

文章编号: 1000-128X(2017)05-0070-04

中国标准动车组网络系统 半实物仿真试验平台

李海龙, 刘晓磊, 苏晓波

(中车长春轨道客车股份有限公司, 吉林 长春 130062)

摘要: 介绍了中国标准动车组(长客)网络系统, 阐述了半实物仿真试验平台的应用特点以及利用平台虚拟仿真实现列车级功能测试的过程。平台的研制为列车网络系统应用软件在中国标准动车组上安全可靠的应用提供了技术保障。

关键词: 中国标准动车组; 网络系统; 半实物仿真; 地面测试平台; 应用软件

中图分类号: U292.91⁺4; TP393

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.05.103

Train Network System Semi-physical Simulation Test Platform for CEMUs

LI Hailong, LIU Xiaolei, SU Xiaobo

(CRRC Changchun Railway Vehicle Co., Ltd., Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: CEMUs (Changchun) train network system was introduced, which focused on application characteristics and simulation process of train level function was realized by using platform virtual simulation. The test platform provided technical support for network software safe and reliable application of CEMUs.

Keywords: CEMUs; network system; semi-physical simulation system; ground test system; application software

0 引言

安全可靠、经济舒适的中国标准动车组是我国高铁“走出去”的重要技术平台, 列车网络控制系统作为中国标准动车组的神经中枢系统, 能够完成列车的控制、监视、诊断与保护任务, 是动车组的核心系统和关键技术^[1-2]。列车网络控制系统半实物试验平台结合了计算机虚拟设备, 可实现列车运行控制、信息显示和故障诊断等仿真试验功能, 满足对网络系统的地面调试和功能测试需要。

1 标准动车组的网络系统

中国标准动车组(长客)采用8辆车编组, 分为2个牵引动力单元, 每个牵引动力单元由4节车辆(半列)

构成, 其中包含1节头车和3节中间车辆, 2列中国标准动车组可重联运行。网络系统按照牵引动力单元设置网段, 可采集与车辆运行状况有关的各种信息, 并对这些数据进行逻辑判断处理后, 发送到牵引、制动、辅助供电、空调、旅客信息和充电机等被控设备, 从而实现对被控对象的控制、监视和故障诊断。

列车网络控制系统的列车总线采用WTB(绞线式列车总线)和以太网列车总线。WTB总线用于列车不同牵引单元之间的数据传输, 以太网总线用于传输故障诊断、事件记录、显示信息、软件上载和故障数据下载等^[1,3]。车辆总线采用MVB(多功能车辆总线), 用于本牵引单元内部的数据传输。

网络系统硬件设备由不同数量的WTB网关、中央控制单元、显示器、中继器、输入输出模块、以太网网关和以太网交换机等组成, 整车网络系统拓扑结构如图1所示。

收稿日期: 2016-11-29; 修回日期: 2017-02-03

基金项目: 中国铁路总公司科研计划项目(2014J004-C)

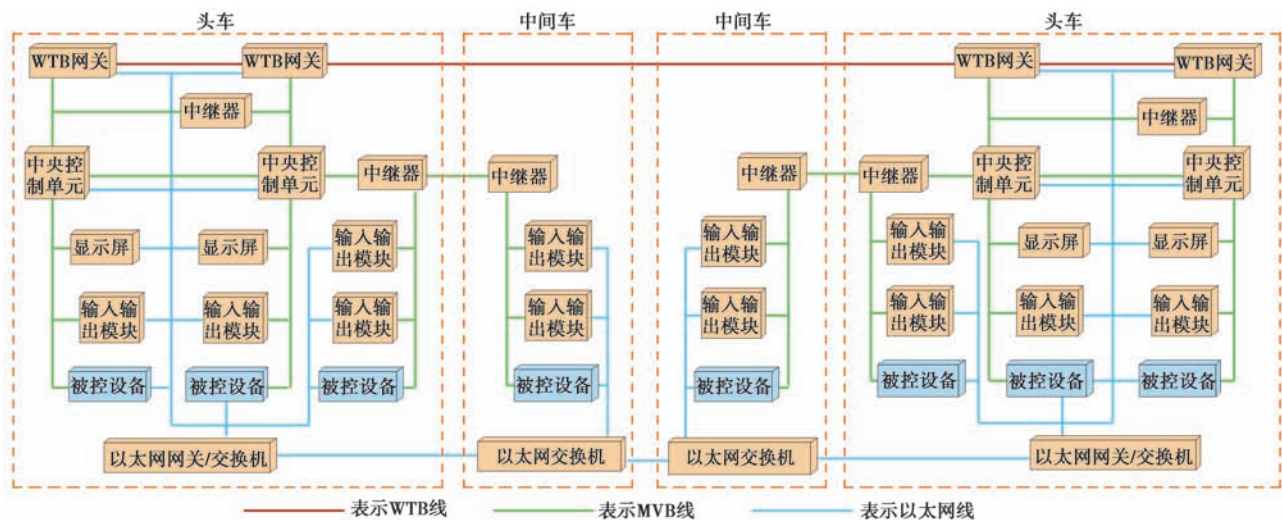


图 1 中国标准动车组（长客）网络系统拓扑结构

2 网络系统半实物仿真试验平台

搭建中国标准动车组（长客）地面半实物试验平台旨在利用虚拟仿真的方法测试真实列车应用软件（包括中央控制单元、WTB 网关、事件记录、显示屏）的功能。平台搭建原则为平台网络控制系统重要设备采用与车辆实际型号相同的硬件产品，而对于地面难以搭建的硬线原理以及其他子系统采用虚拟仿真的方式搭建。

2.1 系统结构

列车网络控制系统试验平台完全依照中国标准动车组网络系统技术要求进行开发，试验平台不对车厢进行区分，只对 2 个牵引动力单元所包含的设备进行配置。

该网络系统试验平台采用中车株洲电力机车研究所有限公司研制的网络控制系统硬件，包括 EGWM（包含 WTB 网关的中央控制单元）、HMI（人机接口）、ECNN（以太网网关）、ETBN（以太网交换机）、EVCMM（MVB/以太网网关）、ETTN（以太网陪试网关）、PC（台式机电脑）及相关连接器、线缆、断路器、继电器和端子排等辅助料件。试验平台网络拓扑如图 2 所示。

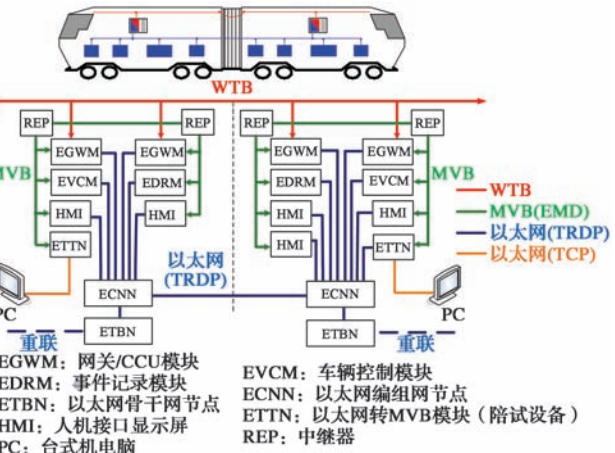


图 2 网络系统试验平台拓扑结构

具体模块功能如下：① EGWM 模块集成了中央控制单元 CCU 以及 WTB 网关的功能，用于实现 MVB

总线管理、故障诊断、列车控制、状态监视、列车重联、TCN 初运行、列车级总线管理和列车级数据传输等功能；② EDRM 负责接收故障和事件存储；③ EVCMM 负责将 MVB 数据整合后通过以太网发送给 EDRM；④ REP 模块作为中继器能够实现信号再生和整形的功能；⑤ ETTN 模块作为以太网 TCP 陪试网关，负责虚拟设备与网络系统通信连接；⑥ ECNN 模块用于实时以太网总线之间的连接，可以传输故障诊断、事件记录、显示等数据；⑦ ETBN 模块作为骨干网节点，主要用于重联功能；⑧ HMI 显示屏用于显示列车状态以及故障信息；⑨ PC 台式机用于安装虚拟设备。

网络试验平台系统结构如图 3 所示。



图 3 网络试验平台系统结构

2.2 总线构成

半实物仿真平台依据实车网络控制系统的拓扑架构搭建列车级总线和车辆级总线的总线结构。利用 MVB 转以太网技术实现硬件设备与虚拟设备的数据传输，以及传输故障数据用于记录。

列车级总线 WTB：WTB 总线物理上采用 2 根冗余的双绞线，WTB 总线的传输速率为 1 Mbit/s^[4]，2 个牵引机柜之间通过 WTB 总线实现 EGWM 模块连接，通过 EGWM 模块的网关功能与本单元 MVB 总线相连进行数据交换。

车辆级总线 MVB：MVB 总线的传输介质为 EMD，物理层上采用 2 对冗余的双绞线总线结构，MVB 总线的传输速率为 1.5 Mbit/s^[4]，通过总线连接器

和输入输出模块实现各子系统与 EGWM 模块之间的数据通信。

以太网总线：其传输速率为 100 Mbit/s^[1]。用于虚拟设备连接的以太网总线采用 TCP/IP 协议，每个牵引单元设有 MVB/ 以太网陪试网关设备 ETTN；用于传输故障数据以及软件上载的以太网总线采用 TRDP（实时以太网协议），每个牵引单元设有以太网交换机 ECNN 和 ETBN 设备，所有设备通过以太网总线与交换机连接。

2.3 系统冗余

该试验平台在关键节点和重要网络设备上与实车列车网络控制系统的冗余方案保持一致，从而可以通过试验在地面平台验证实车如下的冗余功能。

① EGWM 冗余：每个牵引机柜设有 2 台互为冗余的 EGWM 模块。在系统工作时，一台为主中央控制单元和主 TCN（列车通信网）网关，另一台为从中央控制单元和从 TCN 网关。若主 EGWM 模块故障，从 EGWM 模块接替其工作，切换完成后，对系统运行无影响。

② 中继器冗余：1 个中继器模块中包含 2 个冗余的中继器单元，当一个模块故障时，另一个模块仍然可对 MVB 总线信号进行中继传输。

③ HMI 冗余：每个牵引单元有 2 个 HMI，正常时 1 个为主显示器，1 个为备用显示器。主显示器故障时，可将备用显示器切换为主显示器使用。另外在牵引控制柜 2 上设有机师室显示屏，用于测试机械师屏特有功能。

④ WTB 冗余：列车总线物理层上采用 2 根双绞线（A 线和 B 线）连接的冗余结构，一条线定义为信任线，另一条线定义为监视线。如果信任线出现故障，TCN 网关将切换另一条线为信任线，对 WTB 通信没有影响。

⑤ MVB 冗余：车辆总线采用 MVB-EMD 电缆，具有冗余结构，有线路 A、线路 B 2 路通道。如果冗余通道中的 1 条发生故障，网络通信能正常进行，不影响车辆的正常运营。

3 网络系统试验平台功能

研究基于构建的半实物仿真硬件平台，开发完成了 EGWM 程序、HMI 程序、EDRM 事件记录程序、

MVB/ 以太网网关程序；基于中国标准动车组列车真实部件，开发完成了模拟真车功能的虚拟设备，并最终采用虚拟仿真的方法解决了以往网络控制系统软件测试过程中无法实现闭环控制的难题。功能测试主要包括列车网络系统控制、监视以及诊断功能。

3.1 网络系统相关控制功能

中国标准动车组实车通过动车组司机控制台和人机接口显示屏发布信息，通过网络系统、列车电气系统以及其他子系统的相互配合最终完成列车控制功能。

半实物试验平台使用虚拟设备模拟真实动车组司机控制台、电气系统及其子系统实现控制功能的仿真输入，进而验证控制功能是否能够正确输出。以 ControlBuild 为平台开发的仿真程序体现了虚拟设备强大的分析处理能力以及操作界面可视化的优势，电气系统的仿真程序实现了各子系统与网络系统 MVB 接口的数据交互，司机台仿真程序可方便地模拟各种操作，如图 4 所示，HMI 监视界面如图 5 所示。整个仿真程序遵循中国标准动车组实际的电气控制逻辑。

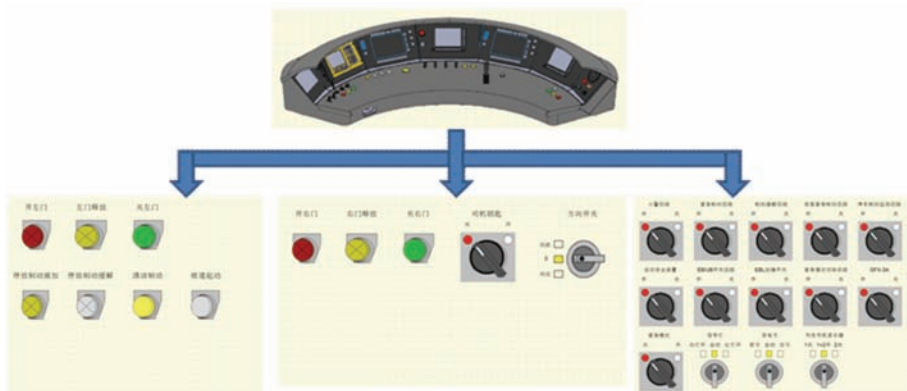


图 4 半实物试验平台虚拟设备界面

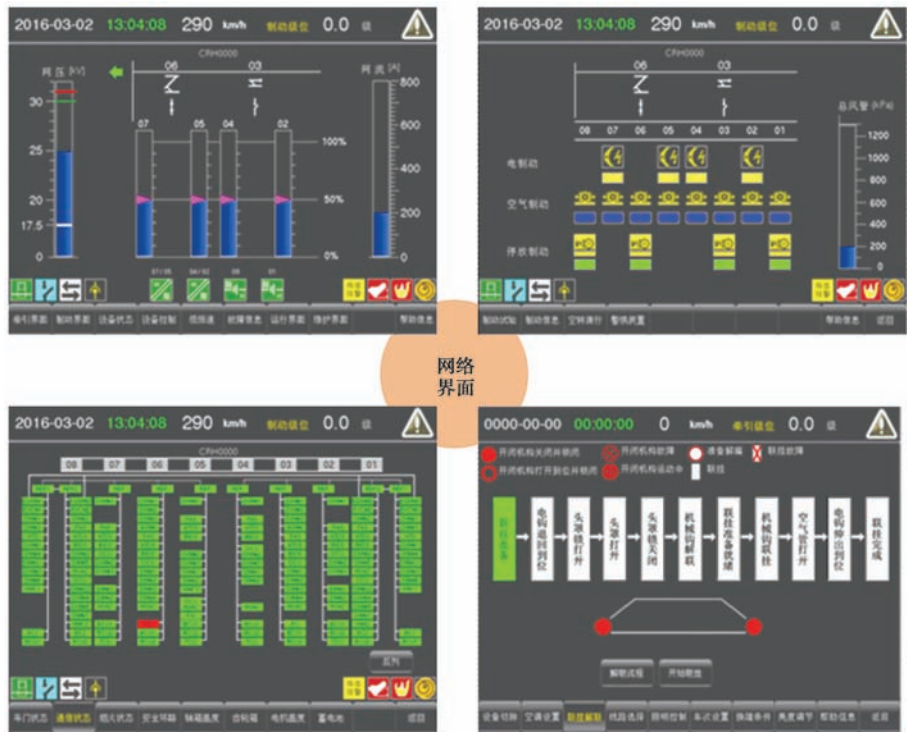


图 5 半实物仿真平台 HMI 监视界面

3.2 网络系统监视功能

网络系统通过人机接口实现对列车的基本运行数据、状态信息和故障诊断信息进行监视^[6]。半实物试验平台通过模拟车辆真实运行工况验证网络系统所有监视功能是否正常,对每一个显示界面进行功能测试。人机接口单元为基于 GUI 系统的显示屏,在 Windows 平台上搭建 FLTK 平台开发环境实现对显示屏的软件编程。如图 5 所示。

3.3 网络系统诊断及记录功能

网络系统基于 EGWM 的诊断逻辑实现故障的诊

断,通过显示屏实现对故障诊断信息的监视,通过事件记录仪完成对故障以及事件的记录和分析功能^[7]。其中 EGWM 程序基于 MULTIPROG 开发平台,使用 FBD 图形语言和 ST 文本 2 种语言编程^[3]。EDRM 事件记录仪包括事件记录和故障记录。其中故障在触发和消除时进行记录;事件进行周期记录,根据本身的重要程度将事件分为快速事件和慢速事件 2 种,其中慢速事件按照 1 000 ms 周期进行记录,快速事件按照 100 ms 的周期进行记录。半实物试验平台故障记录如图 6 所示,数据分析如图 7 所示。



图 6 半实物试验平台故障记录

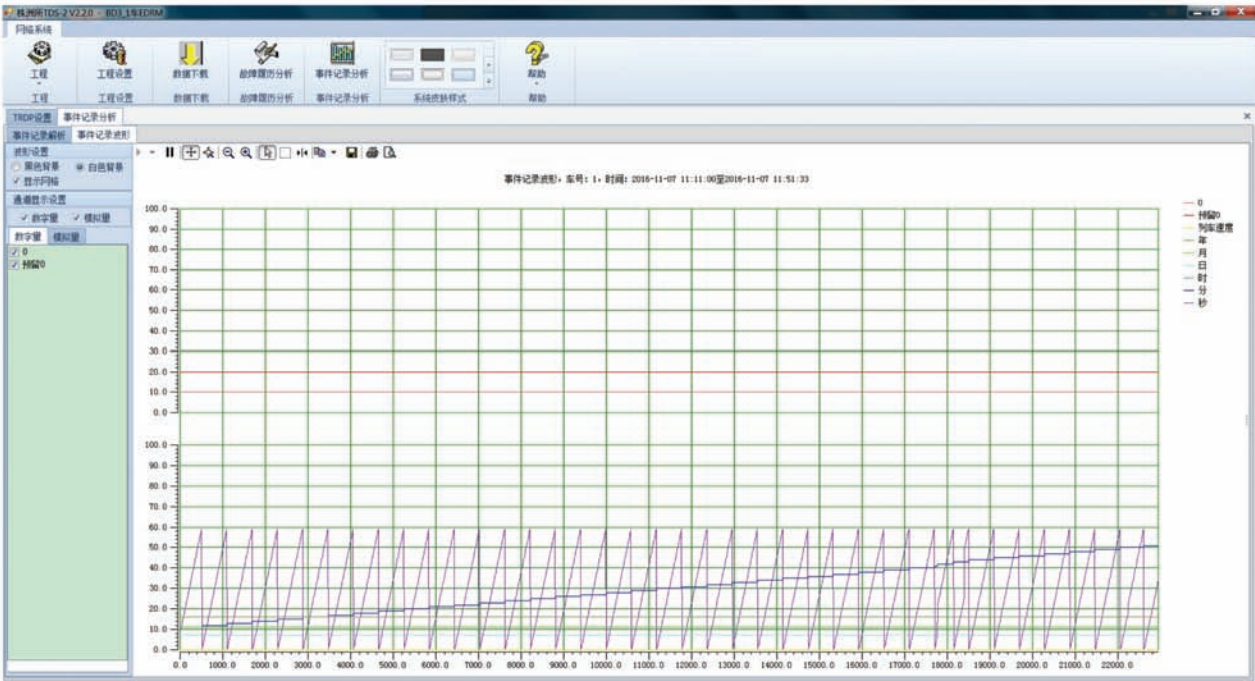


图 7 半实物试验平台事件分析

(下转第 78 页)