

文章编号: 1674—8247(2024)01—0093—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.01.018

云桂铁路总体设计及技术创新

林晓龙 张可军 蒋登伟

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:云桂铁路为中国“八纵八横”高速铁路主通道之一“广昆通道”的组成部分,路网地位突出。根据该项目的功能定位及项目特点,结合地形地质条件、城市规划、环境敏感点、工程安全以及投资合理性等方面,分析确定合理的枢纽引入、线路走向以及重点桥梁、隧道工程方案。项目设计过程中以“系统最优、风险可控”为核心思想,开展了科技攻关和工程实践工作,取得了系列技术创新成果,具有针对性、实用性和理论性,对复杂艰险山区高速铁路建设具有重要指导意义。

关键词:高速铁路;总体设计;技术创新;山区选线;岩溶整治;岩溶隧道

中图分类号: U212.32 **文献标志码:** A

Overall Design and Technological Innovation of Nanning-Kunming High-speed Railway

LIN Xiaolong ZHANG Kejun JIANG Dengwei

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

Abstract: As an integral part of Guangzhou-Kunming corridor, a main high-speed railway corridor in China's "Eight North-South and Eight East-West Corridors" railway network, Yunnan-Guangxi High-speed Railway has a prominent position in the railway network. This paper analyzed and determined reasonable schemes for hub introduction, track alignment, and key bridges and tunnels based on the functional orientation and characteristics of the railway, taking into account factors such as the topographical and geological conditions, urban planning, environmental sensitive points, construction safety and investment rationality. In the design stage of this project, "optimal system and controllable risks" was taken as the core idea, and efforts were undertaken for technological breakthroughs and engineering practices. These efforts of more than ten years have led to a series of technological innovation achievements, which are rich in content, highly targeted, practical and theoretical, and have important guiding significance for the construction of high-speed railways in challenging mountain areas.

Key words: high-speed railway; overall design; technological innovation; route selection in mountain area; karst treatment; karst tunnel

云桂铁路(现名“南昆客运专线”)为中国“八纵八横”高速铁路主通道之一“广昆通道”的组成部分,是一条连接广西壮族自治区南宁市和云南省昆明市的高速铁路,是联通中国西南与华南的重要铁路通

道,也是中国西南地区出海的“黄金走廊”。该项目于2010年11月9日全线土建开工建设,2015年12月11日开通运营南宁至百色段,2016年12月28日全线通车运营,标志着云南省高速铁路出海通道的正式

收稿日期:2023-12-17

作者简介:林晓龙(1975-),男,高级工程师。

引文格式:林晓龙,张可军,蒋登伟.云桂铁路总体设计及技术创新[J].高速铁路技术,2024,15(1):93-97.

LIN Xiaolong, ZHANG Kejun, JIANG Dengwei. Overall Design and Technological Innovation of Nanning-Kunming High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1):93-97.

打通,对铁路沿线经过区域的经济发展具有重要意义和作用。

1 工程概况

云桂铁路西起昆明南站,向东经红河、文山、百色,接轨南宁站,全长 707 km,桥梁 284 座 139 km,隧道 170 座 402 km,桥隧比 76%,设计速度 250 km/h。本项目路基工程重点难点有危岩落石、岩溶路基及高陡边坡及百色地区强膨胀土等的处理措施。桥梁重点工程主要有丘北南盘江双线特大桥(主跨 416 m 铁路混凝土拱桥)、新邕宁邕江大桥(主跨(92+168+92)m 国内最大跨度单线铁路连续梁桥),南丘河特大桥(最大墩高 110 m)、白腊寨 1 号四线大桥(墩高 61 m 的车站内桥梁),以及其他高墩、大跨、深水基础连续梁桥及艰险山区高架车站桥等。隧道重点工程有 10 km 以上隧道 12 座,其中 I 级风险隧道 10 座,全线有 221 km 隧道位于岩溶发育地区,需要重点解决岩溶发育地区铁路隧道岩溶及岩溶水综合整治、危岩落石综合治理、挤压大变形隧道支护及隧道弃渣对环境的影响等。全线车站 17 个,车站选址、站场布置及工程措施制定极具挑战,其中昆明南站位于高烈度地震区,是西南地区最大高速铁路客站^[1]。

2 重难点工程

2.1 丘北南盘江双线特大桥

丘北南盘江双线特大桥为本项目最大主跨桥梁,桥梁横跨南盘江,桥址处呈“V”型山谷,桥位跨越南盘江处江面宽约 90 m,江面至轨面约 255 m。桥址区海拔高度 960~1 340 m,自然坡度 35°~50°,地形陡峻,坡面植被茂密。有一条国道可位于南盘江左岸,交通条件较好。

该桥主拱采用劲性骨架钢筋混凝土拱,桥梁孔跨为(6×32+2×48)m T 构+416 m 劲性骨架钢筋混凝土拱+(2×32+2×24)m,桥梁全长 862.48 m。

2.2 石林隧道

石林隧道位于弥勒—石林区间,隧道进口位于左偏曲线,出口位于右偏曲线,曲线半径 5 500 m。线路设计为“人”字坡,全长 18 218 m。隧道最大埋深约 250 m,洞身有两处浅埋段,最小埋深拱顶以上约 3 m。

为解决工期、排水及通风问题,隧道辅助导坑方案为“贯通平导+1 号斜井+2 号斜井”,平导全长 18 218 m,1 号斜井长 910 m,距离隧道中心 2 000 m;2 号斜井长 940 m,距离隧道中心 2 300 m。根据该辅助坑道配置。石林隧道纵断面示意如图 1 所示。

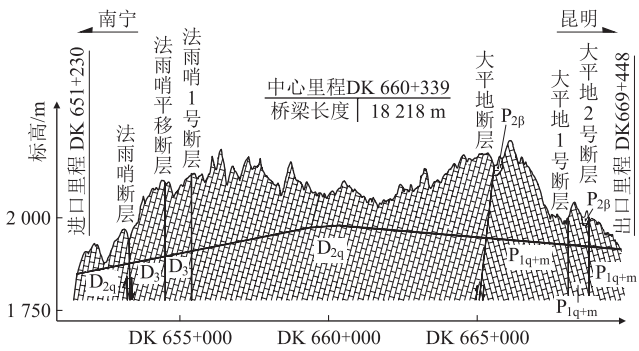


图1 石林隧道纵断面示意图

3 枢纽引入及线路走向方案

云桂铁路位于云贵高原及其斜坡过渡带,沿线地形艰险,山高谷深,地势由西北向东南倾斜,高程由 1 892 m(昆明)下降至 78 m(南宁)。项目高墩大跨桥、复杂地质长大隧道、特殊路基等重难点工程众多,“勘察难、选线难、设计难、建造难”。云桂铁路选线设计在结合路网规划、城市布局基础上充分考虑地形地质情况、环保敏感点分布、工程安全经济等因素,合理确定线路走向和车站布局,满足快速、安全、舒适的乘车要求,科学合理地控制工程投资。所经地区经济据点较多、外部环境复杂,环境要求标准高,线路走向方案以及枢纽接轨方案的选择是本项目的重点和难点。

3.1 南宁枢纽引入方案

南宁枢纽现衔接湘桂、南昆、南防 3 大干线铁路及南环铁路,湘桂铁路贯穿枢纽经凭祥至越南,湘桂铁路黎南段为双线,其余各铁路均为单线。枢纽范围东起湘桂铁路邕宁站,西至南昆铁路杨美站,南至南防铁路吴圩站。枢纽共有车站 13 个,其中南宁站为客运站,南宁南站为编组站,其余均为中间站或会让站。

通过对枢纽总图的研究,枢纽东端有南广、柳南客运专线、南钦及贵南高速铁路引入以及既有湘桂铁路,枢纽西端有云桂铁路、南凭铁路引入以及既有南昆铁路、湘桂铁路扩能改造和既有南防铁路,枢纽共衔接 8 条干线,6 个行车方向,形成客运以北环为主、货运以南环为主的客货分线的环形加放射线的格局。

客运系统:云桂铁路引入既有南宁站,近期新建南宁东第二客站,规划预留五象辅助客站,最终形成南宁站、南宁东站为主要客站、五象站为辅助客站的“两主一辅”的枢纽客站格局。

3.2 昆明枢纽引入方案

昆明枢纽现为准轨、米轨并存的枢纽,衔接贵昆、

成昆及南昆3条铁路干线及昆阳支线、王家营支线。金马村-昆明东-昆明-昆明西区段为双线,其余区间均为单线。广通至昆明完成扩能改造后,温泉-读书铺-昆明西将形成双线。

通过对枢纽总图的研究,随着云桂铁路、沪昆客运专线和渝昆高速铁路的引入,成昆线和昆玉线及昆阳支线扩能改造,枢纽将逐步形成衔接成昆、沪昆、南昆、昆河、云桂铁路、渝昆高速铁路及沪昆客运专线等7条铁路干线、5个方向的客货分线运输的放射状环形格局。

客运系统:云桂铁路新建昆明南客站,形成昆明、昆明南站“两站并重”格局。昆明站主要办理成昆线、沪昆、南昆线客车作业;昆明南站主要办理云桂铁路、昆玉、渝昆高速铁路、沪昆客运专线等客车作业。

3.3 线路走向方案

根据区域内地形、地貌、地质条件、既有南昆铁路走向、主要经济据点分布、矿产资源分布及地方政府意见等因素,对新建云桂铁路线路走向方案进行了详细研究,比选了经红果、经威舍、经丘北、经文山4大线路走向方案,如图2所示。

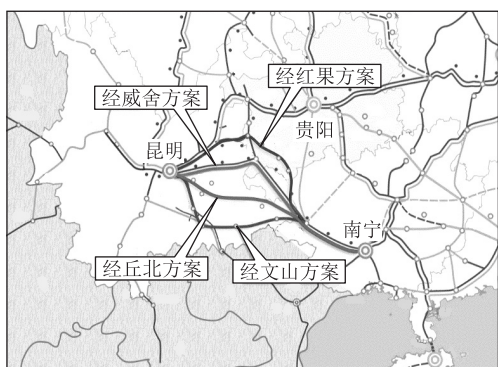


图2 云桂铁路线路走向方案示意图

经丘北方案线路出既有百色后跨右江,经富宁县、广南县、丘北县;于江边街附近跨南盘江,经弥勒县、石林县后,再次跨越南盘江,经宜良县阳宗镇,于昆明市呈贡新区设昆明南客站。

从工程地质条件和工程可靠性分析,经丘北方案百色-丘北段岩性以非可溶岩为主,局部夹可溶岩,部分地段沿断层线行进,丘北-昆明东西走向段以可溶岩为主,局部地段穿越含煤地层,南北走向段以软质岩为主,线路与区域性活动断裂并行,受构造影响较为严重,岩体较破碎,工程地质复杂,地质条件相对较差。

从满足运输需求方面分析,经丘北方案仅能分流昆明至百色及以远的通过车流,经计算,百威段能力远期紧张,需要进一步扩能,采用延长到发线、加大牵

引质量的扩能措施后可满足需求。

从线路顺直性、工程投资方面分析,经丘北方案新建线路长度最短,工程投资最省。

从完善路网及扩大铁路吸引范围方面分析,经丘北方案填补了南昆铁路以南500 km范围铁路网的空白。

经综合比较分析,经丘北方案新建线路顺直,地质条件居中,投资最省,有利于完善路网、促进国土资源的开发与利用,拉动沿线地方经济发展,故云桂铁路推荐采用经丘北的线路走向方案。

4 创新设计

项目设计团队联合高校、工程实验室等单位,开展了岩溶勘察、减灾选线、膨胀土路基、高速铁路400 m级混凝土拱桥建造关键技术等科研,并联合相关施工单位开展了“云桂铁路设计关键技术及应用”研究,在“综合勘察,总体设计与综合选线,超大跨度混凝土铁路拱桥建造,复杂地质长大隧道建造,特殊岩土及不良地质区高速铁路变形控制及安全风险防控”等方面取得突破^[2-3]。

4.1 项目特点

本项目具有“地形艰险、地质复杂、工程艰巨”的特点。沿线地质复杂,可溶岩及膨胀岩(土)广泛分布,岩溶、活动断裂与地震、危岩落石、高地应力、滑坡、有害气体等工程地质问题十分突出,有“地质灾害展览馆”之称,是复杂地质艰险山区高速铁路的典型代表^[4-5]。

4.1.1 地形艰险

全线地势由西北向东南倾斜。线路跨越了广西盆地和云贵高原两大地貌单元,其中百色至广南县段,为云贵高原与广西盆地间的斜坡地带,地形起伏较大,山势陡峭;广南至昆明段为云贵高原面,高原地貌以低中山、高原盆地及溶蚀平原组成。

4.1.2 地质复杂

沿线地质构造复杂,分布有17条断裂,通过地区多为Ⅵ度、Ⅶ度地震区,其中小江活动断裂带为强震集中而又频发的Ⅷ度地震带;沿线地质灾害发生频繁,类型众多,主要有地震、岩溶、滑坡、危岩落石、高低温与高地应力、膨胀土等。

4.1.3 工程艰巨

正线桥隧比达76%,主要工程内容含:

(1)岩溶段344 km,其中极易/易塌陷段100 km;膨胀(岩)土段130 km。

(2)众多高墩大跨桥:丘北南盘江双线特大桥(主跨416 m),为当时世界跨度最大的客货共线铁路混凝

土拱桥;新邕宁邕江特大桥(主跨为 $(92+168+92)$ m 预应力混凝土连续梁),为当时国内最大跨度单线铁路混凝土连续梁;南丘河特大桥(主跨采用 $(68+128+68)$ m 预应力混凝土连续刚构),主桥最大墩高 110 m,相邻墩高差达 20 m。

(3)隧道(I级风险隧道 10 座):隧线比 56.8%, 10 km 以上 12 座, I 级风险 10 座。石林隧道全长 18.218 km,全隧都在可溶岩区域,全长 12.9 km 的新莲隧道有 2 050 m 挤压大变形,白腊寨四线明洞隧道高陡边坡开挖超 70 m。

4.2 主要技术创新

4.2.1 综合勘察技术创新

首次将北斗定位技术应用于复杂艰险山区高速铁路测量,率先开发了铁路 POS 辅助航空摄影测量技术,创新了不良地质灾害识别技术,实现了复杂山区地形地质参数的快速获取与准确识别,为云桂铁路地质灾害高风险区的综合选线、重大工程选址及工程措施的合理制定提供了技术支撑。

(1)首次将北斗定位技术应用于复杂艰险山区高速铁路测量工作,建立了 GPS + BDS 模式,解决了极端地形及气候条件下无法开展测量工作的难题,作业效率显著提高,测量精度明显优于规范要求。

(2)率先研究开发了铁路 POS 辅助航空摄影测量技术。首次利用直接定向(DG)测图方法,实现了无地面控制点情况下铁路 1:10 000 地形图制图;首次利用 POS 辅助空三方法,实现了少量地面控制点情况下铁路 1:2 000 地形图制图。

(3)创新了不良地质灾害识别技术。创新了轻便组合型动力头式钻机和冲击取芯技术,提高了钻进效率、岩心采取率达 98%,成本降低 25% 左右;揭示了高陡危岩体、岩溶、活动断裂等不良地质形成机理,建立了遥感判识标志;提出了内外动力与人为活动诱发地质灾害识别技术组合原则,构建了不同勘察阶段各类工程综合勘察识别模式。

4.2.2 总体设计与综合选线技术创新

提出了以“系统最优、风险可控”为目标的总体设计理念,创新了膨胀土地区、岩溶山区、煤层瓦斯区、高烈度地震区等地质灾害高风险区综合选线方法,从源头确保了云桂铁路的顺利建成、全寿命周期风险可控及综合效益最佳。

(1)提出了以规避、防范铁路全寿命周期可能发生的地质环境灾害为根本出发点,以防灾减灾为核心,以综合勘察及桥隧路构筑物技术创新为支撑,以“系统最优、风险可控”为目标的总体设计理念,创建了线路-构筑物-灾害环境耦合约束模型,支撑了云

桂铁路典型灾害区综合选线与重点工程选址、高原湖泊区线路空间布局-隧道建筑结构-高原湖泊零失水等主控因素最佳平衡,大大降低了岩溶隧道发生涌水突泥的风险可能性。

(2)提出了“绕(灾害)-快(通过)-(措施/效果)稳”总体设计指导思想,建立了“平面绕避-立体跨越-工程防灾-监测预警”四大作业程式,为综合选线及灾害防控提供了工作流程及基本工作方法。

(3)创新了云桂铁路地质灾害高风险区综合选线方法,支撑了云桂铁路减灾选线及重点工程措施的合理确定。

(4)建立了量化的综合选线决策方法。将地质灾害风险量化,构建了全寿命周期铁路线路方案综合评价体系,实现了线路方案技术、经济、风险等多要素、多目标定量评价。

4.2.3 复杂山区超大跨度混凝土铁路拱桥建造关键技术

攻克了超大跨度拱桥桥面变形控制、混凝土拱圈施工及防裂等关键技术,建成了可通行货车的世界最大跨度混凝土高速铁路拱桥——南盘江特大桥,为南盘江峡谷-小江断裂带前后段线路走向提供了极大自由度。

(1)首次提出高速铁路超大跨度混凝土拱桥桥面变形控制标准,为高速铁路混凝土拱桥及云桂铁路南盘江特大桥经济合理的变形控制提供了理论依据和技术支撑。

(2)首创了“斜拉扣索调整骨架内力的大节段平衡加载”混凝土拱圈施工技术,施工工序减少 75%,劲性骨架钢材用量减小 20%,降低了施工风险,缩短了工期,节省了投资。

(3)创建了高速铁路大跨度混凝土拱桥拱圈混凝土系统防裂技术和分块式组合拱座基础结构,有效抑制了拱圈和拱座混凝土裂缝的产生,南盘江特大桥运营 5 年多来拱圈表面未发现裂缝。

4.2.4 岩溶、挤压大变形等复杂地质长大隧道建造关键技术

攻克了岩溶综合整治、挤压大变形控制等关键技术难题,保障了石林(I级岩溶风险,中国最长单洞双线运营高速铁路隧道,提前 16 个月贯通)、幸福(I级岩溶风险)、新莲(I级挤压大变形风险)等全部高风险隧道建设及运营安全。

(1)创建了隧道穿越巨型岩溶空腔、深厚充填溶洞综合整治方法。针对隧道所经区域复杂岩溶形态影响隧道施工及运营安全问题,创建了“优先保障施工(勘察)条件、分类评价洞隧影响、刚柔结合施工防

护、合理确定结构形式、严格控制基础沉降”的隧道岩溶处理设计方法;创新提出了“动静分离、曲墙带平底板、补偿性隧底底板”等多种适用于高速铁路软弱隧底的仰拱结构型式,以及“换填、摩擦桩、柱桩、微型桩、大直径钢管桩”等多种隧底加固技术。

(2)创新提出一套隧道通过挤压性大变形支护体系及控制技术。针对隧道通过挤压性大变形地段可能出现的隧道支护变形,通过三维数值模拟与现场测量数据对比,对隧道支护变形机理及变形规律进行了研究。创新提出“允许适当变形以释放地层应力、扩大变形余量以进行多重支护、加强工序控制以抑制变形突变、加强系统支护以强化围岩自稳”的设计理念,建立了一种“多重初支放抗结合、箱形型钢加强支护、长短锚结合强化围岩自稳”的挤压性大变形隧道支护体系;形成了“先放后抗、多重初支、严控突变、强化自稳”的挤压性大变形控制技术。

(3)创新了岩溶山区隧道环保设计方法。针对岩溶地区平地面积稀缺、生态环境紧张、植被生长恢复困难、工程与环保矛盾突出问题,通过三维建模数值分析,优化支挡结构体系及环保设计方法。采取”以支护换空间、以措施保环保”的设计策略,减少隧道洞口开挖对植被的破坏,提高隧道弃碴场土地利用效率,最大限度降低工程建设对环境破坏,完善了岩溶地区隧道环保设计方法。

4.2.5 膨胀岩土、岩溶等特殊路基变形控制及灾害防控技术

攻克了膨胀土路基毫米级变形控制世界难题,创新了岩溶路基建造技术,完善了危岩落石防治技术,保障了特殊岩土及不良地质区铁路运营安全。

(1)创建了以胀缩变形控制为核心的膨胀土路基建造技术。首次创建膨胀土复合桩基抗隆起计算方法,提出了小桩小间距加固措施;揭示了环境与动载耦合作用下全封闭膨胀土路堑基床结构动力行为演变规律及荷载传递机制,研发了沥青混凝土水泥基床防排水材料;建立了“坡面封闭-反滤排水-柔性减胀-刚柔结合”三维一体边坡综合防治技术。攻克了膨胀土路基毫米级变形控制世界级难题。

(2)创新了岩溶路基设计及施工成套技术。系统研究了岩溶路基加固范围、安全顶板厚度、注浆压力及浆液黏度与扩散半径的关系;提出了注浆加固孔间距、注浆压力、水灰比等参数,明确了注浆扩散半径及注浆量计算公式;首创了“探灌结合、动态设计、分序实施”岩溶路基建造方法,形成了铁路行业标准。

(3)完善了危岩落石防治技术。研发了落石运动

模拟软件,将落石的冲击动能、弹跳高度、运动轨迹、冲击力等参数凭经验估计提升到科学预测的高度;发明了组合式基坑支护桩结构及新型柔性格栅网,提升了防异物入侵能力,具有更高耐久性、维修便捷性,完善了山区危岩落石主、被动防护体系。

5 结束语

云桂铁路的建设在工程地质与灾害地质勘察、艰险山区高速铁路测绘综合技术、复杂艰险山区选线技术、路基高边坡和特殊岩土路基处理、高墩大跨与新结构桥梁建造、复杂地质长大隧道快速施工等专业领域取得了一系列具有创新意义和经济价值的研究成果,完成了新技术在其他项目上的推广应用,形成了在复杂地质艰险山区修建高速铁路干线的成套技术,并有不少项目达到了国际领先水平。成果已成功应用于贵阳至南宁、重庆至昆明等复杂艰险山区高速铁路勘察设计,极大提升了复杂艰险山区高速铁路和类似项目经济、社会、环保及安全效益。

参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路云桂初步设计总说明书[R]. 成都: 中铁二院限责任公司, 2009.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for the Preliminary Design of Nanning-Kunming High-speed Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2009.
- [2] 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 Reduction and Route Selection in Complex and Dangerous Mountainous Areas [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [3] 陈建国,谢毅,郑天池,等. 中老铁路总体设计及技术创新[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(8).
CHEN Jianguo, XIE Yi, ZHENG Tianchi, et al. Overall Design and Technological Innovation of China-Laos Railway [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(8).
- [4] 涂跃彬. 郑州至济南高速铁路总体设计及技术创新[J]. 铁道标准设计, 2022,(09): 1-6, 21.
TU Yuebin. Overall Design and Technological Innovation of Zhengzhou-Ji'nan High-speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2022,(09): 1-6, 21.
- [5] 陈明浩,张广泽,付开隆. 重庆至昆明高速铁路减灾选线研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(01): 79-84.
CHEN Minghao, ZHANG Guangze, FU Kailong. Research on Route Selection of Chongqing-Kunming High-speed Railway for Disaster Reduction [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(01): 79-84.