

文章编号: 1674—8247(2024)03—0025—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.03.005

复杂地质区域铁路建设技术难点与 处理措施研究

马同刚

(云南省综合交通发展中心, 昆明 650031)

摘要:本文以文山至靖西铁路为研究基础,对复杂地质区域铁路建设的综合性技术难题进行分析和总结。文山至靖西铁路地跨滇东南及桂西地区,是我国喀斯特地貌最为集中的地区之一。该项目自然特征对设计和投资均提出较高要求。本文从项目选线、坡度适应性、桥隧路工程设计、投资合理性等方面进行总结。研究成果可为类似项目提供借鉴与参考。

关键词:综合性技术难题;复杂地质;坡度适应性

中图分类号:U212.32

文献标志码:A

Handling Measures of Comprehensive Technical Challenges in Railway Construction in Complex Geological Areas

MA Tonggang

(Yunnan Provincial Comprehensive Transportation Development Center, Kunming 650031, China)

Abstract: With Wenshan-Jingxi Railway as a case for study, this paper reviewed the comprehensive technical challenges encountered in railway construction within complex geological areas. Wenshan-Jingxi Railway spans across the southeastern Yunnan and western Guangxi, which is known as one of the most concentrated areas of karst landforms in China. Given the project's distinct natural characteristics, it poses heightened requirements for specific design work and ultimate investment control. The study encompassed multiple aspects including route selection, gradient adaptability, bridge, tunnel, and railway engineering design, as well as the rationality of investment. The study outcomes offer theoretical knowledge and practical application references for future analogous infrastructure development projects.

Key words: comprehensive technical challenges; complex geology; gradient adaptability

文山至靖西铁路位于滇东南与桂西南的中越边境区域,连接云南省文山壮族苗族自治州和广西壮族自治区百色市。该项目处于云贵高原向广西平原过渡带,沿线地形地貌基本以省界为界,分为两个典型地貌单元:云南段为高山区,沟谷深切,沿线经济据点与周边高山、河谷高差达300~900m;广西段为重丘区。项目整体沿线群山连绵不绝,河谷纵横交错,阶

地、盆地相间分布,各类重力不良地质发育,线路经过区域70%~80%的面积均为可溶岩,岩溶泉点及暗河系统分布多,地下水赋水量大,岩溶为主要不良地质^[1]。该项目沿线自然特征对项目的选线及坡度适应性设计提出了较高要求,桥梁、隧道及路基工程是主要技术重难点;同时,由于工程难度较大,对该项目的投资把控也尤为重要。基于此,本文分别对复杂

收稿日期:2024-03-07

作者简介:马同刚(1976-),男,工程师。

引文格式:马同刚.复杂地质区域铁路建设技术难点与处理措施研究[J].高速铁路技术,2024,15(3):25-28.

MA Tonggang. Handling Measures of Comprehensive Technical Challenges in Railway Construction in Complex Geological Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3):25-28.

地质条件综合选线、坡度适应性分析、桥隧路工程的风险防控措施及工程投资合理性进行了研究总结。

1 复杂地质条件综合选线

1.1 选线重难点分析

沿线地形起伏剧烈,工程地质条件复杂,碳酸盐岩面积占线路经过区域的70%~80%。岩溶洼地、漏斗、落水洞、岩溶槽谷等岩溶地貌齐全,经过区域构造线发育多、岩溶泉点及暗河系统分布多,岩溶地下水赋水量大,岩溶地质问题是本项目最突出的工程地质问题^[2]。如何合理选择线路方案和工程措施,有效规避岩溶涌水突泥、岩溶地面塌陷、大型溶洞失稳等灾害风险,减轻隐伏岩溶及其堆积物对构筑物基础的影响和危害,确保建设和运营安全是本线的重难点。

1.2 选线对策

充分借鉴渝利、贵广、郑万铁路等岩溶极发育铁路的选线和工程处理措施经验,总结出“绕避强烈发育岩溶,选择相对安全位置,设置合理工程设施”的减灾选线指导方针,制定岩溶区“先绕避、短通过、抬高程、傍

河边、靠既隧、顺坡排、浅覆盖、防崩滑”选线方针^[3-4]。

结合本项目特点,提出了“走高、走边、走廊”的总体思路,采取的主要措施包括:一是综合采用地貌调查和“空、天、地”一体化勘察综合勘探手段,全面查明全线可溶岩及暗河分布,并采用岩溶风险评估方法,划分风险等级;二是遵循“岩溶定线、绕避优先”的原则,深入开展线路方案比选,绕避较大塌坑、陷坑、漏斗、暗河、富水断层,以及可溶岩与非可溶岩间互层状分布地段接触带;三是提高纵断面设计高程,及时将线路抬高至高原面,非高原面地区尽可能靠近暗河排泄区,使线路标高走行于相对安全的岩溶水垂直渗流带内;四是充分利用区域内既有公路通道,铁路隧道平面靠近且高程尽量高于公路隧道,将其置于公路隧道形成的漏斗区;五是岩溶发育隧道均设计成人字坡,避免反坡施工,长隧道选线时考虑横洞设置条件;六是合理选择辅助坑道,实现超前排放、顺破施工,加强超前地质预报,动态进行风险评估,确保施工、运营安全,合理控制工期和投资^[5]。该项目构造分区及沿线主要断裂如图1所示。

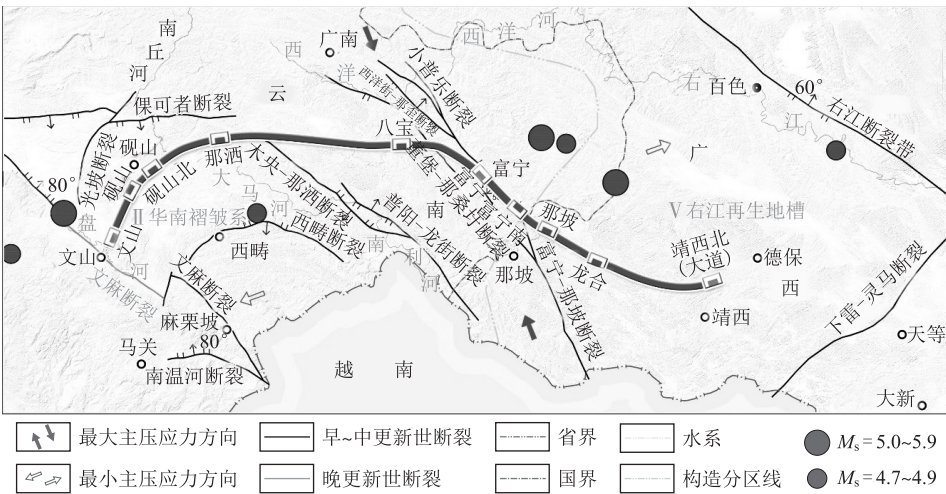


图1 构造分区及沿线主要断裂图

2 坡度适应性分析

2.1 坡度及牵引质量分析

铁路技术标准承载了项目的功能定位,决定了项目投入产出和生命力,技术标准选择是一个影响因素多、综合性强的技术问题。本项目地处云桂交界,线路走行于云南山地向广西重丘地形过渡区域,沿线地形起伏剧烈,工程地质条件复杂。本项目既是西部陆海通道云南地区通道的组成部分,又是西南沿边通道的重要工程,需求多为通过运量,但云桂地区客货共线铁路坡度及牵引质量不统一。本项目以西大多为

24‰限坡、3 000 t牵引质量标准,以东大多为12‰限坡、4 000 t牵引质量标准。采用何种技术标准保证工程的可实施性,又可保证路网适应性和运输组织的便捷性是需要深入研究的重难点问题。

2.2 坡度及牵引质量选取的对策及措施

立足路网现实基础,着眼未来发展,考虑工程经济性、运输组织便捷性、路网协调匹配性,合理确定限制坡度和牵引质量。

牵引质量受限制坡度影响,且与牵引种类、机车性能密切相关,牵引质量应尽可能与相邻线路牵引质量匹配,减少换重作业,加速机车车辆周转,提高运输

效率^[6]。然而,本项目两端线路牵引质量和坡度标准并非同一系列,通道内货物列车开行必然涉及换重及换机车作业,因此要在工程条件和投资、生产布局规划、运输需求、运输组织方案、运营费用等方面开展深入研究,综合考量各个方案的优缺点,合理确定线路坡度及牵引质量。不同限制坡度方案运输组织示意如图2所示。

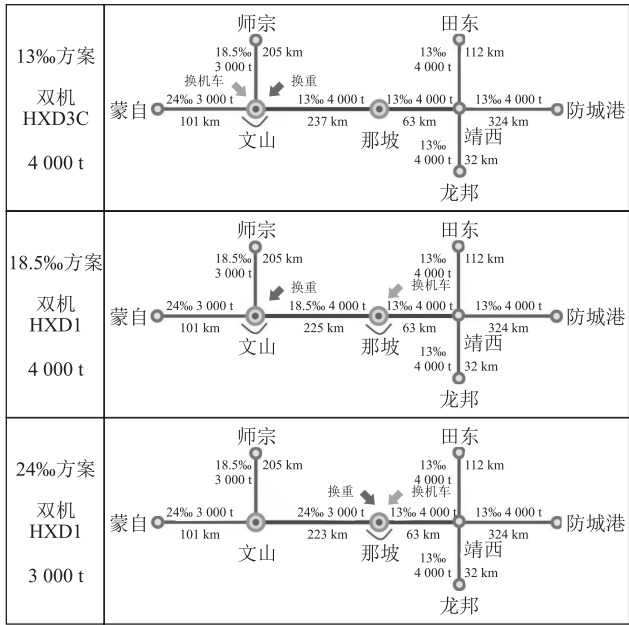


图2 不同限制坡度方案运输组织示意图

3 桥梁风险防控措施

3.1 桥梁重难点分析

本项目地跨滇东南高原至桂西平原地势下降的斜坡过渡带,地形起伏变化大,线路多次跨越“V”型河谷;沿线不良地质发育,主要有崩塌、滑坡、斜坡岩堆体、泥石流、危岩落石等,线路长距离穿越岩溶强烈发育区域。高墩大跨桥梁设计、岩溶区桥梁设计、斜坡体上桥梁设计、危岩落石和泥石流防治是本项目桥梁设计的重难点。

3.2 桥梁防控措施

3.2.1 大跨桥梁结构选型

跨越底部较平缓的“U”型谷和跨越高等级道路等,可采用预应力砼连续梁(刚构)、钢桁梁、系杆拱桥等桥式方案;对于跨越深大“V”型河谷,桥位应选择地质条件好,岸坡稳定的段落,结合运输、场地、施工条件和抗震需求,并考虑易修复性综合分析,合理采用钢筋混凝土拱桥、钢管混凝土拱桥、钢桁拱桥、斜拉桥、悬索桥等桥梁结构型式。

3.2.2 泥石流区桥梁设计

对于山区泥石流多发区,采用绕避、跨越、拦挡、排导、防护、分级处理等措施,并增加桥下净空和孔跨,对于泥石流沟尽量采用一跨桥梁跨越。对泥石流进行综合预防整治,采用“避、清、排、防”相结合的泥石流综合防治技术,利用桥梁棚洞一体化结构增加防护范围。

3.2.3 岩溶发育地区桥梁设计

岩溶区墩台基础通常采用桩基础穿越溶洞,桩底置于完好的持力层内。桩孔施工遇溶洞常采用抛填黏土夹片石充填溶洞再钻孔穿越,遇较大溶洞时可采用灌注混凝土填充、或用钢护筒跟进穿越;当遭遇串珠状溶洞时,可采用填充与钢护筒相结合、多重套筒跟进等措施进行穿越的成孔工艺。遭遇地面溶蚀洼地时,其下通常联通暗河,需查明暗河走向、溶蚀范围,再合理布置桥跨跨越,桥墩需设置在稳固的地基上^[7]。

3.2.4 桥梁环保、防震、减灾及耐久性保障措施

避免在陡峻山体上设墩,减少对边坡及植被的破坏;如通过经济比选,确需在斜坡上设置桥梁,参照西南地区斜坡上设置桥梁的建设经验,考虑岩层蠕变对桥梁的影响,对桥梁基础采用“上挡下护”的处理原则。

4 隧道风险防控措施

4.1 隧道重难点分析

本项目具有隧道工程规模大、隧线比高的特点,由西向东逐渐从云贵高原东南缘向桂西北喀斯特低山区过渡,具有显著的地形高差;区内地层岩性较复杂,以可溶岩为主,次为砂岩、页岩等软质岩,有少量岩浆岩分布;沿线隧道存在高压富水岩溶、危岩落石、顺层、有害气体等不良地质。采取何种措施防范不良地质风险是本项目的重难点。另外,本项目部分隧道穿越环保要求较高、地表水环境敏感段,易诱发地表失水等环境问题。

4.2 隧道防控措施

对区域性大规模不良地质地段,选线时尽可能绕避。绕避困难时,进一步加深地质勘察工作,优化线路方案,尽可能降低初始风险,并进行专项设计和风险管理,将风险降低至安全可控的程度。

4.2.1 岩溶及岩溶水

本项目岩溶强烈发育,暗河交错,泉眼密集,加之断层密布,围岩破碎,隧道施工涌水突泥风险极高,运营期水害风险高。岩溶隧道设计以“岩溶水害防治为根本”,遵循“地质绕避为基础、施工防突为重点、排水

通畅为目标”的设计理念。充分认知岩溶及岩溶水在微观上的无规律性、岩溶水的瞬时突发性,按“风险评估指导、超前预报先行、应急预案落实、排水设施通畅、衬砌结构安全”的防治原则,合理确定辅助坑道配置、施工组织、防治措施等。对岩溶水发育地段,结合环保要求,采用超前周边注浆堵水、设置泄水洞引排等措施。探明隧道洞周隐伏岩溶,防止隐伏岩溶对隧道稳定性产生影响,同时对岩溶段隧道衬砌予以加强,避免衬砌结构受到破坏,保证隧道施工及运营安全。

4.2.2 危岩落石

采用远程非接触手段全面排查隧道洞口危岩落石灾害,采用数值计算软件全面分析落石轨迹,对隧道洞口危岩落石采取清除、嵌补、拦截、主被动防护网或帘式防护网等措施。同时,本着“宁长勿短”的原则采用明洞、棚洞等手段对危岩落石进行综合治理,保证铁路施工及运营安全。

5 路基风险防控措施

5.1 路基重难点分析

本项目地形起伏剧烈,工程地质条件复杂、构造线发育,岩溶路基、高陡边坡及危岩落石风险防控为本项目重难点。

5.2 路基防控措施

5.2.1 岩溶路基加固处理

根据地质勘探资料对岩溶路基进行评价分区。对于评价为极易塌陷、易塌陷区的段落,岩溶路基加固对象为土石界面危及路基稳定的溶洞、溶蚀破碎带及土洞;对于评价为不易塌陷区的段落,岩溶路基加固对象为单个不稳定的溶洞和连续发育的溶蚀破碎带^[8]。岩溶路基加固处理的具体措施如下:

(1)对于裸露型岩溶和埋藏较浅的溶洞,应挖除覆盖层、充填物或揭开溶洞顶板后,采取换填或回填碎石、片石、浆砌片石、混凝土等进行加固处理。

(2)岩溶路基基底采用注浆加固时,应按“探灌结合、动态设计、分期整治、分序实施”和加强过程控制的原则开展动态设计,采用分期、分序实施Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ序孔。

(3)路基基底存在串珠状溶洞或溶洞较大时,应采用桩板等结构跨越,并与桥梁结构进行经济性比选。

(4)通过大型封闭溶蚀洼地且地表水与地下水连通时,基底采用无纺土工布包裹高强度双向土工格栅垫层,增强路堤稳定性,防止路基塌陷。

(5)通过地下水位波动大的段落,岩溶注浆采用帷幕注浆加固技术。

5.2.2 高陡边坡及危岩落石处理

针对高陡边坡,应在充分调查水文地质条件、岩层产状、覆盖层情况、节理发育程度、地下水发育等情况的基础上,通过稳定性分析,设置锚固桩、锚索、锚杆框架梁、H型桩等措施防范边坡失稳等风险。对可能发生重大规模崩塌或大范围危岩落石地段,线路应绕避。对中、小型危岩落石和崩塌地段,绕避困难时,优先采用清除、灌浆、支顶、嵌补、锚固等措施清除或加固危石。为减少运营期间的养护维修工作量,采用清除、支顶、嵌补、锚固、帘式网、主被动防护网,以及拦石墙+落石槽等综合措施进行清除、加固、拦挡和排导。

6 工程投资的合理性

6.1 难点分析

本项目两端衔接文山、靖西,所经区域工程地形地貌复杂,地势起伏较大,岩溶发育,桥隧比高,特殊大跨桥梁与长大隧道交错分布,如何控制工程投资、确定其建设总工期是该项目的重难点^[9]。

6.2 投资把控措施

(1)依托类似项目勘察设计经验,对线路方案进行优化和创新,本着控制投资及总工期的目标为前提,尽量选择沿线桥隧占比小、工程地质条件好、能满足环保要求、占用耕地少、拆迁工作量小、总工期最优的线路。

(2)确保前期调查工作的准确性和完整性,落实征地拆迁资料各项费用来源,全面掌握沿线建筑材料的价格和分布情况、交通状况、料场的分布及供应情况,以及施工现场的各种经济现状。

(3)本项目多处存在长大隧道,辅助坑道选取和施工工期安排有利于控制投资和工期。桥隧比重和围岩类别变化对全线投资影响较大,下阶段将加深地质勘探工作,选取地质条件更优的方案,以控制投资。

(4)针对沿线岩溶这一主要的不良地质现象,采用先进科学的勘察设备和方法,深入细致完成施工调查。根据西南地区山高谷深特点,加强施工组织设计,合理设计大临工程,确定合理施工工期。

7 结束语

本文依托文山至靖西铁路,对复杂地质区域铁路设计的综合性问题进行了系统性研究,分析了复杂地质条件的综合选线、坡度及牵引定数之间的综合匹配

(下转第97页)

- [12] GB/T 51328—2018 城市综合交通体系规划标准[S].
GB/T 51328—2018 Standard for Urban Comprehensive Transport System Planning[S].
- [13] 易峰峰,陈阳. 高速铁路中小型客运站站区规划布置研究[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(4): 79—82.
YI Fengfeng, CHEN Yang. Research on Planning and Layout of Station Area of Small and Medium-scale High-speed Railway Passenger Station[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(4): 79—82.
- [14] 邢思琪,马建武. 景观设计中的比例和秩序——基于黄金分割比[J]. 福建建筑, 2019, (03): 15—20.
XING Siqi, Ma Jianwu Scale and Order in Landscape Design—Based on the Golden Ratio[J]. Fujian Architecture, 2019, (03): 15—20
- [15] 克利夫·芒福汀. 街道与广场[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
J. C. Moughtin. Street and Square [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.

(上接第28页)

分析、桥梁隧道路基的风险防控措施,研究了工程投资的把控措施。通过分析文山至靖西铁路代表性的相关问题,总结复杂地质区域铁路设计综合性问题的关键把控点。研究成果将为类似项目(特别是西南地区面临复杂地形地质条件的滇东纵向通道以及靖西至防城港铁路等项目)提供有力的技术指导,为后续通道的贯通打下坚实的基础,对推动区域社会经济发展具有深远而重大的意义。

参考文献:

- [1] 龙磊. 文山至靖西铁路穿越六诏山段越岭方案研究[J]. 智能城市, 2023, 9(2): 31—33.
LONG Lei. Study on Mountain Crossing Scheme of Wenshan-Jingxi Railway Crossing Liuzhaoshan Section [J]. Intelligent City, 2023, 9(2): 31—33.
- [2] 曹化平,王科. 铁路岩溶隧道工程地质选线研究[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(1): 31—36.
CAO Huaping, WANG Ke. Study on Geological Route Selection for Railway Tunnel Engineering in Carst Zone [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(1): 31—36.
- [3] 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.
- [4] 牟瀚林. 复杂山区铁路选线设计思路研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(12): 6—10, 25.
MU Hanlin. Research on the Design Thinking of Railway Route Selection in Complex Mountainous Areas [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2020, 37(12): 6—10, 25.
- [5] 王争鸣. 复杂山区铁路选线思路及理念[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(10): 5—9.
WANG Zhengming. Methods and Ideas of Railway Route Selection in Complicated Mountainous Areas [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(10): 5—9.
- [6] 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.
- [7] 高崇华,岳志勤,丁浩江,等. 成贵铁路工程环境与线路选线设计[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(6): 9—13, 50.
GAO Chonghua, YUE Zhiqin, DING Haojiang, et al. The Engineering Environment and Line Selection Design of Chengdu-Guiyang Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(6): 9—13, 50.
- [8] 刘亚剑. 山区铁路路基边坡工程防治分区研究[J]. 铁道勘察, 2022, 48(4): 98—104.
LIU Yajian. Research on Prevention and Control Division of Mountain Railway Subgrade Slope Engineering [J]. Railway Investigation and Surveying, 2022, 48(4): 98—104.
- [9] 郭靖,李远富. 困难山区铁路主要技术标准与工程投资关系研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(11): 37—40.
GUO Jing, LI Yuanfu. Research on Relationship between Main Technical Standards and Project Investment for Difficult Mountain Railways [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(11): 37—40.