

文章编号: 1674—8247(2023)01—0068—08

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2023.01.013

减灾选线技术在成昆铁路扩能工程峨眉米段的应用

王 维 曾逸民 任志伟 林晓龙

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:峨眉至米易段是成昆铁路扩能工程实施的最后一段,也是地形和地质条件最为复杂的一段。本文结合沿线的地形和地质条件,参考既有铁路地质灾害发生、发育及危害程度等,应用减灾选线的理论和方法,对沿线各类不良地质分类总结并确定相应的选线措施。研究成果可为复杂地质条件下的艰险山区铁路选线提供借鉴。

关键词:成昆铁路;复杂地质;艰险山区;减灾选线

中图分类号:U212.32 **文献标识码:**A

Application of Disaster Reduction and Route Selection Technology in the Capacity Expansion of Emei-Miyi Section of Chengdu-Kunming Railway

WANG Wei ZENG Yimin REN Zhiwei LIN Xiaolong

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

Abstract: The Emei-Miyi Section is the last section of the capacity expansion of Chengdu-Kunming Railway, and also the one with the most complex topographical and geological conditions. Based on the topographical and geological conditions along the line, consulting the occurrence, development, and degree of harm of geological disasters of existing railways, and applying the theory and method of route selection for disaster reduction, this paper summarized the classification of various unfavorable geological conditions along the line and determines the corresponding measures in route selection. The results can provide a reference for route selection of railways in difficult mountainous areas under complex geological conditions.

Key words: Chengdu-Kunming Railway; complex geological condition; dangerous mountainous areas; disaster reduction and route selection

1 项目概况

1.1 成昆铁路扩能工程概况

成昆铁路扩能工程全长 867 km,分成都至峨眉、峨眉至米易(以下简称为峨眉米段)、米易至攀枝花、永仁至广通及广通至昆明等 5 段实施,为 160 km/h 客货共线双线铁路。除峨眉至米易段外,其余段落均已

建成通车。峨眉米段为整个扩能工程最后实施的段落,也是地形、地质条件最为复杂的一段^[1-3]。

1.2 峨眉至米易段扩能工程概况

1.2.1 项目径路

线路起于成昆铁路扩能改造工程成都至峨眉段终点峨眉出站端,峨眉站至燕岗站增建二线,新双线由燕岗引出向南经四川省乐山市沙湾、峨边、金口河,

收稿日期:2022-08-03

作者简介:王维(1974-),男,高级工程师。

引文格式:王维,曾逸民,任志伟,等. 减灾选线技术在成昆铁路扩能工程峨眉米段的应用[J]. 高速铁路技术,2023,14(1):68-75.

WANG Wei, ZENG Yimin, REN Zhiwei, et al. Application of Disaster Reduction and Route Selection Technology in the Capacity Expansion of Emei-Miyi Section of Chengdu-Kunming Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2023,14(1):68-75.

进入凉山州甘洛、越西、喜德、西昌、德昌止于攀枝花市米易县,与成昆铁路扩能工程米易至攀枝花段贯通,线路全长 386.334 km。

1.2.2 沿线地形地貌

本段线路大致分为构造剥蚀中高山和河谷阶地两个地貌单元区。构造剥蚀中高山受川滇经向构造体系和局部受该体系与青藏高原滇缅歹字型北西向构造体系复合控制,西部和东部(以安宁河为界)分属大雪山系和大凉山系,群山矗立,河流切割剧烈,高差悬殊;河谷阶地主要有安宁河谷。

1.2.3 沿线地质条件

沿线地层三大岩性皆有分布,地层出露较为齐全,除泥盆系、石炭系缺失外,从震旦系至第四系皆有不同程度发育。地层的接触关系除第四系角度不整合于各老地层之上以外,其余均为整合或假整合接触。构造的特点是背斜紧密、向斜宽缓,断层则以高角度逆断层为主,断面北东倾,且发育于背斜核部,构造复杂。沿线新构造运动的表现:新生代地层中褶皱、断裂发育;多级阶地发育;河道变迁;断陷盆地和断陷谷地发育;夷平面解体;温泉广泛出露等。线路经过地区正好位于我国著名的南北向构造地震带上的马边地震带及安宁河地震带,地震活动频繁而强烈,全线经 10%段落为IX度地震区,其余段落为VII度、VIII度地震区。

沿线对工程有危害的不良地质广泛发育,规模大、分布广、危害程度高,主要为滑坡、错落、岩堆、危岩落石、泥石流、岩溶、顺层、河岸冲刷等。

2 开展减灾选线的必要性

2.1 峨米段选线设计技术难题

峨米段选线设计不仅要克服高山深谷等困难地形,还要防范各类地质灾害,且必须同时满足工程的安全、经济、环保等多目标要求,铁路选线存在影响因素多、作业难度大、决策风险高等难题。若选线不当或失误,则可能引发建设及运营期间的工程险情和工程病害,造成工程损失甚至工程报废,造成人员伤亡和财产的巨大损失^[4-7]。

成昆铁路扩能工程其余段落的工程实践结果表明:(1)传统的地形选线、地质选线理论方法曲线半径大、安全性及平稳性要求高、适应地形和绕避不良地质灵活性差,已难以完全满足工程要求;(2)地质灾害广域高效识别与评估技术欠缺;(3)利用海量数据实现多方案快速智能比选的技术手段缺乏;(4)传统桥隧路构筑物防灾减灾支撑技术薄弱。

2.2 应用减灾选线技术的必要性

中铁二院工程集团有限责任公司在复杂地质条件艰险山区铁路的大量的工程实践中积累了丰富的勘察设计经验,在山区铁路减灾选线方面拥有天然优势。经十余年“产-学-研-用”协同攻关及大量工程实践,攻克了上述难题并取得重大突破,形成了以“一套减灾选线理论方法”+“三大减灾选线支撑技术”为核心的复杂艰险山区铁路选线设计成套技术。该技术以规避、防范铁路全寿命周期可能发生的环境地质灾害为根本目的和出发点,运用系统工程、风险管理等先进的理论、方法,对灾害风险进行判识,在此基础上科学选择铁路线位、工程方案及灾害防控措施的技术过程。提出的减灾选线技术已在渝利、成兰铁路等选线与工程设计中应用,为艰险山区铁路建设提供了重要的技术支撑。因此,在峨米段选线设计中,采用更为先进的减灾选线技术是完全必要且有成熟理论支撑的。

3 减灾选线在选线设计中的应用

3.1 峨米段减灾选线工作流程

峨米段减灾选线工作流程是在灾害识别的基础上开展风险评估,并依据风险等级做好灾害规避、灾害防治和灾害监测工作,确保铁路全寿命周期安全,减灾选线工作流程如图1所示。

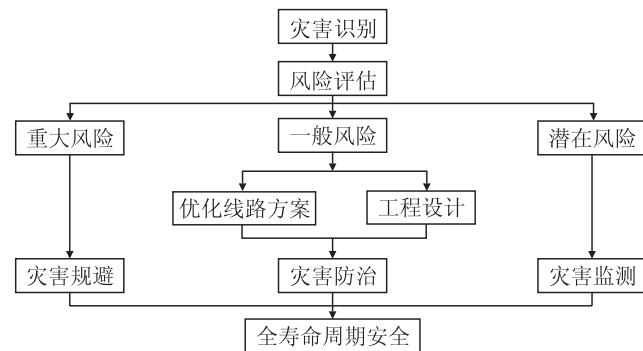


图1 减灾选线工作流程图

3.2 峨米段地灾风险评估

峨米段工程内容以隧道穿越为主,挖填方路基及桥梁跨越为次。征地范围内地形地貌复杂,主要包括低山、中山及河谷平原,线路地基主要由基岩及第四系松散层构成。

评估区全路段现状地质灾害总体中等发育。工程建设可能引发的地质灾害危险性综合评估多属危险性小区,部分路段属危险性中等区,少部分路段属危险性大区,地质灾害治理难度小。对影响区可能发

生的地质灾害等不良地质作用均可通过合理的工程措施达到绕避、预防和清除危害的效果。

3.2.1 潜在风险段落

地质环境复杂程度简单,主体工程建设中村镇遭受地质灾害危害的可能性小,引发和加剧地质灾害的可能性小,危险性小,易于处理。潜在风险段落占线路总长的 89.4%。

3.2.2 一般风险段落

不良地质较发育,地质构造、地层岩性变化较大,主体工程建设、施工人员、行人遭受地质灾害危害的可能性中等,引发和加剧地质灾害的可能性中等,危险性中等,但均可采取措施予以处理。一般风险段落占线路总长的 10.3%,主要集中在峨边至越西沿线、小相岭越岭隧道、邓家湾隧道和德昌至米易段落。

3.2.3 重大风险段落

地质灾害发育强烈,地质构造复杂,软弱结构成发育区,主体工程建设及人员遭受地质灾害危害的可能性大,引发和加剧地质灾害的可能性大,危险性大,防治难度大。重大风险段落占线路总长的 0.3%,主要为小相岭隧道出口至喜德车站间强风化花岗岩段落及冕宁至黄水塘间泥石流高发段落。

3.3 选线总体设计思路

在地灾风险评估的基础上,以确保项目在全生命周期的安全为最终目标,通过各专业对各级风险的应对措施,确定了“优先绕避、快速通过、主动防护”的减灾选线指导方针。

3.3.1 重大风险段落优先绕避

对地灾评估报告中提到的几处工点,施工设计中进行了线路方案优化,主要包括:以桥代隧绕避小相岭至喜德段强风化花岗岩段落;以 8 跨安宁河方案绕避冕宁至黄水塘段泥石流高发段落。经现场施工检验,绕避后线路已完全绕避重大风险段落,土建工程进展顺利。

3.3.2 一般风险段落快速通过

(1)以隧代路、以隧代桥,快速通过沿河段不良地质发育区

老成昆铁路多沿大渡河、尼日河、安宁河、龙川江蜿蜒而行,河谷段工程较为简单,但不良地质发育,加之沿线特殊的气候环境,既有线病害工点难以根治。新成昆铁路设计过程中,桥隧比重提高至 75% 以上,尤其是地形地质条件最为复杂的燕岗至冕宁段,桥隧比重更是达到 90% 以上。快速通过沿河段不良地质发育区,以隧代路、以隧代桥提高新成昆铁路的抗灾能力。

(2)以长大深埋隧道大幅度裁弯取直,缩短线路长度

新成昆铁路以 21.775 km 的小相岭隧道、14.28 km 的德昌隧道等越岭隧道,大幅度裁弯取直,不仅缩短了线路长度,也大量减少了设计、施工和运营中需整治的不良地质工点。峨米段线路全长 386.334 km,较既有成昆线缩短约 141 km,缩短段落主要集中在大渡河、尼日河等不良地质灾害集中的深切河谷。

(3)提前抬升线路,以高墩大跨桥梁辅以长大隧道避免集中展线,进而缩短不良地质发育区线路长度

受建造工艺和装备水平的限制,老成昆铁路峨米段在乃托、乐武、两河口、韩都路等段落采用了螺旋形、眼镜形、灯泡形、“8”字形、麻花形等多种巧妙展线来克服短距离的极大高差。新成昆铁路设计中,以 $72\text{ m} + (3 - 128)\text{ m} + 72\text{ m}$ 的大渡河连续梁特大桥、墩高 100 m 主跨 $(2 - 105)\text{ m}$ 的官料河 T 构大桥等特殊结构桥梁提前抬升线路标高,再通过吉新、小相岭等长大隧道克服高程障碍,避免了集中展线,也缩短了不良地质段落的线路长度。

3.3.3 潜在风险段落加强灾害监测,必要时主动防护

(1)潜在风险段落的灾害监测及主动防护

金口河至越西段属尼日河深切河谷段落,不良地质广泛发育且种类繁多,本段线路基本为桥隧相连,隧道进出口岩堆、滑坡、危岩落石发育。两条隧道间跨越沟谷均为泥石流沟,规模大且活跃,如 2020 年 8 月 30 日黑西洛沟发生特大沟谷型泥石流灾害,冲出量约 350 m^3 ,冲毁既有成昆线黑西洛中桥 $(1 - 32)\text{ m}$,桥下净空面积约 200 m^2 ,掩埋线路百余米,淤堵大老姆坪隧道出口和黑西洛隧道进口洞门,堰塞阻断尼日河,毁坏下游公路和大量民房。在本段的选线设计及工程设置中,根据勘察设计期间得到的不良地质的分布对施工及运营期地质风险积极应对,采取了清除松动危石、坡面防护、不良地质体加固、隧道明洞接长、桥上设置棚洞、泥石流沟拦挡、导流等主动防护措施。同时,结合施工期间对不良地质段落潜在地质风险的再认识,尤其是既有成昆铁路 K 315 改线、K 279 复旧、K 295 泥石流整治等地灾工点的发生、发展以及危害规模的加深认识,除了进一步优化工程措施,确保施工及运营期安全外,在特克隧道进口、麻曲隧道出口、埃岱尼日河 2 号特大桥右侧高边坡、越西南站高陡边坡等工点,加强施工及运营期灾害监测,采用雷达扫描、INSAR 位移分析、自动化监测等手段,掌握潜在地质风险点地表位移变形发展趋势,进行边坡预警。

(2) 充分征询铁路运营、维护部门意见,对潜在风险工点主动防护

峨米段老成昆铁路沿线经常能看到傍山沿河路基段落为整治坡面落石及坡面泥石流工务部门后期增设的棚洞、为整治隧道进出口危岩落石增设的明洞甚至是桥上增设的棚洞和安宁河谷地区泥石流爆发后掩埋铁路甚至引起改线的痕迹。在新成昆铁路的设计过程中,一方面是对既有的病害工点采取了绕避,另一方面在建设单位的组织下,邀请外部专家、工务及评估单位提前介入,对隧道进出口不良地质综合治理、泥石流沟防治措施、高陡边坡防护工程等征询多方意见,主动防护,尽量一次设计到位,避免运营期的病害整治,保障运营安全。

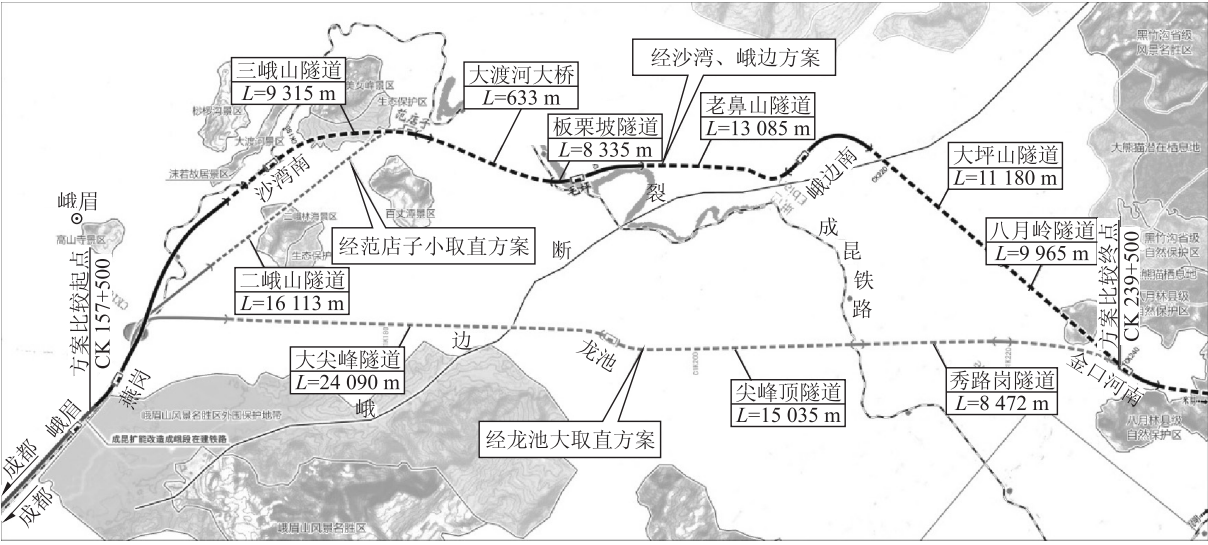


图 2 燕岗至金口河段区域深大断裂选线案例图

(2) 活动断裂

甘洛至越西段线路自甘洛沿尼日河紧坡上至越西坝子,其中大凉山断裂的分支普雄-尼日河断裂穿越原新白石岩隧道后顺河而下,至梅花乡附近折向西北。东岸不良地质主要为断层破碎带,西岸主要不良地质为大型岩堆和滑坡群。选线设计中应尽量避免反复穿越该活动断裂,选择了与活动断裂交叉一次的东线两跨引水隧道方案,交叉位置位于短隧道,采用有砟轨道尽量降低活动断裂对施工及运营的影响(如图 3 所示)。现场土建工程实施顺利,目前已按照设计工期贯通。

3.4.2 强风化花岗岩段的选线

喜德至米易段共有 6 座隧道位于花岗岩地层,浅埋隧道花岗岩风化层较厚,围岩以 IV、V 级为主,施工难度大。在设计中,结合审查意见,采用了适当绕

3.4 减灾选线案例及现场实施效果

3.4.1 活动断裂及区域深大断裂段的选线

(1) 区域深大断裂

燕岗至金口河间主要不良地质为岩溶及区域深大断裂峨边-金阳断裂,不具备晚第四纪活动性,未来对工程场地不会造成显著影响。线路应尽量大角度与断裂相交,不应平行或在其断裂带中行进,特别要避开断裂密集处、交汇处。现场实施采用的经沙湾、峨边的方案,线位隧道工程与断裂相交,选线设计中将交叉位置尽量靠近隧道进口,以避免施工期断裂破碎带对施工工期的不利影响(如图 2 所示)。经现场工程实践,本段工程实施较为顺利,大坪山进口段的大断裂未对隧道工程产生较大影响。

长线路、以桥代隧、以路代隧的选线策略,尽量缩短了隧道长度或取消强风化花岗岩段落的隧道(如图 4 所示)。在现场实施过程中,6 段强风化花岗岩段落的土建工程实施顺利,较设计工期提前一年开通运营。

3.4.3 典型采空区段的选线

甘洛县境内已探明的有铅锌矿蕴藏量 548.1 万 t,上世纪 80 年代初,甘洛铅锌矿矿区开始进行开采,到 90 年代逐步形成规模。2003 年,因疯狂无序的开采对当地环境、安全等影响极大,当地政府着手进行矿改,对该矿区进行了规范化管理。本次初步设计中为确定线路走向,对沿线矿区采矿巷道及矿业作业区进行了充分调查。研究调查表明,沿既有成昆铁路及尼日河两岸,采矿巷道及采空区密布,本次设计选线总体思路为线路尽量沿既有线靠河一侧行走,避免穿越难以探明的采空区域,减少与采矿巷道交叉次数。为

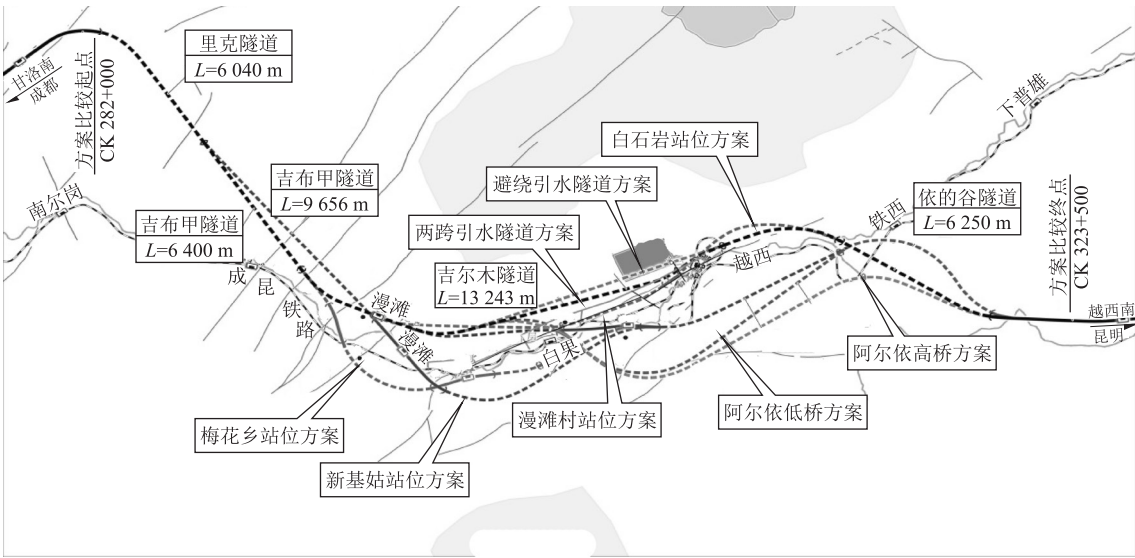


图 3 甘洛至越西段活动断裂选线案例图

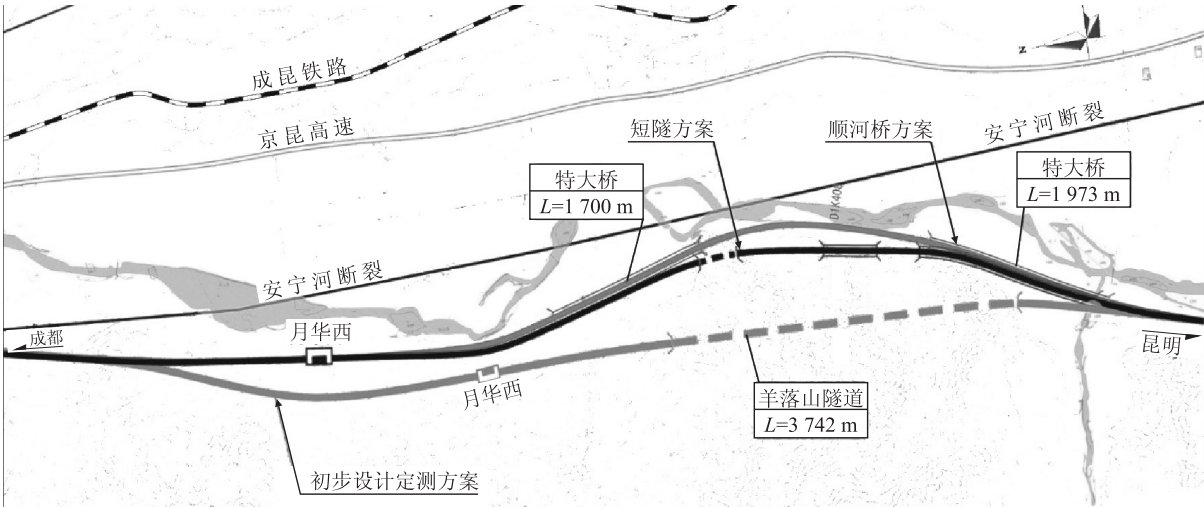


图 4 喜德至米易段强风化花岗岩选线案例图

绕避采空区,特克隧道出口和麻曲隧道进口偏压,进出洞条件较差,防护工程较大,新埃岱和特尔莫隧道洞身地质条件较差(如图 5 所示,采用 $R = 1\,600\text{ m}$ 方

案)。现场实施效果表明,该段线路已完全绕避采空区,施工中未出现采空区对结构安全的影响,说明对采空区的选线策略是适当的。

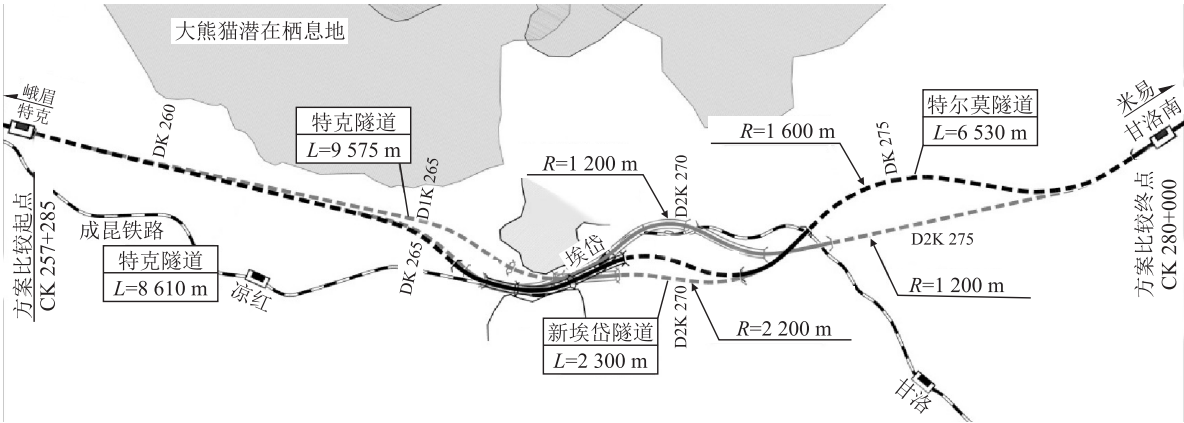


图 5 甘洛县典型采空区段落选线案例图

3.4.4 泥石流发育段的选线

(1) 冕宁至西昌泥石流发育段的选线及实施效果

冕宁至西昌段安宁河东岸为平缓宽阔的河谷台地, 为全线泥石流较严重又集中的地区之一, 沿线大型泥石流沟多达 40 余处, 其中著名的灾害性泥石流沟如黑沙河、羲农河、热水河等, 危害将近百年, 仅黑沙河泥石流在解放前就将五个村寨夷为废墟, 2 500 多亩良田变为沙石滩。本段既有铁路及高速公路基

本沿安宁河东岸而行, 泥石流病害的整治也是既有铁路的一大难题。本段线路设计绕避了旺盛区泥石流位置, 尽量在其势能减弱的通过区以桥梁通过; 在洪积扇处以小填方通过, 尽量做到浅填不挖(如图 6 所示)。现场实施过程中, 冕宁至西昌段工程实施较为顺利。从 2016 年开工至今, 经过历次汛期的检验, 未发生泥石流危及在建工程的情况, 说明本段对泥石流的选线策略是可行的。

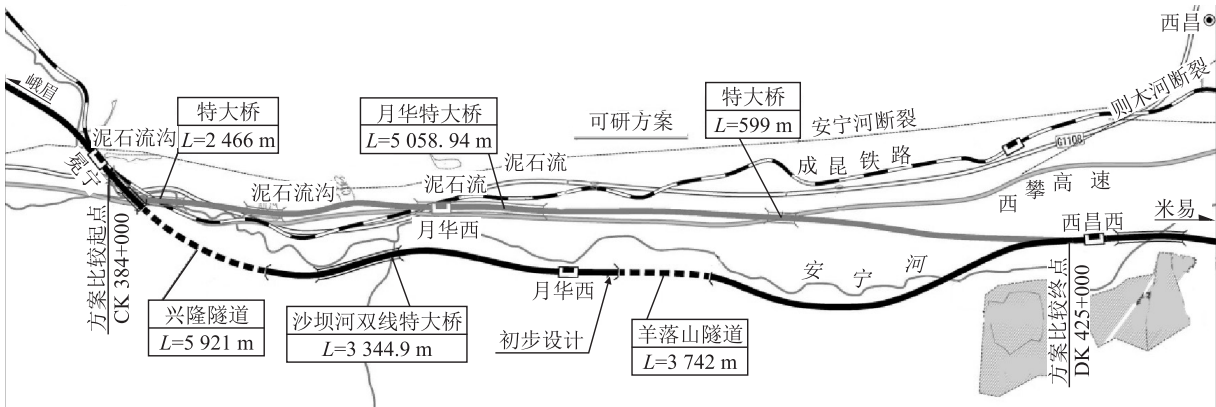


图 6 冕宁至西昌段泥石流发育区选线案例图

(2) 柏香营泥石流沟工程方案选择及实施效果

柏香营泥石流沟为稀性泥石流, 坡面堆积块石最大砾径约 1.5 m。当地政府为解决此问题, 于 2013 年秋季在 DK 336 + 716 附近重新修筑一宽约 2 ~ 3 m, 深约 2 m 的混凝土沟引流, 并在上游建 3 处拦碴坝, 目前该沟中堆积厚约 0.5 ~ 1 m 的卵砾石, 砾径以

200 ~ 500 mm 为主。本段线路设计对线路通过该泥石流段采用了明洞下穿泥石流沟的方案(如图 7 所示)。目前柏香营明洞工程已实施完毕, 经过历次汛期的检验, 未发生泥石流漫流范围超过明洞范围上道情况, 说明采用明洞方案及明洞的防护范围是有效的。

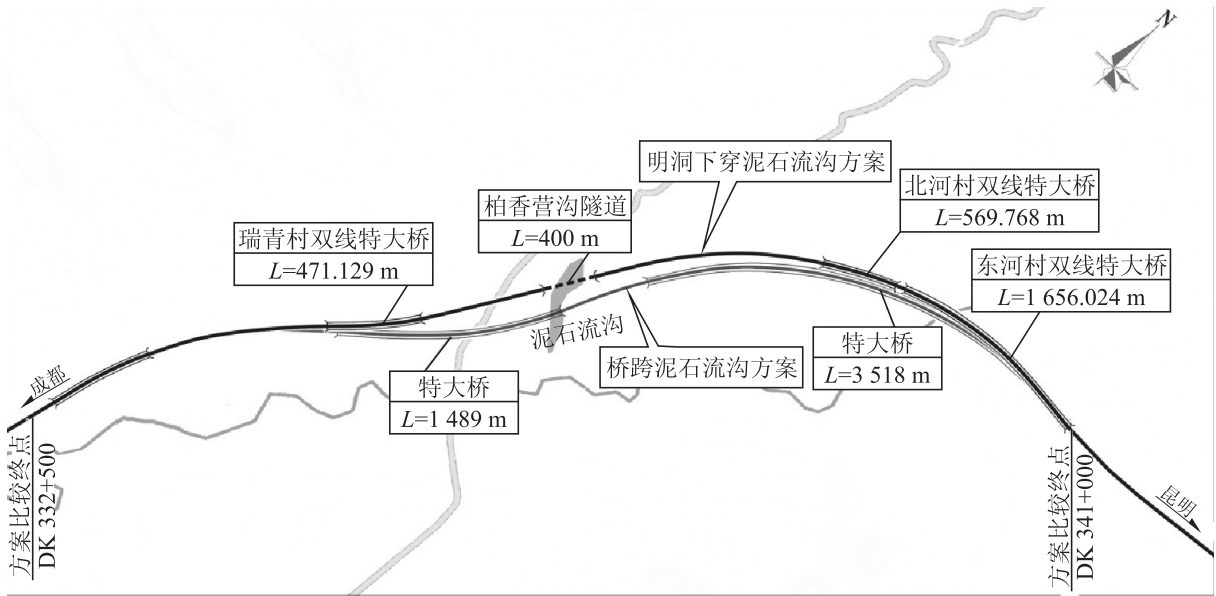


图 7 柏香营泥石流沟工程方案选择案例图

3.4.5 越岭段选线

(1) 小相岭越岭隧道方案及实施效果

越西至冕宁段段线路需翻越小相岭, 线路走向与越岭点选择密切相关, 区内主要河流有普雄河、越西

4 结束语

减灾选线技术为复杂地质条件下艰险山区铁路的建设和运营提供了重要的技术支撑,在推动我国复杂山区铁路技术进步中起到了引领和示范作用。本文在成昆铁路峨眉至米易段新双线设计中,结合沿线复杂的地形和地质条件,采用减灾选线技术,取得了良好的实施效果,研究思路及工程实践可供类似项目参考借鉴。

参考文献:

- [1] 詹振炎. 铁路选线设计的现代理论和方法[M]. 北京:中国铁道出版社, 2001.
- ZHAN Zhenyan. Modern Theory and Method of Railway Location and Design [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.
- [2] 朱颖. 铁路选线理念的创新与实践[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(6): 1-5.
- ZHU Ying. Innovation and Practice on Railway Location Concept [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, 26(6): 1-5.
- [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.
- ZHU Ying. Proceedings of Railway Route Selection and Overall Design in Complex and Difficult Mountainous Areas [M]. Beijing:

China Railway Publishing House, 2010.

- [4] 吴光,肖道坦,蒋良文,等. 复杂山区高等级铁路选线工程地质的若干问题[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(4): 527-532.
- WU Guang, XIAO Daotan, JIANG Liangwen, et al. Problems about Engineering Geology of High-Grade Railway Route Selection in Complicated Mountainous Areas [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(4): 527-532.
- [5] 朱颖,姚令侃,魏永幸. 复杂艰险山区铁路减灾选线理论与技术[M]. 北京:科学出版社, 2016.
- ZHU Ying, YAO Lingkan, WEI Yongxing. Theory and Technology of Railway Disaster Alleviation and Route Selection in Complicated Mountain Areas [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [6] 韩康. 断裂构造与铁路震害认识[J]. 北京:铁道工程学报, 2008(12): 62-65.
- HAN Kang. Understanding of the Fault Structure and Railway Earthquake Damage [J]. Beijing: Journal of Railway Engineering Society, 2008(12): 62-65.
- [7] 中铁二院工程集团有限责任公司. 峨眉至米易段扩能工程初步设计总说明书[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 2015.
- China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification of Preliminary Design of Expansion Project of Emei-Miyi Section of Chengdu-Kunming Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2015.

(上接第58页)

城际铁路建设项目提供重要的支撑。即使所研究的高速铁路或城际铁路建设项目所需历史客流数据较为齐全,如果能够与其他类似已经建成运营高速铁路或城际铁路的客流情况进行对比,也可分析不同高速铁路或城际铁路之间客运量的相似性和差异性,进而作为修正所研究新建高速铁路或城际铁路客运量预测结果的依据。

参考文献:

- [1] 陈利,陈仕列. 芒市至临沧铁路线路走向方案研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 95-99.
- CHEN Li, CHEN Shilie. Study on the Route Selection Options of Mangshi-Lincang Railway [J]. High Speed Railway Technology,

2020, 11(4): 95-99.

- [2] 王晓. 客运专线客运量预测方法研究[D]. 长沙:中南大学, 2012.
- WANG Xiao. Research on Passenger Volume Predict of Passenger Dedicated Line [D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [3] 李艳红. 基于四阶段法的南昌至赣州铁路客运量预测研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2010.
- LI Yanhong. Research on the Passenger Volume Forecasting of Nanchang-Ganzhou Railway with Four Stage Method [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [4] 李向楠. 高速铁路实际运营与设计客运量对比分析[J]. 交通企业管理, 2019, 34(2): 64-66.
- LI Xiangnan. Comparative Analysis of Actual Operation and Designed Passenger Flow of High-Speed Railway [J]. Transportation Enterprise Management, 2019, 34(2): 64-66.