

文章编号: 1674—8247(2024)06—0078—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.013

高速铁路无线闭塞中心仿真培训系统的设计与实现

张 锐^{1,2} 陶玉凤³ 苏 琛^{1,4} 高 帅⁵

(1. 甘肃省轨道交通信号与控制评测行业技术中心, 兰州 730070;

2. 甘肃众一合技术有限公司, 兰州 730070; 3. 兰州铁道设计院有限公司, 兰州 730000;

4. 兰州安信铁路科技有限公司, 兰州 730070;

5. 兰州交通大学光电技术与智能控制教育部重点实验室, 兰州 730070)

摘 要:为满足高速铁路运维人员对无线闭塞中心原理和操作的学习需求,提高现场一线电务人员的技术水平和故障应急处理能力,本文采用计算机仿真技术和 UML(Unified Modeling Language)建模方法,设计了一套高速铁路无线闭塞中心仿真培训系统。该系统依据行业标准进行设计,具有详细设备原理和故障类型的专业性培训内容,功能全面,运行稳定,满足现场高速铁路信号工等专业技术人员的日常培训需求,能够提高相关人员的专业技能和应急处置能力。

关键词:高速铁路;无线闭塞中心;计算机仿真;培训系统;UML

中图分类号:TP391.9;U284.4 **文献标志码:**A

78

Design and Implementation of a Simulation Training System for High-speed Railway Radio Block Center

ZHANG Rui^{1,2} TAO Yufeng³ SU Chen^{1,4} GAO Shuai⁵

(1. Gansu Industry Technology Center of Evaluation and Testing of Rail Transportation Signal and Control,

Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Zhongyihe Technology Co., Ltd., Lanzhou 730070, China;

3. Lanzhou Railway Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China;

4. Lanzhou Anxin Railway Technology Co., Ltd., Lanzhou 730070, China;

5. MOE Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Intelligent Control, Lanzhou

Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To meet the learning needs of high-speed railway operation and maintenance personnel regarding the principles and operations of the Radio Block Center (RBC), and to enhance the technical proficiency and fault emergency response capabilities of frontline electrical maintenance staff, this paper employed computer simulation technology and UML (Unified Modeling Language) modeling methods to design a simulation training system for the high-speed railway RBC. This system is designed according to industry standards and features specialized training content that covers detailed equipment principles and various fault types. It boasts comprehensive functions and stable operation, fulfilling the daily training requirements of professionals such as high-speed railway signal workers. Additionally, it can

收稿日期:2023-10-10

作者简介:张锐(1989-),男,高级工程师。

基金项目:甘肃省科技计划项目(22CX3GA059);甘肃省重点人才项目(2022RCXM014);兰州市科技计划项目(2024-8-49)

引文格式:张锐,陶玉凤,苏琛,等.高速铁路无线闭塞中心仿真培训系统的设计与实现[J].高速铁路技术,2024,15(6):78-83.

ZHANG Rui,TAO Yufeng,SU Chen,et al. Design and Implementation of a Simulation Training System for High-speed Railway Radio Block Center [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):78-83.

improve the professional skills and emergency response capabilities of the relevant personnel.

Key words: high-speed railway; radio block center (RBC); computer simulation; training system; UML

在 CTCS-3 (Chinese Train Control System) 级列车运行控制系统中,无线闭塞中心 RBC (Radio Block Center) 作为地面系统中的核心设备,是现场高速铁路车间信号工日常的维护重点。在 RBC 与其他信号设备进行交互时,出现任何与行车许可、线路信息相关的故障问题,都会直接影响到列车的正常运行^[1]。因此,CTCS-3 级列控系统 RBC 设备的日常维护对现场信号工的专业技能水平提出了更高的要求。

目前,RBC 作为 CTCS-3 级列控系统中关键的地面系统,研究大多针对真实设备性能方面。刘中田^[2]等讨论了无线闭塞中心的功能需求,指出了相应的实现路径及目标;ZHAO Jingjing^[3]等提出了一种由无线闭塞中心下发的移动授权驱动的列车移动模型;李嘉懿^[4]等重点讨论了高速铁路无线闭塞中心各种切换过程,并结合现场运行情况分析了各类故障现象;孙鸣蔚^[5]研究了国内高速铁路列控设备故障仿真培训系统,针对地面列控中心设备进行仿真和培训研究;王亭岭^[6]等研究了 RBC 功能基于脚本的自动化测试方法和测试用例的执行;徐强^[7]等针对无线闭塞中心工程化的数据生成进行了算法研究,提高了配置数据的效率;聂超^[1]和宋沛东^[8]则重点对 RBC 系统进行了仿真验证,详细说明了搭建系统仿真环境的可行性。然而,以上文献并未对如何实现 RBC 培训教学进行详细研究。

为满足高速铁路运维人员和高校轨道交通信号与控制专业学生对 RBC 设备原理和操作的学习需求,开发了一套具有操作演示、智能教学功能的无线闭塞中心仿真培训系统。本文在 RBC 工作原理、设备故障分析、自主教学和突发状况应急处置等方面对该系统进行了详细说明。

1 系统总体架构

1.1 总体框架

RBC 属于安全设备,需满足 SIL4 (Safety Integrity Level 4) 等级。其外部主要与计算机联锁 CBI (Computer Interlocking)、GSM-R (Global System for Mobile Communications-Railway)、调度集中 CTC (Centralized Traffic Control)、临时限速服务器 TSRS (Temporary Speed Restriction Server) 和信号集中监测 CSM (Centralized Signaling Monitoring) 等设备接口连接,这些外部设备通过与 RBC 进行列车相关信息的交互来保障列车的安全运行。其中,RBC 与 GSM-R、调度集中和

信号集中监测之间的信息交互采取双向通信的方式,RBC 与计算机联锁、临时限速服务器和相邻 RBC 接口之间使用的是信号安全数据网络^[9],其通信协议符合《RSSP-II 铁路信号安全通信协议(V1.0)》要求。RBC 对从外部设备接收到的信息进行处理,然后再将信息进行反馈。RBC 系统总体框架如图 1 所示。

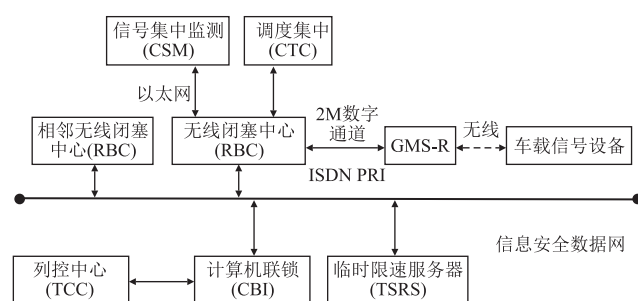


图1 RBC系统总体框架图

1.1.1 与计算机联锁(CBI)的接口

RBC 通过信号授权传输方式与计算机联锁完成信息的交互,并通过列车状态的实时信息将列车相关信息发送到计算机联锁,而计算机联锁则将进路信息和授权区域号发送给 RBC^[10]。

1.1.2 与 GSM-R 网络的接口

RBC 通过 ISDN-PRI 连接 GSM-R 网络移动交换机实现与列车通信,车载信号设备将列车车次及运行状态信息通过 GSM-R 网络传输给 RBC,然后 RBC 生成行车许可 MA (Movement Authority) 通过 GSM-R 网络反馈给车载信号设备。

1.1.3 与调度集中(CTC)的接口

RBC 通过接收调度集中的列车状态请求命令向 CTC 发送列车车次号、列车牵引类型、列车速度和位置等信息。

1.1.4 与临时限速服务器(TSRS)的接口

临时限速操作终端通过临时限速服务器向 RBC 发送临时限速状态和临时限速命令。

1.1.5 与信号集中监测(CSM)的接口

RBC 向集中监测站机发送所有内外部接口状态和连接信息,包括 RBC 设备的实时运行状态、维护诊断等信息。

1.2 系统基本功能

RBC 仿真培训系统严格按照 TB/T 3330 - 2015 《无线闭塞中心技术规范》^[11] 进行设计,与现场保持一致。该系统通过与区间模拟机、联锁设备和临时限

速服务器等设备之间的信息交互来实现列车运行的控制,其核心功能包括列车注册与注销、区间占用信息和MA生成等,具体功能如下:

(1)列车运行前需要完成车次号信息的注册,由CTC仿真分机将列车的车次号和ID(Identity Document)信息发送给RBC。

(2)RBC完成列车的跨区切换和注销。

(3)RBC根据CBI发送的区间占用信息以及进路信息、TSRS发送的线路限速信息计算保证列车安全的列车的MA,然后通过GSM-R仿真系统将MA发送给车载信号设备。

(4)车载信号设备根据接收到的MA实时计算列车的防护曲线,然后结合区间模拟机提供的实时信息,通过计算将列车的速度、位置等实时信息反馈给RBC。

2 系统的设计与实现

根据TB/T 3535-2018《无线闭塞中心测试规范》^[12]的功能需求,利用Visual Studio 2010进行框架开发,采用标准化UML建模辅助工具和方法,整体设计满足集成化、模块化、易操作等特点,功能模块均由纯软件实现,显示终端要求1 920 px×1 080 px分辨率以上,基于通用计算机平台即可使用,维护成本低。本文通过对现场真实设备进行功能分析并结合系统的总体需求,将RBC仿真培训系统划分为4个模块,如图2所示。

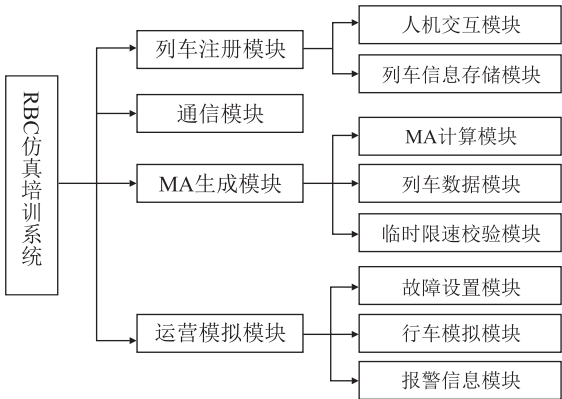


图2 培训系统主要模块图

2.1 列车注册模块

列车注册模块包含人机交互模块和列车信息存储模块,主要实现了列车车次号、车辆ID信息存储以及人机交互功能。其运作逻辑是:首先,当车站联锁检测到某轨道区段被占用后(即列车上线),CTC系统根据车站联锁交互的信息,判定列车为正常占用时,将赋予列车车次号并在站场显示界面显示相应的车次号信

息;然后,车载信号设备上电开机运行并呼叫RBC进行注册,如果呼叫成功,RBC允许注册列车并将列车相关信息传输给CTC,同时车载信号设备会向RBC发送位置信息和工作模式信息;最后,RBC向车载信号设备发送MA,如果列车多次呼叫不成功,则RBC不会对列车信息进行注册,列车默认进入CTCS-2级模式运行。以上逻辑列车注册模块的数据结构参数定义如表1所示。

表1 列车注册模块的数据结构参数表

参数定义	数据类型	具体含义
m_Num	char	车次号
m_Loc	int	位置信息
m_Dir	bool	运行方向
m_Para	string	参数信息
m_Speed	int	速度信息
m_Mode	string	运行模式
m_Grade	string	运行等级

2.2 通信模块

RBC仿真培训系统中要求数据的交互具有较高的实时性,通过对现在两种普遍的通信协议方式UDP(User Datagram Protocol)和TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)进行比较,UDP的端到端的通信方式更适合各个软件间的数据交互的实时性要求。在UDP通信方式中,UDP通过结构体将命令符号和数据进行封装,然后通过套接字(Socket)接口来实现数据交互。基于UDP协议的通信模型如图3所示。

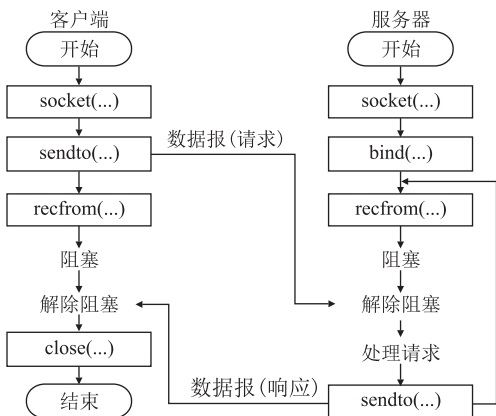


图3 UDP通信方式图

基于UDP通信的通信过程是2个客户端建立Socket并指定相应的IP地址通信接口来进行通信会话,会话结束后,客户端将关闭连接。在会话进行的过程中,Socket端口连接会一直开启。为保证数据在传输过程中不会出现丢失和延迟,采用CRC对数据进行校验,以此来确保数据传输的实时性和可靠性。系统通信协议设计如表2所示。

表2 UDP 通信协议格式表

功能	长度/byte	具体含义
帧头	8	报文编号
时间戳	2	实时时间戳
数据帧长度	4	整个数据帧长度
数据帧信息	n	客户端内容
校验	2	CRC 校验
帧尾	4	0xEF

2.3 行车许可(MA)生成模块

行车许可中包含了列车能够行驶的最远距离以及限速等信息,RBC 向车载信号设备提供正确及可靠的 MA 保证列车安全运行^[13]。RBC 将根据接收辖区内列车参数和位置报告等相关信息计算生成列车 MA,然后通过室内 WIFI 无线网络向辖区内的列车下行行车许可,监控列车运行。行车许可生成模块功能设计流程如图 4 所示。

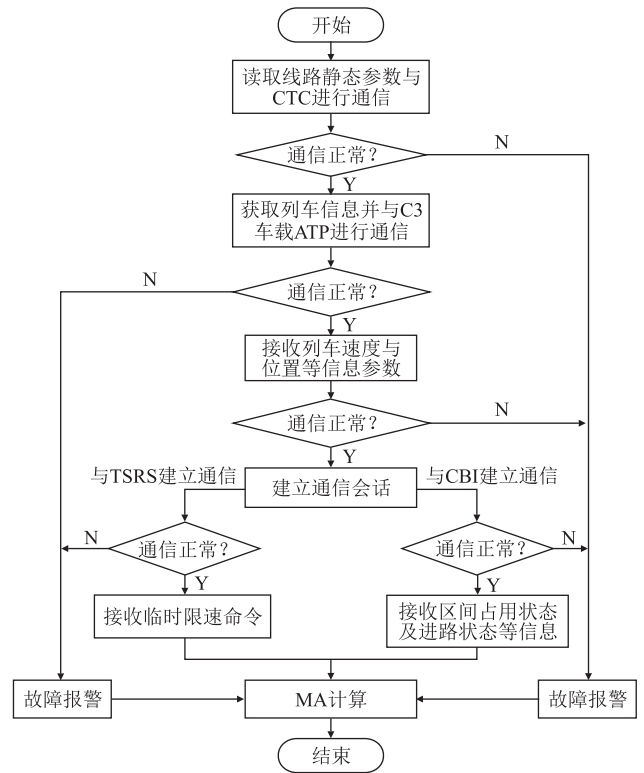


图4 MA 计算流程图

2.4 运营模拟模块

运营模拟模块包含行车模拟、故障设置和报警信息等 3 大功能模块,主要记录设备运行的具体信息、RBC 故障事件信息和设备报警信息以及查询功能。现场学员能够根据系统提供的信息进行相应的学习和培训。

同时,运营模拟模块能够显示 RBC 管辖范围内所有列车状态的详细信息,如车次号、列车速度和等级等。在实际使用过程中,学员也可以通过搜索列车车

次号或者 ID 来快速查询列车的实时信息以及运行状态,方便了解各个模拟列车的运行状况。运营模拟模块数据结构定义如表 3 所示。

表3 运营模拟模块数据类型表

参数定义	数据类型	具体含义
m_Event	string	事件信息
m_Warn	string	报警信息
m_Time	double	事件与报警时间
m_Speed	int	列车速度信息
m_EventFind	string	列车查询

3 关键技术

3.1 故障设置模块

职教人员通过故障设置模块实现对专业考点的下发,学员根据相应的报警信息来分析、处理故障,从而实现对现场信号工的培训。日常使用过程中,RBC 的主要故障表现形式是“连接中断”;当发生该类故障时,GSM-R 将无法有效地传输实时信息,从而导致列车不能准确地获取保证列车安全行驶的 MA^[14]。因此,在 RBC 仿真培训系统中一共设置了 5 大类通信故障现象,如图 5 所示。

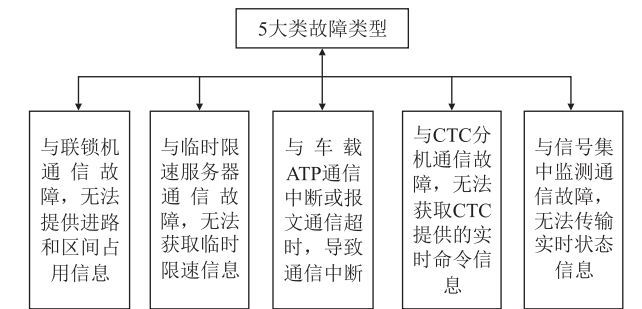


图5 RBC 仿真培训系统的故障类型图

当发生 RBC 与单辆列车通信中断时,CTC 站场界面上会提示列车车次号丢失,同时通信状态界面会显示报警信息,RBC 会根据其他列车的实时数据继续生成 MA 并保证列车的安全运行。当发生 RBC 与 CBI、TSRS 通信中断时,RBC 不能获取区间占用信息与限速信息,此时,列车将会自动由 CTCS-3 级模式切换到 CTCS-2 级模式。学员能够通过以上专项故障内容的学习,熟练掌握 RBC 故障应急处置的方法。

3.2 车载信号设备与地面设备的交互

在高速铁路列车运行的过程中,RBC 和车载 ATP 通过 GSM-R 无线网络进行列车相关信息的传输,包括 MA、列车速度和位置等信息。由于 GSM-R 为铁路专用的无线通信标准,其使用的频段为上行 885 ~ 889 MHz、下行方向为 930 ~ 934 MHz,无法在教学实验室内使用,故本系统采用 WIFI 进行代替。在实际现

场,通过 GSM-R 传输的信息是不能直观进行展示的,本文在设计车载信号设备与地面设备交互方式时,对通信方式进行解析,从而实现设备之间信息交互过程的透明化,通过显示设备通信时的 IP 地址、数据信息、信息流,直接对学员进行故障培训。

3.3 列车运行模拟仿真功能

列车模拟仿真界面能够模拟现场实况,如图 6 所示。通过模拟界面,学员能够对列车进行操作,模拟列车的运行情况,当发生 RBC 设备故障出现时,学员能够根据其故障情况进行分析,进而增强培训效果。

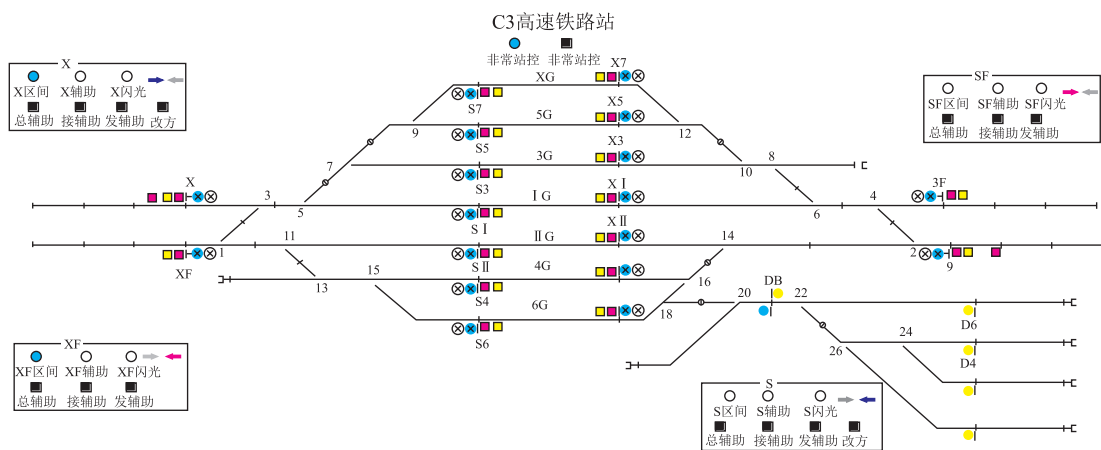


图 6 列车运行模拟仿真界面图

3.4 通信协议透明化展示功能

通过将 RBC 设备和其他设备的通信协议及通信过程在通信服务器上进行透明化展示,有助于培训学员了解设备与各设备之间的通信原理,并进行专业性培训。通信协议透明化展示如图 7 所示。

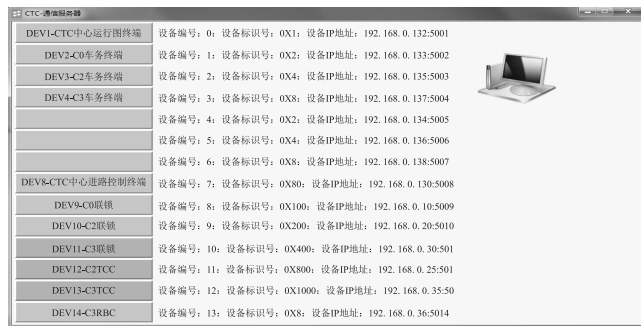


图 7 透明通信协议界面图

3.5 MA 曲线生成功能

车载信号设备模拟机实现车载 DMI 显示和速度目标距离曲线的显示,完成车载上电启动后,车载与各关联系统建立通信连接,执行加车操作,初始化列车位置,车载进入工作状态。界面右边提供了 MA 曲线的显示内容,在自动行车模式下列车根据信号状态和 MA 曲线自动运行,具有语音提示,方便进行 MA 曲线生成展示和原理教学。

4 系统应用

通过对 RBC 系统的工作原理分析来进行系统框

架的设计,利用 VS 和 UML 对 RBC 仿真培训系统进行开发,并在兰州交通大学高速铁路信号综合实验室内进行了应用,该系统运行稳定,满足设计要求。应用效果如下:

(1)贴近铁路现场。教学内容符合标准作业流程,与现场保持一致,可操作性强。

(2)解决工学矛盾。减少对现场运营的影响,培训内容生动,能够符合新一代年轻职工的学习习惯,带人性强。

(3)可自定义故障类型。在系统故障设置模块内嵌入了自定义内容,能够结合现场真实案例,通过 TXT 文本编写典型应急处置案例过程,方便现场编辑、调整 and 教学。

(4)后期扩展功能多样。预留了与列控中心、联锁中心等其他培训设备的接口,作为核心子系统,为后期开发高速铁路列车运行控制系统的提供了条件。

5 结束语

通过开发专用的高速铁路 RBC 仿真培训系统,提高了现场高速铁路运维人员和轨道交通信号与控制专业学生对 RBC 信号设备的了解、认知水平和操作能力。通过系统自带的典型故障应急处置培训内容,实现自主教学,进一步提高了学员的综合处理故障的能力,一定程度上减少了由于人为操作不当和设备故障处置不及时所造成的事故。本文研究可对未来 RBC 专业的职教发展提供借鉴。

参考文献:

- [1] 聂超. CTCS-3 列控无线闭塞中心研究与仿真[D]. 成都: 西南交通大学, 2010: 25-36.
NIE Chao. Research and Simulation on CTCS-3 Train Control Radio Block Center [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010: 25-36.
- [2] 刘中田, 孙伟亮. CTCS-3 级列控系统无线闭塞中心功能需求研究[J]. 铁路计算机应用, 2011, 20(6): 4-7.
LIU Zhongtian, SUN Weiliang. Research on Functional Requirements for Radio Block Center in CTCS-3 [J]. Railway Computer Application, 2011, 20(6): 4-7.
- [3] ZHAO Jingjing, ZHENG Wei. Research on Automatic Test Method of Radio Block Center Based on Script Technology [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1948(1): 012112.
- [4] 李嘉懿, 王长林. 基于 SPN 的无线闭塞中心切换过程中的故障分析[J]. 铁路计算机应用, 2011, 20(8): 43-46.
LI Jiayi, WANG Changlin. Failure Analysis in Process of RBC Switching Based on Stochastic Petri Nets (SPN) [J]. Railway Computer Application, 2011, 20(8): 43-46.
- [5] 孙鸣蔚. 高铁列控设备故障仿真培训系统的设计与实现[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016: 12-32.
SUN Mingwei. Research and Design of Fault Simulation and Training System for High-speed Train Control Equipment [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016: 12-32.
- [6] 王亭岭, 赵君, 查园园, 等. 高速铁路列控车载设备故障诊断的研究及应用[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 55-61.
WANG Tingling, ZHAO Jun, ZHA Yuan Yuan, et al. Study on Fault Diagnosis for On-board Equipment in High-speed Railway Train Control Systems and Application [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 55-61.
- [7] 徐强, 崔龙, 黄琨. CTCS-3 无线闭塞中心工程化数据生成方法与实现[J]. 铁路计算机应用, 2019, 28(8): 52-56, 74.
XU Qiang, CUI Long, HUANG Kun. Engineering Data Generation Method and Implementation of CTCS-3 Radio Block Center [J]. Railway Computer Application, 2019, 28(8): 52-56, 74.
- [8] 宋沛东. CTCS-3 级列控系统仿真测试平台——无线闭塞中心仿真子系统的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007: 33-45.
SONG Peidong. The CTCS-3 Simulation and Testing Platform-research on RBC Simulation Subsystem [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007: 33-45.
- [9] 刘子英, 尹楠, 张利华. 高速铁路无线闭塞中心(RBC)核心单元安全评估[J]. 华东交通大学学报, 2016, 33(4): 61-66.
LIU Ziying, YIN Nan, ZHANG Lihua. Security Assessment of Key Unit of Radio Block Center for High-speed Railway [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2016, 33(4): 61-66.
- [10] 夏进波, 王勇. 高速铁路联锁调度一体化实训方案研究与应用[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(4): 93-98.
XIA Jinbo, WANG Yong. Research and Application of Training Scheme for Integrated Interlocking & Dispatching of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4): 93-98.
- [11] TB/T 3330-2015 无线闭塞中心技术规范[S].
TB/T 3330-2015 Technical Specification of Radio Block Center [S].
- [12] TB/T 3535-2018 无线闭塞中心测试规范[S].
TB/T 3535-2018 Test Specification for Radio Block Center System [S].
- [13] 马文晖, 杨斐, 冯国斌. 高速铁路 CTC 仿真培训系统的设计与应用[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 26-28, 69.
MA Wenhui, YANG Fei, FENG Guobin. Design and Application of Simulation Training System of CTC for High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 26-28, 69.
- [14] 林建平. 铁路 GSM-R 系统国际互联互通技术方案研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 6-10.
LIN Jianping. A Study on International Interoperability Technical Scheme of Railway GSM-R System [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 6-10.
- 电传动, 2019(2): 35-40.
JIANG Wei. Research on DC-link Voltage Hold Control Strategy for E-MUs Converter [J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(2): 35-40.
- [10] TG/01A-2017 铁路技术管理规程(高速铁路部分)[S].
TG/01A-2017 Railway Technical Management Regulations (High Speed Railway Part) [S].
- [11] 崔衍渠. 复杂运营条件下高速铁路电分相设计及运营建议[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(4): 65-68.
CUI Yanqu. Suggestion for Design and Operation of Phase Break of High-speed Railway under Complex Operating Conditions [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4): 65-68.
- [12] GB/T 36981-2018 轨道交通客列车断电过分相系统相互匹配准则[S].
GB/T 36981-2018 Railway Applications-Technical Criteria for the Co-ordinations in the Passenger Train Neutral-section Passing System with No Power Consumption [S].

(上接第71页)

- ZHENG Jingwen, LIU Mingguang, CUI Weichen, et al. Research on Structure Parameter of Phase Insulator in Railway Tunnel and Over-voltage of Neutral Line [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(9): 146-150.
- [6] 黄沁悦. 地面自动过分相技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
HUANG Qinyue. Research on Automatic Ground Crossing Phase Technology [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [7] 刘雨欣, 张景景. 三断口八跨锚段关节式电分相过电压分析[J]. 电气化铁道, 2017, 28(3): 67-70.
LIU Yuxin, ZHANG Jingjing. Analysis of Over-voltage of Eight-span Overlap Section Type Phase Break with Three Breaks [J]. Electric Railway, 2017, 28(3): 67-70.
- [8] 动车组过分相控制功能逻辑规范(V1.0)[S].
Logic Specification for Neutral Section Passing Control Function (V1.0) [S].
- [9] 蒋威. 动车组变流器中间直流电压保持控制策略研究[J]. 机车