

文章编号: 1674—8247(2020)03—0007—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.03.002

成渝中线 400 km/h 轮轨动车组技术指标研究

徐银光 李 艳

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:为助推成渝地区双城经济圈建设,成渝中线将以最终开行 400 km/h 高速轮轨动车组为目标,实现更高速度高速铁路技术的示范和引领。400 km/h 高速动车组技术指标的确定,对成渝中线工程以及整个国家更高速度铁路网都至关重要。本文基于既有 400 km/h 高速动车组技术现状,开展了更高速度等级车辆最高设计速度、剩余加速度、轴重、功率、制动距离、减阻能力等主要技术指标的分析研究,提出了适用于成渝中线 400 km/h 速度开行的“优化 400”高速动车组概念设计方案,以及主要参数目标和相应的优化措施。

关键词:成渝中线; 400 km/h 轮轨动车组; 技术指标; 概念设计方案

中图分类号:U260.1 文献标志码:A

Research on Technical Indexes of 400 km/h Wheel-Rail EMU for Chengdu-Chongqing Middle Line

XU Yinguang LI Yan

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

Abstract: In order to boost the construction of Chengdu-Chongqing economic circle, the high-speed wheel-rail EMU will eventually run at a speed of 400 km/h on the Chengdu-Chongqing middle line as the goal to realize the demonstration and guidance of high-speed railway technology with higher speed. The determination of technical indexes of 400 km/h high-speed EMU is very important not only for Chengdu-Chongqing middle line but also for the higher speed railway network of the whole country. Based on the current situation of the existing 400 km/h high-speed EMU technology, the maximum design speed, residual acceleration, axle weight, power, braking distance, drag reduction ability and other main technical indexes of higher speed grade vehicles are analyzed and studied. A conceptual design scheme called as Optimization 400 is put forward for running at a speed of 400 km/h on the Chengdu-Chongqing middle line. And the main parameter target and corresponding optimization measures of the EMU are proposed.

Key words: Chengdu-Chongqing middle line; 400km/h wheel-rail EMU; technical index; conceptual design scheme

在推动成渝地区双城经济圈建设实施的背景下,作为更高速度级轨道交通的示范线工程,成渝中线的建设正在加速推进。成渝中线不仅承载着成渝地区经济圈东出南下、多方向对外辐射的高速客运通道的运

输功能,还承载着中国高速铁路建设向更高水平发展的技术引领功能。结合成渝地区双城经济圈多层次轨道交通体系构建和都市区 1 h 通勤要求,成渝中线的目标值宜控制在 50 min 以内。同时,考虑到目前

收稿日期:2020-03-06

作者简介:徐银光(1965-),教授级高级工程师。

引文格式:徐银光,李艳. 成渝中线 400 km/h 轮轨动车组技术指标研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(2): 7-11.

XU Yinguang, LI Yan. Research on Technical Indexes of 400 km/h Wheel-Rail EMU for Chengdu-Chongqing Middle Line [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 7-11.

我国350 km/h高速铁路网已成规模,为更好地与350 km/h线网技术标准相适应,甚至更大程度上充分利用350 km/h技术标准实现互联互通,在充分考虑当前轨道交通制式的技术成熟度、工程配套能力、线网适应性、运输能力、建设和运营成本等因素下,经综合研究比选,最终确定成渝中线工程将开行400 km/h高速轮轨动车组的设计方案。该方案技术较为成熟,可与既有路网互联互通,建设成本低,运输能力强。

400 km/h高速动车组工程技术标准的确定,对我国实现开行更高速铁路具有示范意义,更具有战略引领作用。本文在详细分析国内外高速动车组现状的基础上,提出了成渝中线工程400 km/h高速轮轨动车组的技术指标和优化方案措施。

1 国内外高速动车组现状

1.1 国内外既有高速动车组试验研究及设计制造现状

全世界实车最高线路试验速度为574.8 km/h,是

2007年法国AGV V-150高速试验列车在巴黎-斯特拉斯堡高速线上创造的纪录;中国高速动车组CRH380AL和CRH380BL分别于2010年和2011年在京沪高速铁路先导段综合试验过程中创造了486.1 km/h和487.3 km/h的最高时速;2014年,中国超速试验车CIT500在轮轨台架试验中成功实现了605 km/h的试验速度。4种高速试验速度列车的外形如图1所示。由此可见,基于轮轨关系的高速动车组具备在350 km/h基础上进一步提升运营速度的潜力和空间。

自2008年京津城际铁路开通至今,我国350 km/h速度等级高速铁路系统已累计安全运营近10年。目前,越来越多的国家正在开展300~350 km/h速度等级高速铁路系统的建设和运营,并在继续探索更高速度等级高速铁路列车的商业运营,如法国AGV的360 km/h速度级车型、日本ALFA-X的360 km/h商业运营车型等。350 km/h以上速度级高速铁路列车的商业运营已成为高速铁路列车发展共识。



(a) AGV V-150试验车



(b) CIT500高速试验列车



(c) CRH380A(京沪先导段)



(d) CRH380BL(京沪先导段)

图1 4种高速试验速度列车外形图

自2008年京津城际350 km/h速度等级高速列车和谐号CRH2C、CRH3C列车商业运用以来,我国一直持续不断地推进着高速列车的技术创新,发展了持续运营速度达380 km/h的和谐号CRH380A列车和谐号CRH380B列车,并于2013年启动了中国标准动车组统型的工作。目前已实现了标准动车组的统型(统型为复兴号CR400系列高速列车),统一了中国高速

列车的检修维护接口、列车车钩和制动等救援接口、运用界面和乘客界面,实现了不同厂家制造动车组的重联运行。当前复兴号CR400系列列车正以350 km/h的最高运营速度,在我国高速铁路网中全面推广应用。

1.2 我国400 km/h高速动车组初步研究成果

目前,我国高速列车相关科研院所和研制企业正基于复兴号CR400系列等车型平台开展400 km/h高

速动车组的车型研究,初步形成两种研究思路。一是对既有牵引系统性能进行提升,实现速度目标;二是在实现速度目标的同时,原则上保持相关工程性能指标与350 km/h 动车组指标相近。

基于思路一,当前已完成了样车的试制研究,并已于2019 年底下线。该400 km/h 高速动车组样车在CR400 基础上,动车组轮周功率提升了23%,充分保障了400 km/h 运营的加速度裕量;其在400 km/h 速度下的紧急制动距离设计值,较CR400 系列动车组在350 km/h 速度下的紧急制动距离增加了61.5%。通过初步仿真计算,此样车性能尚不能满足成渝中线的目标时间要求,牵引性能、制动性能都亟待提升。

综上,我国复兴号CR400 系列高速动车组已实现了350 km/h 的商业运营,动车组技术较为成熟。国内外正在发展350 km/h 以上速度等级动车组的商业运营,但截止目前尚无400 km/h 成熟运营的高速轮轨列车面世。我国400 km/h 试制样车虽已下线调试,但其牵引、制动性能尚不能满足成渝中线的工程需求,亟待优化。因此,合理确定适用于成渝中线功能定位和运输组织要求的400 km/h 高速列车车型和技术指标,实现方案的工程可用性和可实施性,并使其可在全国高速铁路网中推广应用,是当前阶段车辆研究的关键。

表1 高速列车轴重表

车型	日本		法国	德国		中国				
	300 系	500 系	TGV-A	ICE1	ICE3	CRH2	CRH3	CRH380A	CRH380B	CR400
速度/(km/h)	270	300	300	250	300	250	350	350	350	350
轴重/t	11.3	11.1	17	19	15	14	17	15	17	17

从表1 可以看出,欧系车型轴重指标相对偏大,但随着车型的发展,轴重指标在不断降低,通常在15~17 t之间;日系车型轴重指标通常较小,动力分散型动车组基本在11~15 t之间^[2-3],300 km/h 速度级车型轴重亦不超过12 t^[4],未来车型轴重也将考虑既有新干线16 t 轴重指标^[5]的限制。由此可见,动车组牵引和制动性能的提升,将带来列车重量的增加,但可通过列车重量的合理设计分配和轻量化技术的应用,400 km/h 高速动车组最大轴重指标可控制在16 t 及以下。

为适应成渝中线的近期建设要求,可采用碳纤维、镁合金、玻璃纤维等轻量化复合材料^[6-8]进行优化,以控制动车组重量。

2.3 轮周功率

列车轮周功率是列车牵引性能的直接表征,与最高速度、轴重等都密切相关,同时也是列车能耗的间接

2 更高速等级高速动车组技术指标的研究

结合当前我国400 km/h 高速动车组发展的总体思路,本文从成渝中线工程研究需求出发,并充分考虑既有350 km/h 线网技术标准,开展“优化400”高速动车组主要技术指标的研究。

2.1 最高速度和剩余加速度

高速动车组最高速度分为最高设计速度和最高运营速度。从设计安全角度考虑,最高设计速度通常为最高运营速度的1.1 倍及以上^[1],且此速度需在试验台或线路试验上实车验证,以预留出一定的安全速度域。因此,为实现运营速度400 km/h 的目标,最高设计速度需达到440 km/h 及以上。同时,为实现400 km/h 的持续运行,高速列车剩余加速度不宜小于0.05 m/s²。

2.2 轴重

动车组轴重是影响线下基础工程的重要指标,也是轮轨振动及噪音控制的关键。考虑成渝中线高速列车对既有高速线网线下基础工程的适应性,高速动车组的轴重不应突破17 t。

国内外高速列车的轴重指标如表1 所示。

表征指标。随着列车动力配置的不断增强,不突破粘着极限的速度目标原则上都是可以实现的,但过高能耗是不经济、也不合理的选择。考虑与我国既有高速铁路线路的互通互用,特别是对供电系统能力的要求,列车功率不宜增加过多。因此,基于当前电机技术、列车重量和列车阻力控制技术的发展情况,400 km/h 的8 辆编组列车轮周功率宜控制在11 000~12 000 kW 之间。

为满足成渝中线的近期建设要求,可首选永磁同步电机^[9]提升功率,提高功率因素、起动扭矩、电机效率等,降低损耗,控制重量和噪声。再在CR400 系列的4M4T 基础上增加动拖比,进一步提升起动牵引力,提高起动加速度,提升加速性能。

2.4 制动距离

制动距离是全线旅行时间、行车追踪间隔和高速铁路信号系统设计的关键。既有高速铁路以

350 km/h速度下 6.5 km 的紧急制动距离来设计,若速度提升至 400 km/h,对应的制动距离将延长至 10 km 以上。考虑列车对既有高速铁路网提速的适应性,动车组制动距离应尽量向既有高速铁路 6.5 km 的指标靠拢。

高速动车组制动主要采用盘形制动、电阻制动、再生制动、涡流制动、磁轨制动等制动型式^[3]。在制动性能提升设计时,通常优先考虑再生制动能力的提升,再结合有摩擦式基础制动、非粘着制动等方式进行制动力补足。通过对国外制动技术的研究发现,涡流制动、风阻制动等非粘着制动方式在 300 ~ 350 km/h,甚至更高速度下,可显著增加制动力,提升制动减速度^[10-11]。因此,基于当前国内外制动技术发展现状,400 km/h 高速动车组制动距离宜控制在 6.5 ~ 8 km。

为满足成渝中线的近期建设要求,先增加动拖比,提升再生制动力,减小制动距离和基础制动损耗,再应用涡流、风阻等非粘着制动提升减速度,控制制动距离。

2.5 动车组减阻能力

高速列车基本运行阻力包括列车自身及其与钢轨之间的机械阻力和空气阻力。空气阻力与列车速度的平方成正比,当列车运行速度在 300 km/h 及以上时,空气阻力占列车基本运行阻力的 95% 以上^[12]。空气阻力与列车横截面积、头部形状以及流线型长度等密切相关,为满足与当前国内既有高速铁路线路的互通互用,线间距、隧道断面(100 m²)、隧道内空气动力学效应、进出口微气压波等都需要 400 km/h 列车通过设计改型来适应,特别是在线下基础预留有更高速度条件的区段。

国内高速列车尺寸如表 2 所示。从表中可以看出,相较于 CRH380 系列车型,复兴号 CR400 系列车高较高,车宽尺寸相差不大。通过列车车下和车顶设备的合理布局,车高和横截面积约有 3% ~ 5% 的调整空间。

表 2 国内高速列车尺寸表

	CR400AF	CR400BF	CRH380A	CRH380B
列车长度/m	209	209.06	203	202.95
车辆宽度/mm	3 360	3 360	3 380	3 257
车辆高度/mm	4 050	4 050	3 700	3 890

据相关文献报道,列车流线型头部长度与列车气动阻力密切相关,在列车运行速度为 350 km/h 的条件下,列车头部长度每增加 1 m,列车气动阻力可减小约 4% ~ 8%^[13-14]。因此,结合当前车辆减阻技术的发展

现状,400 km/h 高速动车组宜在 CR400 系列的基础上降阻 5% 及以上。

为满足成渝中线的近期建设要求,可首选降低车高,优化截面,再通过对头车形状、流线型长度,以及气动外形进行优化,实现动车组减阻。

3 “优化 400”高速动车组概念方案的性能

基于对列车最高速度、剩余加速度、轮周功率、轴重、制动距离、减阻能力等指标的分析,本文提出了“优化 400”高速动车组概念方案,其基本参数与 CR400 系列车型的对比结果如表 3 所示。

表 3 “优化 400”与 CR400 系列车型的基本参数对照表

车型	CR400 系列	优化 400
最高运营速度/(km/h)	350	400
400 km/h 剩余加速度/(m/s ²)	0.02	0.05
轮周功率/kw	9 750/10 140	约 11 500
8 编组列车的动拖比	4M4T	5M3T
最大轴重/t	17	≧16
启动加速度/(m/s ²)	0.49	>0.5 (暂定)
最高运营速度下的紧急制动距离/km	6.5	6.5 ~ 8 (暂定)
车体高度/mm	4 050	3 950

从表 3 可以看出,相较于 CR400 系列车型,“优化 400”高速动车组轮周功率最大提升约 18%,动车增加 1 节,动拖比提升,轴重降低约 5%,车体断面减小约 3%,最高运营速度下的制动距离相当。通过线路运行仿真初步计算,“优化 400”高速动车组可实现成渝中线 50 min 以内的开行需求。

“优化 400”高速动车组的牵引性能也较 CR400 系列有所提升,其牵引特性的对比如图 2 所示。

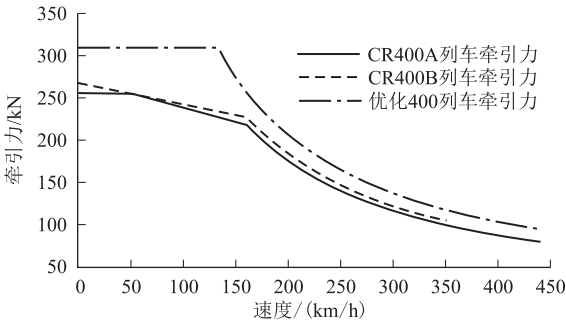


图 2 “优化 400”和 CR400 系列车型牵引性能对比图

从图 2 可以看出,“优化 400”高速动车组因动拖比的增加,低速区段的牵引性能有所提升,启动加速度提升至 0.6 m/s² 左右,为实现 400 km/h 持续运行,轮周功率提升并不大,较 CR400B 车型仅提升约 13%。“优化 400”高速动车组的坡道特性如图 3 所示。

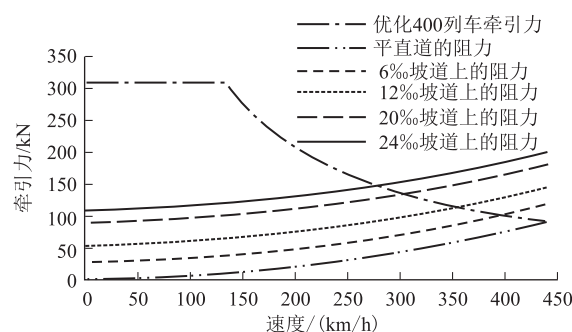


图3 “优化400”动车组坡道特性图

由图3可知,“优化400”动车组在20‰坡道上的平衡速度提升到了300 km/h(CR400系列车型在20‰坡道上的平衡速度为260 km/h),可更好适应20‰及以上大坡道高速铁路网的高速开行。

综上所述,“优化400”高速动车组概念方案的性能良好,符合成渝中线功能定位,满足开行需求。

4 结束语

“优化400”高速动车组概念设计方案,是基于成渝中线工程以及既有中国高速铁路网提速和增效的需求而提出的,且充分考虑了国内外高速动车组先进技术研究发展和设计制造的现状,技术可行,工程可用性和可实施性高,能有效支撑成渝中线工程设计的开展,助推了成渝地区双城经济圈建设。同时,为400 km/h高速动车组产品的优化提供了方向,为实现更高水平高速铁路技术的引领奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张卫华. 高速列车顶层设计指标研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(9): 15-19.
ZHANG Weihua. Study on Top-level Design Specifications of High-speed Trains [J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(9): 15-19.
- [2] 杨中平. 高速铁路技术概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
YANG Zhongping. Introduction to High Speed Railway Technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.
- [3] 李向国. 高速铁路技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
LI Xiangguo. High Speed Railway Technology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2008.
- [4] 许海洋. 电机空心轴式独立制动轴方案研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
XU Haiyang. The Study on Independent Brake Shaft Project of Motor Hollow Shaft Type [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [5] Satoru Sone. 中国高铁与日本新干线技术比较[J]. 浙江大学学报

(A卷英文版), 2015, 16(10): 769-780.

SATORU Sone. Comparison of the Technologies of the Japanese Shinkansen and Chinese High-speed Railways [J]. Journal of Zhejiang University Science (Applied Physics & Engineering), 2015, 16(10): 769-780.

- [6] 张丽娇. 轨道交通车辆车体结构材料轻量化产业发展及展望[J]. 新材料产业, 2019(8): 21-25.
ZHANG Lijiao. Development and Prospect of Lightweight Industry of Rail Transit Vehicles [J]. Advanced Materials Industry, 2019(8): 21-25.
- [7] 周峰, 徐贵宝, 周斌, 等. 高强度铝合金材料在轨道交通行业应用概述[J]. 机车车辆工艺, 2015(5): 9-10.
ZHOU Feng, XU Guibao, ZHOU Bin, et al. Application of High Strength Aluminum Alloy in Rail Transit Industry [J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2015(5): 9-10.
- [8] 周伟旭. 碳纤维增强树脂基复合材料在轨道交通车辆车体中的应用与思考[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 10-13.
ZHOU Weixu. On the Application of Carbon Fiber Reinforced Polymer to Rail Transit Composite Carbody [J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(12): 10-13.
- [9] 吴冬华, 孙传铭. 基于永磁电机牵引系统高速动车组的研制[J]. 机车电传动, 2019(1): 35-39.
WU Donghua, SUN Chuanming. Development of High-speed EMUs Based on Permanent Magnet Motor Traction System [J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(1): 35-39.
- [10] 高见创, 卢笑山. 新干线小型分散式风阻制动装置的开发[J]. 国外铁道车辆, 2015, 52(4): 29-36.
GAO Jianchuang, LU Xiaoshan. Development of Small-Sized Distributed Aerodynamic Brake for Shinkansen [J]. Foreign Rolling Stock, 2015, 52(4): 29-36.
- [11] 陈俊栋. 轨道车辆非粘着制动技术研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2008.
CHEN Jundong. Research on Non-adhesive Brake Technology for Railcar [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2008.
- [12] 朱颖, 吕希奎, 许佑顶. 动车组牵引计算与仿真系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
ZHU Ying, LV Xikui, XU Youding. Traction Calculation and Simulation System of EMU [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.
- [13] 冯志鹏. 高速列车气动性能与外形设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
FENG Zhipeng. Aerodynamic Performance of High-speed Train with the Train Shape Design [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.
- [14] 刘加利. 高速列车气动噪声特性分析与降噪研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
LIU Jiali. Study on Characteristics Analysis and Control of Aeroacoustics of High-speed Trains [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.

(编辑:刘会娟 张红英)