

文章编号: 1674—8247(2023)05—0105—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.05.019

黔桂铁路广西段动力集中型动车组开行方案研究

杨廷宇 魏昌辛 柯小梁

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:黔桂铁路为西部陆海新通道铁路主通道的重要组成部分,其中广西段(南丹—柳州)受路网规划等因素影响,暂缺高质量客运产品,无法满足沿线旅客美好出行需求,而利用既有线开行动力集中型动车组作为本通道客货分流格局形成前的“过渡”方案具有重要意义。根据运量预测结果,考虑采用短编组(9辆编组)CR200J动力集中型动车组,并结合2045年柳(州)河(池)城际铁路建成及干线普速列车部分带流等因素,确定了本线动力集中型动车组的开行径路、对数与停站方案,分析了时间节省效益与能力适应性情况。基于西部陆海新通道内各线主要技术标准及运营特征,提出了沿线动力集中型动车组开行的初步建议。

关键词:黔桂铁路;西部陆海通道;既有线;动力集中型动车组;开行方案

中图分类号:U292

文献标志码:A

A Study on Operation Scheme of Power-concentrated Multiple Units in Guangxi Section of Guizhou-Guangxi Railway

YANG Tingyu WEI Changxin KE Xiaoliang

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

105

Abstract: Guizhou-Guangxi Railway is an important part of the main channel of the New International Land-Sea Trade Corridor. However, due to factors such as the road network planning, the Guangxi section of this railway (from Nandan to Liuzhou) currently lacks high-quality passenger transport products and cannot meet the needs of passengers along the line for a comfortable travel experience. Therefore, utilizing existing lines to operate power-concentrated multiple units as a “transitional” solution before the formation of the passenger and freight diversion pattern has significant importance. Based on the traffic volume forecast results, factors such as the adoption of the short formation (9-car formation) of CR200J power-concentrated multiple units, the completion of the Liuzhou-Hechi Intercity Railway in 2045, and partial load-sharing of trunk conventional speed trains were considered. This led to the determination of the operation route, number of pairs, and stopping scheme for the power-concentrated multiple units on this line. The time-saving benefits and capacity adaptability were also analyzed. Based on the main technical standards and operation characteristics of each line in the New International Land-Sea Trade Corridor, preliminary suggestions are put forward for the operation of power-concentrated multiple units along the line.

Key words: Guizhou-Guangxi Railway; New International Land-Sea Trade Corridor; existing line; power concentrated multiple units; operation scheme

黔桂铁路南起广西壮族自治区柳州市,向北经广西自治 治区河池市、贵州省黔南州,终至贵州省贵阳市,运营

收稿日期:2022-07-22

作者简介:杨廷宇(1995-),男,工程师。

引文格式:杨廷宇,魏昌辛,柯小梁. 黔桂铁路广西段动力集中型动车组开行方案研究[J]. 高速铁路技术,2023,14(5):105-110.

YANG Tingyu, WEI Changxin, KE Xiaoliang. A Study on Operation Scheme of Power-concentrated Multiple Units in Guangxi Section of Guizhou-Guangxi Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5):105-110.

长度 479 km,是西部陆海新通道铁路主通道的重要组成部分^[1-3]。目前黔桂铁路能力饱和,正在进行增建二线扩能改造。改造完成后,全线将形成一条以货运为主的区际干线铁路^[4]。路网内黔桂铁路贵州段与在建贵(阳)南(宁)高速铁路互为平行径路,待 2023 年贵南高速铁路建成通车后,通道将形成客货分流的鲜明格局^[5]。反观黔桂铁路广西段,普速客运设施设备老旧落后,且研究年度近期以内暂缺明确的高速和城际铁路规划^[6],无法满足沿途旅客的美好出行需求。

近年来,“绿巨人”动力集中型动车组在中老、渝怀、包西等多条普速干线铁路上开行,让部分普速线路进入动车时代,深受广大旅客好评。以此为借鉴,根据沿线铁路运营特征,以及经济、人口特点,研究利用黔桂铁路广西段富余能力开行动力集中型动车组,高效串联桂西北地区“两核”(柳州、河池)、“一带”(沿黔桂走廊城镇带)、“多节点”(南丹、金城江、宜州、柳城等主要区县)。该方案既提升了铁路运输服务品质与市场竞争力,又赋予了西部陆海新通道除货运走廊外新功能、新内涵。

1 运量预测

1.1 运量预测的相关因素分析

(1)沿线社会经济发展水平

黔桂铁路广西段连接河池、柳州等两个地级市,境内串联南丹、金城江、宜州、柳城等 6 个区(县)。本次研究对象为 2019 年沿线社会经济发展水平数据^[7],如表 1 所示。

表 1 沿线社会经济发展水平数据统计表

主要指标	广西区		小计	沿线/区域
	河池市	柳州市		
土地面积/10 ⁴ km ²	3.35	1.86	5.21	21.93%
常住人口/万人	356.4	407.8	764.2	15.41%
城镇人口/万人	138.1	266.8	404.9	15.98%
GDP/亿元	878.1	3 126.8	4 004.9	18.89%
第一产业/亿元	189	223.5	412.5	12.18%
第二产业/亿元	247.3	1 551.9	1 799.2	25.42%
第三产业/亿元	441.8	1353	1 794.8	16.66%
人均GDP/元	24 702.8	761 86	50 444.4	1.17倍
农民人均可支配收入/元	10 141	14 715	12 428	0.91倍
城镇居民人均可支配收入/元	29 665	37 358	33 511.5	0.96倍
接待旅客人次/万人次	4 505.9	7 002.9	11 508.8	13.23%
旅游总收入/亿元	553	824.1	1 377.1	13.77%

由表 1 可知,本段沿线人均 GDP 高于广西区平均水平,通道经济、人口覆盖率在广西区的占比均为 15% 以上,旅游接待人次、旅游总收入在广西区的占

比均为 10% 以上,是桂西北地区最为重要的交通走廊之一。

(2)现状运营特征

根据最新统计结果,黔桂铁路独山—金城江段货流密度 1 700 万 t/年,开行货车 22 对/d,客流密度 109 万人/年,开行客车 4 对/d,能力利用率 81.6% ;黔桂铁路金城江—柳州段货流密度 1 900 t/年,开行货车 24 对/d,客流密度 190 万人/年,开行客车 6 对/d,能力利用率 86%^[8]。旅客列车开行方案如表 2 所示。

表 2 现状旅客列车开行方案表(对/d)

序号	类型	起点	终点	行车量 (对/d)	车底	最高时速 (km/h)
1	普速	贵阳	广州	1	普速 25G	120
2	普速	贵阳	深圳东	1	普速 25G	120
3	普速	成都东	湛江	1	普速 25G	120
4	普速	重庆	广州	1	普速 25G	120
5	普速	金城江	深圳东	1	普速 25G	120
6	普速	金城江	湛江	1	普速 25G	120

由表 2 可知,黔桂铁路以长途干线客车为主,最高运行速度 120 km/h,其中广西段内(金城江)始发终到 2 对/d,暂无区域内部交流的列车开行。

(3)路网规划

考虑研究年度初期为 2030 年、近期为 2035 年、远期为 2045 年。初期黔桂铁路增建二线工程完成,且西部陆海通道形成双向大能力运输通道;近期百色至河池高速铁路、兴永郴赣铁路建成,南昆铁路增建二线完成;远期河池至柳州城际铁路建成、涪柳铁路建成。

1.2 研究年度运量预测结果

综合 2019 年沿线社会经济发展水平、现状运营特征、路网规划等因素,采用趋势增长法、乘车率法,对黔桂铁路广西段客货运量进行预测,结果如表 3 所示。

由表 3 可知,金城江—柳州段的客流需求显著高于南丹—金城江段。由于远期河池至柳州城际铁路建成,金城江—柳州段客流需求呈先增后减趋势,而南丹—金城江段无平行径路分流,客流需求呈持续增长趋势。

2 列车开行方案

根据通道主要技术标准与运营特征确定动力集中型动车组选型,然后基于运量预测结果、列车定员、上座率等因素,确定黔桂铁路广西段动力集中型动车组开行方案,包括开行径路及对数、服务时段、停站方

表 3 黔桂铁路广西段运量预测结果表

区段	2030 年			2035 年			2045 年		
	货流密度/(万 t/年)		客流密度 (万人/年)	货流密度/(万 t/年)		客流密度 (万人/年)	货流密度/(万 t/年)		客流密度 (万人/年)
	上行	下行		上行	下行		上行	下行	
南丹—金城江	2 328	2 885	115	2 698	3428	120	3 100	4 106	130
金城江—柳州	2 260	2 910	247	3 124	3813	485	3 720	4 880	424

注: 考虑沿线旅客铁路乘车率初期为 0.8 ~ 2.3 次/年·人、近期为 1.0 ~ 5.0 次/年·人、远期为 1.3 ~ 6.5 次/年·人

案等,测算动力集中型动车组开行后线路通过能力的适应性情况。

2.1 动车组选型

2.1.1 动力集中型动车组优势分析

南丹至柳州的公路、铁路旅行时间分别为 2.7 h、3.0 h,河池城区(金城江、宜州)至柳州的公路、铁路旅行时间分别为 1.9 h、2.2 h。目前,黔桂铁路运行的普速客车采用 SS3/HXD3C 型机车牵引 25G 型客车车底,最高速度 120 km/h,且车内设施设备陈旧、环境较差,市场竞争力不足。

与传统普速客车相比,动力集中型动车组内部服务设施与设备与既有动车组基本一致,适用于包括本线在内的大部分普速电气化铁路,可显著改善旅客的出行环境与质量。经牵引计算模拟仿真,黔桂铁路广西段开行动力集中型动车组后,与公路、铁路的旅行时间对比情况如表 4 所示。

表 4 动力集中型动车组与现状普速客车的运行时分对比表(min)

区段	现状公路 旅行时间	现状普客旅 行时间	动力集中型动 车组旅行时间	节省 时间
南丹—金城江	50	52	32	18/20
金城江—柳州	114	130	99	15/31

综上所述,开行动力集中型动车组能够兼顾运输服务质量和旅行时间节省效益,是现阶段黔桂铁路广西段扩大客流吸引力、提升市场竞争力的合理选择。同时,本项目所经均为革命老区、少数民族地区、国家重点扶持的贫困地区、西部大开发的重点地区,黔桂铁路动力集中型动车组的开行将有效改善沿线居民出行条件和环境,加速各地区间的经济交流。这既是巩固脱贫攻坚成果,全面深化改革的要求,又是满足人民美好出行需求,实现共同富裕、共享繁荣的重要举措。

2.1.2 动力集中型动车组选择

当前,铁路准入的动力集中动车组包括 CR200J(电力)、CR200JS(电力-内燃双源动力)两种类型。其中,CR200JS 型动力集中动车组是专为满足高原气候条件的动车组。考虑本线沿线自然条件良好,电力

设施设备满足列车牵引要求,本次暂按 CR200J 型动力集中动车组进行研究。不同类型的 CR200J 型动力集中动车组主要技术参数^[9]对比如表 5 所示。

表 5 不同 CR200J 动力集中型动车组主要技术参数对比表

方案	动集方案 I	动集方案 II	动集方案 III
产品型号	CR200J (9 辆编组)	CR200J (20 辆编组)	CR200J (灵活编组)
最高运行 速度/(km/h)	160	160	160
列车编组	1Mc + 7T + 1Tc	1Mc + 18T + 1Tc	1Mc+(4~7)T + 1Tc/ 1Mc+(9~18)T + 1Tc
	其中: Mc 为带司机室的动力,T 为拖车,Tc 为带司机室的拖车,即控制车		
最大载荷 轴重/t	动力车≤21 t, 拖车、控制车 ≤16.5 t	动力车≤21 t, 拖车、控制车 ≤16.5 t	动力车≤21 t, 拖车、控制车≤16.5 t
列车长度/m	225.5	507	需根据动车组详细 编组方案确定
车辆宽度 /mm	3 360	3 360	3 360
全列额定载 客量 (人/列)	720	1 102	需根据动车组详细 编组方案确定
备注	已投用	已投用	未投用

黔桂铁路扩能改造后设计时速将提升至 160 km/h,且轴重与荷载、到发线有效长、建筑限界等主要技术标准均能满足 CR200J 型动力集中动车组开行条件,而列车定员为影响动车组选型的决定性因素。

本项目主要服务桂西北地区,沿线旅游资源丰富、少数民族聚集特征明显,客流具有特殊性、复杂性,原则上应结合客流实际情况,定制车辆,实现灵活编组。考虑现状暂无灵活编组方案的动力集中型动车组投用,且根据运量预测结果,本线客流强度总体一般,已投用的短编组(9 辆)动力集中型动车组即可满足运输需求。因此,本次研究暂时推荐 CR200J(9 辆编组)动力集中动车组。

2.2 列车开行径路及对数

2.2.1 客流特征分析

黔桂铁路广西段预测客流量由通道客流和区域

客流两部分组成。其中,通道客流主要为西南地区与北部湾、粤港澳地区交流的长途客流,区域客流主要为桂西北地区河池、柳州内部交流客流。不同类型客流占比如表 6 所示。

表 6 黔桂铁路广西段研究年度不同类型客流占比表

区段	2030 年			2035 年			2045 年		
	客流密度 (万人/年)	通道客流 占比/%	区域客流 占比/%	客流密度 (万人/年)	通道客流 占比/%	区域客流 占比/%	客流密度 (万人/年)	通道客流 占比/%	区域客流 占比/%
南丹—金城江	115	73.9	26.1	120	72.5	27.5	130	86.9	13.1
金城江—柳州	247	66.0	34.0	458	70.7	29.3	424	88.9	11.1

本次研究考虑通道客流及部分区域内客流通过黔桂铁路长途干线列车带流,剩余非通道客流则由动力集中型动车组承担。

2.2.2 长途干线列车开行方案

根据运量预测结果,结合普速客车开行方案与研究年度路网规划情况,确定黔桂铁路长途干线列车开行方案,如表 7 所示。

表 7 黔桂铁路研究年度长途普速客车开行方案表(对/d)

序号	类型	起点	终点	径路	2030 年	2035 年	2045 年
1	普速	贵阳	广州	黔桂、柳梧广	1	1	2
2	普速	贵阳	深圳东	黔桂、柳梧广	1	1	1
3	普速	成都东	湛江	成遂渝、渝黔、黔桂、湘桂、黎湛	1	1	1
4	普速	重庆	广州	渝黔、黔桂、柳梧广	1	1	1
5	普速	金城江	深圳东	黔桂、柳梧广	1	1	1
6	普速	金城江	湛江	黔桂、湘桂、黎湛	1	1	1
7	普速	贵阳	厦门	黔桂、兴永郴、赣、韶赣、赣龙	—	1	1
8	普速	昆明	广州	南昆、百色—河池、黔桂、柳梧广	—	1	1
9	普速	兴义	广州	南昆、百色—河池、黔桂、柳梧广	—	1	1
10	普速	百色	广州	百色—河池、黔桂、柳梧广	—	1	1
11	普速	百色	梧州	百色—河池、黔桂、柳梧广	—	1	1
13	普速	百色	贺州	百色—河池、黔桂、柳梧广	—	1	1
14	普速	重庆	湛江	渝黔、涪柳、黔桂、湘桂、黎湛	—	—	1
15	普速	重庆	广州	渝黔、涪柳、黔桂	—	—	2
合计					6	12	16

2.2.3 动力集中型动车组开行径路及对数

根据式(1)计算区段列车开行对数:

$$n_{i-j} = \frac{Q_{i-j} \times \beta}{A \times \alpha_k} \tag{1}$$

式中: n_{i-j} ——区段*i-j*的动力集中型动车组开行量(对/d);
 Q_{i-j} ——区段*i-j*的区域性客流需求量(万人/年);
 β ——客流波动系数,取 1.1;
 A ——动力集中型动车组列车定员,取 720 人/列;
 α_k ——动力集中型动车组满载率,取 60%~75%。

经计算,研究年度南丹—金城江区段动力集中型动车组开行对数分别为 2 对/d(2030 年)、2 对/d(2035 年)、1 对/d(2045 年),金城江—柳州区段动力集中型动车组开行对数分别为 5 对/d(2030 年)、8 对/d(2035 年)、2 对/d(2045 年)。

考虑柳州为区域经济、文化中心和连接西南、中南、华南地区的综合交通枢纽,且枢纽内铁路运输设施设备完善,故本次研究将柳州作为全部动力集中型动车组的始发终到车站和运维检修基地。综上所述,确定动力集中型动车组开行交路如图 1 所示。

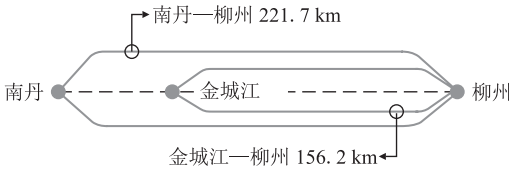


图 1 黔桂铁路广西段动力集中型动车组开行交路示意图

2.3 列车开行时段与停站方案

2.3.1 开行时段

黔桂铁路广西段开行的普速旅客列车以长途通过列车为主,列车开行时段统计如图 2 所示。

由图 2 可知,现状 2/3 的长途客车通过本线的时间段或早或晚,与沿线旅客出行习惯不匹配。为提高本项目的客流吸引力与市场竞争力,动力集中型动车组应尽量安排在白天时段 9:00—18:00 之间开行。

2.3.2 停站方案

黔桂铁路广西段开行的普速旅客列车仅停靠南丹、金城江、宜州、柳州等 4 个站,而动力集中型动车

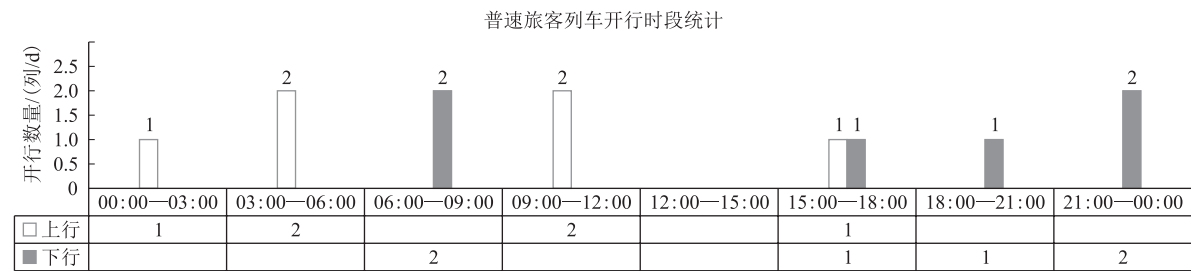
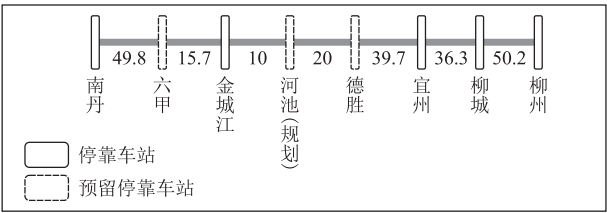


图2 黔桂铁路广西段现状旅客列车开行时段统计示意图

组仅在区域内部开行,功能定位为连接桂西北地区重要城镇组团、提升沿线旅客出行质量的客运产品,因此长途普速客车应覆盖更多的区域内经济、人口据点。

本次研究以站点辐射的城镇常住人口不小于1.5万人作为停站依据,同时考虑车站工程改造实施条件、停站距离均衡性等因素,确定动力集中型动车组的停站方案,如图3所示。



注:1.河池站为拟于贵南高铁同站换乘的乘客站,尚处于规划阶段
2.上述站间距为估算值,详细站间距以最终研究结果为准

图3 黔桂铁路广西段动力集中型动车组停站方案示意图(km)

由图3可知,黔桂铁路广西段动力集中型动车组拟停靠南丹、金城江、柳城、柳州等8个车站,运营长度221.7 km,含预留车站平均站间距27.7 km,不含预留车站平均站间距44.3 km。

2.4 通过能力适应性分析

黔桂铁路增建二线后区间闭塞方式采用自动闭塞,列车追踪间隔 $I_{\text{追}}$ 初、近期为7 min,远期为6 min,综合维修“天窗” $T_{\text{天窗}}$ 为120 min。考虑不同类型列车扣除系数 $\varepsilon_{\text{普客}}=2.5$ 、 $\varepsilon_{\text{动集}}=2.8$ 、 $\varepsilon_{\text{集装箱}}=1.3$ 、 $\varepsilon_{\text{直区}}=1.0$ 、 $\varepsilon_{\text{摘挂}}=3.0$ 的情况下,通过能力适应性情况如表8所示。

由表8可知,黔桂铁路广西段开行动力集中型动车组后,线路通过能力能够满足沿线客货运输需求,且有一定富余。

3 西部陆海新通道动力集中型动车组应用展望

3.1 通道技术标准与开行状态梳理

黔桂铁路为西部陆海新通道铁路运输主通道的

表8 黔桂铁路广西段开行动力集中型动车组后能力适应性情况表(对/d)

区段	研究年度	客车		货车			需要能力	设计通过能力	能力适应性
		普速	动集	集装箱	直区	摘挂			
南丹—金城江	2030年	2	2	34	11	2	83	188	+ 105
	2035年	2	2	45	15	2	104	188	+ 84
	2045年	4	1	57	17	3	130	220	+ 90
金城江—柳州	2030年	6	5	40	14	2	117	188	+ 71
	2035年	11	8	50	17	2	159	188	+ 29
	2045年	15	1	67	20	2	177	220	+ 43

重要组成部分,利用其富余能力合理开行动力集中型动车组,能够盘活运力资源、提升运输服务品质,为西部陆海新通道持续赋能。考虑到以下因素,对西部陆海新通道铁路东、中、西三大通道中适宜动力集中型动车组的开行线路及运营状态进行梳理,如表9所示。

(1)廊道所串环节点为省(市、区)内较为重要的经济、人口据点,且沿途覆盖社会文化与旅游资源。

(2)既有(在建或规划)正线数目为双线、暂无可替代的平行径路(客运专线)、满足客货共线区段动车组安全运行规范。

(3)重点提高革命老区、少数民族地区、国家重点扶持的贫困地区、西部大开发的重点地区铁路客运服务品质。

3.2 应用展望

随着西部陆海通道的全面建成以及200 km/h速度等级动力集中型动车组的投用,动车组异地运维技术的逐步成熟,通道内各线动车组运用方案及运维基地规划如表10所示。

4 结论

利用既有线开行动力集中型动车组是目前我国铁路发展的趋势之一。黔桂铁路广西段是串联桂西北地区最为重要的交通与经济走廊,利用线路富余能力开行动力集中型动车组具有必要性及可行性。开

表 9 西部陆海通道动力集中型动车组适宜动力集中型动车组的开行线路及运营状态表

序号	通道	线路	区段	长度/km	正线数目	设计速度/(km/h)	开行状态
1	东通道	渝怀铁路	重庆—秀山	406	双线	160	已开行
2			秀山—怀化	196	双线	160	暂未开行
3		黎钦铁路	黎塘—钦州	125	双线	160	暂未开行
4	中通道	遂成铁路	成都—遂宁	148	双线	200	已开行
5		遂渝铁路	遂宁—重庆	158	双线	160	已开行
6		渝黔铁路	重庆—贵阳	344	双线	200	暂未开行
7		黔桂铁路	南丹—柳州	163	双线	160	暂未开行
8	西通道	南昆铁路	威舍(兴义)—百色	250	单线(增建二线)	120	暂未开行

表 10 西部陆海通道动力集中型动车组运用方案及运维基地表

序号	通道	线路	区段	动车组运用方案	运维基地	备注
1	东通道	渝怀铁路	重庆—秀山	160 km/h 等级动集	重庆	—
2			秀山—怀化	160 km/h 等级动集		—
3		黎钦铁路	黎塘—钦州	160 km/h 等级动集	柳州	异地共享
4	中通道	遂成铁路	成都—遂宁	200 km/h 等级动集	成都	—
5		遂渝铁路	遂宁—重庆	200 km/h 等级动集	成都	—
6		渝黔铁路	重庆—贵阳	200 km/h 等级动集	重庆/贵阳	—
7		黔桂铁路	南丹—柳州	160 km/h 等级动集	柳州	—
8	西通道	南昆铁路	威舍(兴义)—百色	160 km/h 等级动集	柳州	异地共享

行此类动车组可以缩短两核”(柳州、河池)和“多组团”(南丹、金城江、宜州、柳城)之间的铁路客运时间,提高运力资源使用效率,提升运输服务品质。此外,西部陆海通道内的黎钦、南昆等线路亦存在动力集中型动车组开行需求。制定和执行与客流需求特点相一致的开行方案,将进一步促进通道与区域经济的融合发展,推动西部陆海通道新通道形成“以货为主,兼顾客运,客货运高质量协调发展”的新局面。

参考文献:

[1] 魏昌辛,吕欣. 西部陆海新通道铁路主通道实施方案研究[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(2): 1-6.
WEI Changxin, LV Xin. Research on the Implementation Plan of the Main Railway Corridor of the New Western Land-sea Corridor [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(2): 1-6.

[2] 魏昌辛. 黔桂铁路增建二线综合选线研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(2): 94-99.
WEI Changxin. A Study on Comprehensive Comparison of Route for the Second Line of Guizhou-Guangxi Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2): 94-99.

[3] 李进. 贵南铁路客流预测与列车开行方案研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2017.
LI Jin. Research on Passenger Flow Forecast and Train Operation Scheme of Guiyang-Nanning High-speed Railway [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2017.

[4] 中铁二院工程集团有限责任公司. 改建铁路黔桂线复线改造工程可行性研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2021.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Feasibility Study on Reconstruction Project of Double Track of Longli-Liuzhou Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2021.

[5] 杨守君,王景琪,王贤哲,等. 160 km/h 动力集中动车组动力车总体设计[J]. 机电传动, 2020(3): 35-41.
YANG Shoujun, WANG Jingqi, WANG Xianzhe, et al. Overall Design of Power Car for 160 km/h Power Concentrated EMU [J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(3): 35-41.

[6] 姜春阳,杨信丰,李涛. 考虑席位类型的旅客列车开行方案优化研究[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(12): 9-16.
JIANG Chunyang, YANG Xinfeng, LI Tao. Optimization of Passenger Train Operation Scheme Considering Seat Class [J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(12): 9-16.

[7] 田向阳. 动力集中型动车组运用检修模式及检修设施设计[J]. 机电传动, 2021(2): 19-25.
TIAN Xiangyang. Research on Operation and Maintenance Mode and Maintenance Facility Design of Power Centralized EMU [J]. Electric Drive for Locomotives, 2021(2): 19-25.

[8] 蒲松,夏嫦. 基于铁路客流分配的旅客列车开行方案调整方法[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(8): 12-17.
PU Song, XIA Chang. Adjustment to Train Operation Diagram Based on Railway Passenger Flow Assignment [J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(8): 12-17.

[9] 贺俊源,徐利民,李博,等. 200 km/h 动力集中型动车组运用模式探讨[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(1): 51-55.
HE Junyuan, XU Limin, LI Bo, et al. Operation Mode of 200 km/h Power-concentrated EMU [J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(1): 51-55.