

文章编号: 1674—8247(2020)01—0001—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.001

面向铁路减灾选线的复杂艰险山区地质灾害 广域高效识别

魏永幸¹ 陈明浩¹ 张广泽¹ 赵晓彦²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

摘要:我国西南及邻近的复杂艰险山区,具有地形高差显著、地质复杂多变、构造活动强烈等环境特征,地质灾害广泛发育,地质灾害问题十分突出。开展地质灾害识别是减灾选线的前提,面向基于风险管理、全寿命周期、系统工程的铁路减灾选线,必须重视地质灾害广域高效识别理论与技术的研究。本文研究表明:地质灾害识别可划分为区域宏观识别、沿线系统识别、区段详细识别“三阶段”,综合应用天域卫星平台、空域航空平台、地域地面平台“三维度”识别技术,分阶段开展灾害特征、演化机理、灾害风险“三层次”识别,由此创建“三阶段、三维度、三层次”地质灾害广域高效识别模式与方法,形成复杂艰险山区地质灾害广域高效识别技术体系,能够显著提高山区铁路地质灾害识别的效率、质量和水平,在山区铁路建设中具有广阔的应用前景。

关键词:山区铁路; 减灾选线; 地质灾害; 识别技术

中图分类号:U212 **文献标志码:**A

1

Wide-area and High-efficiency Identification of Geological Disasters in Complex and Dangerous Mountainous Areas for Railway Disaster-reduction Route Selection

WEI Yongxing¹ CHEN Minghao¹ ZHANG Guangze¹ ZHAO Xiaoyan²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;
2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The complex and dangerous mountainous areas in Southwest China and its adjacent areas have the environmental characteristics of significant topographic height difference, complex and changeable geology and strong tectonic activity, where the geological disasters are widely developed and the problem of geological disasters is very prominent. The geological disaster identification is the premise of disaster reduction and route selection. For the railway disaster-reduction route selection based on risk management, life cycle and system engineering, it is necessary to pay attention to the study on the theory and technology for wide-area and high-efficiency identification of geological disasters. The study results show that geological disaster identification can be divided into three stages, including regional macro identification, system identification along the line and detailed identification of the section, by using the "three-

收稿日期:2020-01-10

作者简介:魏永幸(1964-),男,教授级高级工程师。

基金项目:四川省重点研发计划(2019YFG0460)

引文格式:魏永幸,陈明浩,张广泽,等. 面向铁路减灾选线的复杂艰险山区地质灾害广域高效识别[J]. 高速铁路技术,2020,11(1):1-6.

WEI Yongxing, CHEN Minghao, ZHANG Guangze, et al. Wide-area and High-efficiency Identification of Geological Disasters in Complex and Dangerous Mountainous Areas for Railway Disaster-reduction Route Selection[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 1-6.

dimension" identification technology of space satellite platform, airspace aviation platform and regional ground platform, the "three-level" identification of disaster characteristics, evolution mechanism and disaster risk is carried out in stages, thus the wide-area and high-efficiency "three-stage, three-dimension and three-level" identification mode and method for geological disasters is established to form a wide area high-efficiency identification technology system of geological hazards in complex and difficult mountainous areas, significantly improve the efficiency, quality and level of geological disasters identification in the railway in mountainous areas, which has broad application prospects in the construction of railway in mountainous areas.

Key words: mountain railway; disaster-reduction route selection; geological disaster; identification technology

1 研究背景

设计是工程建设的源头,而铁路工程设计的中中之重在于选线,尤其是复杂艰险山区的铁路建设,线位的确定在很大程度上决定了工程的形式及建设难度,不但关系到施工安全、施工效率及工程代价,更关系到安全运营和维修养护。正因如此,国内外山区的铁路建设均强调选线工作的重要性并为之投入了大量的研究。

我国山区铁路选线技术不断发展,20 世纪 50 年代至今经历了“地形选线”、“地质选线”、“减灾选线”三个发展阶段^[1]。但也只是本世纪以来,才在渝利^[2]、成兰、拉林铁路中真正倡导“减灾选线”,逐步引入风险管理理论、全寿命周期设计理论、系统工程理论^[3],开展基于风险源、风险事件以及风险损失的线路空间形位和路基、桥梁、隧道等构筑物布设^[4],取得了铁路减灾选线的长足进步。

开展减灾选线的前提无疑是地质灾害的识别,以上减灾选线的相关理论均是在已知或假定地质灾害分布及其危害性的基础上进行的。目前国内外不少专家和学者已采用各种手段对地质灾害的识别进行了研究,相关研究主要集中在某一具体线路方案的比选,某种识别手段的应用^[5-6],某类地质灾害的识别等^[7],缺少针对铁路工程地质灾害识别理论与技术的系统研究。可见,在复杂艰险山区开展面向铁路减灾选线的

地质灾害广域高效识别具有重要的理论和实际意义,尤其是对于川藏铁路等复杂艰险山区的铁路建设具有重要的现实意义。

2 广域高效识别内容

复杂艰险山区主要位于我国青藏高原、云贵高原、川西山地高原、四川盆地、渝东山地及广西盆地等,具有地形切割极为强烈、新构造运动极为活跃、岩性极为复杂、高地应力、高地震烈度、高山地灾害风险、高岩溶(水)风险的环境特征,地质灾害问题十分突出。

铁路为线性工程,延伸里程多为数百甚至上千公里,而线路两侧数百米甚至数公里发生的地质灾害也可能威胁铁路的施工及运营,并且在前期阶段,还存在经过不同经济据点的多个线路走向的比选,可见,铁路地质灾害识别的范围非常广,其范围可达数万平方公里,具有“长距离、宽廊道、多廊道”的特点。同时,地质灾害的识别在工程可行性研究和初步设计阶段尤为重要,要在有限的时间内,实现数万平方公里范围地质灾害的广域识别,识别效率是其关键,因此,在复杂艰险山区开展地质灾害的广域高效识别是非常必要的。

基于铁路减灾选线的需要,以及地质灾害识别需满足广域高效的要求,将其识别内容划分为地质灾害特征识别、地质灾害机理识别、地质灾害风险识别三个层次,如图 1 所示。

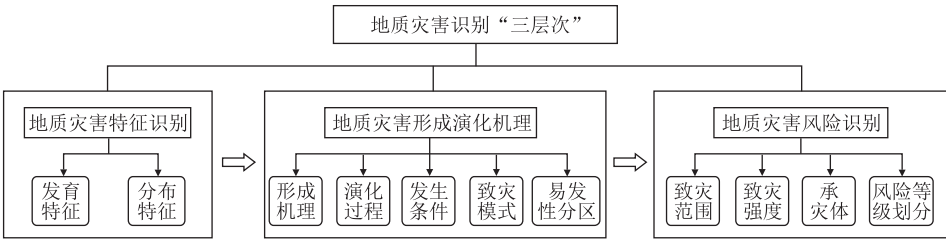


图 1 地质灾害识别“三层次”图

(1)地质灾害特征识别
研究各类地质灾害在遥感图像、物探、钻探等识别手段上的地貌、光谱、温度、形状、电性等特征标志,判

识地质灾害的类型及分布特征,包括分布位置、分布面积、厚度、体积、大小等。
(2)地质灾害机理识别

研究地质灾害形成机理及演化过程,阐明各类地质灾害的形成条件、形成原因、致灾可能性、致灾方式等,提出地质灾害发生条件、致灾模式及易发性。

(3) 地质灾害风险识别

探索地质灾害工程地质模型及相关参数取值,研究地质灾害的致灾范围及致灾强度,评价铁路工程修建过程中地质灾害对隧道、桥梁、路基、站房等铁路工程的危害程度、破坏程度等,划分地质灾害的风险等级。

3 地质灾害分类

以往地质灾害类型划分多依据地质灾害发生的模式或机理^[8],地质灾害广域高效识别更强调地质灾害对铁路工程的影响,由于外生和内生地质灾害发生和致灾的位置有明显区别,机理也大有不同,对减灾选线的影响方式及程度也不尽相同,其识别技术也有所区别。对铁路工程具有主要或突出影响的地质灾害,可以划分为外生地质灾害和内生地质灾害两类,其中外生地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流三种,内生地质灾害主要有岩溶、高地温、高地应力、高烈度地震及活动断裂四种。

3.1 外生地质灾害特征

(1) 崩塌

崩塌常发生在高陡山麓斜坡或河谷陡岸地带,尤其是新构造运动剧烈、深大张开卸荷裂隙较多的地段,是斜坡上的张、剪应力超过岩土体的软弱结构面强度而崩落的结果。在地层岩性上,多发生在厚层、坚硬、性脆的灰岩、砂岩、花岗岩、玄武岩等构成的陡崖,以及砂岩与页岩、灰岩与泥灰岩等软硬岩互层构成的陡坡地带;在地质构造上,多发生在断层破碎带、构造交汇处、褶曲轴部、节理密集带及不整合接触带;水是引起崩塌最活跃的因素,绝大多数崩塌都发生在雨季或暴雨之后,雨水渗入节理裂隙,增加了岩土体重量,加大了静水压力,岩土体中软弱结构面抗剪强度降低,或人类工程活动中边坡开挖过高过陡,爆破、地震等因素影响,都会引起崩塌的发生。崩塌落石常突然发生,隐蔽性强、危害性大、性质复杂。

(2) 滑坡

滑坡形成的内在因素,主要受地层条件和地质构造条件控制,多分布在各类黏性土、软质岩层、夹软弱夹层的硬质岩层内,当存在倾向斜坡、倾角较陡的断层面、岩层层面、不整合面以及其他软弱结构面时,易发生顺层滑坡。滑坡形成的外在因素,主要为河流的冲刷、开挖斜坡坡脚、斜坡上部加载、地表水下渗、地下水软化、地震作用、大爆破及机械震动等。它们改变了斜

坡的外形和应力状态,增大了下滑力或减小坡体内的抗滑力,从而引起滑坡。不稳定的滑坡对工程和建筑物危害性大,运营期间严重威胁行车安全,极易造成行车事故与旅客伤亡。

(3) 泥石流

泥石流是由于降水在山区发生的一种挟带大量泥沙、石块等松散固体物质的特殊洪流,形成与地形、地质、水文、气象、植被、地震、人类活动等因素有关,泥石流的发生与发展是流域内有丰富的松散物质的补给,有陡峻的地形和较大的沟床纵坡,有强大的径流动力(如暴雨、水库坝体溃决,急剧的融雪)等综合作用的结果。具有较大的密度,速度快,惯性大,具有强大的动力。泥石流在运动过程中具有极大破坏作用,对铁路工程存在严重威胁,往往携带巨大漂砾,具有大冲大淤的特点,在流通区具极强的冲击危害,在堆积区通常发生淤埋作用。

3.2 内生地质灾害特征

(1) 岩溶

我国南方是碳酸盐岩的主要分布区,尤以西南地区最为集中。岩石和水是岩溶发育的基本条件,区内气候湿润,降雨充沛,岩溶极为发育,各种岩溶形态齐全,主要有溶槽、落水洞、溶洞、暗河、漏斗、溶蚀洼地、岩溶盆地、峰林、峰丛等。岩溶及岩溶水对铁路工程的影响和危害主要表现在以下方面:一是岩溶涌(突)水对地下工程造成危害;二是隐伏岩溶洞穴及其充填物对构筑物基础稳定性的影响;三是岩溶地面塌陷威胁建筑物安全;四是岩溶洼地积水浸泡或淹没路基、涵洞等地面工程;五是隧道施工疏干地下水,引起区域地下水环境破坏。

(2) 高地温

西南地区高烈度地震频发、活动断裂广泛分布,导致高地温尤其是水热表现突出。水热的表征形式主要为热水爆炸、沸泉、温泉等,与活动断裂的分布密切相关,大部分沿活动断裂带呈带状展布。温泉分布呈现与断裂构造以及地震有强烈的相关性,温泉分布集中的区域往往也是断裂活动强烈和地震发育所在。深埋长大隧道易遇高温、高压热水(汽)及高温岩体等热害问题,严重影响施工建设安全及工期,亦对运营安全、耐温及防腐蚀性材料提出了更高的要求。

(3) 高地应力

西南山区构造环境复杂,具有深大活动断裂发育、地震活动频发、新构造运动强烈等构造特征,其地应力场尤其是构造应力场复杂多变。高地应力对复杂山区长大深埋隧道工程的危害,主要表现在两个方面:一是软岩大变形,即地下洞室围岩在高地应力作用下发生

显著的塑性变形和位移的现象。二是硬岩岩爆,即高地应力区围岩中聚积的弹性变形能在开挖过程中的突然释放,使岩石出现爆裂弹射等现象;围岩强度应力比不同,岩爆与变形的程度也不同。

(4) 高烈度地震及活动断裂

西南地区位于青藏高原地震区,频发高烈度地震,据地震资料记载,共发生 7~7.9 级地震 21 次、≥8 级地震 7 次(最大震级为西藏察隅地震 8.5 级),近年发生的重大地震包括 1973 年四川炉霍 7.6 级地震、2008 年四川汶川 8 级地震、2010 年青海玉树 7.1 级地震、2013 年四川芦山 7.0 级地震、2014 年云南昭通 6.5 级地震、2014 年新疆于田 7.3 级地震、2016 年康定 6.3 级地震等,对人民的生命财产造成了巨大的损失,也对西南地区高速铁路建设形成了巨大的挑战。地震发生后可产生地面开裂、地面错动及诱发山崩、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生重力不良地质灾害,导致房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等。

西南山区新构造运动强烈,活动断裂广泛分布,活动断裂(带)共包括 19 条,著名的活动断裂带包括龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂带、小江断裂带、玉树断裂带等。活动断层(裂)有两种基本活动方式:一种是以地震方式产生间歇性的突然滑动,称为地

震断层或粘滑型断层;另一种是沿断层面两侧岩层连续缓慢地滑动,称为蠕变断层或蠕滑型断层。活动断层的活动往往伴生或引起地震、地面错动,并对地面建(构)筑物和人民的生命安全造成严重的影响,对高速铁路选址和建设形成巨大的挑战。

4 广域高效识别技术

地质灾害的广域高效识别技术,总体上可以划分为“天域”、“空域”、“地域”三个维度,即地质灾害广域高效识别技术由“天域”卫星平台、“空域”航空平台、“地域”地面平台“三维度”一系列技术构成,其中各类识别技术又包括新型识别技术和常规识别技术。“天域”、“空域”、“地域”可简称为“天”“空”“地”。

(1)“天域”卫星平台技术

“天域”卫星平台识别技术包括新型识别技术和常规识别技术,常规识别技术主要为卫星遥感解译技术(低分辨率),而高分卫星遥感解译技术、高分卫星 InSAR 形变监测技术、卫星热红外遥感地热异常识别技术及多光谱、高光谱卫星岩性识别技术等新型识别技术,则是在工程实践中对常规识别技术的创新成果。各种“天”类技术特点及适用范围如表 1 所示。

表 1 “天”类技术特点与适用范围表

类别	技术名称	技术特点	适用范围
新技术	高分卫星遥感解译技术	高分卫片空间分辨率为 0.5~120 m,图幅覆盖范围较大	适用于分析工作区地质背景、构造格架、地形地貌、地表水系、不良地质及主要岩层分界线
	高分卫星 InSAR 形变监测技术	基于时序 PS/DS InSAR 技术、山区地形图雷达干涉三维重建技术和 SAR 最新模式影像处理方法,进行地面变形位移适时监测	可监测或识别出潜在或未知的地面形变信息,主要用于沿线滑坡、不稳定斜坡的形变监测,进行早期隐患识别和预警,指导选线
	卫星热红外遥感地热异常识别技术	是一种热图像,图像的色调系反映地物热辐射的差异	适用于解译地表地热异常,划分相对低温走廊
	多光谱、高光谱卫星岩性识别技术	通过光谱分析识别岩性	适用于高海拔、高陡、无人区山体及岸坡的非接触岩性识别
常规技术	卫星遥感解译技术(低分辨率)	图像分辨率低,图幅覆盖范围大	主要用于解译区域构造格架、宏观地貌、地表水系等,分析工作区宏观地质背景

(2)“空域”航空平台技术

“空域”航空平台识别技术包括新型识别技术和常规识别技术,常规识别技术主要包括各类航空遥感解译技术(低分辨率),而无人机(机载 LiDAR)识别技

术等新型识别技术,则是在工程实践中对常规识别技术的创新成果。各种“空”类技术特点及适用范围如表 2 所示。

表 2 “空”类技术特点与适用范围表

类别	技术名称	技术特点	适用范围
新技术	无人机(机载 LiDAR)识别技术	分为固定翼无人机和多旋翼无人机两种,固定翼无人机续航时间差、辐射范围大、适合线状区域航拍,在方案比选阶段优势明显;多旋翼无人机飞行姿态可控、适合点状区域航拍,在工点详细勘察方面优势突出;无人机机载 LiDAR 技术是在无人机搭载 LiDAR 设备,可以进行目标物表面植被等地物剔除,更加直观、准确识别目标物特征	可实现滑坡、泥石流、危岩落石等地质灾害调查工作,结合摄影测量技术可完成岩性组合、结构面产状、断层、卸荷带走向、宽度的识别
常规技术	航空遥感解译技术(低分辨率)	比例尺 1:1 万至 1:5 万左右,几何分辨率高,图像质量稳定,成本低,地质判释与测制地形图均可使用	适用于判释地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质、植被、水体、井泉点等内容

(3)“地域”地面平台技术

“地域”地面平台识别技术包括新型识别技术和常规识别技术,常规识别技术主要包括常规地面地质调绘、物探、钻探、观测与测试、超前地质预报等,而地面三维激光扫描技术、等值反磁通瞬变电磁法技术、微动探测技术以及轻便型动力头式全液压钻探技术等新型识别技术,则是在工程实践中对常规识别技术的创新成果。

5 广域高效识别程式

广域高效识别需面向铁路减灾选线工作开展,从识别的程式上,与铁路勘察工作的踏勘、初测、定测(含补定测)^[9]相对应的分为区域宏观识别、沿线系统识别、区段详细识别“三阶段”进行^[10],识别深度应满足各阶段的设计要求。

(1)区域宏观识别

以“天”类识别技术为主,宏观识别影响线路方案的区域工程地质条件及地质灾害的类型及分布特征,初步提出线路方案的比选意见。

(2)沿线系统识别

以“天”“空”类识别技术为主,系统识别地质灾害

对线路方案的致灾可能性、致灾方式等,划分地质灾害易发性分区,提出规避重大地质灾害的减灾选线意见。

(3)区段详细识别

以“空”“地”类识别技术为主,详细识别各类地质灾害对隧道、桥梁、路基、站房等铁路工程的危害程度、破坏程度等,划分地质灾害的风险等级,提出减灾选线风险调控措施。

6 地质灾害识别技术体系

地质灾害广域高效识别研究,就是针对外生地质灾害和内生地质灾害,根据不同的识别阶段和灾害类别,结合各种识别技术方法的适用条件,在地质调绘的统筹下,充分发挥各种识别方法的优势,以最佳的组合模式,选用多种识别方法密切配合,取长补短,进行相互验证和综合分析,达到提高地质灾害识别质量,缩短地质灾害识别周期和降低地质灾害识别成本的目的。要体现从面到点,从宏观到微观,从定性到定量的过渡,促进复杂艰险山区地质灾害广域高效识别技术整体水平的提高,复杂艰险山区地质灾害广域高效识别技术体系如图2所示。

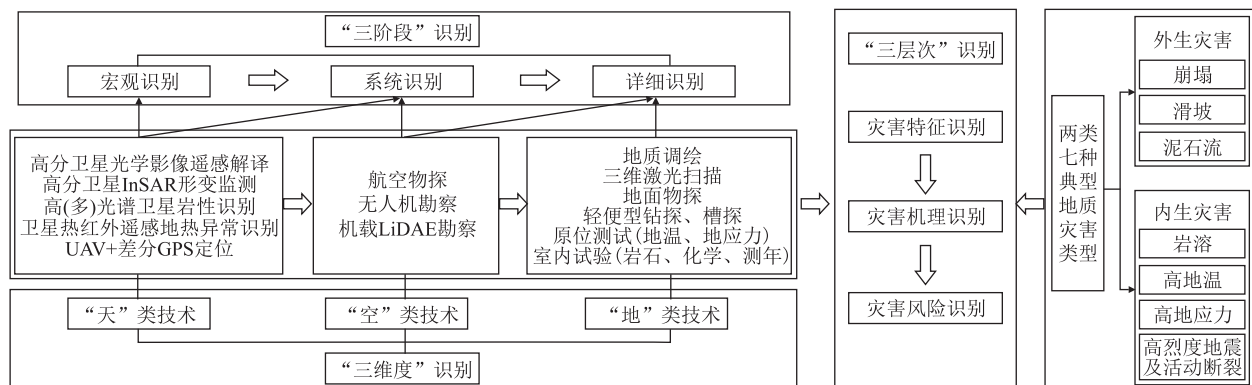


图2 复杂艰险山区地质灾害广域高效识别技术体系图

各类识别技术的组合原则:实施过程中原则上应遵循“先天、后空、再地”的顺序,选取相应技术,开展协同识别,并相互验证综合分析。

7 总结与展望

地质灾害广域高效识别是面向铁路减灾选线的复杂艰险山区地质灾害识别的一次提升。地质灾害广域高效识别在继承传统地质灾害勘察理论、方法、技术的基础上,将影响铁路减灾选线的地质灾害划分为外生、内生“两类”“七种”,提出了“三阶段”、“三维度”、“三层次”的地质灾害识别方法和技术,建立了复杂艰险

山区地质灾害广域高效识别技术体系。

(1)地质灾害广域高效识别程式分为区域宏观识别、沿线系统识别、区段详细识别“三阶段”。与铁路勘察工作的踏勘、初测、定测及补定测相对应,识别深度应满足各阶段的设计要求。

(2)地质灾害广域高效识别内容分为地质灾害特征识别、地质灾害演化机理识别、地质灾害风险识别“三层次”。分别对地质灾害的类型、分布特征、形成条件、形成原因、致灾可能性、致灾方式、危害程度、破坏程度及风险等级进行识别。

(3)地质灾害广域高效识别技术分为“天域”卫星

平台、“空域”航空平台、“地域”地面平台“三维度”。各类识别技术又包括新型识别技术和常规识别技术,遵循“先天、后空、再地”的顺序,充分发挥各种识别方法的优势,合理选用多种识别方法进行综合识别。

根据各类识别技术,结合灾害类别和识别程式,建立的复杂艰险山区地质灾害广域高效识别技术体系,显著提高了山区铁路地质灾害识别的效率和质量,提升了减灾选线规避和防范工程建设和运营风险的水平,促进了我国复杂艰险山区铁路勘察设计技术进步,在新时代“西部大开发”、“交通强国”战略、“一带一路”建设中具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 朱颖,魏永幸. 复杂艰险山区铁路减灾选线[J]. 高速铁路技术, 2018,9(6):1-4.
ZHU Ying, WEI Yongxing. Disaster Reduction Techniques for Route Selection of Railway in Complex and Dangerous Mountain[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 1-4.

[2] 毕强,何小勇,刘继宝. 渝利铁路岩溶区选线[J]. 高速铁路技术, 2012, 3(3): 57-60.
BI Qiang, HE Xiaoyong, LIU Jibao. Route Selection for Chongqing-Lichuan Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2012,3(3): 57-60.

[3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 山区铁路减灾选线理论、方法与技术[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2019.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Theory, Method and Technology of Railway Route Selection for Disaster Reduction in Mountainous Areas [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2019.

[4] 王子江,蒋良文,王茂靖,等. 复杂岩溶区高速铁路减灾选线理论研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(4): 11-15.
WANG Zijiang, JIANG Liangwen, WANG Maojing, et al. Research on the Theory of High-speed Railway Route Selection for Disaster

Reduction in Complex Karst Area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(4): 11-15.

[5] 何朝阳,巨能攀,解明礼. InSAR 技术在地质灾害早期识别中的应用[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2019, 38(1): 32-39.
HE Chaoyang, JU Nengpan, XIE Mingli. Application of InSAR Technology in Early Recognition of Geohazards[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2019, 38(1): 32-39.

[6] 刘纪尧,豆猛,吴少菁. 遥感技术在地貌与岩土体特征识别和地质灾害分布规律分析中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2017, 28(3): 83-90.
LIU Jiyao, DOU Meng, WU Shaojing. Application of Remote Sensing Technology in Geomorphology and Geotechnical Feature Recognition and Analysis of Geological Hazards Distribution [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2017, 28(3): 83-90.

[7] 冯涛,蒋良文,曹化平,等. 高铁复杂岩溶“空天地”一体化综合勘察技术[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(6): 1-6.
FENG Tao, JIANG Liangwen, CAO Huaping, et al. Research on the Integrated Survey Technical System of "Space-Air-Ground" in Complex Karst Area of High Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(6): 1-6.

[8] TB 10027-2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].
TB 10027-2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering[S].

[9] TB 10012-2019 铁路工程地质勘察规范[S].
TB 10012-2019 Code for Geology Investigation of Railway Engineering [S].

[10] 魏永幸,岳志勤,李光辉. 复杂艰险山区地质灾害识别与铁路减灾选线[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(3): 1-5.
WEI Yongxing, YUE Zhiqin, LI Guanghui. Identification of Geological Hazards and Disaster Reduction Techniques of Railway Route Selection in Complex Dangerous Mountain Area[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 1-5.

(编辑:白雪 张红英)