用 OLI, ZY-3 以及 WorldView-2 彩色影像,在区分细微纹型结构、影像色彩差异以及野外实地调查的基础上,建立各地层岩性单元解译标志,通过调查分析,日喀则一波荣段沿线第四系至元古界地层均有出露,具有时代跨度大,岩性复杂变化快、构造控制地层岩性展布的基本特征。其中以拉孜县柳乡至热萨乡一带为典型,该区域出露有古近系柳区群(E_1-2Lq)砾岩、侏罗-白垩系昂仁蛇绿岩群橄榄岩($J_3K_1A^{\Sigma}$)以及二叠系浪措岩块(P_2l)灰岩等(图 1)。

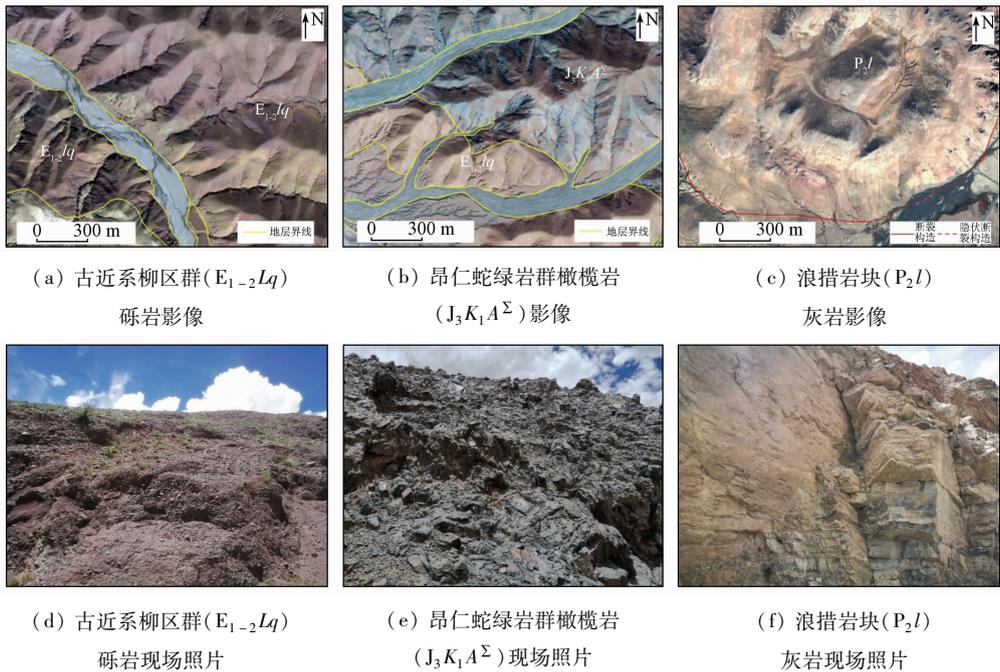


图 1 部分地层岩性单元影像特征及现场照片

(图 1(a), (b), (c) 为 WorldView-2 B3(R), B2(G), B1(B) 波段合成影像)

Fig. 1 Image features and photos of some formation lithologic units

柳区群(E_1-2Lq)砾岩影像色彩标志典型,在 OLI B7(R), B5(G), B2(B) 波段合成影像中呈灰绿色、ZY-3 B1(R), B2(G), B3(B) 影像中呈砖红-暗红色、WorldView-2 B3(R), B2(G), B1(B) 影像中呈暗紫灰色-灰黄色,次浑圆山脊、次级冲沟发育,呈树枝状水系,其与蛇绿岩、混杂岩界线清晰,现场调查显示,其岩性为一套紫红色、灰黄色复成分砾

岩、砂砾岩,砾岩胶结差,地表风化较强,锤击声哑易碎(图 1(a) 和 (d)); 昂仁蛇绿岩群橄榄岩($J_3K_1A^{\Sigma}$),整体在雅鲁藏布江结合带内部呈 NWW-近 EW 向带状展布,与两侧白垩系、古近系呈断层接触,边界清晰,其影像呈深灰绿色-灰绿色,次浑圆-次尖棱状粗大山脊影纹,次级冲沟不发育,主沟多呈“V”型,岩石以蛇纹石化橄榄岩为主,呈深灰绿色-

灰褐色,地表风化成深灰色,新鲜面为灰绿色,岩石矿物成分主要为橄榄石、辉石、角闪石等(图 1(b)和(e));浪措岩块(P_2I)主要分布在拉孜县热萨乡一带,多呈彼此独立的“飞来峰”覆盖在相对较新的地层之上,影像中多呈近似圆形、椭圆形、长条形等不规则形浅色影像斑块,地形中多形成正凸起地貌,其边界可见较清晰的基岩陡坎或沟槽,岩性主要为灰岩夹泥灰岩,岩质硬,各“飞来峰”岩块产状无明显规律,变化较大,岩石表层可见溶蚀凹槽和不均匀刀砍纹,局部已白云岩化,多形成凸起山脊地貌,与周边混杂岩地层界线清晰,为断层接触(图 1(c)和(f))。

2.2 断裂构造判读分析

线路方案所经过的雅鲁藏布江结合带及喜马拉雅造山带受板块挤压抬升运动影响,构造活动强烈,断裂构造发育。根据区内断裂构造规模、展布形态、活性等特征,将其分为区域性断裂、一般性断裂和

活动断裂 3 类。

1) 区域性断裂。线路沿线依次穿越“达吉岭—昂仁—仁布断裂”、“札达—拉孜—邛多江断裂”、“吉隆—定日—岗巴断裂”3 组区域性断裂构造,均呈 NWW—近 EW 向展布,且以逆冲推覆断层为主。各区域性断裂线性影像特征清晰,以达吉岭—昂仁—仁布断裂为典型,其在萨迦县吉定镇西侧区域与线路方案呈大角度斜交。断裂两侧色调差异明显,北侧昂仁组呈浅灰黄色—浅灰色调、低缓浑圆山包影纹,南侧蛇绿岩群呈深灰黄色和深灰绿色相间的暗色调、次尖棱—尖棱状山脊影纹,断裂带通过处地形上多呈现为沟谷、山凹、鞍部、陡坎等负地形,可精确圈定断裂所处位置及延伸方向(图 2(a));现场调查验证,断裂位置解译准确,断层为一逆断层,主断层带宽约 150~200 m,断层产状 $N55^{\circ}\sim 75^{\circ}W/45^{\circ}\sim 80^{\circ}N$ (图 2(b)和(c))。

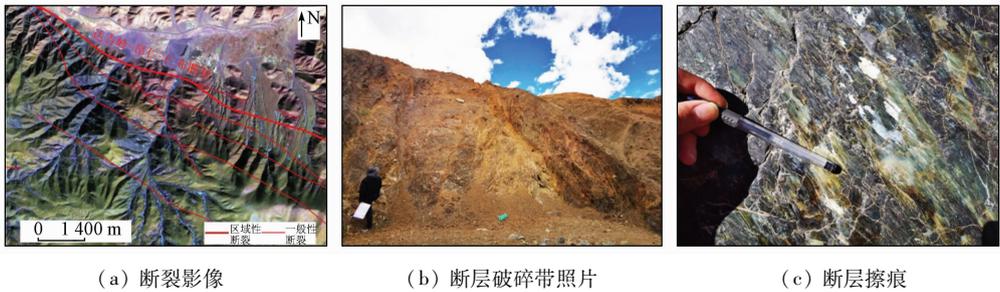


图 2 达吉岭—昂仁—仁布断裂影像特征及现场照片

Fig. 2 Image features and photos of Dagiring - Nangren - Renbu fault

2) 一般性断裂。受区域构造活动影响,沿线一般性次级断裂较为发育,主要包括 NWW—近 EW 向、NNE—近 SN 向以及穹隆边部环状拆离断裂等。线性影像特征较清晰,沿断裂多可见连续的冲沟、陡坎、沟谷出现分叉、水系转弯等典型影像标志,地貌上表现为连续或断续的负地形,部分断裂两侧影像特征存在较明显差异。NWW—近 EW 向断裂多为区域性断裂旁侧次级断裂,其活动期次多同期或稍晚于区域性断裂,断裂产状陡缓不一,倾角变化较大,以北倾逆断层为主,该方向断裂在走向上多被一

系列 NNE 向平移断层截切错移,以致沿走向分布极不连续,其在南北向剖面上常构成叠瓦状逆冲断层系或走向背冲断层组合;NNE—近 SN 向断裂活动期次晚于前者,以高角度平移断层为主,部分兼有正断层特征,部分贯穿各亚构造带,造成地质体及前期构造形迹出现南北错移,并伴生牵引小褶曲,地形多呈沟谷负地形(图 3(a));环状拆离断层主要分布在拉轨岗日变质核外围,以低角度正断层为主,多以上陡下缓呈铲式。

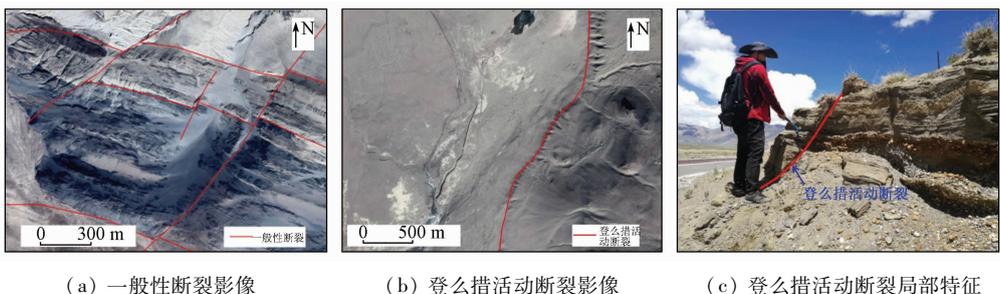


图 3 一般性断裂影像及登么措活动断裂影像及照片

Fig. 3 Images and photo of the general faults and Dengmocuo active fault

3)活动断裂。区内沿线活动断裂较为发育,主要呈SN向延伸,尤其在定日县东部登么措两侧发育多组近SN活动断裂,包括登么措断裂及普色茶中断裂等,高清影像中,前者在新生代冲洪积堆积区前缘可见清晰错落台坎痕迹(图3(b)和(c));后者对阿马穹隆南部山体形成明显错断,影像中呈深切“V”型峡谷,向北可见串珠状湖泊,显示其曾经强烈的南北向活动性。综合已有资料,表明本次线路方案沿线近EW向区域性断裂及其两侧次级断裂,为早期板块构造运动后的产物,已基本处于“稳定”状态,其活动性对线路工程影响较小,向南靠近尼泊尔方向断裂活动性逐渐增强,区内沿线第四纪以来的近SN向活动断裂,为SN向板块运动后的地形地貌特殊“痕迹”,部分仍存在可能活动迹象,线路方案设计中,需采用短桥或路基工程降低风险。



图4 泉点影像及照片

Fig. 4 Image features and photos of springs

带上,部分区域可见小规模垮塌及滑坡,影像上呈浅色斑点状影纹(图4(c));岩溶泉主要发育于岗嘎镇以西的碳酸盐岩分布地区,规模较小。

2.3.2 现代冰川及冰湖

研究区南部喜马拉雅山脉北麓分布有绒布冰川、北峰冰川、前进冰川等多个著名冰川,构成了稀有的“高山+冰川+峡谷”独特景观。线路方案距冰川较远,对线路无直接威胁,在定日县东北部阿马穹隆顶部沟谷及缓坡处可见小型冰川发育,在定日县岗嘎镇南侧卓奥友峰、藏普峰北麓,聂拉木县波绒乡南部希夏邦马峰北麓均可见大量冰川发育,其在影像中极易识别,呈亮白色影像斑块,在沟谷内呈带状、舌状伸出。区内波绒乡西南部,希夏邦马峰东南侧冰川下部发育有多个冰湖,为冰川泥石流堵塞河道形成的堰塞湖,呈椭圆形、条带状蓝灰色影像斑块,其中郭强措(5.4 km²)、郭如措(4.9 km²)规模最大,冰湖其所处海拔多在5 200~5 400 m之间,距离线路约30 km,其北侧线路所处海拔4 600~4 700 m之间,冰湖距线路方案较远,若冰湖溃决后引发洪水及泥石流,对线路威胁较小。

通过对线路方案沿线地层岩性、地质构造、水文

2.3 水文地质解译分析

2.3.1 地下水出露点

区内地下水露头主要通过泉以及溢出带体现,其解译标志包括植被异常聚集发育区、单独民居村庄分布区、溪流源头区、含水断裂延伸区等,多呈深色影像斑块,并可见溪流的线状深色影像条纹。通过解译判读,区内萨迦县城周边,定日县尼辖乡、长所乡,以及朋曲河谷河岸两侧为地下水出露点密集发育区,主要分布在沟谷底部、山坡坡脚处、断层带延伸区等区域(图4(a)和(b))。区内地下水出露点(泉点),可分为侵蚀泉、断层泉、岩溶泉等,侵蚀泉区内广泛分布,多出露于沟谷或山坡坡脚处及洪积扇前缘,影像特征较为明显,多形成小河源,呈影像色彩异常条带或蝌蚪状深色影纹;断层泉多沿近EW向断裂呈线性展布,分布于断裂形成的泻出

地质等开展详细的解译圈定,发现沿线地层岩性复杂、构造形式多样,工程地质环境极不稳定。线路设计中需通过拔高线位海拔或通过傍山隧道降低隧道埋深,且线路走向尽量与区域最大主应力方向平行或呈小角度相交,以减小隧道洞室开挖后的切向应力,同时在软质岩地区隧道需尽量选择构造不发育或发育较弱、地下水不发育的地段通过。区内构造发育,线路在穿越褶皱及断层构造时,需采用绕避优先、大角度短距离穿越的原则,以垂直或大角度斜交方式通过褶皱核部及断层带,降低垂直地应力对工程施工带来的影响,同时需尽量绕避活动断裂,或采用简单路基、桥梁形式垂直通过,降低影响并减小修复难度。

3 不良地质解译分析

3.1 滑坡

沿线滑坡主要集中分布在下布曲以西、登么措以东地区。在区域强烈构造活动的地质背景下,形成河谷下切,山势陡峭的地形地貌,侏罗系与三叠系软岩及软硬相间地层,受降雨、地震、风化、构造等综

合因素影响,部分陡坡、凸出岩块应力平衡被破坏,顺地层软弱层、断层及节理裂隙面等滑脱面向下滑落,堆积于坡地,形成与周边原地围岩及地貌形态“截然不符”的滑坡体。滑坡体在影像中多呈顺下坡方向展布的簸箕形、锅铲状、舌形影像斑块,可清晰识别其浅色滑坡后壁,垄状、浑圆状的滑坡鼓丘,舌状、带状的滑坡舌以及垂直滑动方向展布的条纹

状滑坡台坎,线状、细条纹状的滑坡裂缝等影像痕迹,部分滑坡体可见“双沟同源”、“前缘凸出”等典型影像特征(图 5)。区内共解译滑坡 170 余处,以岩质滑坡为主,具有规模大、破坏力强等特点,如吉堆滑坡、麻布加滑坡、萨迦北滑坡群等,对线路方案和工程设置影响重大,具明显制约作用。

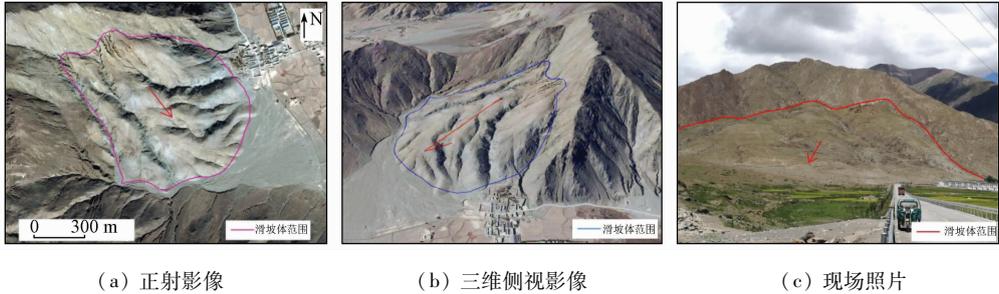


图 5 吉堆滑坡影像及照片

Fig. 5 Images and photo of Jidui landslide

3.2 泥石流

区内泥石流沟全线均有分布,对线路方案、工程设置影响重大。萨迦冲曲、下布曲、热曲流域以及朋曲河谷参木达至乃龙段及门布一带两岸地形起伏较大,沟谷深切、狭窄,软岩分布较多,表层风化破碎,两岸山坡及支沟内残坡积物、古冲洪积堆积物发育,具有发生泥石流灾害良好的“孕灾背景”。通过遥感解译及现场调查,区内共解译判定泥石流沟逾

200 条,具有成群发育的特征,泥石流沟影像特征典型,较易识别,形成区多见密集次级冲沟、沟槽,流通区多为浅色长条状、带状影纹,堆积区多呈浅色调扇形区,部分扇面上见有固定沟槽、导流堤及漫流状沟槽,堆积区前缘多对主沟或河道进行挤压推移、挤压,线路通过此类泥石流沟区,首选采用绕避原则,或预留充足的净空高度后,以桥梁+路基方式穿过泥石流沟(图 6)。

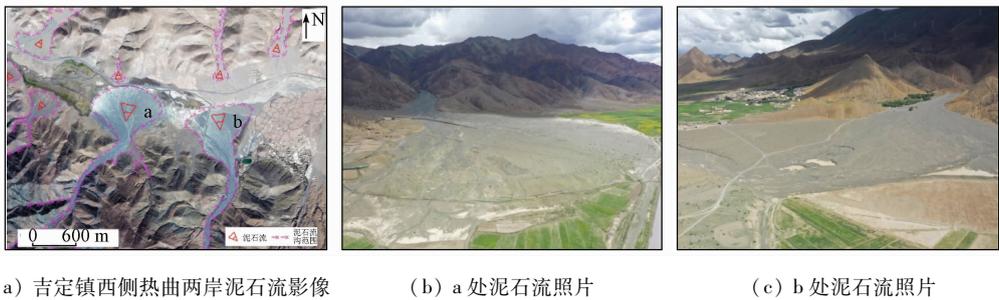


图 6 泥石流影像及现场照片

Fig. 6 Image and photos of mudslides

3.3 风沙

风沙区主要分布于雄麦乡、尼辖乡、曲洛乡、登么措及其以西朋曲河谷两侧部分地区,参考区域地貌影像特征,可知雄麦乡、尼辖乡南部、登么措至措果乡、曲洛乡区域曾为 2~3 处古堰塞湖,为古冰川泥石流或滑坡造成西部朋曲、东部协林藏布河道堵塞而形成,决堤湖水下降后,湖积物曝露,形成现代的风沙区,曲洛乡以西朋曲河谷两侧风沙则主要分布于原河谷冲积、淤积层上部。结合影像及区内植被覆盖情况,将区内风沙区分为流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘,属严重-中等沙漠化土地,其中流动

沙丘对铁路工程施工及后期维护影响较大,主要分布于尼辖乡南部协林藏布两岸,整体呈 N20°E 带状展布,影像特征清晰,沙丘平面形如新月,可见沙丘两侧顺风向延伸的两翼,即典型“新月形沙丘”(图 7)。利用 Google Earth 平台获取历史影像,对比区内新月形流动山丘的移动速率,得出:①沙丘整体向 N20°E“蠕动”,队列整齐;②沙丘移动速率与其大小有关,沙丘越大,整体顺风向移动速度越小,反之越大;③不同位置沙丘移动速率差距较大,该区域移动速率在 10~50 m/a 之间;④流动沙丘形态随时间存在轻微变化,小型沙丘存在“消失再现”特

征。马建军等^[13]基于1996—2016年定结地区遥感数据影像,对包含区内风沙区在内的定结地区风沙地貌分布特征及20 a来动态变化进行了分析研究,得出定结地区风沙地貌总面积呈现出先扩张后缩减

的特征,其与自然环境因素(大气环流、局地气流、风况等)以及人为治理因素密切相关,间接反映青藏高原南部气候暖湿性愈加显著的特征。



(a) 流动沙丘影像及局部照片 (b) 流动沙丘移动示意图 (c) 流动沙丘移动示意图

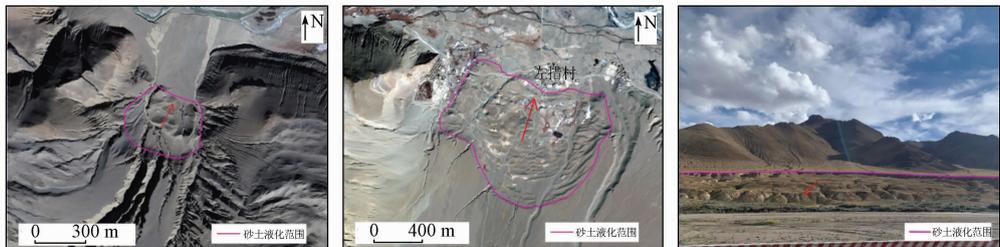
图7 流动沙丘影像

Fig. 7 Images of migratory dune

3.4 地震砂土液化

朋曲河谷区两岸局部分布饱和松散粉、细砂,一般埋深1~3 m,局部埋深5 m,层厚一般0.5~1 m,靠近河谷区地下水位较浅,且位于高地震烈度区,在地震循环荷载作用下,处于地下水位以下砂质粉土及部分黏质粉土(即粉细砂)失去其原有的固结属性,像流体一样运动,出现“喷水冒砂”的地震砂土

液化现象。在朋曲河谷右岸地表可见两处砂土液化引发的滑坡,其与周边正常洪积堆积区光滑影像界线清晰,液化区内部可见多组呈弧状展布的层状错落影纹,整体较杂乱,且砂土液化区滑坡内部可见地下水出露痕迹,表明其地下水水位较浅,在目前已知两处滑坡两侧区域仍存在发生砂土液化的可能(图8)。



(a) 左措村西砂土液化影像 (b) 左措村砂土液化影像 (c) 左措村砂土液化照片

图8 砂土液化影像及现场照片

Fig. 8 Images and photo of sand liquefaction

通过对区内沿线开展不良地质遥感解译及现场调查,识别圈定了大量与线路方案有关的滑坡、泥石流、风沙等不良地质体,为外业地质调查以及线路设计提供了重要的信息参考。线路方案的设计展线需充分考虑区内不良地质发育及分布情况,对于影响较大的不良地质,如大型滑坡、泥石流沟区域需提前绕避,对于部分可控的不良地质,需采用尽量绕避+工程控制方式通过,同时需结合已有资料,提前预防潜在不良地质发生的可能,确保铁路工程在后期施工及运营阶段的安全稳定。

岩性、地质构造等基础地质要素,地下水出露点、现代冰川及冰湖等水文地质要素,滑坡、泥石流、风沙、地震砂土液化等不良地质要素的详细解译圈定。

2)中尼铁路沿线地层岩性复杂、构造形式多样,活动断裂发育,工程地质环境极不稳定,存在多处滑坡、泥石流、风沙等不良地质威胁,线路方案设计需遵从“地质选线”前提,选择地质环境相对稳定、地形条件允许的地区设计展线。

3)本次解译成果有效地解决了外业现场视野局限性问题,减轻了外业调查的工作负荷,提高了外业调查工作效率,充分发挥了遥感技术在铁路工程地质勘察中的优势,实用性强,可为铁路、公路、管廊建设等工程地质、环境地质调查提供技术应用参考,尤其在海拔高、复杂山区起到不可替代的作用。

4 结论及展望

1)本研究利用遥感技术辅助中尼铁路沿线工程地质调查,利用不同分辨率遥感影像开展了地层

随着我国综合实力的不断提升,“一带一路”倡

议经济建设高速发展,国内“八纵八横”高速铁路网建设如火如荼,一大批我国中长期铁路网规划的铁路线逐步纳入设计建设中,新藏铁路、甘藏铁路、跨国“中亚铁路”等一批我国西部铁路干线将逐渐进入设计实施阶段,在此类高海拔、复杂艰险山区铁路设计勘察中,遥感技术将扮演重要的“天眼”角色。未来,多光谱、高光谱、高精度热红外、干涉雷达、无人机三维倾斜摄影、三维激光扫描等多源遥感技术配合地面调查,形成多层次、多尺度、全方位的“空天地”一体化综合勘察技术体系,将为铁路勘测设计提供强大的技术支撑。

参考文献 (References):

- [1] 童立强, 聂洪峰, 李建存, 等. 喜马拉雅山地区大型泥石流遥感调查与发育特征研究[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 104 - 112. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 17.
Tong L Q, Nie H F, Li J C, et al. Survey of large - scale debris flow and study of its development characteristics using remote sensing technology in the Himalayas[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 104 - 112. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 17.
- [2] 刘桂卫, 郭晓亮. 遥感技术在浦梅线地质勘察中应用研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(12): 9 - 13, 23.
Liu G W, Guo X L. Application of remote sensing technology for geological investigation in Pucheng - Meizhou Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(12): 9 - 13, 23.
- [3] 陈富强, 邓国仕, 姬星怡, 等. 遥感技术在川西螺髻山地区水文地质环境调查中的应用[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(4): 209 - 217. doi:10.6046/gtzyyg. 2019. 04. 27.
Chen F Q, Deng G S, Ji X Y, et al. Application of remote sensing technology to hydrogeological environment survey in the Luoji Mountain area, western Sichuan Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(4): 209 - 217. doi: 10.6046/gtzyyg. 2019. 04. 27.
- [4] 余绍淮, 陈楚江, 张 霄. 基于遥感技术的中吉乌铁路地质构造分析[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(5): 12 - 17.
Yu S H, Chen C J, Zhang X. Analysis of the geological structure for China - Kyrgyzstan - Uzbekistan Railway based on remote sensing [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(5): 12 - 17.
- [5] 李晓民, 张 焜, 李冬玲, 等. 青藏高原札达地区多年冻土遥感技术圈定方法与应用[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 57 - 64. doi:10.6046/gtzyyg. 2017. 01. 09.
Li X M, Zhang K, Li D L, et al. Remote sensing technology delineation method and its application to permafrost of Zha da area in the Tibetan Plateau [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(1): 57 - 64. doi:10.6046/gtzyyg. 2017. 01. 09.
- [6] 孟祥连, 周福军. 真实感场景遥感技术在铁路工程勘察中的应用[J]. 西南交通大学学报, 2017, 52(5): 949 - 955.
Meng X L, Zhou F J. Application of railway engineering survey based on remote sensing technology for realistic scenes[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2017, 52(5): 949 - 955.
- [7] 刘桂卫. 多尺度三维遥感技术在某铁路地质勘察中应用[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(8): 40 - 43, 99.
Liu G W. Application of multi - scale 3D remote sensing technology for geological investigation in railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(8): 40 - 43, 99.
- [8] 张占忠. 铁路大场景立体影像模型制作关键技术及应用[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(4): 11 - 16.
Zhang Z Z. Key technologies for making large scene stereo model and its application in railway survey and design [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(4): 11 - 16.
- [9] 吕希奎, 陈进杰. 铁路数字化选线三维地质环境建模方法[J]. 铁道学报, 2015, 37(8): 91 - 97.
Lyu X K, Chen J J. Three - dimensional geological environment modeling method for digital railway alignment [J]. Journal of The China Railway Society, 2015, 37(8): 91 - 97.
- [10] 孙先锋. 中尼铁路沿线活动断裂对地质选线的影响浅析[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(3): 44 - 48.
Sun X F. An analysis of the effect of the active faults along the China - Nepal Railway on the geological route selection [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(3): 44 - 48.
- [11] 黄艺丹, 姚令侃, 谭 礼, 等. 喜马拉雅造山带工程效应及中尼铁路工程地质分区[J]. 工程地质学报, 2020, 28(2): 421 - 430.
Huang Y D, Yao L K, Tan L, et al. Engineering effect of the Himalayan orogen and engineering geological zoning of China - Nepal Railway [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2): 421 - 430.
- [12] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1 - 16, 255, 17 - 28.
Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1 - 16, 255, 17 - 28.
- [13] 马建军, 潘美慧, 伍永秋, 等. 1996—2016年西藏定结地区风沙地貌格局与变化[J]. 干旱区地理, 2018, 41(5): 1035 - 1042.
Ma J J, Pan M H, Wu Y Q, et al. Geomorphological pattern and its change of aeolian landform in Dingjie area of Tibet from 1996 to 2016 [J]. Arid Land Geography, 2018, 41(5): 1035 - 1042.

Application of remote sensing technology to the engineering geological survey for the construction of the China - Nepal railway

CHEN Fuqiang, LIU Yalin, GAO Xu, SONG Minghui, ZHANG Zhazhong
(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: As the first railway project crossing the Himalayas in the world, the construction of the China - Nepal

railway is confronted with many environmental and geological problems such as high elevation, a big difference in elevation, alpine climate, seismic activity zones, soft – rock deformation, and geological disasters. Since the design and selection of route schemes of the railway line are notably restricted by geological conditions, it is necessary to thoroughly understand various geological problems in the study area. This study gives full play to the remote sensing technique to overcome the limitations of surface surveys, reduce the workload of field surveys, and improve work efficiency. Based on the analyses of existing data on basic geology, engineering geology, and geological environment, this study uses the multi – source remote sensing technique to conduct a detailed interpretation and analysis of the adverse geological elements in the study area, including terrain, landform, stratigraphic lithology, geological structures, hydrogeology, landslides, debris flow, and wind – blown sand. In this way, it provides detailed, comprehensive, and reliable remote sensing data for the engineering geological survey and the route design and selection of the China – Nepal railway and plays an important role in technical support.

Keywords: China – Nepal railway; geological interpretation; engineering geology; landslide; debris flow

(责任编辑: 张 仙)