

文章编号: 1674—8247(2024)02—0076—06

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.014

## 市域铁路信号系统制式融合研究

刘江沙<sup>1</sup> 郭智清<sup>2</sup> 王璐<sup>1</sup>

(1. 北京交大微联科技有限公司, 北京 100043;

2. 西成铁路客运专线陕西有限责任公司, 西安 710043)

**摘要:**随着我国铁路建设及城市轨道交通建设的蓬勃发展,“四网融合”成为铁路建设发展的重要方向。不同制式的列车控制系统间融合技术的研究与实现,是保证列车跨线贯通运行的重要基础。CTCS-2系统与CBTC系统分别是国家铁路和城市轨道交通主要的列控系统。本文从车载系统和地面系统两方面研究了两种制式融合的实施方案。针对车载系统研究了双车载系统、兼容车载系统的方案;针对地面系统提出了衔接站、共享区域的设置方案,并通过场景法对方案进行了分析。最后,对方案的关键因素进行了分析和讨论。本研究对市域线路与地铁线路间列车跨线运营具有一定参考价值。

**关键词:**市域铁路;制式融合;CTCS-2;CBTC

**中图分类号:** U239.5; U28 **文献标志码:** A

## Study on Integration of Signal System Standards of Urban Rail Transit

LIU Jiangsha<sup>1</sup> GUO Zhiqing<sup>2</sup> WANG Lu<sup>1</sup>

(1. Beijing Jiaotong University Microlink Technology Co., Ltd., Beijing 100043, China;

2. Xi'an-Chengdu Railway Passenger Dedicated Line Shaanxi Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

**Abstract:** In light of the robust expansion of railway infrastructure and urban rail transit systems in China, the concept of “integration of four networks” has emerged as a key strategic direction for the evolution of the country’s railway development. The exploration and deployment of integration technology across diverse train control systems is paramount for guaranteeing seamless operation of trains when traversing various lines. The CTCS-2 system and the CBTC system are the main train control systems for national railways and urban rail transit, respectively. This paper investigates the implementation schemes for the integration of the two systems, examining both onboard and ground systems. The study examined the integration of dual onboard system solutions, as well as compatible onboard systems, for application within onboard environments. Regarding ground systems, it proposed the establishment of connection stations and the creation of shared zones as part of the implementation strategies. These approaches were subsequently evaluated through the application of scenario analysis. Ultimately, the study presented a detailed analysis and discussion of the critical elements that constitute these proposed strategies. The conclusions provide valuable insights for the integrated operation of trains across urban rail and metro lines.

**Key words:** urban rail transit; system standard integration; CTCS-2; CBTC

“四网融合”是我国铁路和城市轨道交通建设的发展方向。干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路<sup>[1]</sup>、城

收稿日期: 2022-11-09

作者简介: 刘江沙(1981-),男,高级工程师。

引文格式: 刘江沙,郭智清,王璐. 市域铁路信号系统制式融合研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 76-81.

LIU Jiangsha, GUO Zhiqing, WANG Lu. Study on Integration of Signal System Standards of Urban Rail Transit [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2): 76-81.

市轨道交通融合发展和建设,构建运营管理和服 务一张网,是实现多层次轨道交通网络,打通城市中心城 区与周边城区互联互通的新的交通形式。四网融合 是我国城市化发展的必然选择,涉及到国铁和地铁在 车辆标准、列车控制、运营组织、维修维护等方面的协 调和统一。

不同制式的列车控制系统(以下简称“列控系 统”)间的融合技术,是实现“四网融合”的重要基础。 CTCS-2级(以下简称“C2”)列控系统是我国高速铁路 运用最为广泛的信号系统,在干线铁路、城际铁路<sup>[2]</sup> 得到了大量应用。CBTC列控系统是城市轨道交通应 用广泛的信号系统。本文从车载系统和地面系统两 方面研究了两种制式融合的实施方案,并对方案的关 键因素进行了分析和讨论。

### 1 发展现状

目前我国市域铁路的列车控制系统主要有两种 制式。一种是以上海市域铁路为代表的、采用国铁 广泛使用的C2作为市域铁路列控系统<sup>[3]</sup>,即全线设 置C2制式的地面列控系统,包括联锁、列控中心、临 时限速服务器、调度集中系统、轨道电路和应答器等。 另一种是以深圳市域铁路为代表的、采用以城市轨 道交通中广泛使用的CBTC为基础改进的快速CBTC 系统(支持160 km/h的速度)作为市域铁路的列控 系统。

此外,某些市域铁路线路部分或全部利用既有铁 路改建而成,如北京的东北环线、南通的南通机场线 等,线路既要满足干线国铁列车(指装备了C2制式车

载的列车)上、下本市域线路运行,也要满足有公交化 运营要求的市域列车从地铁M线上、下本线贯通运 行<sup>[4]</sup>,线路就不得不考虑多种信号制式的融合问题。

为实现来自其他国铁干线、城际铁路的国铁列 车的正常运行,此类市域铁路线路只能选用C2制式地 面列控系统<sup>[5]</sup>。同时,为实现市域列车在地铁M线 (采用CBTC制式信号系统)与采用C2制式地面列 控系统线路的贯通运行,车载系统须既能识别并接受 CBTC制式的信号控制命令,又能识别并接受C2制 式的信号控制命令<sup>[6]</sup>。要实现上述控制目标,需要从车 载系统和地面系统去思考具体的融合方案。

### 2 车载系统的融合方案

车载系统的融合目前主要有2种方案:双系统方 案和兼容系统方案。

#### 2.1 双系统方案

双系统方案是指在列车车头位置安装2套相对 独立的、不同制式的车载系统。两系统间部分共享一 些子设备,比如DMI等。两系统间可通过硬件电路 隔离输出、也可以通过主用、次用系统软件隔离输出。 本文主要提出一种主用、次用系统软件隔离输出的 双系统方案,如图1所示。系统以C2车载为主用系统, 以CBTC车载为次用系统。主用系统负责与DMI子 设备接口、车辆接口,同时作为C2车载也保持与速度 传感器、BTM、TCR(轨道电路接收单元)等接口。次 用系统除保留速度传感器接口、雷达接口等,不再与 DMI、车辆等进行直接接口;来自DMI的指令或者向 车辆的输出指令,均通过主用系统透明传输。

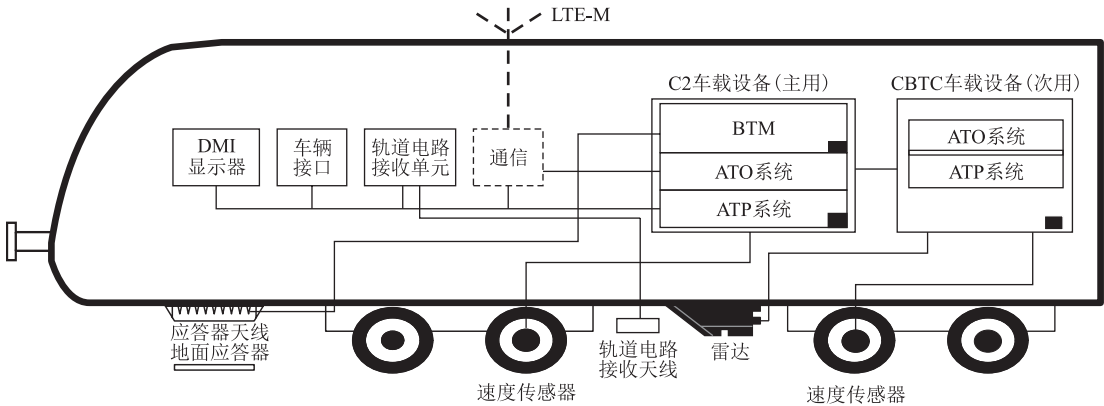


图1 双系统市域车载示意图

双系统车载的切换可支持硬件切换(由主用系统 实时获取切换旋钮的位置识别当前为C2制式或CBTC 制式),也可由主用系统软件实现有条件的自动切换。

#### 2.2 兼容系统方案

兼容系统方案指在列车车头位置只安装1套车 载系统,该系统采用模块化软件的方式实现,使其既

具备 C2 制式信号控制功能,也具备 CBTC 制式信号控制功能,如图 2 所示。

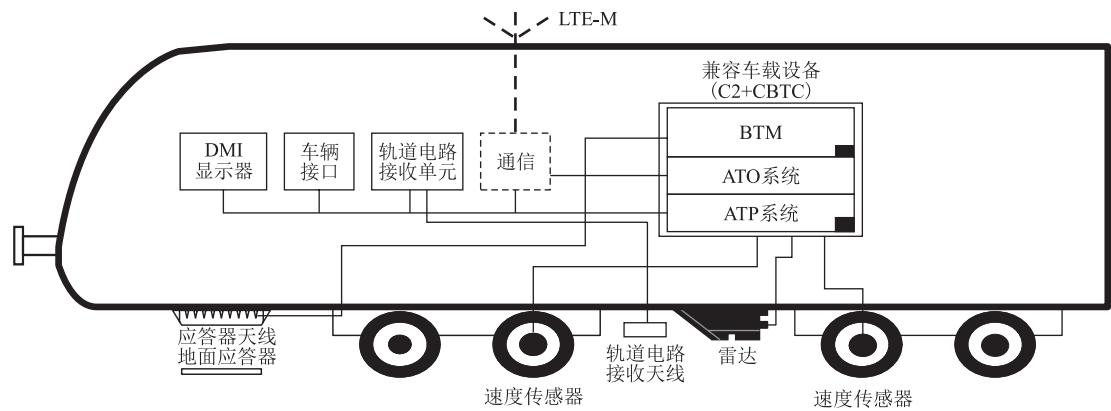


图 2 兼容系统市域车载示意图

从技术的角度分析,兼容系统方案可以视为市域融合型车载系统的最终解决方案。相较于双系统方案,兼容系统采用模块化软件的方式实现软件层次的融合(双系统可视为硬件层次的融合),使得融合更加彻底:减少了不必要的接口、节省了车载的安装空间、对信息的处理延时更小等。然而,兼容系统方案也有开发周期长、不易证明两种制式功能不相互影响、不利于通过国铁认证等缺点。

3 地面系统融合方案

地面系统融合方案研究不改变既有设备功能的前提下的融合方案,即在地面设置具备 CBTC 和 C2 功能的衔接站,设立 CBTC 和 C2 的共管区域,在共管区域实现

两种制式的“透明”切换,实现地面系统融合的目的。

3.1 地面系统融合方案

将市域线路最后一站视为衔接站,衔接站设置完整的 C2 制式地面信号系统,包括联锁(CBI)<sup>[7]</sup>、列控中心(TCC)、车站分散自律机(车站 CTC)、轨道电路(TC)、应答器等,C2 中心机房的临时限速服务器(TSRs)也管辖该衔接站。

将衔接站与地铁 M 线首站(N 站)间的区间设置为共管区域,其中 TCC 管辖终点为 N 站进站信号机处(例如 N 站 X 信号机处),ZC 管辖终点为衔接站反向进站信号机处(例如衔接站 SF 信号机处),如图 3 所示,衔接站 SF 信号机至地铁 N 站 X 信号机间的范围为 C2/CBTC 共管区域。

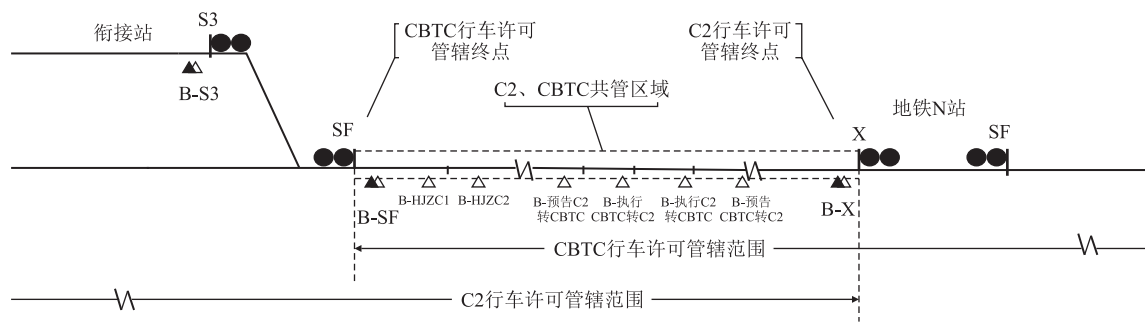


图 3 衔接站与共管区域的设置方案图

在衔接站外方(如 SF 信号机外方)适当位置冗余设置 ZC 呼叫应答器组(B-HJZC),以便市域车载尽早与 ZC 建立通信链接和注册。

在共管区域适当位置分别设置 C2-CBTC 转换预告应答器组、C2-CBTC 执行应答器组、CBTC-C2 预告应答器组、CBTC-C2 执行应答器组,以便市域列车经过应答器组自动执行制式切换。

在地铁 N 站出站口(例如 X 信号机外方)设置有源应答器,便于市域列车从地铁 N 站出站后,C2 制式车载能够收到完整的轨道区段低频、载频信息和应答器报文信息,从而满足转入 FS 模式的条件。

3.2 C2向CBTC制式切换的过程分析

一辆市域列车从衔接站 3G 发车,此时列车在 C2 制式下运行。

市域列车经 ZC 呼叫应答器,开始与 CBTC 的 ZC 系统建立通信和注册车辆。ZC 呼叫应答器采用冗余设置,避免丢失单个应答器导致切换失败,可以一定程度提高该方案的可靠性。

市域列车与 ZC 建立通信并注册后,若 ZC 满足行车许可的生成条件,可以生成行车许可发送给市域车载,但此时 CBTC 车载仅进行后台运算不参与控车。市域列车经过 C2-CBTC 预告应答器,开始准备从 C2 控车向 CBTC 控车切换。当市域列车经过 C2-CBTC 执行应答器,正式执行切换。同时设置预告应答器和执行应答器,可避免单应答器丢失引起切换失败,一定程度上提高系统的可靠性。

3.3 CBTC 向 C2 制式切换的过程分析

一辆市域列车从地铁 N 站发车,此时列车在 CBTC 制式下运行。

市域列车驶出地铁 N 站接收有源应答器的完整报文信号和轨道电路的低频、载频信息,其 C2 车载开

始转入 FS 模式,但仍然不参与控车,只是为后续执行切换做好准备。

反向出站应答器组不用冗余设置,因为在接近预告切换应答器组间设置有多组应答器,单应答器丢失不会导致切换失败。

市域列车经过 CBTC-C2 预告应答器,开始准备从 CBTC 控车向 C2 控车切换。当市域列车经过 CBTC-C2 执行应答器,正式执行切换。同时设置预告应答器和执行应答器,可避免单应答器丢失引起切换失败,一定程度上提高系统的可靠性。

3.4 关键因素的思考和讨论

(1)应避免执行点处两种制式切换后出现速度跳变,导致不必要的制动现象。

市域列车从 C2 控制制式切换 CBTC 控制制式过程中,应通过线路设计控制市域列车在执行点的行车速度不超过地铁列车允许的速度,避免切换完成时速度超过 CBTC 的允许速度导致列车紧急制动,如图 4 所示。

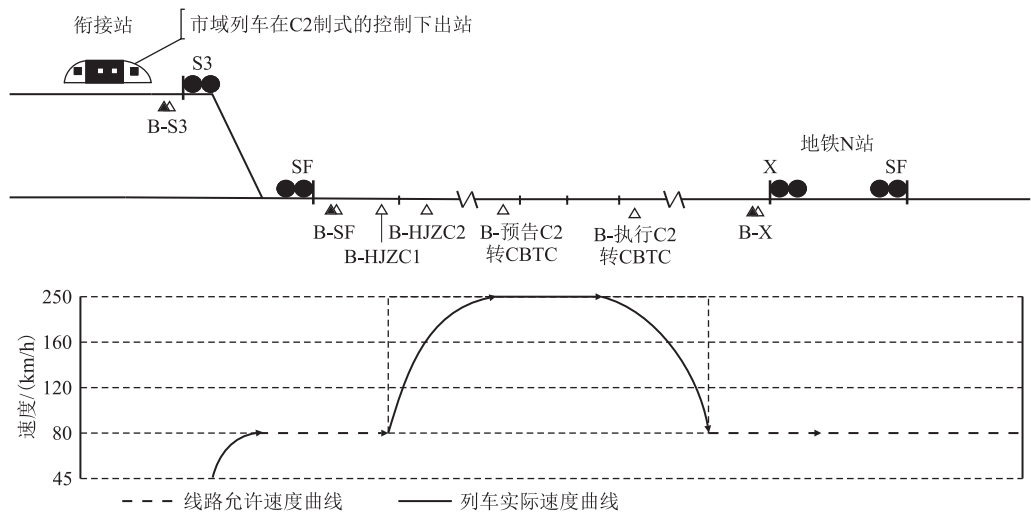


图 4 执行点上的速度设计与行车曲线的关系示意图

当列车从地铁线路驶向市域线路时,由于此时线路上的列车一般是由低速度区段( CBTC 系统最高允许速度为 80 km/h )向高速度区段( C2 系统最高允许速度为 250 km/h )运行,当列车通过执行点时,不会出现速度跳变的情况,因此无需特殊考虑。

(2)执行点应设置在合适位置。

市域列车从 C2 控制制式切换 CBTC 制式过程中,执行点距离 C2 行车许可终点不能小于列车从 80 km/h (假设 CBTC 控制的允许速度是 80 km/h )减速到 0 的制动距离,以避免切换过程中出现列车先降速再提速的不平稳的情况。

市域列车从 CBTC 控制制式切换 C2 制式过程中,

执行点距离 CBTC 管辖终点的距离不应小于列车从执行点处允许线路速度减速到 0 的指定距离,否则列车将在接近执行点(但未到达)时开始减速,导致列车先减速再提速(通过执行点,由 C2 制式控制后),出现运行不平稳的情况。执行点的设置应考虑制动距离的要求,如图 5 所示。

(3)调度分界点与临时限速服务器管辖终点可设置在一个点上。

调度分界点设置在 X 信号机处, TSRS 临时限速管辖终点同样设置在 X 信号机处,共享区域的临时限速由 TSRS 转发给 CBTC 系统。市域列车从 C2 制式切换至 CBTC 制式后,最不利的情况是在 C2 临时限



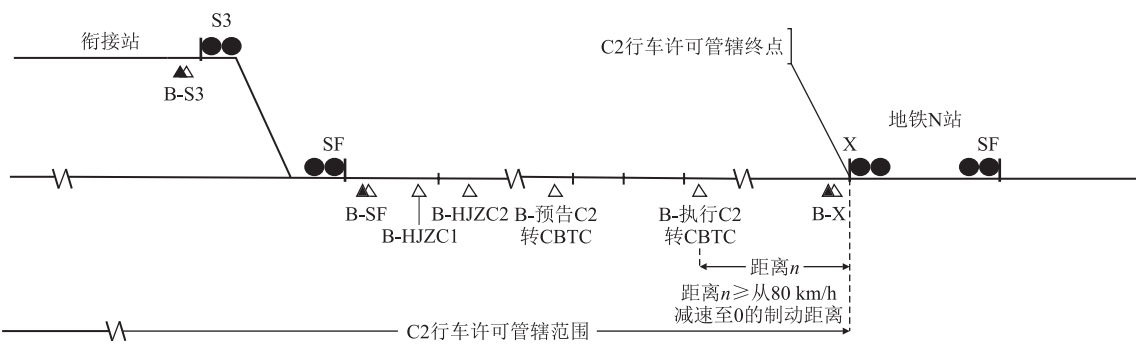


图 5 执行点的设置应考虑制动距离的要求图

速管辖终点外方紧跟一个 45 km/h 的限速,如图 6 所示。若由于执行点位置设置满足列车从 80 km/h 至 0 的制动距离要求,该最不利的 45 km/h 限速不会对列

车造成制动等影响,因此 C2 临时限速管辖范围设置在调度分界点处符合应用的要求。

共享区域的限速由 C2 侧调度台通过 TSRS 下

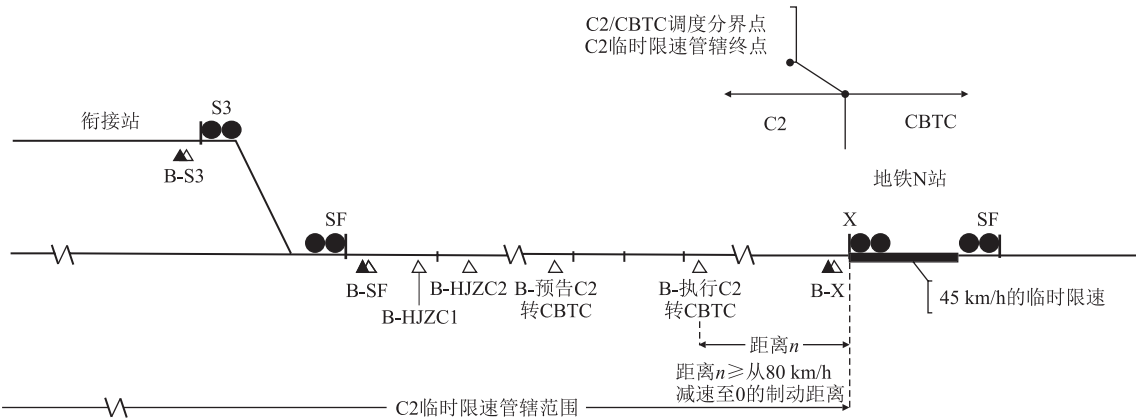


图 6 调度边界设置及 C2 临时限速管辖范围设置图

达,该区域的临时限速命令需要通过某种方式共享给 CBTC 系统,否则 CBTC 制式控制下的市域列车运行在共享区域将无法执行 CTC 下达的临时限速命令,存在安全风险。本文采用将共享区段的临时限速通过 TSRS 向 CBTC 系统转发的方式实现限速命令共享,即 C2 侧 CTC 下达共享区域的临时限速命令给 TSRS,TSRS 除了给衔接站列控中心下达临时限速命令,同时还向 CBTC 侧的 ZC 系统下达,从而实现限速命令的共享。

4 结论

“四网融合”是我国铁路及城市轨道交通建设的发展方向 and 必然选择。本文针对市域铁路 C2 和 CBTC 两种信号制式的融合进行研究,从车载系统、地面系统两个方面进行论述。车载系统的融合对双车载系统、兼容车载系统两种具体方案进行了讨论分析。地面系统的融合提出通过设置衔接站、共管区域,

实现两种制式的自动切换方案,并采用场景法加以分析,同时对切换点位置的选取等关键因素进行了讨论。下一步可进一步论证非区间自动切换的场景,以及融合 ATO 自动控制的方案,从而更加全面地助力市域铁路融合的发展。

参考文献:

[1] 宋元胜. 浅析新建市域(郊)铁路系统设计关键技术[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(3): 81-84, 99.  
SONG Yuansheng. A Brief Analysis of the Key Technology for the Design of a New Suburban Railway System [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 81-84, 99.  
[2] 马保仁. 我国高速铁路列车运行图现状分析及展望[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 8-11, 30.  
MA Baoren. Analysis on Current Situation and Prospect of Train Diagram of High-speed Railway in China [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 8-11, 30.  
[3] 李乾社. 市域铁路信号列控制式的研究[J]. 铁路通信信号工程

技术, 2020, 17(2): 10–15.

LI Qianshe. Research on Signal Train Control System for Regional Railways [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 10–15.

- [4] 王学贵. 基于都市圈融合发展理念的成都市域快线13号线互联互通方案研究[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(4): 6–13.
- WANG Xuegui. Research on the Connectivity Scheme of Chengdu City Express Line 13 Based on the Concept of Integrated Urban

Development [J]. Railway Standard Design, 2021, 65(4): 6–13.

- [5] TB 10624–2020 市域(郊)铁路设计规范[S].
- TB 10624–2020 Code for Design of Suburban Railways [S].
- [6] TB 10623–2014 城际铁路设计规范[S].
- TB 10623–2014 Code for Design of Intercity Railway [S].
- [7] TB/T 3027–2015 铁路车站计算机联锁技术条件[S].
- TB/T 3027–2015 Railway Station Computer Interlocking Technical Conditions [S].

(上接第60页)

和收集整理,合理确定接触网系统的工程设计及后期运行的边界条件。

第二,加强接触网与桥梁等土建专业的协同设计,将接触网服役需求前置于大跨度悬索桥等特殊桥梁设计中,做到专业间接口融合、功能协调。

第三,积极研发接触网有关防风、防腐及减振等新技术、新装备,采用监测、预警等手段,提升跨海湾特殊地区的接触网防灾减灾、应急恢复的能力。

## 参考文献:

- [1] GB/T 19292.1–2018 金属和合金的腐蚀大气腐蚀性第1部分:分类、测定和评估[S].
- GB/T 19292.1–2018 Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmosphere-Part 1: Classification, Determination and Estimation[S].
- [2] 马功民. 高速铁路接触网电连接线夹优化方案研究[J]. 电气化铁道, 2019, 30(2): 51–56.
- MA Gongmin. Study on Scheme for Optimizing of Electric Connection Clamps for OCS of High Speed Railway [J]. Electric Railway, 2019, 30(2): 51–56.
- [3] 姚裕春,陈思孝,杨佳. 热带海洋环境高速铁路关键技术研究分析[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(4): 11–16, 37.
- YAO Yuchun, CHEN Sixiao, YANG Jia. Study and Analysis of the Key Technologies of High Speed Railway in Tropical Marine Environment [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(4): 11–16, 37.
- [4] 邓钊. 桥梁伸缩缝宽度计算及其防治措施[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(8): 93–94.
- DENG Zhao. Calculation of Bridge Expansion Joint Width and Its Prevention Measures [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2020, 43(8): 93–94.
- [5] 苏朋飞. 大跨度铁路钢桥梁端伸缩装置设计与研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2021.
- SU Pengfei. Design and Research on the Bridge Expansion Joint of Long-span Railway Steel Bridge [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2021.
- [6] 李军杰. 高速铁路电连接线断裂原因分析及预防措施[J]. 铁路采购与物流, 2020, 15(3): 40–42.
- LI Junjie. Cause Analysis and Preventive Measures of High-speed Railway Electrical Connection Line Fracture [J]. Railway Purchasing and Logistics, 2020, 15(3): 40–42.
- [7] 高秀权,杨策,陈鹏. 铜陵长江大桥接触网施工关键技术分析[J]. 中国铁路, 2016(7): 34–36.
- GAO Xiuquan, YANG Ce, CHEN Peng. Analysis on Key Technologies of Catenary Construction of Tongling Yangtze River Bridge [J]. China Railway, 2016(7): 34–36.
- [8] 杨佳,杨洋,鲁小兵,等. 复杂艰险山区铁路接触网设计技术思考[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(6): 35–38, 61.
- YANG Jia, YANG Yang, LU Xiaobing, et al. Reflections on the Design Techniques for the Railway Overhead Contact System in Challenging Mountain Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6): 35–38, 61.