

# 基于转向架控制的地铁车辆制动控制系统开发

刘 政 张新永 高 珊 张兴旺 田 越 闫晓庚

(中车唐山机车车辆有限公司,063035,唐山//第一作者,高级工程师)

**摘 要** 城市轨道交通车辆制动控制策略管理是车辆网络控制的重点和难点。介绍了基于系统工程的车辆制动控制系统开发流程。转向架控制的地铁车辆制动控制系统开发基于模型的系统工程、V模式开发以及 AUTOSAR 架构等技术,并利用 AMESim 等软件进行建模仿真。开发了用于制动控制单元测试的半实物仿真试验台,有效地缩短了验证周期。

**关键词** 地铁车辆;制动控制系统;气制动控制单元;电子制动控制单元

**中图分类号** U270.35

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.05.035

## Development of Bogie-controlled Metro Vehicle Brake Control System

LIU Zheng, ZHANG Xinyong, GAO Shan, ZHANG Xingwang, TIAN Yue, YAN Xiaogeng

**Abstract** Brake control strategy management of urban rail transit vehicles is the focus and difficulty in vehicle network control. The development process of vehicle brake control system based on system engineering was introduced. Technologies such as Model-based system engineering, V-mode development and AUTOSAR architecture were adopted for the development of bogie-controlled metro vehicle brake control system. Softwares such as AMESim were applied for modeling and simulation. A hardware-in-the-loop simulation test-bed was established for the test of the brake control unit, which effectively shortened the verification cycle.

**Key words** metro vehicle; brake control system; pneumatic brake control unit; electronic brake control unit

**Author's address** CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

制动控制技术是整个制动系统的技术重点。随着网络技术在轨道车辆上的应用,以及通过网络技术实现对车辆控制策略的管理,国外各轨道车辆主机厂已逐步将制动控制技术作为车辆设计的一个组成部分,传统的轨道车辆制动系统供应商也正

逐步演变为零部件提供商。国内各轨道车辆主机厂也已开始进行基于车辆的制动控制技术研究,但进展相对较为缓慢。

本文采用基于模型的系统工程技术<sup>[4]</sup>,结合 V 模式开发理念,通过搭建仿真测试平台,实现对城市轨道交通车辆制动控制系统的开发。

## 1 城市轨道交通车辆制动控制系统

本文以目前城市轨道交通车辆中主流的、基于转向架控制的制动控制系统(以下简称“架控制动控制系统”)为研究对象进行研究,并以地铁车辆为主。地铁车辆的制动力来自于电制动与空气制动的混合作用,并且遵循“以电制动为主,空气制动为辅”的原则。电制动一般由列车牵引控制单元来控制,而空气制动则由列车制动控制系统来控制。

制动控制单元是制动控制系统中的核心部件,用于实现常用制动、快速制动和紧急制动等功能,其性能的优劣和可靠性高低直接决定了制动系统的性能。其余部件则以标准规定和货架产品为主。因此,本文主要研究制动控制单元的开发。

制动控制单元分为气制动控制单元(PBCU)和电子制动控制单元(EBCU)两部分。架控制动控制系统采用的是分散控制思想,而系统本身却是一个高度集成的机、电、气一体化系统,利用诸多电磁气动阀的相互动作配合来实现气路控制,因此,架控制动控制系统的可靠性更高、安全性更好,是城市轨道交通车辆制动控制系统发展的一种新趋势。

## 2 架控制动控制系统制动控制单元开发

架控制动控制系统按照列车级制动控制来考虑<sup>[5]</sup>,由3辆车组成一个CAN(控制器局域网)单元。制动控制单元按照功能分为主阀和辅阀,主阀具有与MVB(多功能车辆总线)进行数据交互的功能,如图1所示。架控制动控制系统的开发分为气制动控制单元开发和电子制动控制单元开发。

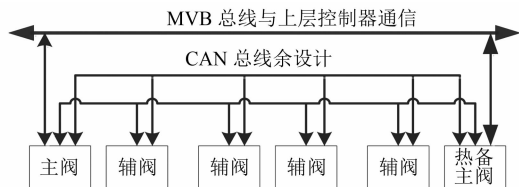
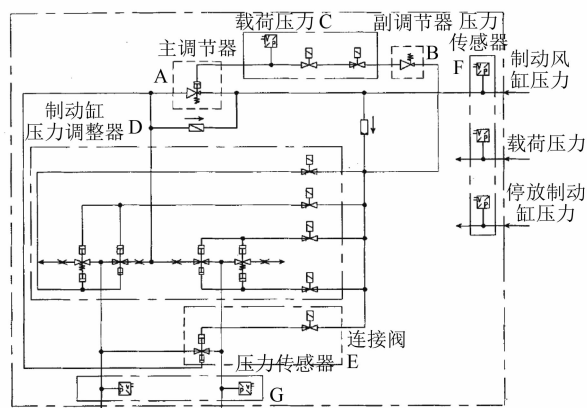


图1 架控制动控制系统制动单元组成示意图

## 2.1 气制动控制单元开发

气制动控制单元控制逻辑示意图如图2所示。气制动控制单元通过控制电磁阀实现制动的施加和缓解,在控制过程中主要进行载荷调整、电磁阀控制和传感器压力采集。气制动控制单元的开发按照MBSE(基于模型的系统工程)技术方法实现,即利用专业的计算软件进行建模仿真,以最终确定各部件的具体参数。然后根据已确定的参数进行部件选型。详细流程如图3所示。

利用AMESim软件中的基础元件搭建气制动控制单元的气路仿真模型(见图4),充分考虑采用气路板结构各气路通径以及管路走向;输入确定选型的各部件对应的参数;建立各部件的制动控制逻辑(如图5);进行闭环控制仿真模拟,如果输出响应达到设计要求则确定相应部件参数,否则进行相应调整直到输出响应满足设计要求。



通向本转向架基础制动装置中的制动缸

图2 气制动控制单元控制逻辑示意图



图3 气制动控制单元部件设计及选型流程图

常用制动工况下气路仿真的控制响应如图6所示。由图6可见,制动缸压力实际值的响应精度能够满足实际制动要求,因此仿真模型中的部件参数能够用于硬件部件的选型。

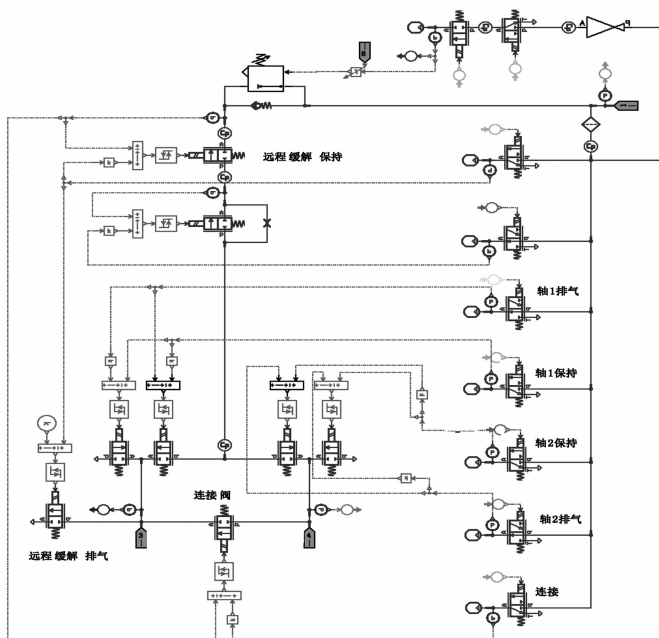


图4 基于AMESim软件的气制动控制单元气路仿真模型

根据仿真确定的气制动控制单元各部件的具体参数,结合货架产品进行零部件选型。完成部件选型之后,进行部件工程设计,确定部件安装位置

及接口形式,最后完成部件制造。定型的气制动控制单元成品如图7所示。

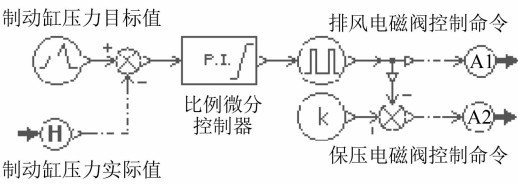


图 5 常用制动的制动控制逻辑原理图

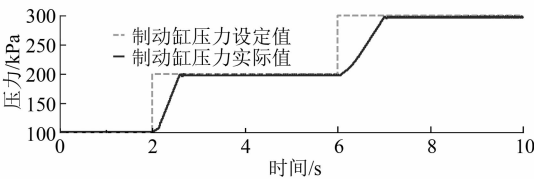


图 6 常用制动工况下的气路仿真控制响应

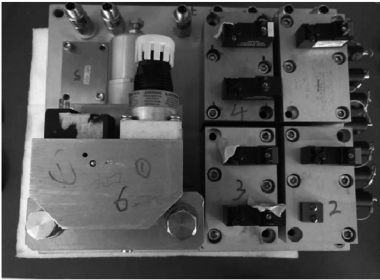


图 7 定型的气制动控制单元实物图

2.2 电子制动控制单元开发

电子制动控制单元即微机制动控制单元,通过微处理器运算实现制动指令的逻辑处理、制动施

加和缓解以及制动力大小的控制。

电子制动控制单元的开发采用基于 V 模式的 MBSE 技术方法。结合架控制动控制系统的特点,提出了如图 8 所示的电子制动控制单元开发流程。

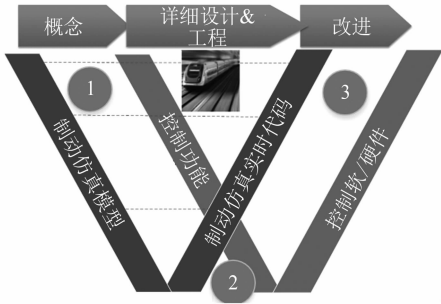


图 8 电子制动控制单元开发流程

电子制动控制单元的开发仍然遵循通用的概念阶段、详细设计及工程阶段和改进阶段的开发流程。

电子制动控制单元开发分为软件开发和硬件开发两部分,这两部分是相辅相成、互相促进的。

2.2.1 电子制动控制单元软件开发

电子制动控制单元软件开发遵循 AUTOSAR 架构<sup>[6]</sup>的软件开发形式。基于 AUTOSAR 架构,采用 ControlBuild 软件作为应用层开发环境,以 Vx-works 软件作为底层驱动开发环境和操作系统。在此开发架构下,对制动控制软件的制动控制逻辑进行开发,其开发示意图如图 9 所示。

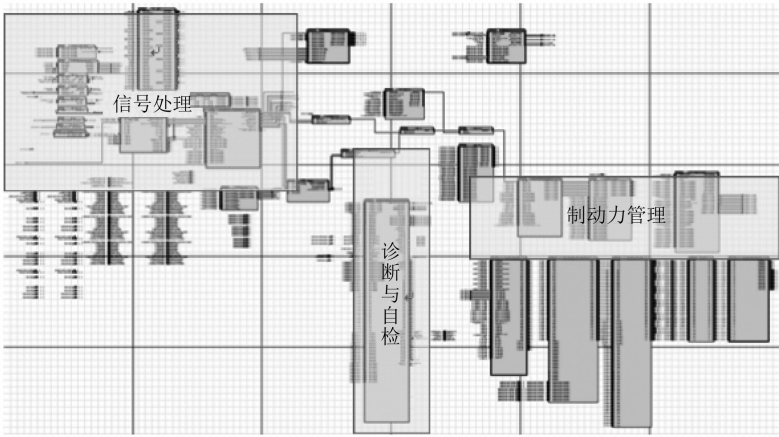


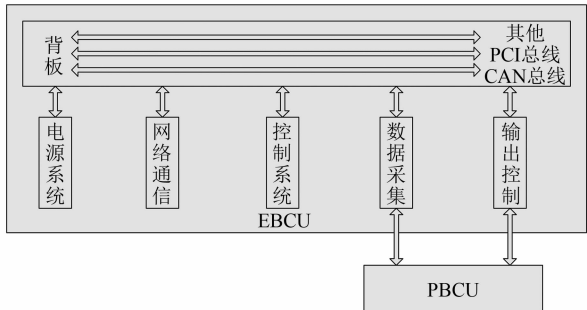
图 9 制动控制软件的制动控制逻辑开发示意图

2.2.2 电子制动控制单元硬件开发

电子制动控制单元为机电一体化电子机械装置,在结构设计上,将电子制动控制单元硬件和气制动控制单元集成在一个箱体,但分隔成两个独立单元,其结构示意图如图 10 所示,定型电子制动控制单元成品如图 11 所示。

3 架控制动控制系统测试

架控制动控制系统的测试贯穿于整个开发过程:在初始阶段进行模型在环(MIL)测试,软件生成后进行快速控制原型(RCP)测试,硬件完成后进行最后的硬件在环(HIL)测试。因此必须搭建满



注：PCI——外设组件互连标准

图 10 架控制动系统的制动控制单元整体结构示意图

足各阶段测试需求的仿真测试试验台。开发的用于仿真测试的控制逻辑半实物仿真平台(见图12)

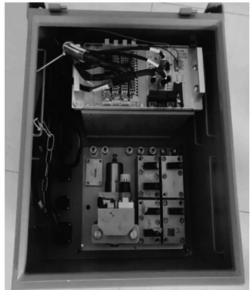


图 11 定型的电子制动控制单元实物图

包括上位机、下位机、综合配线、配电、1 组地铁控制器(6 台控制器)、制动控制器外围真件设备等,该仿真平台组成部分示意图如图 12 所示。

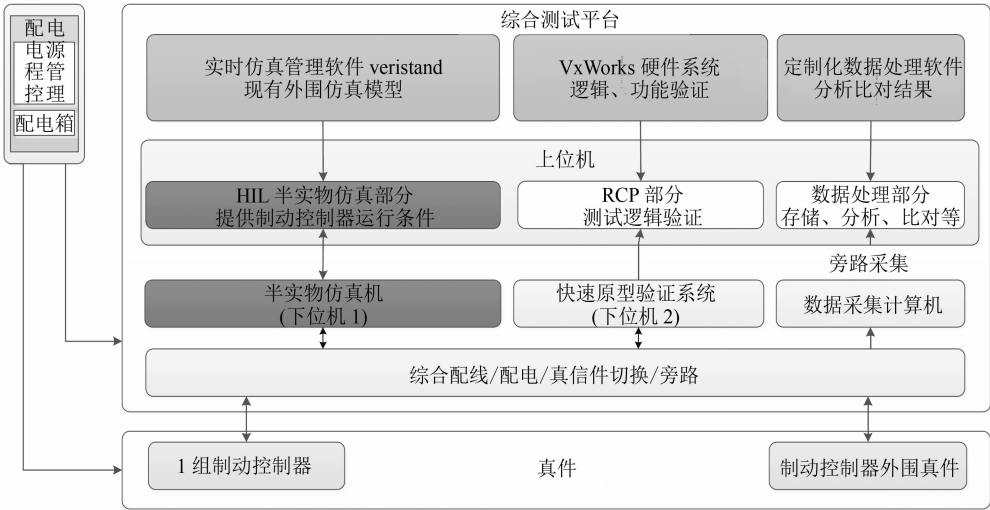


图 12 逻辑控制半实物仿真平台组成部分示意图

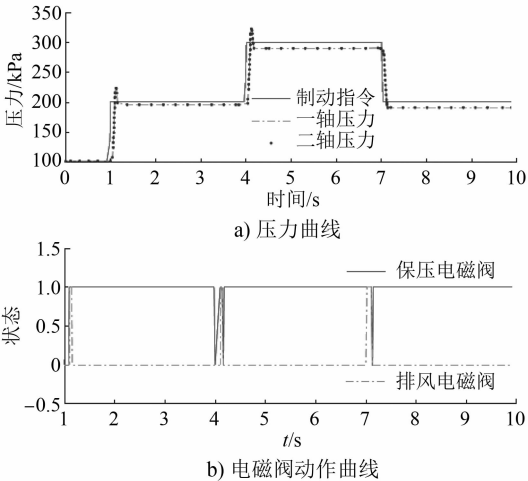
3.1 模型在环测试

在 ControlBuild 软件中完成控制逻辑开发之后,在 Windows 平台下通过该软件进行模型在环仿真测试。在仿真过程中,可直接监控运行模式、运行状态、制动力请求、制动力分配、充排风动作等所有状态。通过该阶段对初步制动控制逻辑进行校对。模型在环仿真测试结果如图 13 所示。

3.2 快速控制原型测试

快速控制原型测试流程如图 14 所示。将在 ControlBuild 软件中开发的控制逻辑下载至 RCP 控制器并运行;RCP 控制器连接至 PBCU 实物,但切除其原有控制系统的作用,而通过 RCP 实现控制。RCP 测试所使用的接口为硬件 I/O(RCP 控制器与 PBCU 实物间连接)。

RCP 测试内容为:用快速控制原型的方法测试软件代码的各项功能和性能。测试界面及测试结果



注：纵坐标中，0代表低电平，1代表高电平

图 13 模型在环仿真测试结果

截图如图 15 所示。

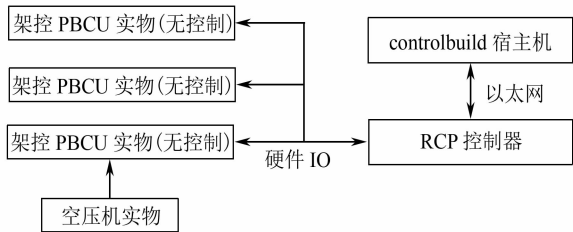


图 14 快速原型测试流程图

### 3.3 硬件在环测试

硬件在环测试流程如图 16 所示。将在 Control Build 软件中开发的控制逻辑下载至电子制动控制单元并运行;电子制动控制单元连接至硬件在环试验台,在硬件在环试验台中运行架制动系统气路仿真模型;通过电子制动控制单元对架制动系统气路仿真模型进行自动控制。硬件在环测试所使用接口为硬件 I/O(电子制动控制单元与硬件在环试验台间连接)。

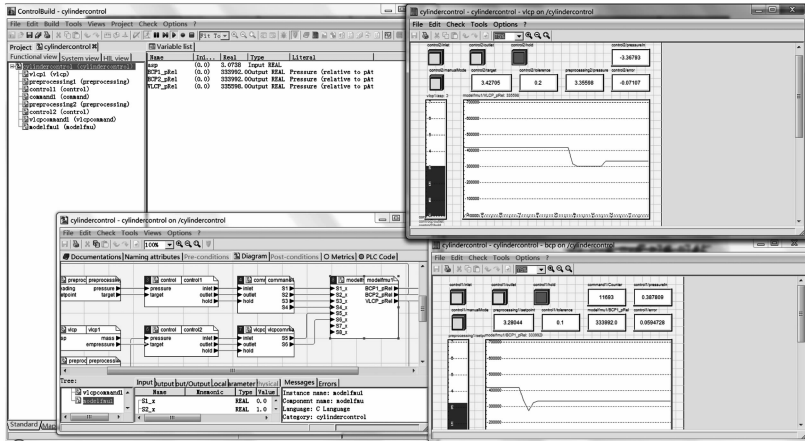


图 15 快速控制原型测试界面及测试结果截图

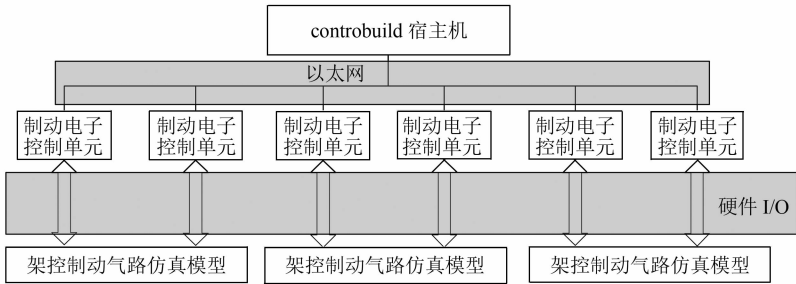


图 16 硬件在环测试流程图

硬件在环测试内容为:用硬件在环的方法测试软件代码的各项功能和性能。硬件在环测试结果截图如图 17 所示。

通过对架制动控制系统进行仿真测试,验证了制动控制逻辑的准确性,同时也验证了采用基于模型的系统工程技术的有效性。结合 V 模式开发流程能够极大地缩短制动控制单元的开发周期,避免了因为硬件和软件冲突造成的持续返工和资源浪费。仿真测试表明,现阶段的研究成果能够满足现车产品的使用需求。

## 4 结 语

基于模型的制动控制系统开发为开展制动控

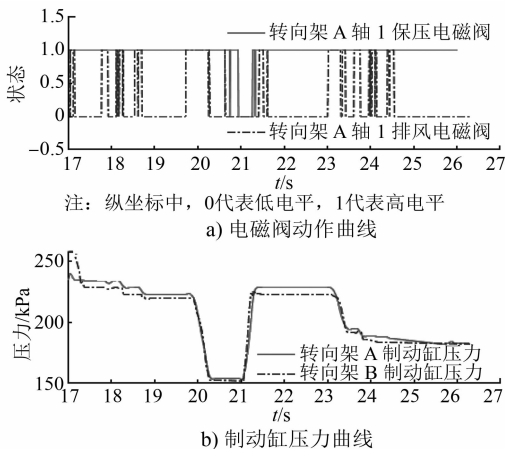
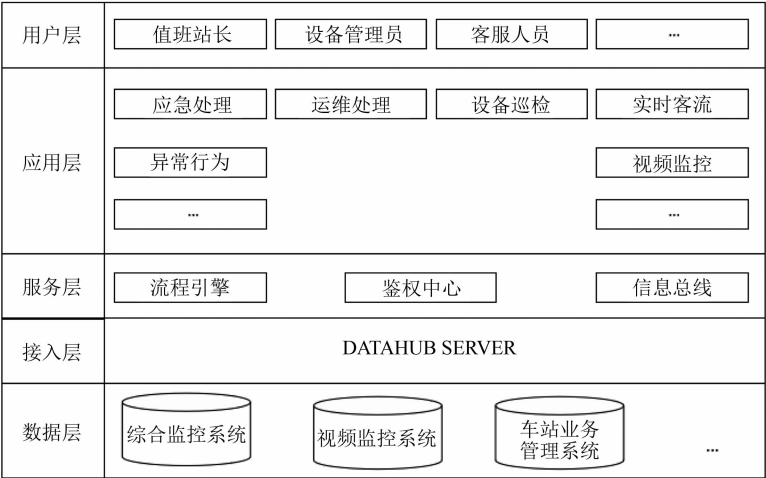


图 17 硬件在环测试结果截图



注：DATAHUB SERVER——数据接口服务器

图 7 智慧车站功能示意图

4 结语

为解决上海轨道交通 GIS、SVG 及 BIM 等应用系统的兼容性和规范化问题,本文提出了融合 BIM、GIS、SVG 和其他业务数据的数字地铁的信息资源集成模型。针对上海轨道交通不同业务场景,提出了数字地铁信息资源集成框架位置空间技术的规划建议,总结了成功运用于智慧地铁中的案例经验。

为更好地将数字地铁的信息资源集成应用到地铁智慧化建设的实践中,还需要进一步落实和深化的课题,包括数字地铁数据资源编码规则的编制

和数字地铁数据资源集成坐标规范的编制等。

参考文献

[ 1 ] 杨国伟.基于建筑信息模型(BIM)的轨道交通投资控制[J].城市轨道交通研究,2014(7): 4.

[ 2 ] 江男,陈能,施蓓琦,等.基于地理信息系统的轨道交通基础地理信息三维可视化[J].城市轨道交通研究,2007(9): 20.

[ 3 ] 杨斐.数字地铁基础信息平台的研究[D].北京:北京交通大学,2009.

[ 4 ] 赖华辉,邓雪原,陈鸿.基于 BIM 的城市轨道交通运维模型交付标准[J].都市快轨交通,2015(3): 78.

[ 5 ] 陈悦华,王一川,贾璐.基于 BIM 的地铁运维纯数字分类编码体系研究[J].施工技术,2018(3): 118.

( 收稿日期:2019-06-20 )

( 上接第 153 页 )

制策略管理提出了新的处理方式,因此可基于模型的系统工程、V 模式开发以及 AUTOSAR 架构等技术进行城市轨道交通车辆制动控制系统的开发。采用仿真等技术手段能够避免传统的先制造再测试方法的弊端,同时,借助于最新的技术手段,能够极大地降低了人力物力投入,更有利于产品的优化改进。

参考文献

[ 1 ] 刘腾飞.郑州地铁 1 号线车辆制动系统介绍及典型故障分析[J].铁道机车车辆,2017,37(2): 117.

[ 2 ] 夏德茂,奚鹰,李涛,等.广州地铁 3 号线基础制动装置及制动距离研究[J].城市轨道交通研究,2014(2): 101.

[ 3 ] 张萌.北京地铁 13 号线列车制动系统国产化应用性研究[J].铁道车辆,2015,53(7): 24.

[ 4 ] 吴颖,刘俊堂,郑党党.基于模型的系统工程技术探析[J].航空科学技术,2015,26(9): 69.

[ 5 ] 张新永,高珊,温从溪,等.轨道交通车辆架控制动系统建模及防滑控制研究[J].城市轨道交通研究,2017(7): 114.

[ 6 ] 李艳明,倪永亮,李申,乔凤普.基于 AUTOSAR 标准的车辆电气系统 CAN 通信协议栈研究[J].计算机测量与控制,2017,25(11): 239.

( 收稿日期:2019-02-10 )