

文章编号: 1674—8247(2019)03—0001—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.001

复杂艰险山区地质灾害识别与铁路减灾选线

魏永幸 岳志勤 李光辉

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:复杂艰险山区铁路规划设计必须重视以规避、防范地质灾害风险为根本的减灾选线;地质灾害识别是减灾选线的基础,必须重视地质灾害的识别与评估。从铁路减灾选线工作出发,分析地质灾害识别与铁路减灾选线的相互关系,研究地质灾害识别的途径、方法,以及地质灾害识别的内容、程式,提出基于铁路减灾选线的地质灾害识别工作重点、要点。指出:灾害类型识别、灾害机理识别、灾害风险识别是地质灾害识别三大基本任务,地质灾害识别工作要结合铁路减灾选线工作开展,应做好区域系统识别、沿线全面识别、区段详细识别。复杂艰险山区地质灾害识别的工作重点是:宏观把握区域重大地质灾害类型、分布与特征,做好线路路径方案选择;识别铁路沿线突出地质灾害,做好线路与工程方案的比选;查明铁路区段地质灾害,做好工程防灾减灾设计。

关键词:山区铁路;减灾选线;灾害识别;风险防控

中图分类号:U212

文献标志码:A

Identification of Geological Hazards and Disaster Reduction Techniques of Railway Route Selection in Complex Dangerous Mountain Area

WEI Yongxing YUE Zhiqin LI Guanghui

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: In the planning and design of railways in complex dangerous mountain areas, it is necessary to pay attention to the disaster reduction techniques of railway route selection which is based on avoiding and preventing the risk of geological disaster. As the disaster identification is the basis of the route selection, the identification and evaluation of the geological hazards must be attached importance to. Starting from the work of disaster reduction of railway route selection, this paper analyzes the relationship between geological disaster identification and railway disaster reduction and selection, studies the ways and methods of geological disaster identification, as well as the content and program of geological disaster identification, and puts forward the key points of geological disaster identification based on railway disaster reduction and selection. It is pointed out that the identification of hazard type, mechanism and risk are three basic tasks of geological hazard identification, which should be carried out in combination with the work of railway disaster reduction, including regional system identification, comprehensive identification along the line and detailed identification of sections. The key points of the identification of geological disasters in complex and dangerous mountainous areas are: to grasp the type, distribution and characteristics of regional major geological disasters macroscopically, and do a good job in the selection of route schemes; to identify the prominent geological hazards along

收稿日期:2019-03-16

作者简介:魏永幸(1964-),男,教授级高级工程师,注册土木工程师(岩土)。

基金项目:四川省重点研发计划(2019YFG0460),中铁二院工程集团有限责任公司科技发展计划项目(KYY2018038)

引文格式: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.

the railway line, make comparison and selection between the line and the engineering scheme and to find out the geological disaster in railway section and design the disaster prevention and reduction projects well.

Key words: mountain railway; disaster reduction techniques of railway route selection; disaster identification; risk prevention and control

复杂艰险山区,地形艰险、地质复杂,铁路工程布设困难,特别是因为不良地质、特殊岩土分布广,潜在地质灾害风险高,铁路规划设计需做好规避地质灾害的选线以及防灾减灾工程设计。朱颖^[1]等人认为,复杂艰险山区铁路勘察设计必须重视以规避、防范地质灾害风险为根本的减灾选线;地质灾害识别是减灾选线的基础,必须重视地质灾害识别与评估。本文从铁路减灾选线工作出发,分析地质灾害识别与铁路减灾选线的相互关系,研究地质灾害识别的内容、途径、方法及程式,提出基于铁路减灾选线的地质灾害识别工作重点、要点,希望有益于做好复杂艰险山区铁路规划选线与防灾减灾工作。

1 地质灾害识别是铁路减灾选线的基础工作

铁路减灾选线工作包括四个方面(或四个层次),即:(1)全面识别地质灾害风险;(2)采取措施规避重大地质灾害风险;(3)采取措施防控地质灾害风险;(4)对潜在地质灾害进行监测预警^[2]。其中,贯穿始终的工作主线就是地质灾害风险的识别、防控与监测,地质灾害风险识别是减灾选线的首要工作,也是减灾选线的基础工作。

地质灾害识别是铁路减灾选线的基础工作,其含义有两层:

(1)铁路减灾选线需要在全面、系统识别选线区域内地质灾害的类型、分布、特征、致灾机理,以及灾害对铁路的危害性等基础上进行。复杂艰险山区要以规避重大地质灾害为根本目标来进行铁路的规划选线,因此,铁路规划选线阶段的首要、基础工作就是对选线区域的重大地质灾害进行全面、系统的识别。

(2)地质灾害风险识别的水平直接影响铁路规划选线的质量,直接影响铁路减灾防灾工程总体设计的水平。工程实践中,由于认识自然的局限性,出现过对地质灾害体漏判、误判,在铁路建设甚至运营期间而被迫改线的案例;也出现过因勘察期间对地质灾害体漏判、误判,施工期间不得不进行设计变更、增加防护工程,从而引起工程投资增加^[3-4]的案例。对于地质灾害性质及灾害对铁路危害性等的认识偏差,可能导致工程设计针对性、有效性不足,甚至埋下安全隐患,直接影响铁路工程建设与运营的安全。这些都充分说

明,地质灾害风险识别水平直接影响铁路规划选线、铁路减灾防灾工程总体设计的质量与水平。

2 做好铁路减灾选线是地质灾害识别的根本任务

地质灾害识别是铁路减灾选线的基础,做好铁路减灾选线,则是地质灾害识别的根本目的和根本任务。铁路减灾选线的核心指导思想,归纳起来就是采取“避重就轻”、“工程防控”、“监测预警”的措施,防范地质灾害风险。所谓“避重就轻”,就是要规避重大地质灾害风险,使铁路从地质灾害对铁路危险相对较轻的区段或位置通过;所谓“工程防控”,就是要采取可靠的工程措施,对铁路沿线潜在的地质灾害风险进行防控;所谓“监测预警”,就是要对潜在的地质灾害风险进行监测预警,确保铁路运营安全。地质灾害识别,要围绕铁路减灾选线,做好相关工作,具体体现在三个方面:

(1)规避重大地质灾害风险是地质灾害识别的首要目标。减灾选线的首要目标,是规避重大地质灾害风险,因此,地质灾害识别的首要目标,就是识别选线区域内的重大地质灾害分布、特征以及对铁路的危害。

(2)为防灾减灾工程设计提供依据,是地质灾害识别的重要目标。线路方案确定后,需要采取可靠的防控措施来防控沿线地质灾害风险,需要对沿线地质灾害体进行全面的识别,查明地质灾害体的范围和性质,正确把握灾害机理、演化规律、破坏特征等,为防灾减灾工程设计提供依据,这是地质灾害识别的一个重要目标。

(3)为制定潜在地质灾害监测预警方案提供依据也是地质灾害识别的重要目标。对潜在地质灾害必要时应进行监测预警。地质灾害识别,需要查明潜在地质灾害体的范围、性质,以及演化规律等,为制定监测预警方案提供依据,这也是地质灾害识别的一个重要目标。

3 地质灾害识别的内容、途径、方法

3.1 地质灾害识别内容

地质灾害识别从识别内容上看,可归纳为灾害类型识别、灾害机理识别和灾害风险识别。一般首先识别类型,再识别机理,再识别风险;基于灾害机理的识

别,可重新识别灾害类型。地质灾害识别的内容及其相关关系,如图1所示。

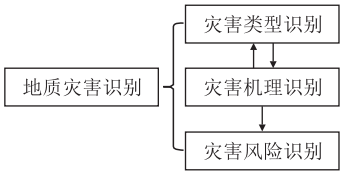


图1 地质灾害识别的内容及关系图

3.1.1 灾害类型识别

灾害类型识别包括灾害范围、特征、性质等的识别。地质灾害的发生与地球内动力、外动力及人类工程活动作用有关。其中,内动力地质作用引起的构造运动、岩浆作用和变质作用推动地球内部的物质和能量循环,同时“抬高降低”地表高差,激发相应的外动力地质过程,是地质灾害发生的本源。

从引起灾害的主控因素看,地质灾害可以分为以下五大类型:(1)重力地质作用引起的崩塌、滑坡、泥石流等重力地质灾害;(2)特殊岩土、特殊环境条件(如岩溶、采空区、软弱地基等)引起的工程危害;(3)工程施工引起环境改变(如路堑开挖引起工程滑坡、隧道施工引起地表失水等);(4)内动力作用引起地质灾害,如地震引起的地表开裂、位移,高地应力发生大变形与岩爆等;(5)特殊气候条件引起地质灾害,如降水引起泥石流,严寒地区冻土冻融。

3.1.2 灾害机理识别

各类地质灾害的形成、演化都有一定规律。但对于具体的地质灾害,其形成条件、环境变化的影响等存在特殊性,需结合具体情况,运用已有的知识进行识别、判定。必要时,需要借助包括模拟试验研究在内的多种手段进行论证。

3.1.3 灾害风险识别

地质灾害对铁路的影响,是铁路规划设计关心的重点。地质灾害对铁路的影响即是铁路面临的风险。地质灾害识别的一项重要内容,也是关键内容,就是判断地质灾害对铁路的影响,即识别、判识地质灾害风险。地质灾害风险包括地质灾害发生的可能性、地质灾害发生对铁路设施造成的影响和损失等。

3.2 地质灾害识别的途径、方法

地质灾害识别,从识别途径、方法以及识别详细程度上,可分为宏观识别、系统识别、详细识别。灾害机理识别宜从地球内动力作用→外动力作用→人类工程动力作用由内而外,依次展开。

(1)宏观识别

基于区域工程地质、区域水文地质、区域矿产地

质、人文地理等文献资料,以及卫星、航空摄影和遥感影像等对选线区域的大地构造进行研究,从山川、平原、湖海的演化认识区域内地壳的物质组成、结构及运动状态,结合人类活动、地震活动规律和气象特征,对区域内灾害种类进行大尺度、宏观识别。

(2)系统识别

通过现场考察、测绘、勘察等,对铁路沿线地质灾害进行系统识别。

(3)详细识别

通过测绘、钻探、物探、测试、试验等手段,对铁路场址、区段内的地质灾害进行详细识别。

4 地质灾害识别程式

地质灾害识别工作需结合铁路减灾选线工作开展。从识别的程式上看,可分为区域宏观识别、沿线系统识别、区段详细识别。地质灾害识别分阶段进行,与铁路规划设计阶段(预可行性研究、可行性研究、初步设计)相适应。分阶段地质灾害识别的内容及目标,如表1所示。

表1 地质灾害识别阶段划分

铁路规划设计阶段	地质灾害识别阶段	地质灾害识别内容及目标	作用与意义
项目预可行性研究	区域宏观识别	系统识别区域、重大地质灾害风险	为线路宏观走向提供支持
工程可行性研究	沿线系统识别	全面识别沿线地质灾害风险	为线路走向及重大工程方案提供支持
初步设计	区段详细识别	详细识别地质灾害风险	为工程方案提供支持
施工图	补充区段详细识别	补充详细识别地质灾害风险	为工程方案提供支持

区域宏观识别主要是选线区域内大范围、大尺度地对重大地质灾害风险进行系统识别。沿线系统识别则是针对确定的线路方案,对沿线地质灾害风险进行全面系统的识别。

5 基于铁路减灾选线的地质灾害识别工作重点、要点

5.1 宏观把握区域重大地质灾害类型、分布及特征,做好线路路径方案选择

长大铁路,其长度通常在几百公里乃至上千公里,铁路规划选线需在一个较大的区域内进行研究,需从宏观的尺度把握影响铁路规划选线的要素,其中包括对影响铁路建设及运营安全的重大地质灾害的类型及其分布、特征的把握。通过文献资料研究,卫星、航空摄影,遥感影像判识以及现场踏勘,对区域内地质灾害类型、灾害历史事件、重大地质灾害分布及特征等进行

研究,为线路走向方案选择提供基础资料。识别区域重大地质灾害,要高度重视以下工作:

(1)要重视基于大地构造的地质灾害识别。

大地构造是地质灾害发生的源泉,构造作用为地壳运动提供了物质基础,地质灾害作为构造作用的表现形式之一,反映了表层地质的形变,是地壳运动的结果或具体表现。对地质体的物质组成、结构、构造及其演变过程进行研究,是地质灾害识别的前提。大地地质构造,控制区域的稳定性,在板块碰撞带及活动断裂附近的带状区域,是内动力作用的释放口,往往存在高地震、高地应力、高地温等严重制约线路路径、工程方案、位置、类型、处理措施的重大、典型地质问题。同时,这些部位亦是地层破碎、地下水丰富,工程地质条件相对较差,容易出现斜坡稳定性病害、洞室坍方、变形破坏、突水涌泥等地质灾害的地段。如,成兰铁路选线工作在龙门山“5.12”地震发生前完成,采用方案放弃了都江堰、汶川重要经济据点,选择了位于映秀、北川之间的安县(后来发生的强地震及其次生灾害明显相对较轻)、大角度穿越龙门山的径路。又如,川藏铁路选线放弃线路顺直、地形平缓、坡度适宜,且通过了康定、道孚、炉霍、甘孜、德格、昌都等主要经济据点的沿鲜水河方案,就是基于充分认识到了鲜水河活动断裂位移大、强地震频发、工程风险高的特征。

(2)要重视基于地形地貌的地质灾害识别。

地形地貌是内动力、外动力地质作用共同作用、塑造的表相,是风化、剥蚀、搬运、沉积、硬结成岩等地表动力地质作用的结果。通过地形地貌追根溯源,可推究地层内外营力作用及其演变过程,预测其未来的变化。典型地形地貌,如洪水及冰川泥石流沟口的堆积扇、滑坡形成的堆积体,顺层段的单面坡,地震引起的断陷盆地等,是地质灾害识别的重要表征。需特别注意的是,深切河谷的岸坡稳定性对高墩大跨桥位及越岭深埋长隧洞口选择的影响是决定线路方案的关键所在。

(3)要重视基于地层岩性的地质灾害识别。

地层岩性与地质灾害密切相关。膨胀性岩土(成都狮子山滑坡),含煤地层(通常也称“黑色地层”)^[5],四川东部的含石膏砂泥岩互层(也称“川东红层”)^[6],昔格达地层^[7]等易产生工程滑坡。岩溶突水涌泥威胁隧道施工及结构安全,岩溶路基突发塌陷威胁铁路运营安全,有害气体地层存在潜在的重大施工安全风险。

(4)要重视基于特殊气候水文条件的地质灾害识别。

气候气象环境对地质灾害的发生发展具有促进、加速作用。气候、水文,特别是特殊的气候、水文条件,是孕育地质灾害的一个重要外部条件。实际工作中,特别要重视局部小区域特殊气候水文的影响,如不同气候环境的交汇风口,“阴坡”与“阳坡”的不同效应,易于集聚地表水的凹地,发育于斜坡上的“斜坡软土”^[8]等。同时,也要重视地形雨、锋面雨、台风雨、对流雨以及极端气候的不利影响,如干旱地区的集中降水冲蚀路基等^[9]。广西壮族自治区富川县、贵州省镇雄县槽地为珠江流域与长江流域气候交汇风口,降水频繁,时有降雨超过100 mm/h,导致边坡失稳、岩溶塌陷、泥石流或冲毁工程等灾害。

(5)要重视基于人类活动的地质灾害识别。

人类活动往往以破坏表层地质环境稳定为前提,局部影响了表层地质环境的演变。工程边坡变形坍塌,工程加载挤压致使周边地基变形破坏,采空区沉降变形并导致塌陷,破坏植被或不当弃碴形成滑坡、泥石流,水库坍岸及溃坝等。

5.2 识别铁路沿线突出地质灾害,做好线路与工程方案的比选

在宏观识别区域重大地质灾害,确定线路走向方案的基础上,还应结合区段线路的地形地质气候等,进一步做好铁路沿线突出地质灾害的识别,做好线路与工程方案的比选。对于复杂艰险山区,特别要做好大高差地区、岩溶山区、高烈度地震山区突出地质灾害的识别,要重视高山峡谷区链式灾害的识别。

(1)要做好大高差地区突出地质灾害识别。

大高差地区,重力地质作用突出,崩塌、滑坡、泥石流(简称“崩、滑、流”)是常见的、也是突出的地质灾害。在大高差地形区,要高度重视“崩、滑、流”灾害对铁路危险性的识别,重视规避重大“崩、滑、流”灾害的铁路选线和工程方案选择。坠落型落石的破坏性极强,铁路应避免在落石坠落范围内以路基、桥梁方式通过;铁路应绕避巨型、大型滑坡或潜在产生“工程滑坡”的易滑地层;在潜在高位泥石流或冰川、冰湖溃决泥石流的峡谷地段,铁路应避免在高位泥石流或水石流直接冲击范围内以路基或桥梁方式通过。

(2)要做好岩溶山区突出地质灾害识别。

隧道施工揭穿富水溶洞产生的突水突泥,隧道施工排放岩溶水引起地表失水,潜在隐伏岩溶可能引起轨下基础突然塌陷是岩溶山区三大突出地质灾害,对铁路建设与运营安全影响极大。在岩溶山区,要做好岩溶危险区的识别,做好避免以隧道通过岩溶严重危害区的铁路选线和工程方案选择。铁路应避开岩溶集

中发育区、岩溶水流通廊道、岩溶水水平循环带、岩溶暗河等岩溶危害高风险区。

(3)要做好高烈度地震山区突出地质灾害识别。

要重视规避地震诱发的崩塌、滑坡等次生地质灾害。要尽量避开潜在发震的断裂带,同时应避开潜在地震引起次生地质灾害的地段或地区,以减轻地震及次生地质灾害对铁路的危害^[9]。

(4)要重视高山峡谷区链式灾害识别。

高山峡谷区潜在滑坡-堵江、泥石流-堵江链式灾害,要重视规避沟谷链式灾害对铁路的影响。在潜在的滑坡-堵江、泥石流-堵江链式灾害的区段,铁路应抬高线位,避免堰塞湖回水淹没线路,要合理布设线路并做好工程设计,避免堰塞湖溃决洪水对线路的影响^[10]。

5.3 查明铁路区段地质灾害,做好工程防灾减灾设计

对于难于绕避的地质灾害,则必须采取可靠的工程措施“彻底根治”。灾害防治工程设计,需在查明铁路地质灾害的特征、性质的基础上进行。灾害防治工程设计需判明灾害机理,需准确确定地质参数。针对具体的桥梁、隧道、路基工程,要在查明地质灾害特征、性质、机理的基础上,进一步识别地质灾害对铁路工程的影响,获取地质灾害防控工程设计需要的地质参数,为防灾减灾工程设计提供基础资料。如在岩石顺层地段,要查明岩层层理以及节理、裂隙等,识别顺层边坡的破坏模式、破坏主控因素;对于控制顺层边坡稳定的层间充填物,要查明其物理力学特性,获取抗剪强度等工程设计需要的地质参数。如对于山区槽谷的“斜坡软土”,除要查明软弱土层的物理力学特性外,还要查明软弱土层底部的横向坡度这一控制“斜坡软土”路堤设计的关键参数。

6 结束语

综上分析,做好复杂艰险山区铁路减灾选线工作,必须“总体着眼、专业入手”,首先做好地质灾害识别的基础工作。对于如何做好复杂艰险山区地质灾害识别,有以下认识与体会:

(1)地质灾害识别是铁路减灾选线的首要工作,也是铁路减灾选线的基础工作,做好铁路减灾选线是地质灾害识别的根本目的和根本任务。

(2)地质灾害识别从识别的内容上看,可归纳为灾害类型识别、灾害机理识别、灾害风险识别。

(3)地质灾害识别从途径、方法上可分为宏观识

别、系统识别、详细识别。地质灾害识别工作要结合铁路减灾选线工作开展,要做好区域宏观识别、沿线系统识别、区段详细识别。

(4)基于铁路减灾选线,地质灾害识别的工作重点、要点是:①熟悉区域内、外动力地质作用与环境地质条件,宏观把握区域重大地质灾害类型、分布与特征,做好线路路径方案选择;②识别铁路沿线突出地质灾害,做好线路与工程方案的比选;③查明铁路区段地质灾害,做好工程防灾减灾设计。

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 of Railway Route in Complex Dangerous Mountain Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 1-4.
- [2] 朱颖.复杂艰险山区铁路减灾选线技术框架[C]//川藏铁路建设面临的挑战与对策——2016 学术交流会论文集.北京:人民交通出版社,2017:272-276.
ZHU Ying. The Technical Framework of Hazards-reduction Railway Selection in Complicated Mountainous Region [C]//Sichuan-Tibet Railway Construction Challenges and Countermeasures Symposium-2016 Academic Exchange Proceedings. Beijing: China Communications Press, 2017: 272-276.
- [3] 朱颖.复杂艰险山区铁路选线与总体设计论文集[M].北京:中国铁道出版社,2010.
ZHOU Ying. Proceedings of Railway Line Selection and Overall Design in Complicated and Dangerous Mountain Areas [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.
- [4] 朱颖,许佑顶.复杂艰险山区铁路(公路)工程勘察设计案例集锦[M].北京:人民交通出版社,2012.
ZHU Ying, XU Youding. Proceedings of Survey and Design Papers for Railway (Highway) Engineering in Complicated and Dangerous Mountain Areas [M]. Beijing: China Communications Press, 2012.
- [5] 魏永幸.内昆铁路李子沟“斜坡软土”特性及路基工程对策[J].地质灾害与环境保护,2000,11(2):104-106.
WEI Yongxing. The Character Istics of Clnothem and Relevant Engineering Treatment at Lizigou of Nejiang - Kunming Railway Line [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000, 11(2): 104-106.
- [6] 李江,许强,王森,等.川东红层地区降雨入渗模式与岩质滑坡成因机制研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S2):4053-4062.
LI Jiang, XU Qiang, WANG Sen, et al. Research on Rainfall Infiltration Models of Slopes and Formation Mechanism of Rock Landslides in Red Stratum in the East of Sichuan Province [J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016, 35(S2): 4053-4062.

(下转第24页)

板的板厚温差指数曲线。

(1)日照影响下厚壁空心墩壁厚方向温差分布公式 $T_x = T_0 e^{-\beta x}$ ($\beta = 8$) 及参数 T_0 的取值,如表3所示。

表3 日照时不同墩壁厚公式参数

壁厚 t/cm	$t \leq 50$	$50 < t \leq 60$	$60 < t < 90$	$t \geq 90$
T_0 参数	7	8	9	10

(2)日照作用下箱梁沿梁高、梁宽的温差分布公式 $T_x = T_0 e^{-\beta x}$ 与参数取值,如表4所示。

表4 箱梁日照温差公式参数

项目	沿梁高		沿梁宽
	单向	双向组合	
温差 $T_0/^\circ\text{C}$	21.73	13.76	14.75
指数 β	6.5	9.68	8

(3)适用于大跨混凝土厚壁箱梁沿板厚的温差分布公式 $T_x = T_0 e^{-\beta x}$ 与参数取值,表5所示。

表5 沿板厚温差公式参数表

板厚/cm	≤ 26	30	40	50	60	70	80
指数 β	用规范值	8.3	7.3	6.93	6.87	6.92	6.98
				板厚 $\geq 0.5\text{ m}$, β 近似取 7.0			

(4)寒潮影响下厚壁空心墩壁厚方向温差分布公式 $T_y = -11.5 e^{-8y}$ 。

该研究结论对今后计算温度应力时,温差曲线的选取具有参考价值。

参考文献:

[1] Mamdouth M. E and Amine. G. Temperature Variations in Concrete Bridges[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE. 1983 (10): 2355-2374.

[2] 凯尔别克(德). 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 刘兴法,译. 北京:中国铁道出版社,1981.
Kell Buick(DE). Influence of Solar Radiation on Bridge Structure [M]. Translated by LIU Xingfa. Beijing: China Railway Publishing House,1981.

[3] Emerosn M. Temperatures in Bridges during The Hot Summer of 1976. TRRL Report (Transport & Road Research Laboratory, Great Britain). 1977(783): 31-52.

[4] 康为江. 钢筋混凝土箱梁日照温度效应研究[D]. 长沙:湖南大学,2000.
KANG Weijiang. Study on Sunshine Temperature Effect of Reinforced Concrete Box Girder [D]. Changsha: Hunan University, 2000.

[5] 王效通. 预应力混凝土箱梁温度场计算的有限元法[J]. 西南交通大学学报,1985,32(3):52-62.
WANG Xiaotong. Finite Element Method for Calculation of Temperature Field of Prestressed Concrete Box Girders [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1985, 32(3): 52-62.

[6] 王俊. 混凝土结构日照温度场和温度效应研究[D]. 上海:同济大学,2004.
WANG Jun. Study on Sunshine Temperature Field and Temperature Effect of Concrete Structure [D]. Shanghai: Tongji University, 2004.

[7] 宋志文. 高性能混凝土箱梁日照温度场与温度效应研究[D]. 上海:同济大学,2010.
SONG Zhiwen. Study on Sunshine Temperature Field and Temperature Effect of High-performance Concrete Box Girder [D]. Shanghai: Tongji University, 2010.

[8] 彭友松. 混凝土桥梁结构日照温度效应理论及应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2007.
PENG Yousong. Theory and Application of Sunshine Temperature Effect of Concrete Bridge Structures [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.

(编辑:车晓娟 张红英)

(上接第5页)

[7] 丁文富,张广泽,宋章. 成昆铁路昔格达地层工程地质特性及对策研究[J]. 铁道工程学报,2017,34(4):1-5.
DING Wenfu, ZHANG Guangze, SONG Zhang. Research on the Engineering Geological Characteristics and Engineering Countermeasures of Xigeda Strata of Chengdu-Kunming Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(4): 1-5.

[8] 魏永幸. 基于填方工程的斜坡软弱地基及其成因[J]. 地质灾害与环境保护,2006,17(1):58-63.
WEI Yongxing. Embankment-based Sloped Soft-soil Foundation and Its Cause of Formation [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2006, 17(1): 58-63.

[9] 朱颖,魏永幸. 汶川大地震道路工程震害特征及工程抗震设计思考[J]. 铁道工程学报,2008,25(S2):86-90.

ZHU Ying, WEI Yongxing. Characteristics of Road Damage Due to Wenchuan Macroquake and Considerations of Engineering Aseismic Design [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(S2): 86-90.

[10] 魏永幸,姚令侃,邱燕玲. 高寒山区铁路沟谷灾害危险性评估与风险调控[C]//川藏铁路建设的挑战与对策——2016 学术交流会论文集. 北京:人民交通出版社,2017:14-27.
WEI Yongxing, YAO Lingkan, QIU Yanling. Risk Evaluation and Control of Valley Hazards Chain for Railway in Alpine Region[C]// Sichuan-Tibet Railway Construction Challenges and Countermeasures Symposium-2016 Academic Exchange Proceedings. Beijing: China Communications Press, 2017: 14-27.

(编辑:刘会娟 刘彦琳)