

都市圈市域铁路信号系统需求探讨

刘秋生

(深圳市市政设计研究院有限公司, 518026, 深圳//高级工程师)

摘要 从都市圈市域铁路运营需求分析出发,我国目前已有的 CTCS-2 + ATO(中国列车运行控制系统2级+列车自动运行)和 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统均不能完全满足都市圈市域铁路的公交化、网络化、快速化、自动化运营需求,需要对其信号系统功能进行提升与扩展;以城市轨道交通互联互通 CBTC 系统为基础,提出兼容型信号系统的方案设计,并对都市圈市域铁路 CBTC 系统的总体要求及架构进行了探讨。

关键词 都市圈;市域铁路;信号系统;公交化;网络化

中图分类号 U284.44;U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.06.050

Discussion on Metropolitan City Railway Signaling System Demands

LIU Qiusheng

Abstract From the angle of metropolitan city railway operation demand analysis, the currently existing CTCS-2 + ATO (Chinese train control system level 2 + automatic train operation) and CBTC (communication-based train control) signaling systems cannot fully meet the demands of public transport, networking, rapidity and automated operation of metropolitan city railways in China, and the function of their signaling systems need improvement and expansion; based on urban rail transit interoperation CBTC system, scheme design of compatible signaling system is proposed and the overall requirements and architecture of metropolitan city railway CBTC system are discussed.

Key words metropolitan area; city railway; signaling system; public-transit; networking

Author's address Shenzhen Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., 518026, Shenzhen, China

城市群、都市圈具有完善新型城镇化空间布局、优化区域经济布局和促进区域协调发展的功能。当前,国家从战略层面加快推进都市圈城际铁路、市域铁路建设,明确提出要实现都市圈城际铁路、市域铁路的快速化、公交化及一体化运营。

1 都市圈市域铁路需求分析

1.1 都市圈特征

都市圈是在特定的地域范围内,以有一个或者多个经济较发达并且有较强城市功能的大城市或者特大城市为核心,以一系列不同性质、规模、等级的中小城市为主体,共同组成在空间上位置相近,在功能上紧密联系、相互依存的具有圈层式地域结构 and 经济一体化趋势的地域空间组织,以1h通勤圈为基本范围的城镇化空间形态。都市圈最大的特点是圈内城市之间存在密切的互动关系,不同城市形成一个有机整体,具有一体化、同城化特征。

1.2 国家政策

国家发展和改革委员会在发改规划[2019]328号《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》中提出打造轨道上的都市圈。统筹考虑都市圈轨道交通网络布局,构建以轨道交通为骨干的通勤圈。在有条件地区编制都市圈轨道交通规划,推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通“四网融合”。有序新建市域(郊)铁路,将市域(郊)铁路运营纳入城市公共交通系统。都市圈轨道交通运营管理“一张网”,推动中心城市、周边城市(镇)、新城新区等轨道交通有效衔接,加快实现便捷换乘,更好适应通勤需求^[1]。

国家发展和改革委员会国办函[2020]116号《关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见通知》提出:市域(郊)铁路是连接都市圈中心城市城区和周边城镇组团,为通勤客流提供快速度、大运量、公交化运输服务的轨道交通系统。加强市域(郊)铁路与干线铁路、城际铁路、城市轨道交通一体化衔接,鼓励多线多点换乘,统筹协调系统制式,推动具备条件的跨线直通运行,充分发挥轨道交通网络整体效益^[2]。

国务院国发[2021]27号《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出:建设都市圈多层次轨道交通网络,推进干线铁路、城际铁路、市域(郊)

铁路、城市轨道交通融合衔接,合理推动轨道交通跨线运营^[3]。

1.3 运营要求

都市圈市域铁路从运营要求角度考虑,主要有以下四个方面的突出需求。

1.3.1 公交化

都市圈市域铁路应满足都市圈通勤客流出行时空目标,其具有高密度、大容量的特点,行车密度远期高峰应满足 2.5 min 的行车间隔。从规划层面,都市圈市域铁路需要与交通枢纽、地铁实现互联互通、便捷换乘、一票通达的目标。

车站站台作为乘客候车及乘降的公共场所,需采用站台候车,即到即走的方式,以应对客流快速变化,减少乘客等候时间,提升乘客服务水平。

为了实现公交化运营,市域铁路列车还须具备自动驾驶、精确停车、自动开关门、联动屏蔽门及安全门等 ATO(列车自动运行)相关功能,既能为列车精确对标停车及正确开门提供有力的技术保障,也能有效减轻司机和站台客运人员的劳动强度,提高自动化水平和运营效率^[4]。

因此,都市圈市域铁路具有公交化运营需求的特点。客观要求行车间隔短、信号系统采用移动闭塞制式,具有地铁一样的高密度公交化运营方式,具备扣车、跳停等公交化运营功能,并能与乘客服务系统及广播实现联动,实现公交化运营的乘客引导。

1.3.2 网络化

都市圈市域铁路的网络化运营主要体现在互联互通方面。根据国家相关指导意见,要求推进各种运输方式统筹融合发展,推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路融合建设,并做好与城市轨道交通衔接协调,构建运营管理和“一张网”^[5]。在有条件地区编制都市圈轨道交通规划,推动干线铁路、城际铁路、市域铁路、城市轨道交通“四网融合”。

都市圈市域铁路网络化运行包括都市圈市域铁路线网内部的互联互通和与其他轨道交通制式间的网际互联互通。

1.3.2.1 都市圈市域铁路网内互联互通

目前城市轨道交通主要采用换乘的方式在线网内部实现运营互联互通,直通过轨运行案例非常少,ATC(列车自动控制)系统制式在标准化和网络化跨线运营方面与 CTCS(中国列车运行控制系统)制式存在较大差距。都市圈市域铁路既要实现城市郊区与中心城区之间的连接,又要满足城市郊区

之间的连通,因此互通性和直达性成了非常重要的指标。因此,都市圈市域铁路线网内部宜采用互联互通网络化运行模式。

通过网络化运行,开行跨线列车,可以减少乘客的换乘次数,提升直达性;同时开展大站快车等灵活运输组织模式,能够有效缓解中心城区换乘节点拥堵;网络化运营同时有利于提高线路利用率,某些线路虽然线路本身客运量较少,但它可以为节点之间提供运行通道,线路的整体利用率得以大幅提升;同时对于车辆基地,车辆的高级修等均可从线网规划的角度实现设备设施资源共享。

1.3.2.2 都市圈市域铁路网际互联互通

对于都市圈市域列车的网际互联互通,存在三种具体方式:一是市域列车进入外部线网运行,但不支持外部线网列车进入的只出不进方式;二是支持外部线网列车进入,但市域列车不进入外部线网运行的只进不出方式;三是既支持外部线网列车进入,也支持市域列车进入外部线网运行的既进又出方式。

网络化互通具体方式选择原则:首先要从不同层次轨道交通的运输需求、线路速度、车辆类型、功能特征、系统制式、行车组织等方面综合考虑,然后要结合不同的管理机构、标准体系等方面综合分析,最终确定网络化互联互通运行的具体方式。

都市圈市域铁路与国铁存在较大差异,国铁本身标准体系成熟,管理机构设置严密,采用自成体系的验收认证和评估体系。而国铁的系统制式又不能完全满足都市圈市域铁路的公交化运营需求。如果都市圈市域铁路无条件兼容国铁列车上线运行,将对都市圈市域铁路在行车密度、服务水平、自动化等级、工程投资(国铁对到发线长度要求较长)^[6]等诸多方面造成较大影响。同时,由于都市圈市域铁路基本采取地方自建自管自营的模式,在建设、验收、联调联试、安全评估等方面的管理理念和管理方式均存在较大差异。因此,都市圈市域铁路与国铁实现只出不进的单向互通运行方式较为可行。

都市圈市域铁路与城市轨道交通在网际互通具体方式选择原则方面虽较为接近,但由于城市轨道交通在功能定位方面更倾向于市区线单线独立运营的方式,因此在车辆、系统制式的选择方面均与都市圈市域铁路存在较大的差异,从已有的土建构造分析,市域列车不具备在城市轨道交通线路上运行的条件,但城市轨道交通列车具备在市域线路上运行的条件。都市圈市域铁路与城市轨道交通

可实现只进不出的单向互通运行。

都市圈市域铁路与都市圈新建城际铁路从运输需求、线路速度、车辆类型、功能定位、系统制式、行车组织等方面基本相同,同时管理机构均属于地方投资项目,标准体系易于实现统一,通过都市圈市域铁路与城际铁路构成“市域+城际”的一体化运输网络,符合国家整体战略方向。因此市域铁路与都市圈城际铁路可实现既进又出的双向互通运行。

综上所述,都市圈市域铁路的互联互通包括:实现与国铁只出不进单向互通,实现与城市轨道交通只进不出单向互通,实现与新建城际铁路网内双向互通。

1.3.3 快速化

都市圈以核心城市为中心,空间范围可达50~100 km,覆盖范围大。都市圈市域铁路为了便于集疏客流,达到换乘便捷的运营目标,通常与市内枢纽、地铁换乘站衔接,其平均站间距约为5~10 km线路上。当列车最高运行速度达到160~200 km/h时,才能实现都市圈内1 h的通勤、商务、生活目标。因此,都市圈市域铁路必须具有快速化的特性,实现都市圈规划的时空目标。

1.3.4 自动化

根据文献[7]规定,轨道交通GOA(自动化等级)为GOA0—GOA4。都市圈市域铁路具有进入城市核心区,在地下隧道长时间、高密度运营,以及停站时间短、司机劳动强度高等特点,如果采用人工驾驶方式势必影响运营效率和安全。因此,都市圈市域铁路信号系统应吸取城市轨道交通CBTC(基于通信的列车控制)系统高度自动化的优势,具备自动折返、全自动运行GOA3(无人驾驶列车运行)、GOA4(无人干预列车运行)功能。这些功能能够进一步提高运营的可靠性、安全性,大幅降低运营人员劳动强度。同时也是体现技术先进性、践行交通强国、实现轨道交通高质量发展的具体表现。

2 都市圈市域铁路信号系统适应性分析

2.1 既有信号系统适应性分析

我国目前成熟应用于都市圈市域铁路的信号系统主要有在CTCS-2(中国列车运行控制系统2级)基础上增加ATO功能后的系统(以下简称“CTCS-2+ATO”)和CBTC。分别对两种制式下的信号系统进行对比分析,见表1。

表1 CBTC和CTCS-2+ATO对比表
Tab.1 Comparison of CBTC and CTCS-2+ATO

需求	对比项	CBTC	CTCS-2+ATO
公交化	追踪间隔/min	1.5~2.0	3.0
	闭塞类型	移动闭塞	固定闭塞
	跳停、扣车	具备	不具备
	PIS(乘客信息系统)、广播接口	具备	不具备
网络化	互联互通	按统一规则具备	具备
	网络化调度	不具备	具备
	设备功能及外部接口标准化	不具备	具备
	线路数据动态发送	不具备	具备
快速化	最高运行速度/(km/h)	160及以下	250及以下
自动化	自动化等级	GOA3、GOA4	仅具备ATO
	自动折返	具备	不具备

通过表1对比分析可知,目前我国成熟的两种信号系统制式均不能满足都市圈市域铁路的建设需求。

2.2 信号系统功能提升与扩展

在既有信号系统的功能基础上,为满足公交化、自动化又能实现快速化、网络化的运营需求,需对信号系统进行新的能力提升,具体提升项目如表2所示。

3 兼容型信号系统的方案设计

对于市域铁路信号系统制式的选择,一般有CTCS、CBTC和混合型三种制式^[4,8]。本文主要是基于互联互通CBTC信号系统对市域铁路信号系统进行论述,改善CBTC在网络化及快速化方面的短板,适应都市圈市域铁路公交化、网络化、快速

表 2 系统功能提升方案对比表

Tab.2 Comparison of system function improvement schemes

改造项目	CBTC 能力提升型	CTCS-2 + ATO 能力提升型	兼容型信号系统
追踪间隔/min	1.5 ~ 2.0	3.0	2.5 ~ 3.0
闭塞类型	移动闭塞	固定闭塞	移动 + 固定闭塞
跳停、扣车	具备	具备	具备
PIS、广播接口	具备	具备	具备
网络化调度	不具备	具备	具备
互联互通	按统一规则具备	具备	具备
设备功能及外部接口标准化	不具备	具备	具备
线路数据动态发送	不具备	具备	具备
最高运行速度/(km/h)	160 及以下	250 及以下	160 ~ 250
自动化等级	GOA3、GOA4	仅具备 ATO	GOA3、GOA4
自动折返	具备	具备	具备

化、自动化的需求,提出都市圈市域铁路 CBTC 系统的总体要求及架构。

3.1 总体要求

都市圈市域铁路 CBTC 系统主要在现有的城市轨道交通互联互通 CBTC 系统基础上,提高列车

运行速度等级,并吸收互通互通网络化 CTCS 的系统架构,定义主要设备功能及外部接口,明确设备及系统主要性能指标及外部工作环境条件要求。其总体要求主要内容如表 3 所示。

表 3 都市圈市域铁路信号系统主要技术指标要求

Tab.3 Requirements on main technical indicators of metropolitan area railway signaling system

总体要求	主要内容
闭塞制式	移动闭塞、向下兼容固定闭塞
自动化等级	GOA3、GOA4
最高运行速度/(km/h)	支持 160 ~ 250
运输需求	支持单一交路和多交路混合运行,快慢车、不同编组混合运行
网络化运营	参考国铁设置线网中心和车站两级的网络化调度系统和网络化维修管理系统
互联互通	满足不同线路之间互联互通运营,并兼容跨 CTCS-2 线路运行能力
设备功能及外部接口	轨旁 CI、ATP(DSU、ZC)、NDMS 等设备功能及接口标准化,满足互通互换
设计追踪间隔	≤105 s,满足 2.5 min 追踪间隔
折返间隔	≤150 s
安全性	ATP、CI 安全完整性等级 SIL4;ATO、网络化调度系统 SIL2
RAM	参照互联互通城市轨道交通信号系统要求
DCS	参照互联互通城市轨道交通信号系统要求
测速定位	参照互联互通城市轨道交通信号系统要求
线路数据存储方式	参考 CTCS 地面 ATP 设备逐段发送线路数据
电磁兼容、防雷、环境条件	参考国铁电磁兼容防护、防雷、工作条件相关标准,兼容 AC 25 kV 供电制式、适应高速振动冲击环境

注:CI—计算机联锁;ATP—列车自动防护;DSU—数据存储单元;ZC—区域控制器;NDMS—网络化调度管理系统;SIL4—安全完整性 4 级;SIL2—安全完整性 2 级;RAM—可靠性、可用性和可维护性;DCS—数据通信系统。

3.2 总体架构

都市圈市域铁路 CBTC 系统包括线网中心与车站两级架构。线网中心级设备主要有 NDMS DCS、MSS(维护支持子系统)。车站级设备主要有 NDMS、DSU、ZC、CI、MSS、DCS、LEU(轨旁电子单

元)(可选)。轨旁设备主要有计轴、轨道电路、转辙机、信号机、信标及车地无线接入设备 RRU(射频拉远单元)。车载设备主要有 MMI(人机界面)、ATP、ATO、测速测距传感器、无线电台,全自动运行线路车载设备还需配置休眠唤醒单元。对于具有跨

CTCS 线路运行需求的双制式一体化车载设备还应配置适应轨道电路信息接收的 TCR(轨道电路接收器)和 GSM-R(国际铁路无线通信),以及用于网络

交互的多模电台及天线。都市圈市域铁路 CBTC 系统总体架构如图 1 所示^[9]。

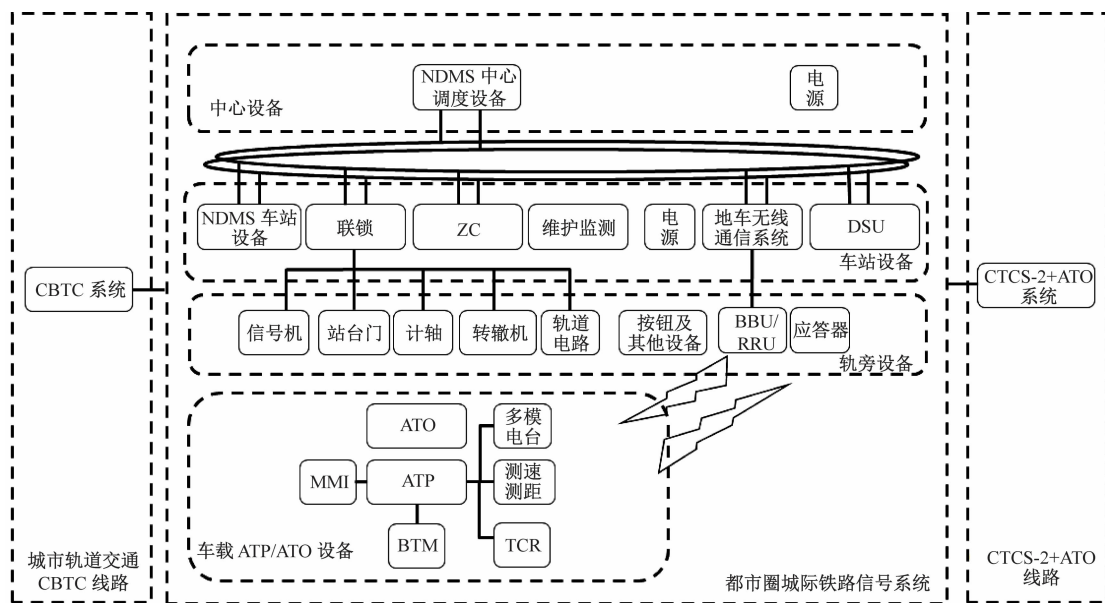


图1 都市圈市域铁路CBTC系统总体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of metropolitan area railway CBTC system

图1中的架构支持CBTC系统和国铁CTCS-2系统线路之间的互联互通运行,可以通过共管区进行制式切换。

4 结语

CBTC系统不依赖轨旁列车占用检测设备的列车主动定位技术和连续车-地双向数据通信技术,实现移动闭塞功能,具有追踪间隔小、轨旁设备少、技术先进、成熟、安全、可靠的特点,适应高密度、公交化、自动化程度要求高的轨道交通线路,广泛应用于城市轨道交通及市域快轨。

2018年12月,中国城市轨道交通协会发布了《城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系统规范》,我国部分网络化规划设计的轨道交通项目也正在实践应用互联互通CBTC系统。我国CBTC已经从最初的国外引进、国产化到现今已经完全实现自主化,并开展网络化的互联互通标准编制、产品研发与项目实践。以城市轨道交通互联互通CBTC信号系统为基础,在行业协会的指导及建设单位的统筹下,我国自主化CBTC信号系统厂家联合,完全有能力根据都市圈市域铁路的建设及运营需求,构建出适应我国都市圈市域铁路公交化、网络化、快速化、自动化需求的新一代都市圈CBTC系统,推动都市圈市域铁路多

网融合和高质量发展,为我国新型城镇化战略提供技术支撑。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 关于培育发展现代化都市圈的指导意见; 国家发改委[2019]328号[EB/OL]. (2019-02-19) [2019-02-21]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-02/21/content_5367465.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. Guiding opinions on cultivating and developing modern metropolitan areas; NDRC [2019] No. 328 [EB/OL]. (2019-02-19) [2019-02-21]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-02/21/content_5367465.htm.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 关于推动都市圈市域(郊)铁路加快发展的意见; 国办函[2020]116号[EB/OL]. (2020-12-17) [2020-12-17]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/17/content_5570364.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. Opinions on accelerating the development of city (suburban) railways in metropolitan areas; GBH [2020] No. 116 [EB/OL]. (2020-12-17) [2020-12-17]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-12/17/content_5570364.htm.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知; 国发[2021]27号[EB/OL]. (2021-12-09) [2022-01-18]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the State Council on issuing the '14th Five-Year' Plan modern comprehensive transportation system development plan; GF

- [2021] No. 27[EB/OL]. (2021-12-09)[2022-01-18]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.
- [4] 成正波, 刘华祥. 市域(郊)铁路信号系统制式比选及建议[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 71.
CHENG Zhengbo, LIU Huaxiang. Comparative selection and suggestion of suburban railway signaling system format[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 71.
- [5] 中华人民共和国中央人民政府. 国家综合立体交通网规划纲要: 国务院[2021]8号[EB/OL]. (2021-12-09)[2022-01-18]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5593440.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. National comprehensive three-dimensional transportation network planning outline: SC [2021] No. 8 [EB/OL]. (2021-12-09)[2022-01-18]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5593440.htm.
- [6] 国家铁路局. 城际铁路设计规范: TB 10623—2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015: 3.
National Railway Administration. Code for design of intercity railway: TB 10623—2014[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015: 3.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 城市轨道交通运营管理和指令/控制系统: 第1部分 系统原理和基本概念: GB/T

32590.1—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 6.

- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standards and Standardization Administration of the People's Republic of China. Railway applications—urban guided transport management and command/control systems—part 1: system principles and fundamental concepts: GB/T 32590.1—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 6.
- [8] 刘智平, 王松林. 市域(郊)铁路功能定位与系统制式选择分析[J]. 铁道通信信号, 2020(9): 81.
LIU Zhiping, WANG Songlin. Analysis on functional orientation and system mode selection of suburban railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2020(9): 81.
- [9] 深圳市地铁集团有限公司. 深圳都市圈城际铁路基于通信的列车运行控制系统(CBTC)技术规范-需求规范: QB/SZMC-20206—2022[A]. 深圳: 深圳市地铁集团有限公司, 2022: 10.
Shenzhen Metro Group Co., Ltd. Technical specification for communication-based train operation control system (CBTC) of intercity railway in Shenzhen metropolitan area—demand specification: QB/SZMC-20206—2022[A]. Shenzhen: Shenzhen Metro Group Co., Ltd., 2022: 10.

(收稿日期: 2022-11-03)

(上接第 254 页)

2) 在今后对动车组的评估工作中, 对于动车组制动控制、牵引控制和车门控制电子单元硬件, 采用 EN 50155: 2021《铁路应用—机车车辆—电子设备》。为了更加系统、完整地评估, 可以参考 BS EN 50129: 2018/AC: 2019-04《铁路应用—通信、信号和处理系统—信号的安全相关电子处理系统》。

3) 动车组是由制动、牵引、车门、列车控制和诊断等多个子系统构成的高度复杂系统。针对各安全相关子系统, 可开展通用应用或通用产品的安全评估。动车组整车安全评估过程中, 通过对动车组进行层次分解得到各子系统范围, 这样就可以相互认可这些通用应用或通用产品的安全评估证据, 不仅可以降低安全评估的复杂性, 还可以保证安全评估进度。

4) 动车组具有制动(常用制动、快速制动、紧急制动)、牵引、网络控制与管理、车门控制等多个功能, 对于各功能是否具有安全性要求及其安全完整性等级还未统一规定, 故可从动车组及其各子系统层次分别进行危害识别、风险评估、深入剖析, 确认动车组及其各子系统的安全功能与完整性等级, 这有利于统一动车组及其各子系统的通用安全功能, 有利于动车组安全功能模块化和定型化, 从而进一步稳定动车组的安全性指标。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例: GB/T 21562—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Railway applications-specification and demonstration of reliability, availability maintainability and safety (RAMS): GB/T 21562—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 通信、信号和处理系统 信号用安全相关电子系统: GB/T 28809—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Railway applications-communication, signaling and processing systems-safety related electronic systems for signaling: GB/T 28809—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 通信、信号和处理系统 控制和防护系统软件: GB/T 28808—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Railway applications-communication, signaling and processing systems-software for railway control and protection systems: GB/T 28808—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

(收稿日期: 2022-10-13)