

文章编号: 1674—8247(2022)03—0085—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.017

滇西南普速铁路开行动车组关键技术分析

文 东¹ 徐 涛¹ 尹业斌²

(1. 中铁二院昆明勘察设计研究院有限责任公司, 昆明 650200;
2. 中铁二院工程集团有限公司西南指挥部, 昆明 650200)

摘 要:云南高速铁路主要覆盖滇东和滇中地区,滇西南地区以 160km/h 及以下普速铁路为主,为融入快速铁路网,提高旅客运输服务品质,需对普速铁路提升改造开行动车组进行研究。本文在对滇西南地区普速铁路开行动车组对客流影响分析基础上,根据区域路网现状,结合工程实例,分别从提速改造、列控系统级间转换、车站改建及工程投资等方面分析滇西南地区普速铁路提升改造开行动车组关键技术,提出适应不同技术标准 and 工况条件下的线路改建方案,可为其他普速铁路提升改造开行动车组提供借鉴。

关键词:滇西南;普速铁路;动车组;提升改造

中图分类号:U2-9 **文献标志码:**A

Analysis of Key Technologies for Operating EMU Trains on Normal Speed Railways in Southwestern Yunnan

WEN Dong¹ XU Tao¹ YIN Yebin²

(1. Kunming Survey, Design and Research Institute Co., Ltd. of CREEC, Kunming 650200, China;

2. Southeast Headquarters of China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Kunming 650200, China)

Abstract: Since high-speed railway network in Yunnan Province mainly covers eastern and central Yunnan, and the railways in southwestern Yunnan are mainly normal speed railways with a speed of 160 km/h and below, it is necessary to conduct study on upgrading of existing normal speed railways for operating EMU trains and to integrate them into the rapid railway network and improve the quality of passenger transportation services. Based on the analysis of the impact of operating EMU trains on normal speed railways in southwestern Yunnan on passenger flow, according to the current situation of regional railway network and engineering examples, this paper analyzes the key technologies of operating EMU trains on normal speed railways in southwestern Yunnan by upgrading and transformation from the aspects of speed-up transformation, level transition of train control system, station reconstruction and project investment, and proposes line reconstruction scheme that adapts to different technical standards and working conditions, providing reference for operating EMU trains on other normal speed railways by upgrading and transformation.

Key words: southwestern Yunnan; normal speed railway; EMU train; upgrading and transformation

云南省地处我国西南边疆,由于历史原因和地形、地质等客观条件制约,云南铁路发展相对滞后,既有铁

收稿日期:2021-05-26

作者简介:文东(1979-),男,高级工程师。

引文格式:文东,徐涛,尹业斌. 滇西南普速铁路开行动车组关键技术分析[J]. 高速铁路技术,2022,13(3):85-90.

WEN Dong, XU Tao, YIN Yebin. Analysis of Key Technologies for Operating EMU Trains on Normal Speed Railways in Southwestern Yunnan[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3):85-90.

路存在标准低、运行速度慢等缺点,是全国动车组开行线路覆盖密度较少的省份。目前全省开行动车组的线路主要集中覆盖滇东及滇中地区,而大理、丽江、迪庆、保山、德宏、普洱、临沧、怒江、版纳及红河等滇西南地区州市既有、在建及规划铁路均以普速铁路为主。滇西南地区因山高坡陡谷深,地形地质条件复杂,线路桥隧比例高,如在建大瑞(大理—瑞丽)、大临(大理—临沧)、丽香(丽江—香格里拉)铁路及既有大丽(大理—丽江)铁路全线桥隧占比分别高达86.5%,87.3%,72.9%和60.12%,铁路建设造价高、难度大、周期长,使得滇西南地区相当长一段时间内铁路客运仍依靠普速铁路。

滇西南区位优势独特,泛亚铁路东、中、西线有5条国际铁路通道经滇西南出境,是连接丝绸之路经济带与21世纪海上丝绸之路的纽带。但目前规划的中越、中缅双通道、中印及中老铁路均为普速铁路,不具备动车组列车开行条件。对滇西南普速铁路升级改造,动车组成网运行后,将有条件在国际通道上开行动车组列车,促进国际产能合作。因此,无论是内在需求还是面向东南亚国际铁路通道的建设,滇西南地区利用既有普速铁路开行动车组的研究显得更加迫切并具有实际意义。

1 滇西南地区普速铁路开行动车组对客流影响分析

1.1 云南铁路旅客运输量发展分析

目前,云南省境内铁路、公路、水运、航空等各种运输方式相结合的综合运输体系已初步形成,各种运输方式协调发展的综合运输体系正逐步完善。2019年云南各种运输方式旅客运输量及其增长速度如表1所示^[1]。

表1 2019年云南各种运输方式旅客运输量及其增长速度表				
	指标	绝对数/亿人	占比/%	比上年增长/%
旅客运输量	旅客运输总量	4.13	100	-6.5
	铁路	0.80	19.4	16.9
	公路	3.07	74.3	-11.4
	水运	0.11	2.7	-14.5
	民航	0.15	3.6	9.2

根据表1,云南省旅客运输主要由公路运输方式完成,但铁路运输增长强势,公路运输客流相对萎缩。根据云南省2017至2019年国民经济和社会发展统计公报,云南省铁路旅客运输连续3年增长率分别达17.2%、13.9%和16.9%,而公路运输分别下降了

6.4%、10.2%和11.4%。特别是2016年底沪昆(上海—昆明)高速铁路、云桂(南宁—昆明)铁路和昆玉(昆明—玉溪)铁路的开通,标志着云南铁路正式接入全国高速铁路网,铁路客流增长强劲。2016—2019年云南各种运输方式旅客运输量如图1所示。

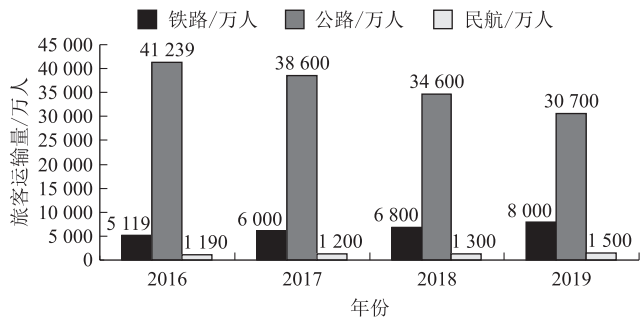


图1 2016至2019年云南各种运输方式旅客运输量图

1.2 滇西南地区普速铁路开行动车组列车对客流影响分析

滇西南地区各州市国土总面积为24.1万km²,占云南省国土面积的61.1%;常住人口2 054万人,占云南全省常住人口的42.5%。地区内旅游资源得天独厚,旅游业已成为该区域重要的支柱产业。2019年云南省接待海外入境旅客1 485万人次,接待国内游客79 977万人次。云南出入境主要来自缅甸、泰国、越南、老挝方向,随着未来中国东盟间经贸发展,特别是泛亚铁路东、中、西线5条国际铁路通道建成通车,旅游客流将大幅增长,预测2030年和2040年中国到东盟各国旅游人数为4 100万人和5 000万人^[2]。

滇西南既有铁路基础薄弱、线路标准低是影响旅客出行的主要因素;动车组不能成网运行,则难以满足沿线居民及游客的快速交通需求。从发展潜力看,滇西经昆明—广通—大理铁路,滇南经昆明至玉溪铁路与省会昆明相连,共同构成滇西南与滇中地区的重要客运通道,随着普速铁路开行动车组列车改造完成,将提高线路运输能力和旅客运输品质,区域人均出行水平将得到较大提高^[3],铁路旅客出行增长空间巨大。

以昆明—广通—大理铁路为例,2018年7月昆广大开动车组列车实现了大理与昆明“两小时经济圈”的交通跨越,结束了滇西不通动车的历史。动车组开行当日发送旅客2.8万人次,上座率达135%,当年大理铁路旅客运输量增加81.7%,而昆明至大理间大巴班次减少70%,航班减少57%。开行动车组列车当年及2019年大理州各种运输方式旅客运输量及其增长速度如表2所示^[4-5]。

表 2 2018 年和 2019 年大理州各种运输方式旅客运输量及其增长速度表

年度	2018 年			2019 年		
	绝对数 /万人	比例 /%	比上年 增长/%	绝对数 /万人	比例 /%	比上年增 长/%
旅客运输总量	11 362.6	100	4.3	11 035.2	100	-2.9
铁路	427.0	3.76	81.7	644.0	5.84	50.8
公路	10 455.0	92.01	2.5	9 943.0	90.10	-4.9
水运	391.4	3.44	3.9	358.3	3.25	-8.5
民航	89.2	0.79	12.9	89.9	0.81	0.8

2 滇西南地区铁路现状分析

2019 年底,云南省铁路网总里程达到 3 983 km (不含米轨线路 656 km),其中高速铁路里程(含 200 km/h)1 023 km,主要覆盖滇东及滇中地区。滇西南地区 2019 年底铁路通车里程总计 951 km,其中仅广大新双线设计速度为 200 km/h,线路全长 175 km, 占全省高速铁路总里程的 17.11%。滇西南地区在建及规划线路均以普速铁路为主,其中在建线路全长约 1 179 km,提升改造开行动车组空间巨大。滇西南地区既有及在建铁路概况如表 3 所示。

表 3 滇西南地区既有及在建铁路概况表

线路名称	长度 /km	现状	正线数 目/条	设计时速 /(km/h)	牵引 种类	备注
广大(广通—大理)铁路	206	既有	1	80	内燃	
成昆永广(永仁—广通)段	127	既有	2	160	电力	
广大(广通—大理)新双线	175	既有	2	200	电力	已开动车
大丽铁路	161	既有	1	120	电力	已开动车
丽香铁路	139	在建	1	120	电力	
大瑞铁路	330	在建	1	140	电力	
大临铁路	202	既有	1	160	电力	已开动车
玉磨(玉溪—磨憨)铁路	508	在建	2	160	电力	
玉蒙(玉溪—蒙自)铁路	140	既有	1	120	电力	已开动车
蒙河(蒙自—河口)铁路	142	既有	1	120	电力	已开动车

注:成昆铁路昆广段及昆玉铁路按区域划分属滇中地区,因此 2 条线路未统计进本表

3 滇西南地区普速铁路提升改造开行动车组关键技术分析

滇西南地区既有和在建普速电气化铁路主要有 120 km/h、140 km/h 和 160 km/h,按正线数目分有单

线和双线两种,不同线路技术标准、工况条件对改建开行动车组列车方案影响较大,改建工程内容及工程投资也有所区别。

3.1 提速改造分析

速度和时间优势是铁路吸引客流提高市场竞争力的关键。滇西南地区铁路标准普遍偏低,在研究改建开行动车组列车时,应对线路提速改造方案进行分析,如设计速度 120 km/h 线路应研究提速至 140 km/h 和 160 km/h 方案,设计速度 160 km/h 线路提速至 200 km/h 方案。不同设计速度其线路技术标准不一致,如表 4 所示。

表 4 120 km/h、140 km/h、160 km/h 及 200 km/h 主要技术标准对比表

速度目标值/(km/h)		120	140	160	200
曲线最小 半径/m	通常	1 200	1 600	2 000	3 500
	困难	800	1 200	1 600	2 800
最小坡段长/m		200	200	400	600
线间距(区间 直线段)/m		—	—	4.2	4.4
桥梁梁型		2101 系列 简支 T 梁	2101 系列 简支 T 梁	2101 系列 简支 T 梁	2201 系列 简支 T 梁或 2232 系列 简支箱梁
隧道净空面积/m ²		单线 30.9	单线 30.4	单线 42.1/ 双线 76.6	双线 80
列控系统		CTCS-0	CTCS-0	CTCS-0	CTCS-2

注:140 km/h 客货共线铁路的线路设计标准在 TB 10098—2017《铁路线路设计规范》中已删除,论文参照 GB 50090—2006《铁路线路设计规范》

根据表 4 可知,设计速度为 160 km/h 及以下线路若要提速至 200 km/h,需调整线路平纵断面、更换桥梁梁型、扩大隧道净空面积等,对于以桥隧工程为主的滇西南铁路,以上改建相当于新建一条线路。因此,除 160 km/h 线路原设计已预留 200 km/h 工程条件(如成昆铁路广通至昆明段),可提速改造至 200 km/h 外,其他速度等级铁路不具备提速改造至 200 km/h 条件。120 km/h 和 140 km/h 线路主要技术标准相近,不需更换梁体和扩大隧道净空面积,提速改造代价小;而 120 km/h、140 km/h 提速至 160 km/h,虽然部分线路平纵断面不需调整,但隧道需扩孔,工程代价较大。因此,120 km/h 线路改造开行动车组列车时为节省旅行时间可研究提速至 140 km/h,如大丽、丽香铁路;140 km/h 可研究局部提速至 160 km/h 或维持既有设计速度,如大瑞铁路;而 160 km/h 线路应维持既有速度,如玉磨铁路和大临铁路。

提速改造效果分析,以滇西大丽铁路提升改造开行动车组为例。大丽铁路全长 161 km,提速改造前,开行普客列车在大理和丽江间旅行时间最短为 101 min;开行动车组但不提速改造,两城市间旅行时

间最短为 92 min;改造提速至 140 km/h 后可节省 9 min,相对提速前的普速客车节省 20 min。大理铁路升级改造开行动车组时间成本分析如表 5 所示^[6]。

表 5 大理铁路升级改造开行动车组时间成本分析表

项目	运行时分 /min	平均运行速度 /(km/h)	旅行时间 /min	平均旅行速度 /(km/h)
提速改造前(客车采用 SS7C 牵引)	94.1	101.5	101(快车)	94.4
			180(慢车)	53.0
提速改造后(开行动车组)	73	130	81	117
维持 120 km/h(开行动车组)	84	115	92	105

3.2 列控系统级间转换方式分析

设计速度 160 km/h 及以下普速铁路列控系统采用 CTCS-0(简称 C0)级,滇西南普速铁路衔接的快速铁路设计速度均为 200~250 km/h,列控系统采用 CTCS-2(简称 C2)级。普速铁路改建开行动车组列车后列控系统仍维持原设计不变,但动车组上、下线运行时需完成 C2 和 C0 级间转换^[7],转换方式主要有 人工转换和自动转换两种。人工转换一般是动车组停车后由司机在站内人工完成 C2 和 C0 级间转换,该转换方式设置简单,节省投资,但降低了运输效率^[8],适用于动车组全部办理停站通过作业车站;自动转换是在区间设置级间转换应答器组自动完成 C2 和 C0 级间转换,该转换方式信号改建工程较多,投资大,但动车组不需停站通过,运输效率高。

以大理铁路枢纽为例分析列控系统级间转换设置方式,大理枢纽大理站为客运站,大理东站为区段站,大理北为会让站。枢纽经由大理站开往临沧、瑞丽方向的动车组均需在大理站停站办理客运用作业,大临、大瑞开行动车组改建时 C2 和 C0 列控系统级间转换适宜采用人工方式;而大理铁路开行动车组列车所经大理东、大理北站均不具备办理客运条件,动车组一般都不停站通过,因此,需在大理东与大理北站区间设置级间转换应答器组自动完成列控级间转换^[6],同步对大理东站列控系统及广大线临时限速服务器进行相应修改,而经大理站开往丽江方向的动车组则可在大理站采用人工方式由 C2 级列控模式转换为 C0 级列控模式。大理铁路枢纽各引入线 C2/C0 级间转换设置如图 2 所示。

3.3 车站改建分析

滇西南地区普速铁路既有设施设备主要适应机车牵引列车形式,开行动车组列车需对沿线车站相应进行改建,主要体现在两方面,一是通道能力变化后应研究是否加站,二是对既有车站设施设备进行改建。

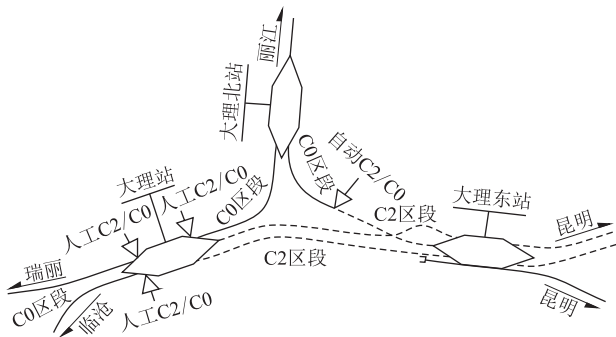


图 2 大理铁路枢纽各引入线开行动车组列车 C2/C0 级间转换设置示意图

3.3.1 开行动车组列车加站分析

根据客流预测以及滇西南地区已完成开行动车组列车改建线路实际客流增长情况,普速铁路开行动车组列车后,为适应客流增长及提高服务频率的需要,线路开行动车组对数较原普客列车对数有所增加;部分提速路段旅客列车与货物列车速度差加大,从而引起需要能力增加。以上两个原因对通道能力均有较大影响,需对能力进行检算,以确定是否需要增加会让站或越行站。

3.3.2 车站改建分析

为适应开行动车组列车,车站站线轨道、道岔、出站信号机及车辆设备等需配套进行系列改建。

(1) 站线轨道及道岔改建分析

滇西南地区普速铁路除正线采用 60 kg/m 无缝线路及道岔外,站内到发线、货物线及其他站线均采用 50 kg/m 无缝线路及道岔。在开行动车组列车改建时,需对沿线车站接发动车组进路上的到发线及道岔进行提升改造,即把进路上所有 50 kg/m 有缝线路及道岔改为 60 kg/m 无缝线路及道岔。对于提速路段,如 120 km/h 线路提速至 140 km/h,原设计正线道岔为 SC330,其直向最大通过速度为 120 km/h,不满足提速至 140 km/h 要求,需更换为专线 4249 道岔。车站布置形式、规模、到发线有效长等均维持既有不变,提升改造开行动车组车站改建如图 3 所示。

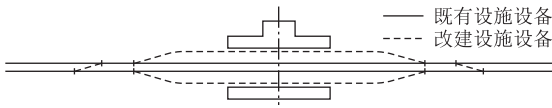


图 3 普速铁路开行动车组列车车站改建示意图

(2) 信号机-警冲标距离调整分析

滇西南地区普速铁路车站出站信号机设置仅满足接发传统机车牵引车辆形式的客、货列车需要,原设计

车站出站信号机与警冲标距离均按 3.5 m 设置,提升改造开行动车组后,站内出站信号机与警冲标的间距设置应满足无动车组运行时沿线路方向不小于 3.5 m,有动车组运行时沿线路方向不小于 5 m 的要求^[9]。信号机-警冲标距离的调整对车站到发线有效长影响较大,进而影响车站场坪土建工程,受滇西南地形地势条件控制,车站多设置在高填深挖路基段或桥隧相连处,既有线车站和已完成土建施工的在建线路即使场坪微小的调整都会增加较大的工程投资和工程风险。因此,提升改造开行动车组时,应尽量维持原信号机设置位置,在满足限界要求前提下通过往岔心

移动警冲标以满足动车组开行要求。

(3) 车辆设备的改建分析

滇西南地区普速铁路车站原配置的车辆设备均未考虑开行动车组的需要,需配套进行改建,即沿线车站根据需要应考虑增加动车组存车和检修设备。如玉磨铁路开行动车组列车,相应对西双版纳站客车整备所按开行动车组列车要求进行改造,以满足动车组存车及检修要求。

3.4 改建工程费用分析

滇西南地区既有和在建共 8 条普速铁路开行动车组列车提升改造项目投资如表 6 所示。

表 6 既有和在建普速铁路开行动车组改造投资比较表

线路名称	长度/km	既有或在建	原设计速度/(km/h)	改造后开行动车组列车速度/(km/h)	投资预估算/亿元	指标/(万元/km)
成昆昆广(昆明—广通)铁路复线	115.87	既有/双线	160(预留 200)	200	5.47	472.08
大丽铁路	161.01	既有/单线	120	140	8.37	519.84
玉蒙河铁路	282.69	既有/单线	120	120(部分段落提速)	6.30	222.86
成昆铁路永广段	120.44	在建/双线	160	160	0.28	23.70
大临铁路	202.09	在建/单线	160	160	1.35	66.80
大瑞铁路	330.10	在建/单线	140	140	2.45	74.2
丽香铁路	139.69	在建/单线	120	140	2.68	191.60
玉磨铁路	508.54	在建/单双线	160	160	2.31	45.42

在建普速铁路提升改造开行动车组列车,主要涉及列控系统级间转换、车站改建及客服系统升级等,每公里指标可控制在 75 万元以内,改建代价较小;丽香铁路因提速改建并增开车站 1 个,每公里指标 192 万元,改建代价相对较大;而既有线提升改造开行动车组列车除涉及与在建铁路一样的工程内容外,还需对沿线既有桥梁、隧道、路基等病害进行整治,每公里单价指标相对较高,均在 222 万/km 以上。根据对表 6 的分析可知,普速铁路开行动车组列车改造提前规划实施可节省改建成本,应尽量避免开通后再进行改建。

4 结束语

普速铁路开行动车组列车不仅有利于缩短旅客的在途时间,同时为高速铁路动车组下线运行创造了条件,减少了中间换乘环节,能够降低运营管理成本,扩大旅客吸引范围,具有良好的社会效益。既有和在建普速铁路在工程技术条件上均具备升级改造开行动车组的条件,同时也具有低成本、工期短等优势。普速铁路开行动车组列车,并与其他线路跨线运行将是滇西南地区铁路运输的发展趋势。滇西南地区特殊的区位优势 and 铁路发展现状决定了在普速铁路开行动车组的必要性,同时也是坚持“以人为本、注重社会效

益”铁路发展理念的具体体现。

参考文献:

[1] 云南省统计局. 云南省 2019 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL].
Bureau of Statistics of Yunnan Province . Statistical Communiqué of Yunnan Province on the 2019 National Economic and Social Development [EB/OL].

[2] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路玉溪至磨憨线开行动车及提速改造规划研究专题报告 [R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2019.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Special Specification for the Study of Operating EMU Trains and Upgrading on the Yuxi-Mohan Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.

[3] 吕欣. 西南地区旅客出行需求研究[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(7): 47-50.
LV Xin. Study on Passenger Traveling Demand in Southwest Area of China[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(7): 47-50.

[4] 大理州统计局. 大理白族自治州 2018 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].
Bureau of Statistics of Dali Bai Autonomous Prefecture. Statistical Communiqué of Dali Bai Autonomous Prefecture on the 2018 National Economic and Social Development [EB/OL].

[5] 大理州统计局. 大理白族自治州 2019 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].
Bureau of Statistics of Dali Bai Autonomous Prefecture. Statistical

Communiqué of Dali Bai Autonomous Prefecture on the 2019 National Economic and Social Development [EB/OL].

[6] 中铁二院工程集团有限责任公司. 改建铁路大理至丽江线提速改造工程可行性研究总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for the Feasibility Study of Upgrading (Speeding-up) Dali-Lijiang Railway Project (Reconstruction) [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.

[7] 朱春兰. 关于既有线 C2 等级转换点设置的探讨[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(7): 152 – 154.

ZHU Chunlan. Approach to Setup of CTCS-2 Level Transition Point on Existing Railway[J]. Railway Standard Design, 2015, 59(7): 152 – 154.

[8] 张劼. 厦深线接入广深线 C0/C2、C2/C0 列控级间转换工程设计探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(11): 90 – 96.

ZHANG Jie. Engineering Design of CTCS-0/CTCS-2 Train Control Level Transition in Xiamen-Shenzhen Line Access to Guangzhou-Shenzhen Line [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(11): 90 – 96.

[9] TB 10007 – 2017 铁路信号设计规范[S].

TB 10007 – 2017 Code for Design of Railway Signaling [S].

(上接第 71 页)

路局相关部门对接所内与国网互联的通信设备、调度自动控制设备的施工及维护分工,特别是传输设备、调度安全数据网设备等的维护部门的界面划分。

(2)组织铁路设计院对各个省内铁路牵变所的直采直送系统形成标准化文件,将标准化文件报送各省电力公司及地方电力公司进行审查,并针对各省电力公司自身运营维护管理方式提出修改建议,最终形成铁路建设部门、铁路运维部门和各省电力公司认可的标准化文件,统一建设。

6 结束语

本文通过对铁路牵引变电所直采直送系统现状的简要分析和建设方案的深入剖析,并结合公司运营管理角度提出铁路牵引变电所运维存在的问题以及新线建设中应避免出现的同类问题。在未来的铁路运输系统中,随着铁路通信技术的不断发展,对铁路牵引变电所直采直送系统还需要进一步深入研究,让其在铁路运输事业中发挥出最大的价值。

参考文献:

[1] 冯敬然, 李可佳, 谭超. 铁路通信发展探讨[J]. 中国铁路, 2018(9): 85 – 90.

FENG Jingran, LI Kejia, TAN Chao. Development of Railway Communication[J]. China Railway, 2018(9): 85 – 90.

[2] 邹峰. 直采直送系统及铁路通信系统建设探讨[J]. 电子世界, 2019(11): 43 – 44.

ZOU Feng. Discussion on Construction of Direct Acquisition and

Transmission System and Railway Communication System [J]. Electronics World, 2019(11): 43 – 44.

[3] 向志红. 一体化技术在电力调度自动化系统的应用分析[J]. 电子制作, 2013(12): 218.

XIANG Zhihong. Analysis of the Application of Integrated Technology in Power Dispatching Automation System[J]. Practical Electronics, 2013(12): 218, 216.

[4] 靳帅, 李建清. 浅谈枕头坝电站电力监控二次安全防护系统建设[J]. 四川水力发电, 2020, 39(1): 91 – 94.

JIN Shuai, LI Jianqing. Discussion on Construction of the Secondary Safety Protection System for Power Monitoring of Zhentouba Hydropower Station[J]. Sichuan Water Power, 2020, 39(1): 91 – 94.

[5] 颜阳. 继电保护及安全自动装置状态检修的可行性探析[J]. 山东工业技术, 2016(4): 171.

YAN Yang. Analysis of the Feasibility of Condition-based Maintenance of Relay Protection and Automatic Safety Device [J]. Shandong Industrial Technology, 2016(4): 171.

[6] 王永胜. 电气化铁路牵引站的调度信息采集[J]. 中国新通信, 2015, 17(2): 27 – 28.

WANG Yongsheng. Scheduling Information Acquisition of Traction Substation of Electrified Railway[J]. China New Telecommunications, 2015, 17(2): 27 – 28.

[7] 赵延涛. 电力二次系统安全防护策略探究[J]. 电子世界, 2016(2): 152 – 154.

ZHAO Yantao. Study on the Safety Protection Strategy of Electric Power Secondary System[J]. Electronics World, 2016(2): 152 – 154.

[8] Q/GDW 11358 – 2019 电力通信网规范设计技术导则[S].

Q/GDW 11358 – 2019 The Guidance of Planning and Design of Power Communication Network[S].