

文章编号: 1674—8247(2021)02—0086—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.02.015

400 km/h 接触网技术标准体系探讨

杨佳 林宗良 邓云川 鲁小兵

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:弓网系统是高速列车获取持续动力的唯一途径,其动态受流性能直接决定列车能否高速稳定运行,目前国内外尚无可供借鉴的400 km/h接触网技术标准及工程案例。本文基于400 km/h接触网服役环境、接口条件以及性能提升的需求,全面比较了400 km/h接触网系统与现有350 km/h接触网系统的差异,深入分析了400 km/h速度下弓网系统面临的关键技术问题,针对性地提出了应对解决措施,并从基础理论、设计技术、装备制造、施工建造、运营维护及规范标准等方面形成了400 km/h接触网技术标准体系框架,全面推进CR450科技创新工程的实施。

关键词:400 km/h 接触网; 受电弓; 动态耦合; 受流质量; 技术体系

中图分类号:U225 文献标志码:A

Discussion on Technical Standard System of 400 km/h Overhead Contact System

YANG Jia LIN Zongliang DENG Yunchuan LU Xiaobing

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

Abstract: The pantograph-catenary system is the only way to receive continuous power supply for high speed trains, and the dynamic current-receiving performance directly determines whether the trains can run stably at a high speed. At present, there are no technical standards and engineering cases of 400 km/h overhead contact system for reference at home and abroad. Based on the service environment, interface conditions and performance improvement requirements of 400 km/h overhead contact system, this paper compares and analyzes the differences between 400 km/h overhead contact system and the existing 350 km/h overhead contact system, makes an in-depth analysis on the key technical issues encountered by the pantograph-catenary system at 400 km/h, and puts forward the solutions, forming a 400 km/h overhead contact system technical system framework from the aspects of the basic theory, design technology, equipment manufacturing, construction, operation and maintenance, and code and standard, to comprehensively promote the implementation of CR450 technical innovation project.

Key words: 400 km/h overhead contact system; pantograph; dynamic coupling; current-receiving quality; technical system

为贯彻习近平总书记对铁路工作的重要指示批示精神和党中央、国务院决策部署,服务国家重大战略发展,中国国家铁路集团有限公司已启动CR450科技创新工程,开展更高速铁路轮轨关系、弓网关系、空气

动力学以及多物理场耦合等基础理论的深化研究,验证更高速运行条件下固定设施、移动装备的安全性、匹配性和适用性,探索轮轨系统更高试验速度和运营速度限值,研发更加安全、更加环保、更加节能、更加智

收稿日期:2021-03-01

作者简介:杨佳(1980-),男,教授级高级工程师。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科技发展计划项目(KSNQ202056)

引文格式:杨佳,林宗良,邓云川,等.400 km/h接触网技术标准体系探讨[J].高速铁路技术,2021,12(2):86-90.

YANG Jia, LIN Zongliang, DENG Yunchuan, et al. Discussion on Technical Standard System of 400 km/h Overhead Contact System[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 86-90.

能的复兴号新产品,构建我国 CR450 高速铁路技术和标准体系,全力推进我国高速铁路技术的深入发展和技术引领。

弓网关系作为高速铁路三大关键技术之一,在保障系统安全可靠运行上具有举足轻重的地位。400 km/h接触网将面临更高速度运行的安全性、适应性、可靠性、匹配性、耐久性以及可维护性等问题,目前,更高速度下的弓网动态耦合机理尚不明确,弓网动力学仿真平台尚不成熟,对轨、车以及气动力等外部激励影响下的弓网动态特性研究尚不全面,且国内外尚无可以借鉴的400 km/h 接触网技术标准及工程案例。因此,亟待在全面总结现有高速铁路接触网设计、制造、施工和运维经验的基础上,深入开展更高速度下弓网关系的理论研究和试验论证,提出并分析400 km/h 接触网系统面临的关键技术问题,形成400 km/h 接触网技术及标准体系,支撑 CR450 科技创新工程实施,确保弓网系统及装备在400 km/h 条件下长期、持续、安全、稳定运行。

1 400 km/h 接触网服役条件

接触网结构复杂,沿线裸露架设,长期承受冰、雪、风、气温、雷电以及地震等外部环境作用^[1],还与路基、桥梁、隧道以及车辆、供电、信号等专业接口紧密。对于运行速度更高的400 km/h 接触网,其服役环境及接口条件的微小变化,都将影响到弓网系统的受流质量和列车的安全稳定运行。400 km/h 接触网服役环境及接口条件的影响分析如表1、表2所示。

表1 400 km/h 接触网外部环境的影响分析表

外部环境	接触网影响分析
风荷载	环境风、列车气动力以及挡风屏等设施增速效应下风荷载叠加 弓网性能、装备性能以及安装方式 结合灾害监测对风偏设计风速取值
冰雪及地震等荷载	支柱及装备的结构荷载、线索空间位置 ^[2] 结合灾害监测在行车或停运时覆冰厚度、地震加速度等取值,以及对弓网动态耦合、装备安装及性能参数的影响 接触网防融冰、抗震等设计
气温	大电流高速运行时导线温升 温差影响接触网下锚补偿装置安装空间 温差影响导线张力偏差以及弓网受流性能
气动力	列车气动力(特别是隧道口)的特性及参数取值 对接触网特别是受电弓的气流扰动以及弓网动态耦合性能的影响 对接触网以及轨旁设备的吸力及压力作用 ^[3]

表2 400 km/h 接触网接口条件影响分析表

	接口条件	变化	接触网影响分析
线路	曲线半径	有	支柱、装备结构荷载、机械性能 悬挂参数及装备预配尺寸
	竖曲线	有	
轨道	无砟轨道	无	轨-车-弓-网动态耦合性能 悬挂参数及安装尺寸 受电弓动态包络线
	外轨超高	有	
	不平顺度	有	
路基	路肩宽度	无	支柱及基础截面尺寸 基础结构设计
	地质承载力	有	
桥梁	箱梁	无	支柱及基础截面尺寸 跨距等悬挂参数 风屏障对环境风、气动力的增速效应 弓网耦合性能及结构性能
	孔跨	无	
	梁宽	无	
	挡风屏	有	
隧道	断面尺寸	无	气流扰动对弓网受流以及噪声影响 装备结构强度、机械性能、防松脱 跨距、结构高度等悬挂参数
	隧道口形式	有	
	气动荷载	有	
站场	道岔型号	无	接触网布置形式
供电	供电方式	无	导线选型及张力匹配 设置加强线
	载流能力	有	
信号	综合接地	无	吸上线、轨回流、接地 电分相标定与匹配
	信号制式	无	
	轨道电路	无	
环评	声屏障	有	附加导线安装位置 隔离开关、下锚等设备安装空间
车辆	受电弓参数	有	电分相布置 车-弓-网受流性能;磨耗性能 受电弓尺寸及动态包络线
	升弓模式	无	
	车辆限界	无	

2 400 km/h 接触网性能提升

基于现有技术方案及参数下的接触网系统在400 km/h速度条件下运行时,弓网间振动加剧,接触力波动及动态抬升大幅增加,弓网动态受流性能将急剧恶化。400 km/h 接触网必须具备更高、更优性能以满足更高速度下弓网系统的安全性、可靠性及耐久性等要求。400 km/h 接触网性能提升措施如表3所示。

表3 400 km/h 接触网性能提升措施表

项目	提升措施
更快—运行速度	波动传播速度及利用率 线材规格及张力匹配
更好—弓网受流	受电弓选型及参数优化 系统方案及悬挂参数 支柱及装备结构性能
更大—载流能力	高导电率、大截面线材 接触线、承力索及加强线合理组合
更优—技术参数	接触网-受电弓参数优配 弓网耦合、方案及参数系统设计 定位、吊弦、弹性吊索逐点匹配设计 高速弓网高速运行时静动态特征
更强—结构荷载	支柱及装备结构性能 材料选型及制造工艺
更高—安全性能	多工况叠加设计 高速弓网运行静态+动态设计 结构简单、连接件少、防松脱且高性能装备设计 供电设备及连接件数量优化
更长—耐久性能	耐磨耗受电弓滑板及接触线 耐疲劳振动的材料及装备 减少或抑制振动疲劳 耐腐蚀材料选择及表面防腐措施

3 400 km/h 接触网关键技术

3.1 速度匹配

接触网必须根据速度目标值开展设计,其系统应与速度等级相适应、匹配,设计速度影响并决定了技术标准体系的不同。对于400 km/h 接触网,其性能状态与行车速度、设计速度、验收速度等速度间的科学合理匹配尤为关键,否则将影响工程投资甚至系统方案的可行性。

(1) 波动传播速度

一般应按设计速度与接触网波动传播速度之比不大于0.7考虑,充分考虑承力索对波动传播速度的作用,同时结合导线产品性能及工程应用情况,综合选取系统的线材规格型号和匹配张力。

(2) 设计速度

设计速度应按线路的最高设计速度选取。400 km/h接触网系统应按设计速度400 km/h 进行设计,其接触线平顺性和弓网受流性能等应按设计速度400 km/h 进行性能评价,同时还应考虑开行单弓或双弓运行时每个受电弓的受流质量。

(3) 验收速度

验收速度应按线路的最高设计速度110%选取^[4]。400 km/h 接触网系统应校核验收速度440 km/h时的状态及安全性,评估单弓运行时应能满足弓网间的基本受流,不得出现钻弓、侵限等安全问题。

3.2 弓网关系

弓网系统是高速列车获取持续动力的唯一途径,其动态受流性能直接决定列车能否高速稳定运行。400 km/h 高速铁路弓网关系面临的重难点技术如表4所示。

表4 400 km/h 接触网弓网关系关键技术及应对措施表

关键技术	应对措施
评价指标	参考TB、EN、UIC等规范标准 分析对比京沪、郑徐等试验段实测数据 弓网动态仿真研究 试验及检测数据验证
弓网模型	建立轨-车-弓-网动态耦合模型 考虑强振动对接触线、承力索和弹性吊索的几何非线性以及接触线弯曲强度等影响 ^[5]
仿真平台	弓网动态耦合机理研究 搭建轨-车-弓-网动力学仿真平台 参考TB、EN、UIC等标准验证 试验及检测数据分析验证

3.3 系统参数

400 km/h 接触网系统应至少包含接触网和受电

弓两部分,两者既相互独立又紧密相关。系统方案及悬挂参数的建立必须基于接触网服役环境和运行目标的要求,根据弓网动态耦合仿真分析,从系统性、匹配性、可靠性出发,反复优选接触网-受电弓以及相互间的技术参数,才能达到400 km/h 高速运行时弓网间的“完美”耦合。400 km/h 接触网受电弓参数和悬挂参数分别如表5、表6所示。

表5 400 km/h 接触网受电弓参数表

参数	应对措施
受电弓类型	对比分析现有各类型受电弓的适应性 充分考虑气动力对受电弓动态特性以及弓网性能的影响 受电弓结构及材料设计充分考虑气动力、噪声以及磨损要求
受电弓参数	综合考虑弓头质量、悬挂刚度等对弓网受流性能的影响 优化弓头质量、悬挂刚度以及静动态压力等参数
受电弓尺寸	确定不同速度下受电弓静、动态包络线 结合受电弓静态尺寸,优化受电弓进出道岔方案
弓网噪声	分析受电弓气动噪声源分布特性 研究不同外形结构部件对受电弓气动噪声的影响规律,提出受电弓降噪措施

表6 400 km/h 接触网悬挂参数表

参数	应对措施
悬挂类型	优选全补偿弹性链形悬挂 合理选配跨距、结构高度等悬挂参数
线材及张力	按牵引供电载流能力合理选取线材 充分考虑承力索作用下的接触网波动传播速度 ^[6] 不同截面及张力组合时弓网动态性能 支柱及装备的结构性能、机械性能 结合线材产品制造及工程应用选型
结构高度	隧道断面净空需求 不同结构高度时弓网动态性能 不同跨距及结构高度下吊弦长度、受力状态以及疲劳寿命
跨距	不同跨距时弓网动态性能 拉出值、定位器坡度及受力状态 吊弦分布,弹性吊索长度及受力状态 土建预留接口条件及工程投资影响
拉出值	风偏移以及受电弓工作范围 第一根吊弦位置,定位器坡度及受力状态 弓网磨损寿命
吊弦	优化吊弦分布对弓网动态性能影响 第一根吊弦对定位器坡度的影响及受力状态 吊弦长度对吊弦振动疲劳寿命的影响
弹性吊索	弹性吊索长度及张力与接触网张力、跨距等悬挂参数的优选 弓网高速运行时静态空间位置

3.4 关键设施

接触网设施主要包括锚段关节、电分相和道岔区

布置,这些设施兼具电气和机械性能要求,存在多锚段线索间相互交叉、位置重叠的现象,空间关系复杂,对400 km/h 接触网弓网受流性能及高速运行时的安全性影响较大,属于系统中的薄弱环节和重难点技术。

3.5 关键装备

400 km/h 接触网安装设计及装备选型应满足更大张力荷载、更高速度运行状态下的安全性、可靠性、耐久性等要求,同时还应考虑电气、机械及结构性能状态等对400 km/h 弓网耦合性能和高速安全运行的影响。400 km/h 接触网装备需考虑的关键技术及应对措施如表8所示。

表7 400 km/h 接触网关键设施表

关键设施	应对措施
锚段关节	优选五跨锚段关节 不同跨距以及同一跨内不同吊弦分布 优化接触线高度、坡度,“屋脊”点设置
电分相	优选长分相形式 路桥隧等地形地貌条件 受电弓数量、升弓模式及列控系统匹配 不同电分相结构形式时弓网动态性能 减少或抑制高速大电流高能燃弧
道岔区布置	优选无交叉定位方式 站场道岔型号及技术参数 受电弓工作范围、尺寸及动态包络线匹配 受电弓从正线进侧线、从侧线进正线以及仅通过正线时的弓网安全性能、弓网动态性能

表8 400 km/h 接触网装备关键技术及应对措施表

关键技术	应对措施
结构方案	调研分析现有装备运行状况 与机械性能、弓网受流间的系统性 弓网高速运行结构性能、几何空间的安全性 与系统方案、悬挂参数间的匹配性 高速运行及强烈振动的可靠性和耐久性 遵循系统性强、可靠性高、耐久性强、连接件少、型式简洁等原则系统优化
性能参数	更大张力、更大电流、更高速度 风、冰雪、温度等外部环境荷载 综合正常、故障以及维修等多工况性能
振动疲劳	气动力作用 静态+动态交变载荷下服役性能 ^[7] 优选高性能材料,优选模锻等工艺 高可靠结构方案及防松脱措施 400 km/h 运行环境充分试验验证

3.6 支柱及基础

接触网支(吊)柱及基础应结合400 km/h 路基、桥梁及隧道等土建工程的结构形式、设计参数进行设计,接触网基础应采用安全、可靠且耐受动荷载的预埋基础。接触网支(吊)柱的结构强度除应充分考虑列

车按最高设计速度运行时引起的气动力作用外,还应尽量减少支柱挠度,以降低其对400 km/h 接触网弓网动态耦合性能的影响。

3.7 施工及运营维护

建造安全、稳定、可靠的400 km/h 接触网工程,需要更加精准、更加精细化的施工,主要包括以下几个方面:

(1)充分研究施工误差及精度对400 km/h 接触网弓网受流性能的影响,制定合理、可行的施工质量要求及控制标准。

(2)对400 km/h 接触网锚段逐点、逐跨的腕臂、吊弦及弹性吊索等进行精准测量、计算和工厂化预配,提升安装后接触网的导线平顺性及弓网受流性能。

(3)结合更大张力、更高平顺性的要求,提升恒张力放线、吊弦及弹性吊索安装的工法工艺,精细化调整接触导线的平顺性、吊弦高差、定位器及补偿装置状态等,建造符合各项标准的400 km/h 接触网悬挂系统。

在400 km/h 接触网运营维护方面,应:(1)加快研究更高速度下的检测方法及手段,积极采用更先进、更精准的检测设备,全面提升检测及评估技术;(2)结合400 km/h 接触网弓网动态受流性能及安全运行的要求,制定科学合理的运行检修规则;(3)配置6C、PHM及监测预警系统等接触网智能运维系统,提高运营维护能力。

4 400 km/h 接触网技术体系

结合CR450科技创新工程部署,400 km/h 接触网应从基础理论、系统设计、装备技术、施工建造、运营维护以及规范标准等方面着手,逐步构建400 km/h 接触网技术体系,系统架构图建议如图1所示。

5 结束语

400 km/h 接触网系统服役条件更加复杂、系统性能需求更高,本文基于现有铁路建设运营情况,深入分析了更高速度下弓网系统面临的关键技术问题,探讨了具体的应对措施和思路,并提出了400 km/h 接触网技术标准体系初步构想。400 km/h 接触网较之350 km/h存在较大差异,且国内外尚无可供借鉴的技术标准及工程案例,后续还须进一步深化总结,深入开展科学试验、工程试验、产品试验,论证400 km/h 接触网设计标准和相关参数的系统性、适应性、匹配性,验证弓网系统在400 km/h 速度下长期、持续、高速运行时的安全性、可靠性、耐久性和可维护性。

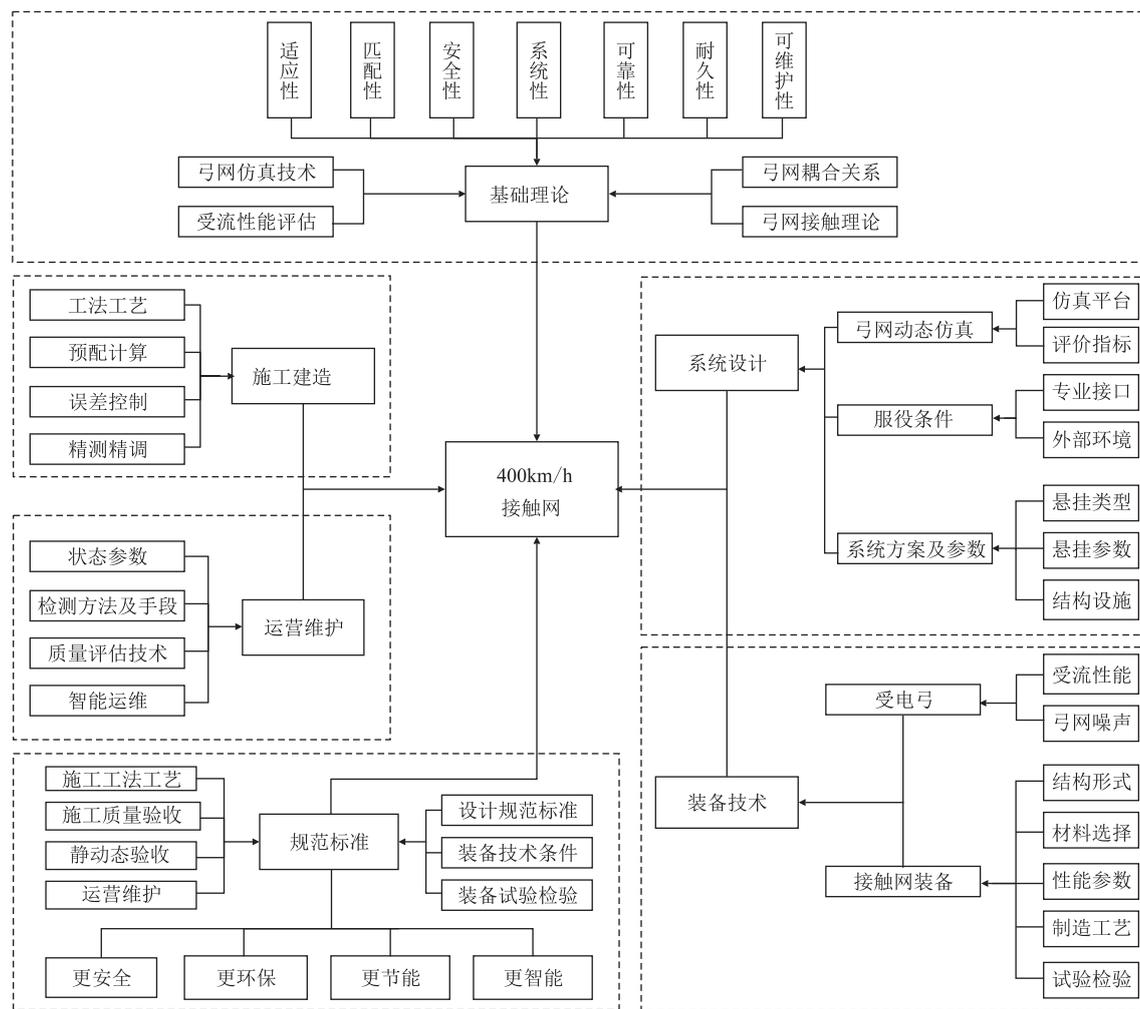


图1 400 km/h 接触网技术体系架构图

参考文献:

- [1] Kießling, Puschmann, Schmieder, 等. 中铁电气化局集团有限公司. 电气化铁道接触网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
Kießling. Pushmann. Schmieder, et al. The Overhead Contact System of Electrified Railway[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] 杨佳. 严寒地区高速铁路接触网设计关键技术研究[C]//高寒地区高速铁路技术研讨会论文集. 哈尔滨, 2017: 116-119.
YANG Jia. Research of Key Technology for Design of Overhead Catenary System of High Speed Railway in Cold Regions [C]// Proceedings of Technical Seminar on High-speed Railway in Cold Regions. Harbin, 2017: 116-119.
- [3] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway [S].
- [4] TB 10761-2013 高速铁路工程动态验收技术规范[S].
TB 10761-2013 Technical Regulations for Dynamic Acceptance for High-speed Railway Construction [S].
- [5] 鲁小兵. 高速铁路接触线垂向不平顺影响下的双弓-网动态特性研究[J]. 电气化铁道, 2019, 30(6): 39-45.
LU Xiaobing. Study on Double Pantograph-Catenary Dynamic Performance under Influence of Vertical Unevenness of Contact Wire for High Speed Railway[J]. Electric Railway, 2019, 30(6): 39-45.
- [6] 中铁二院工程集团有限责任公司. 400 km/h 高速铁路接触网系统关键技术研究[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. Research Report on Key Technologies for Overhead Contact System of 400 km/h High-speed Railways [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.
- [7] 中铁二院工程集团有限责任公司. 严寒环境下接触网零部件的适应性研究[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. Research Report on Adaptability of Overhead Contact System Components in Severe Cold Environment [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2018.