

# 基于车载网络的标准化动车组单车 试验装置设计

沈华波<sup>1</sup>, 孙晓东<sup>1</sup>, 胡昊<sup>1</sup>, 刘洋<sup>2</sup>

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111;

2. 大连交通大学 电气信息工程学院, 辽宁 大连 116028)

**摘要:** 针对标准化动车组单车调试过程中各工序试验工装之间缺乏协同性、调试效率低的问题, 设计了一种单车试验装置; 该装置以车载通信网络为基础, 可与数字化调试平台及其他智能化工装设备之间进行数据交互, 实现动车组单车试验的系统化与智能化; 文中介绍了装置的总体功能, 并对硬件结构和软件功能实现进行了详细描述; 现场测试结果表明: 该装置能够满足标准化动车组单车调试要求, 可有效地优化调试工艺流程, 在减少调试工人数量投入的同时, 可大大缩短动车组生产周期、降低运营成本、提高生产效率和质量。

**关键词:** 动车组; 车载网络; 试验装置

## Design of Single-car Test Device of Standardized EMU Based on on-board Network

Shen Huabo<sup>1</sup>, Sun Xiaodong<sup>1</sup>, Hu Hao<sup>1</sup>, Liu Yang<sup>2</sup>

(1. Crrc Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China;

2. College of Electronics and Information Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of lack of coordination and low debugging efficiency between the test tooling of each process during the single-car commissioning of standardized EMU, a single-car test device is designed. The device is based on vehicle communication network and can interact with digital commissioning platform and other intelligent equipment, so as to realize the systematization and intellectualization test of EMU single car. In this paper, the overall function of the device is introduced, and the hardware structure and software function realization are described in detail. The field test results show that the device can meet the requirements of single car commissioning of standardized EMU, effectively optimize commissioning process, reduce the number of commissioning workers, and greatly shorten the production cycle of EMU, reduce operating costs, and improve production efficiency and quality.

**Keywords:** EMU (electric multiple unit); on-board network; test device

## 0 引言

以智能工厂为载体, 以关键制造环节智能化为核心, 以网络互联为支撑的智能制造是当今技术发展的趋势。动车组在生产制造及检修过程中, 必须对其关键功能进行充分调试, 并根据所获取的列车状态数据等相关信息, 及时分析原因、排查故障, 以保障动车组正常投入运行<sup>[1]</sup>。目前, 标准化动车组调试现场中不同工序的调试装置之间缺乏协同性, 需要多名试验人员同时控制多台调试装置, 人员之间需要频繁的人工交互, 导致试验人员劳动强度大、自动化程度较低、调试工作效率较低<sup>[2]</sup>。因此, 有必要通过智能化设计减少试验人员参与重复且非必要性劳动, 缩短试验周期, 提高生产效率。

车载通信网络作为动车组的中枢核心, 承担着列车各种车载设备之间重要数据的传输, 直接关系到动车组是否能够正常运行, 是生产制造中的极为复杂的环节<sup>[3-4]</sup>。本文设计的单车试验装置以车载网络为基础, 可实现与多个单车试验设备数据互通, 融合车载网络数据与试验设备数据, 保障单车试验自动化进行; 同时, 装置可与数字化调试平台 DMS 实现数据交互, 完成试验任务、工艺流程、试验数据等的集中管理, 极大提高了单车调试效率和质量可追溯能力。

## 1 总体功能设计

标准化动车组单车调试系统的总体结构如图 1 所示。单车试验装置作为整个调试系统的核心设备分别与数字化调试平台、动车组车载网络、手持终端 PAD、单车直流控制柜以及可拓展的智能工装之间进行数据交互, 为自动化协同调试、车辆健康状态诊断提供了基础, 具体数据交互方式和实现的功能如下:

1) 单车试验装置与数字化调试平台通过无线网络进行

收稿日期: 2020-08-02; 修回日期: 2020-09-01。

**作者简介:** 沈华波(1983-), 男, 湖北钟祥人, 硕士, 高级工程师, 主要从事轨道交通车辆调试技术研究, 数字化工厂建设技术方向的研究。

数据交互。数据化调试平台主要负责统一管理与下发试验任务以及单车试验装置与动车组及各种智能设备之间的通信协议; 同时, 单车试验装置会将所有试验相关的过程数据及试验结果上传到数字化调试平台, 用于保存、记录、查看和故障诊断。

2) 单车试验装置与动车组之间通过 MVB 总线进行数据通信。单车试验装置具备总线管理器 BA 轮询功能, 可根据配置的协议主动轮询车辆全部在线设备<sup>[5]</sup>, 并根据手持终端 PAD 下发的试验命令模拟车辆 MVB 网络试验工况, 采集车载网络数据实现实时监视。

3) 单车试验装置与手持终端 PAD 通过无线网络进行数据交互。操作人员通过手持终端人机界面发送试验操作指令, 单车试验装置解析该指令并控制动车组或其他调试设备执行相应动作, 并将车辆状态、试验结果等信息实时反馈给 PAD 进行显示。

4) 单车试验装置与单车直流柜之间通过无线以太网进行交互<sup>[6]</sup>, 单车试验装置可根据试验操作向直流柜发出测试信号, 直流柜模拟试验工况对车辆线路进行检测, 并将采集到的车辆线路状态, 反馈给单车试验装置, 完成相关试验。

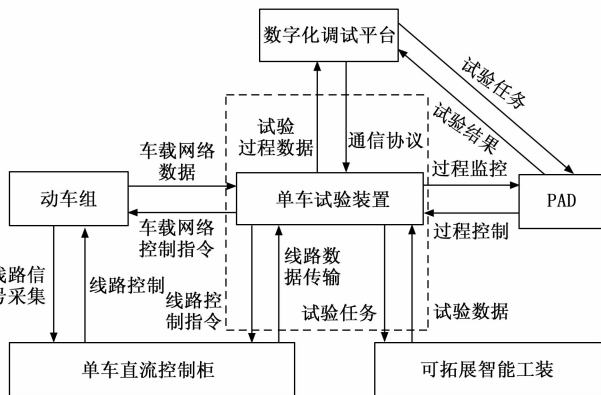


图 1 标准化动车组单车调试系统

## 2 装置硬件结构

单车试验装置硬件由便携式主机、MVB 网卡、无线网卡、MVB 通信线缆等几部分组成。本设计选取的硬件能够满足复杂调试环境应用要求, 主要部件参数如下:

1) 考虑到动车组制造车间环境复杂, 受外界不定因素的影响较大, 因此, 本设计选用防护等级为 IP54 强固型便携式主机, 主机在防尘、防水以及防震等方面可适应现场调试环境。主机配备 I5-6500T CPU、8 GB 内存、256 GB 固态硬盘、17.3 寸显示屏, 具有 PCI、以太网 M12、USB 等接口。

2) 本设计选用的 MVB 板卡符合 IEC61375 标准国际标准, 具备总线管理器功能, 采用电气中距离 EMD 接口<sup>[7]</sup>, 最大可支持 4096 个过程数据端口, 工作温度范围:  $-40 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 防止电磁干扰。在物理接口扩展上, 提供 1 个 PCI 接口, 1 个 DB9 公头接口, 1 个 DB9 母头接口和 1 个 JTAG

调试接口。

3) 主机内置无线网卡最大传输速率可达 1000 Mbps, 最大通信距离 30 m, 能够满足设计要求。

## 3 软件设计

单车试验装置的应用软件开发基于 Window 操作系统, 采用 Qt Creator 开发工具。

### 3.1 子系统接口功能

单车试验装置与外部设备进行数据交互的接口如图 2 所示。MVB 总线接口负责与动车组 MVB 网络设备进行数据交互; Wi-Fi 接口负责与远程数字化调试平台(服务器)、单车直流控制柜和 Pad 通信; Ethernet 接口和打印接口作为预留接口, 可以根据需要进行功能扩展。

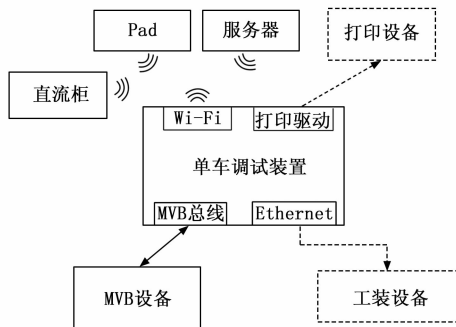


图 2 单车试验装置与外部设备接口

1) 单车试验装置与动车组之间的数据通信由 MVB 网卡内部 TCN 协议栈软件实现, 其主要完成链路层的通信功能, 并为应用程序的高层提供访问的接口服务<sup>[7-8]</sup>。本设计通过解析可扩展标记语言 (XML) 描述周期扫描表的内容, 完成对各个端口参数 (如端口名称、源宿端口、数据长度、特征周期等) 的配置。MVB 网卡通信驱动程序的逻辑如图 3 所示<sup>[9]</sup>。网卡驱动程序的开发中采用 QDom 工具解析, 编译后完成网卡驱动程序动态链接库的创建, 便于上位机应用程序对其函数功能的调用<sup>[10]</sup>。

2) 单车网络装置与数字化调试平台 DMS 间采用 http 协议进行通信, 主要数据接口及功能描述如下:

授权认证接口。新接入的单车网络装置如需跟 DMS 系统通信, 必须先对其进行认证授权, 只有授权通过后才能进行数据通信。

人员同步接口。单车网络装置请求 DMS 系统, 获得 DMS 系统内所有操作人员信息和所属部门及角色信息, 如员工号已存在则更新不存在则新增。

人员登陆接口。操作人员打开单车网络装置应用程序进行登陆操作, 分在线方式和离线方式, 在线时调用接口进行服务器验证登录, 离线时进行本地验证登录。

心跳接口。按 5 分钟的频次进行心跳通信, DMS 系统查看装置在线清单。

通信协议下载接口: 装置请求 DMS 系统, 获得 DMS 系统内所指定的车型的通信协议, 如 MVB 通信协议、直流

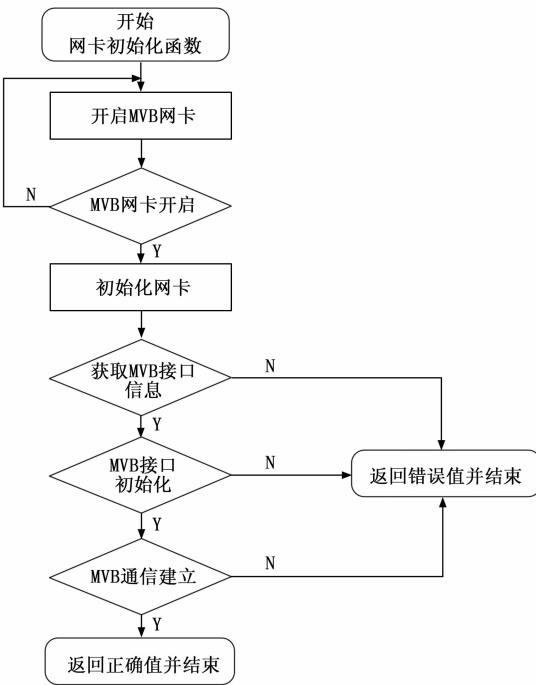


图 3 MVB 网卡驱动程序逻辑

控制柜通信协议等。

试验过程数据上传接口：装置请求 DMS 系统，上送指定调试任务的试验过程数据。

3) 单车试验装置与直流柜之间采用 TCP 协议进行通信，单车试验装置作为服务器端，直流柜作为客户端，主要数据接口及功能描述如下：

读取设备信息接口。用于读取直流柜工装编号、MAC 地址、软件版本等信息。

数据读写接口。一方面，单车网络装置周期性向直流柜发送读请求报文，直流柜以自身采集的车辆状态信号作为响应；另一方面，单车试验装置根据手持终端 PAD 发送的操作指令，向直流柜发送写请求报文，将输出信号写入指定偏移字段，进而对直流控制柜进行操作控制。

通信协议下载接口。单车试验装置将从数字化调试平台下载的通信协议转发给直流柜，用于其通信参数的配置，内容包括车辆号、线号名、数据类型、字节偏移、位偏移等。

4) 单车试验装置与手持终端 PAD 的数据接口采用 TCP 协议进行通信，主要数据接口及功能描述如下：

组网接口。网络连接建立之后，PAD 主动向单车网络装置发送请求，将试验所涉及的车辆、任务、工装设备、人员等信息发送给单车试验装置保存，单车试验装置予以响应。

自动操作接口。在自动化试验过程中，操作人员通过 PAD 发送自动操作指令，单车试验装置根据接收到的任务 ID、车辆号、工装类型、操作内容等信息，向动车组或其他调试设备发送调试指令，逐项完成预先设定的试验任务。

自动确认接口。在自动操作过程中，PAD 将根据试验任务发送自动确认指令，以检测动车组当前的状态是否与试验预期相符。自动确认指令包括任务 ID、车辆号、工装类型、期望的测试结果等信息，单车试验装置根据动车组当前实际的工况做出响应。

### 3.2 软件功能模块实现

软件功能采用统一建模语言 UML 工具进行开发和管理，通过标准的 UML 语言的时序图，状态图和流程图等描述类的动态行为，具体功能实现如下：

#### 3.2.1 与数字化调试平台数据交互

装置通过调用 ServerInteraction 模块提供的方法组建接口数据报文，与服务器进行 http 交互，其 UML 如图 4 所示。

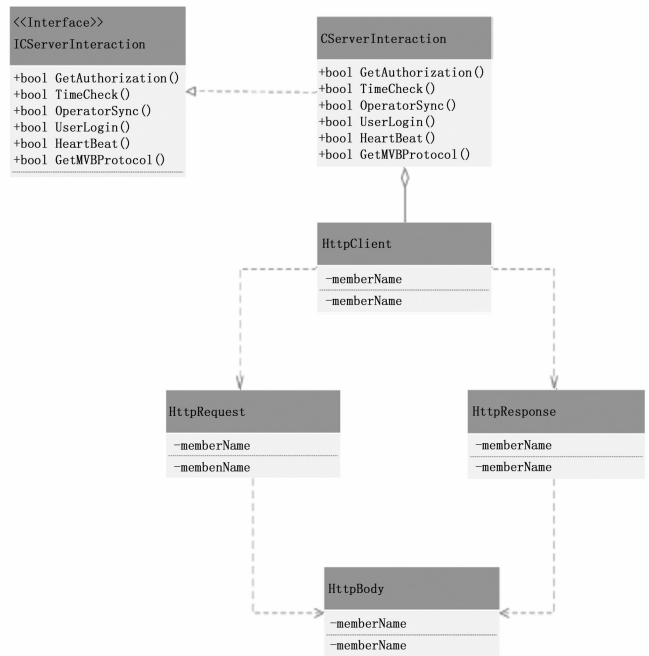


图 4 服务器数据交互 UML

软件设计主要通过以下函数实现：GetAuthorization () 调用认证授权接口传入装置类型和 mac 地址两个参数，认证成功返回该装置在 DMS 系统中产生的唯一编号，Time-Check () 调用时间校验接口传入设备认证编码和本地系统的时间戳，访问成功返回服务器时间，OperatorSync () 调用人员同步接口传入设备认证编码，访问成功返回所有人员信息列表，UserLogin () 调用人员登陆接口传入用户、密码和设备认证编码，访问成功返回当前登陆人的有关信息，HeartBeat () 调用人员同步接口传入设备认证编码和 IP 地址，访问成功返回心跳成功信息，GetMVBProtocol () 调用通信协议下载接口传入设备认证编码、工装类型编码和车型项目代号，访问成功返回通信协议内容。

#### 3.2.2 与 PAD 数据交互

装置程序创建 IPadInteraction 接口与外部模块进行数据交互，其 UML 如图 5 所示。软件设计首先通过 Start-

PadProcess () 和 GetConnectedPAD () 类函数实现与 PAD 的 TCP 连接, 并获取当前在线 PAD 的状态。

程序创建 PadStateMachine 类用于维护与 PAD 之间的连接。其中, DataAnalysis () 函数用于解析 PAD 发送的数据报文; netEstablishHandler () 函数用于处理组网报文, 将组网信息保存到本地数据库, 并向 PAD 反馈是否保存成功, autoOperateHandler () 用来接收和解析 PAD 发送的自动操作报文, 根据报文内容向 MVB 设备或直流控制柜发送控制指令, autoConfirmHandler () 用来接收和解析 PAD 发送的自动确认报文, 如果信号字段存在, 则向 PAD 反馈变量状态是否与期望值一致。

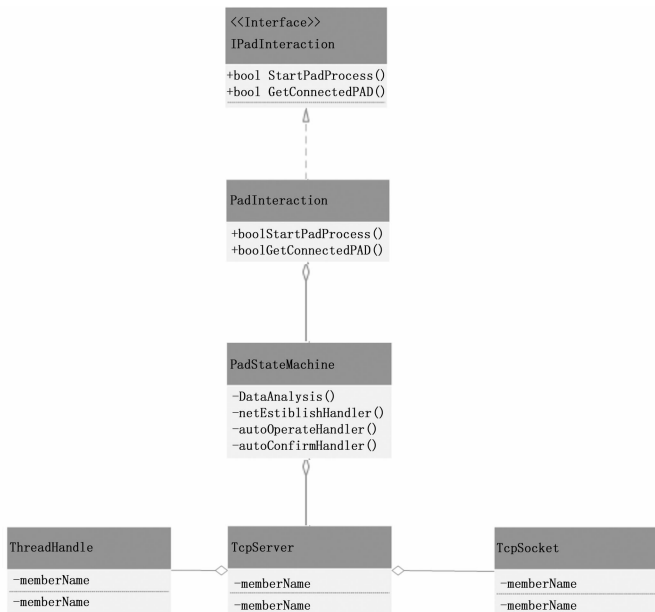


图 5 PAD 数据交互 UML

### 3.2.3 与 MVB 数据交互

装置通过调用 MVBBusCom 模块实现 MVB 通信, 其 UML 如图 6 所示。

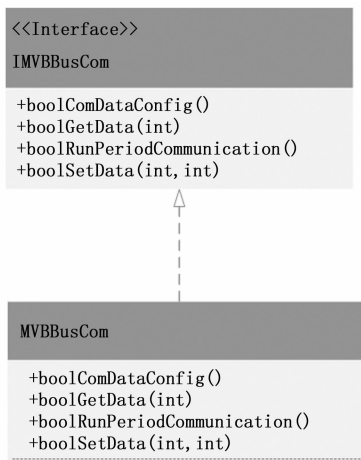


图 6 MVB 设备数据交互 UML

ComDataConfig () 实现 MVB 驱动加载以及初始化, GetData (int) 获取 MVB 设备的变量信息, SetData (int, int) 设置要发送的控制指令信息, RunPeriodCommunication 用于保持与 MVB 总线设备周期性通信。

### 3.2.4 与直流柜数据交互

接口 ISmartDevice 用于与直流柜交互数据, 其 UML 如图 7 所示。ReadSpecificInputData () 用于读取指定直流柜的输入数据, ReadAllInputData () 用于读取所有输入数据, WriteSpecificOutputData () 用于写入指定的直流柜的输出数据, ReadOutputStatus () 用于读取当前输出状态。

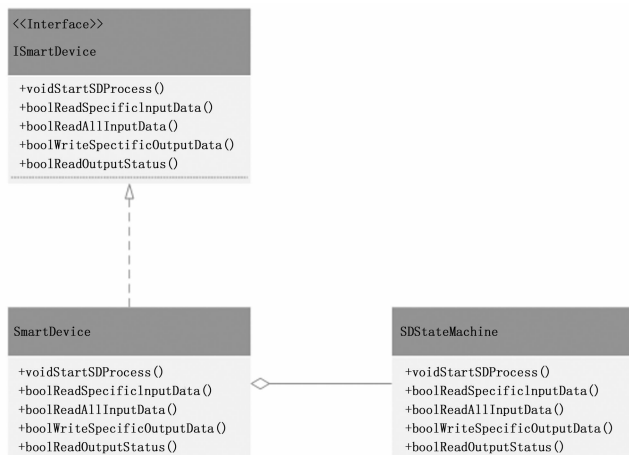


图 7 直流柜数据交互 UML

### 3.3 监控界面设计

单车试验装置提供友好的用户交互界面, 用户可通过账号密码完成登录操作。软件提供了通讯协议下载、设备在线状态查看、变量监控, 历史数据查询以及设备参数配置等功能, 监控界面结构如图 8 所示。

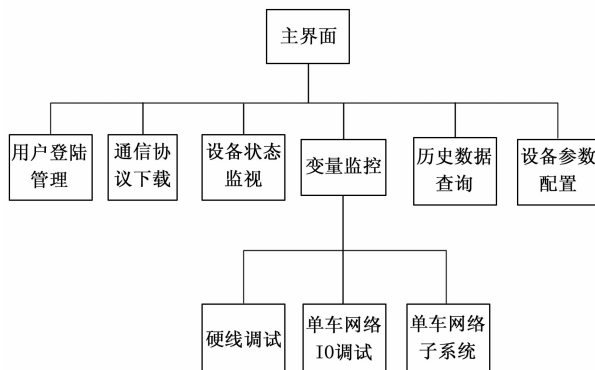


图 8 监控界面结构

创建 QDlgUserLoginWindow 类用于管理用户登录操作, 当用户输入账户密码, 点击登陆后, 程序会查询本地数据库, 确定用户的信息合法性, 给出用户登录成功或失败提示。

创建 QDlgDownloadProtocolWindow 类用于通讯协议的下载功能。用户可配置需要下载的协议的工装类型编码及

接口 IMVBBusCom 用于与外部模块进行交互。其中

车型项目代号，并通过下载按钮从服务器下载指定的通讯协议。

创建 QDlgDeviceOnlineStatusWindow 类用于管理设备的在线状态，如直流柜、PAD 等，程序界面会显示当前已经连接设备。

创建 QDlgHardWireIOWindow 类用于管理底层变量的监控功能，其中，MvbIoInterfaceUI 和 SmartDeviceIoInterfaceUI 分别负责 MVB 和直流柜变量监控功能。SetTree () 函数用于生成变量监控界面的树形结构。

创建 QDlgHistoryDataQueryWindow 类用于过程数据的查询功能。用户可通过软件界面，设置需要查询的过程数据的起止时间并查询，软件会自动查询符合条件的条目并显示到界面中。

创建 QDlgIPSetWindow 类用于设备信息的配置功能，用户可以查看当前设备类型的配置及 IP 信息，并通过软件界面配置需要的当前设备类型和 IP 地址。

### 4 现场试验与功能验证

为验证单车试验装置的有效性，在应用现场对装置进行了系统联调。装置通过后台运行的程序调用 GetAuthorization () 函数与数字化调试平台完成授权认证，只有授权通过后才能进行人员同步、人员登陆以及通信协议文件的下载。

装置对通信协议文件进行解析，并通过调用 ComData-Config () 函数完成通信参数配置及初始化，与动车组和直流柜建立起数据连接，通过装置人机界面可观察到动车组的当前状态。

操作人员通过点击手持终端 PAD 的试验项点内容，控制试验装置进行单车网络调试。装置通过 IpadInteraction 接口将接收到的调试命令发送给动车组执行，并对执行结果进行反馈。

图 9 和图 10 分别为动车组 MVB 网络 IO 试验和直流柜试验监控界面。试验结果表明本文设计的单车试验装置完成了预定目标，能够满足目前标准化动车组单车调试需求。



图 9 MVB 网络试验



图 10 直流柜试验

### 5 结束语

针对动车组调试现场存在调试装置之间缺乏协同性、配合不紧密、操作复杂、自动化程度低、调试周期长等问题，研发了一种基于车载网络的动车组单车试验装置。以该调试装置为中心，辐射多种试验工装，实现各试验装备间的数据交互与无缝衔接，为实现调试流程的系统化、协同化、高效化提供了保障。同时，该装置可与数字化调试平台（服务器）直接进行数据交互，实现了单车试验任务、试验数据统一管理，提升了产品质量追溯能力。此外，该装置除可实现车载 I/O 网络设备调试外，还可模拟多种网络控制信号，在单车阶段完成轴温、空调等子系统的功能验证，通过扩展单车试验项点和范围，将部分编组试验前移至单车，可压减整列调试内容，有效地缓解整列调试台位资源紧张的问题。

### 参考文献：

- [1] 李美华, 矫德余, 孙昊雯. 列车网络控制系统半实物仿真平台设计及应用 [J]. 铁道机车车辆, 2018, 38 (1): 23 - 25.
- [2] 严 翔. 基于工业以太网的列车控制网络性能分析及优化 [J]. 机车电传动, 2018 (3): 41 - 44.
- [3] 周东华, 纪洪泉, 何 潇. 高速列车信息控制系统的故障诊断技术 [J]. 自动化学报, 2018, 44 (7): 1153 - 1164.
- [4] 刘 洋, 李常贤, 于延霞, 等. 大连快轨 3 号线列车网络控制系统 [J]. 机车电传动, 2015 (6): 67 - 71.
- [5] 周浩尚, 张立斌, 高照玲. 基于 MVB 和 TRDP 的列车主控双网冗余设计与实现 [J]. 机车电传动, 2018 (5): 74 - 77, 82.
- [6] 刘 澳, 任向杰, 王其伟. 基于 Qt 设计器的电力机车制动显示屏的软件设计 [J]. 机车电传动, 2019 (2): 62 - 65, 73.
- [7] 刘 俊, 邱伟明, 何红成. 120 km/h 地铁列车网络控制与诊断系统 [J]. 机车电传动, 2015 (6): 72 - 75, 79.
- [8] 崔 韬, 韩庆军, 孙宗先, 等. 一种列车网络节点设备 MVB 通信接口技术 [J]. 电子世界, 2016 (22): 147 - 148.
- [9] 党 聪, 刘 洋. 标准动车组单车网络智能调试设备设计与应用 [J]. 工业控制计算机, 2019, 32 (8): 1 - 3, 6.
- [10] 赵建博, 孙晓东, 胡国强, 等. 自动化列车通信网络分析仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (5): 276 - 280.