



Research
Rail Transit—Article

高速动车组列车控制与监视系统设计及全寿命周期管理技术研究

赵红卫^{a,*}, 黄志平^b, 梅樱^b

^a China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China

^b Beijing Zongheng Electro-Mechanical Technology Development Co., Beijing 100094, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 October 2004

Received in revised form 5 November 2004

Accepted 1 December 2005

Available online 14 February 2005

关键词

动车组 (EMU)

列车控制与监视系统 (TCMS)

列车控制网络

全寿命周期成本

开发平台

测试台

仿真

远程数据传输

摘要

本文介绍了高速动车组的生命周期——设计、制造、测试、运营和维护阶段，以及各种平台，包括列车控制与监视系统 (TCMS) 开发平台、测试和验证平台、动车组 (EMU) 驾驶仿真平台及远程数据传输和维护平台。所有平台构成了 EMU 全寿命周期系统并绑定在一起。每个平台都有利于 EMU 全寿命周期管理且成为 EMU 全寿命周期管理的重要组成部分。

© 2017 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of the Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

高速动车组是当今世界陆地上复杂的大型交通系统之一。它由几十个系统或子系统、几百种设备、几千种零部件组成。它的系统和子系统不仅包括牵引动力和制动系统，也包括门控系统、空调系统、照明控制等。动车组综合了电子、电气、计算机、自动化、机械和动力学等多种技术。当一种新型动车组投入使用时，除了它的设计、调试和测试工作，所有方面如司机培训、操作

管理、维修周期及维修工具等都需要考虑。

经过多年的研究、开发和应用，中国铁道科学研究院基于数字和仿真技术逐渐建立了一套动车组全寿命周期管理系统。动车组全寿命周期管理系统涉及动车组设计、制造、测试、运营到维护的几乎全寿命周期。本文尝试从动车组列车控制与监视系统 (TCMS) 的不同阶段 (包括设计、开发、测试、验证和维护) 的视角来介绍动车组 (EMU) 全寿命周期管理系统，也包含相关的技术、工具和平台。

* Corresponding author.

E-mail address: zhaohongwei@rails.cn

TCMS软件开发平台用于新型动车组的初始阶段。TCMS是动车组的大脑，它控制监视所有子系统和车载设备。从设计早期阶段，不仅要考虑动车组系统和子系统接口、每个子系统之间的控制逻辑，而且也要考虑诊断功能和维修事项，如监视所有子系统的设备状态，定义TCMS和子系统所有必要的故障代码。关注EMU及其子系统的可靠性、可用性、可维护性和安全性(RAMS)需求，目标是从开始阶段就建立一个灵活的、便捷的且容易使用的车载控制和监视系统。

TCMS测试和验证平台用于动车组全寿命周期管理的重要阶段。为了实现新型动车组制造，来自不同供应商的系统将集成在一起。必须测试和验证子系统接口和控制功能是否满足先前TCMS集成商和子系统供应商达成的协议。测试平台将可以完成该集成测试任务，包括接口测试、TCMS控制逻辑功能测试和诊断功能测试。使用TCMS测试平台还有利于EMU全寿命周期管理，因为它可以缩短动车组的设计和测试时间。

动车组驾驶仿真平台，基于TCMS开发和测试平台而建立，它综合了三维虚拟视频技术和动车组系统功能仿真模型。司机控制台、操作手柄、仪表、供电臂和线路环境通过三维建模技术建立。环境条件和线路数据都输入三维动车组机械模型和动车组功能仿真模型中。动车组功能仿真模型数据输出至三维机械模型用于显示输出，如动车组的速度响应。动车组驾驶仿真平台可用于司机和维护人员培训。

动车组远程数据传输和维护平台用于动车库维护人员或工厂人员通过网页监视动车组运行状态及根据动车组运营和故障状态分配维修任务。动车组上安装了远程无线传输装置，能够监视车载系统和设备的工作状态并且远程下载故障信息。维护人员利用这些信息分配维修任务并在动车组未返回动车库前准备必要的维修工具、材料和更换部件。

动车组开发平台、测试平台、驾驶仿真平台及远程数据传输和维护平台组成了动车组全寿命周期管理系统的主体结构。通过该工程师可以从早期设计阶段到运营维护阶段关注动车组生命周期成本。该系统也有助于司机和维护人员培训。在运营阶段，它有利于动车段的维修工作。另外，将动车段应用信息反馈和维护经验输入到远程数据传输和维护平台也有利于持续对动车组的优化，如有利于提高和优化车载TCMS控制和诊断功能以及子系统的功能和性能。

2. 动车组开发、测试和验证平台

动车组开发、测试和验证平台是TCMS软件设计验证、硬件和软件集成测试的统一平台。该平台开发包括可视化软件开发、嵌入式应用和实时操作系统集成、网络控制单元接口驱动包的开发、设计和验证软件同步开发和协同测试。

2.1. TCMS 软件开发平台

TCMS是一个车载系统，目的是控制和监视列车上的几乎所有设备和功能的运行。TCMS应用应包括可裁剪的硬件模型和软件功能块，它应符合车辆建造者的需求。基于控制和监视的结构，TCMS集中了与所有被称为列车智能设备的操作状态相关的信息。

TCMS软件开发平台应有以下特征：

- (1) 提供中央处理器(CPU)和输入输出(IO)的硬件驱动；
- (2) 提供功能块库文件；
- (3) 提供诊断块功能和数据库功能；
- (4) 自动编译、链接和生成可执行代码；
- (5) 提供在线监视工具用于调试和分析。

TCMS软件开发平台结构如图1所示。

TCMS软件开发平台开发基于ControlBuild，它是一种系统工程软件工具，可以支持IEC 61131-3 (SFC, LD, FBD & ST)电子图图形化编程语言。但是为实现TCMS应用软件开发，它还不够，必须实现以上提出的五个平台的功能需求。

目标机硬件驱动包括两部分，一是输入输出卡驱动，每种类型的输入输出又根据信号类型分成数字和模拟量；另一种是通信接口卡驱动。大多数动车组采用列车通信网络(TCN)技术，它是由多功能车辆(MVB)总线实现车辆间的连接和通信，绞线式列车(WTB)总线实现列车范围的连接和信息交换。通信接口驱动使得可以从MVB和WTB总线上发送和接收过程数据和消息报文。

功能块库用于建立所有基本功能块和库，包括算法库、控制库、逻辑库和TCN通信库等。我们知道动车组逻辑控制非常复杂，例如，受电弓升弓控制逻辑将包括以下这些条件：司机钥匙插入、主断断开、列车高压未接地、压缩空气压力在限值以上、不存在降弓条件、升弓控制开关在升弓位等，这种情况下可以在应用软件中使用AND逻辑，当所有上述条件均满足时，升弓控制指令信号输出。因此为了完成动车组应

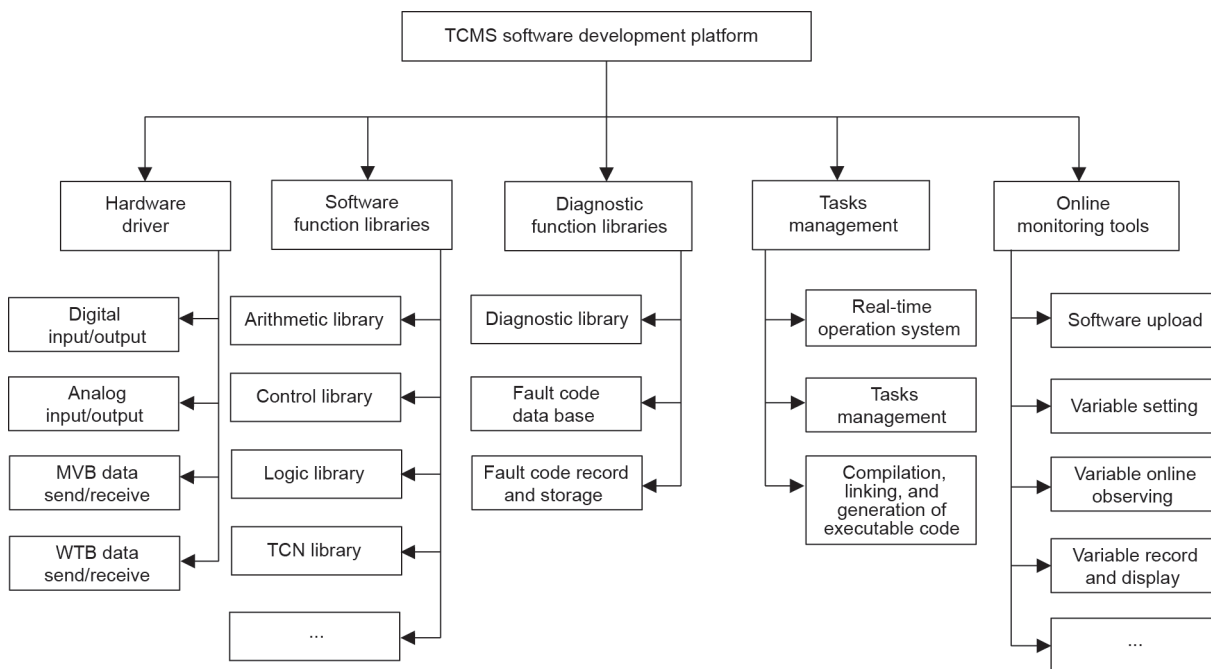


图1. TCMS软件开发平台结构。

用软件，许多算法、控制、逻辑、通信和数据转换模型或功能块需要开发。

诊断块和数据存储功能部分实现诊断功能，采集用于记录的数据、管理和处理故障代码、记录和存储故障代码以及故障发生时间和相关的操作数据。

自动编译、链接和生成可执行文件功能是在实时操作系统和任务调度机制的基础上，集成了硬件驱动、图形化编程应用软件，生成可下载和在目标系统执行的可执行文件。

在线监视工具用于与目标系统交换数据且在客户终端上监视目标系统。它能够上载应用软件、下载故障信息，且在动车组调试和试验阶段用于监视运行数据。

TCMS设计和开发平台如图2所示。

在开发TCMS设计平台时，最困难的问题是每个FBD功能块是一个通用功能块，它可能在系统运行时处于不同的运行模式，如初始化、启动配置、参数设置和正常运行阶段。但是项目是一个顺序执行的功能体，如果简单地把FBD分成若干个段然后编译和链接，程序就会非常庞大，也会占用CPU的资源，降低系统运行效率。为了解决该问题，宏定义的方法被使用。当FBD被编译时不同的段被分配到不同的宏，只有用到的宏才被编译和链接到动态库。所有库在用到时才被系统控制调度算法动态载入和运行。宏定义方法的使用不仅解决了FBD和项目运行的冲突问题，而且也解决了CPU占用资源高的问题。

2.2. TCMS 测试和验证平台

有两种类型的TCMS测试平台，一种称为硬件系统测试平台；另一种称为软件功能仿真测试平台。硬件系统测试平台侧重于系统硬件集成、通信和输入输出信号测试。通常它集成所有的TCMS硬件，如CCU中央控制单元、HMI人机接口显示屏、GW网关、输入输出模块、MVB中继器、一些子系统控制单元等。通常测试软件不是实际装车的应用软件，但是所有底层的软件(如固件、操作系统)与实际装车系统相同，因此硬件测试平台可以测试硬件的所有方面以及网络部件间的通信。软件功能仿真测试平台只有少量的TCMS硬件，如CCU和HMI，但是这两个主要TCMS集成设备可以装载与列车上相同的应用软件。软件测试平台需要建立所有其他的TCMS设备的仿真模型、它们所控制的设备及其通信、功能和行为。因此软件测试平台可以测试列车上TCMS应用软件的控制逻辑、诊断功能，但是它不能测试其他的硬件。

基于对以上两种测试平台优缺点的评估，我们提出TCMS半实物仿真测试平台开发方案。它集成了两种测试平台的优点，可以同时测试硬件和软件，也能够测试TCMS与子系统的接口、通信和功能，如牵引、制动、门、空调等。它就像把一列真正的动车组移到了实验室。

TCMS半实物测试平台由四个机械部分组成，包括司机控制台、车辆控制柜、信号处理柜和仿真控制中心。司机控制台是测试平台重要的部分，因为动车组上

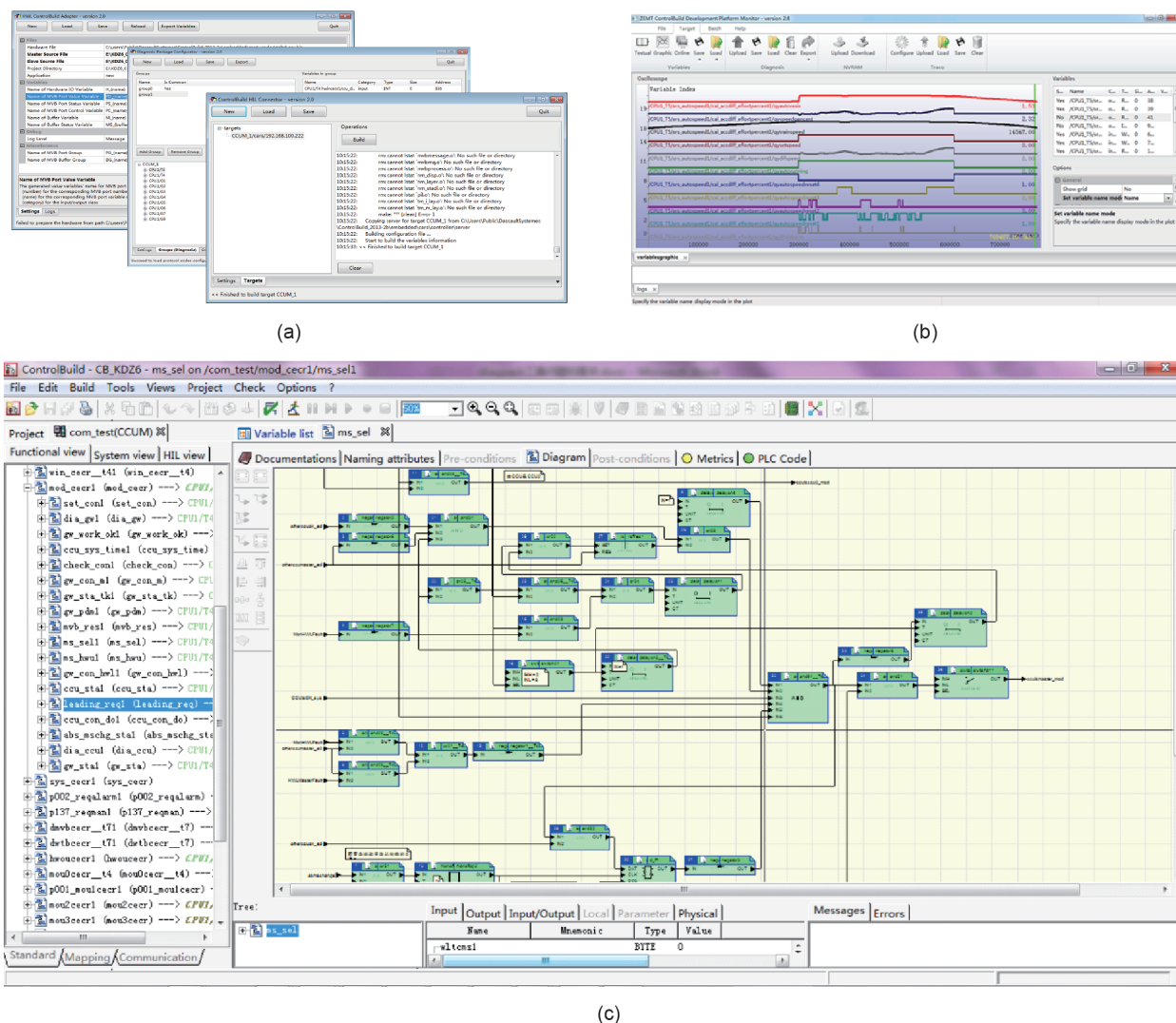


图2. TCMS设计和开发平台。

的司机室是一个重要区域，以获得司机输入的指令并显示设备状态、输出故障信息。TCMS的重要设备(如CCU和HMI)也位于该区域。因此为了把动车组移到实验室，全面测试动车组，司机控制台被建立。命令输入设备包括牵引/制动控制手柄、方向开关、升/降弓控制杆、分合主断控制杆、门释放和门关闭按钮等。输出设备包括指示灯、电压表、风压表、司机显示屏等。

动车组上车辆控制柜也很重要，因为所有重要的电子信号将在这里集成并分布到其他子系统控制柜。TCMS分布式系统也被置于车辆电气柜中，如输入输出MVB模块。在车辆电气柜中还有低压直流控制线路，如所有控制设备的DC供电开关或低压控制环路等。

信号处理柜不是动车组上的实际设备，它是用于车辆电气柜的中间仿真信号。如果在车辆电气柜中有输入模块，在信号处理柜中必然有输出设备，它可以从仿真控制中心获取控制指令并向车辆电气柜输入模块输出信

号。同样，如果车辆电气柜有输出模块，在信号处理柜中必然有输入设备收集电气柜输出信号并发送到仿真控制中心。

仿真控制中心是测试台的中心。它由几个计算机组成，有MVB和以太网接口。MVB接口用于连接MVB总线设备并连接其他的动车组MVB设备。以太网接口用于连接不同的仿真计算机且连接信号处理柜中的仿真设备，子系统仿真软件和电气信号仿真软件都运行在仿真计算机上。

根据供应商的不同，TCMS设备可以分成两部分，一部分是由网络系统集成商提供的设备，如以上提到的CCU、HMI、GW、输入输出模块、中断器等；另一部分是由子系统供应商提供的，如牵引系统。但是所有设备都连接到MVB车辆总线上且它们协调地工作。在测试平台上，第一部分是真实的设备，子系统部分是虚拟仿真模型。子系统仿真模型包括控制单元功能行为及

其控制对象设备或执行器功能行为。子系统仿真模型根据测试需要而建立。如果仅测试TCMS与子系统的接口,使用简单的控制模型就可以。如果子系统控制单元也需要测试,除去该控制单元,所有由该控制单元控制的外围环境也需要仿真。因此建立了每个子系统的不同层次的仿真模型。例如,牵引系统非常重要,与TCMS功能有许多联系,因此一个复杂的硬件在环(hardware-in-loop, HIL)的牵引系统仿真模型被建立。与牵引系统相比,制动系统较独立,它与TCMS有较少的信号联系,使用一个简单的控制模型就可以。

由于半实物仿真测试平台加载的软件与实际列车相同,它不仅可以仿真动车组正常的运行工况,如操作控制杆和牵引/制动控制手柄,测试TCMS和子系统的触发、响应和反馈,也可以仿真动车组在异常情况下的运行行为,如输入牵引系统的故障触发条件,TCMS和子系统的响应和反馈就可以被测试和验证。

由于TCMS半实物仿真平台的应用,大约85%的软件逻辑和诊断功能可以被测试到,也可发现软件漏洞。一些高风险的测试可以在测试平台上完成。与在实际动

车组上测试相比较,可以减少集成的花费和测试时间,更重要的是降低风险。因此TCMS半实物测试平台有利于动车组全寿命周期成本管理,它也是动车组全寿命周期管理系统的一部分。

TCMS半实物仿真平台结构如图3所示,半实物仿真平台如图4所示。

3. EMU 驾驶仿真平台和维护

3.1. EMU 驾驶仿真平台

EMU驾驶仿真平台可以培训操作者熟悉操作规程及掌握操作规范和例行操作;帮助操作者知道信号和TCMS或子系统故障代码;甚至可以培训他们在动车组紧急情况下的操作,即如何检查操作状态并且采取应急措施,如何根据需要列车移至安全地带。

不同于其他驾驶仿真平台,该平台共享以上提到的TCMS开发测试和验证平台的仿真数据,它与真实列车一样具有相同的控制逻辑、相同的诊断功能和相同的HMI显示。在动车组电子仿真模型的基础上,三维操作

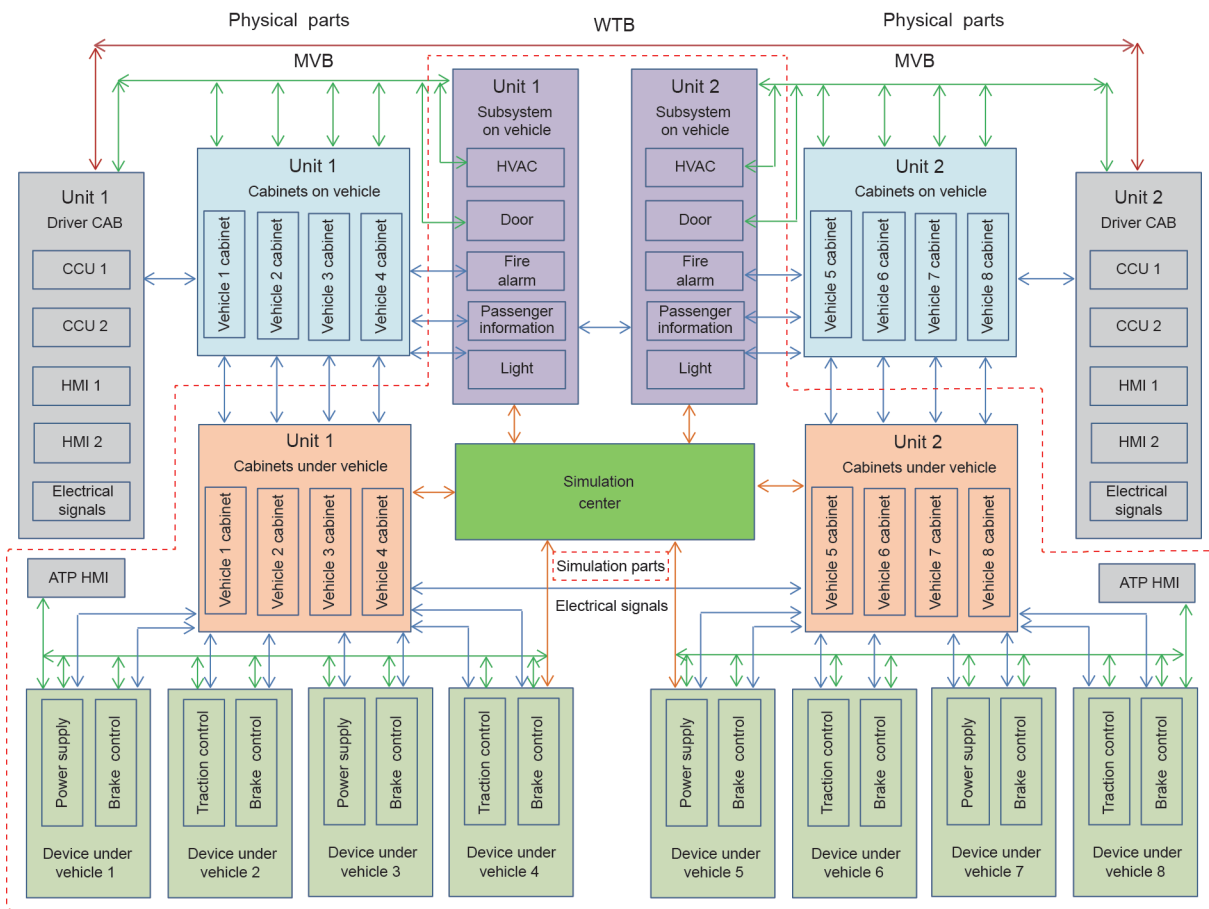


图3. TCMS半实物仿真平台结构。



图4. 半实物仿真平台。(a) 司机台；(b) 仿真控制中心；(c) 车辆控制电气柜和信号处理电气柜；(d) 硬件在环测试。

环境(包括动车组机械模型和线路模型)被建立, 采用该方法, 不仅可以减少平台的开发费用, 而且可以保证高质量的培训效果。

动车组驾驶仿真平台由四部分组成, 包括动车组司机操作平台仿真、动车组操作性能仿真、动车组正常运行模型和环境仿真以及动车组故障操作模式仿真。

动车组司机操作平台仿真包括司机操作的各类部件, 如牵引制动控制手柄、受电弓控制杆、方向控制开关、其他按钮或指示灯、司机显示屏。命令输入或指令输出设备使用三维模型技术, 模型与电子数字仿真部分有数据连接。当模型由司机操作时, 输入数据会通知电子模型, 电子部件的响应会发送反馈给机械部分用于显示。

动车组操作性能仿真部分与TCMS有关系。正如所知, TCMS负责控制和监视动车组牵引、制动、高压、辅助供电以及空调、门、照明和其他子系统, 因此操作性能仿真部分共享TCMS设计和测试平台的数据。为每个连接到TCMS的子系统建立动态和静态的控制和测试模型。

动车组正常运行模型和环境仿真部分, 根据动车组的操作规程, 提供的仿真环境与司机实际操作时相同, 如上坡、下坡、曲线、道岔、分相区。也可输出轨道周围的环境, 如树木、房屋、隧道等, 可以提供司机的第一视角, 仿真司机可以观察到的动车组操作场景及动车组运行方向的窗外环境; 可以提供第三视角, 从车外观察整个动车组的外形及其运行轨迹, 运行场景的变换与动车组操作性能仿真系统相配合, 实时获取牵引力、制动力及速度等相关数据, 并且产生相应的视觉仿真

效果。

根据动车组故障数据库, 分类实现对动车组故障的模拟。建立故障模拟仿真样例, 当对仿真模型注入故障时, 可以使列车网络控制系统输出故障—安全的故障提示信息, 司机可以通过显示屏确认故障, 并根据故障措施提示信息进行故障问题查找, 如果找到故障源头, 司机可以排除该故障, 此时可以取消故障注入条件, 司机可以继续操作动车组行驶; 当故障难以排除或找不到故障源头时, 可以通知司机采取切除部分设备或降级运行模式使动车组运行至前方站点。

TCMS驾驶仿真平台结构如图5所示, TCMS驾驶仿真平台如图6所示。

3.2. EMU 远程数据传输和维护平台

由于速度高, 动车组技术变得越来越复杂, 当新型动车组投入运行时, 运用经验缺乏、维修困难、适应磨合周期长等问题接连到来。动车组远程数据传输和维护平台的建立正是为了克服这些困难且试图满足下列需求: 实时监视和追溯动车组操作和运行状态, 提供远程技术支持用于紧急故障处理指导, 根据远程下载的故障信息管理动车组维修, 基于数据积累预测可能发生的故障。

系统采用车载网络技术、微处理器技术、GPRS无线传输技术、WLAN无线局域网技术以及地面联网技术、数据库技术, 由车载无线传输装置与地面数据处理系统两个部分组成。车载无线传输装置是车载和地面通信的桥梁, 具有主计算机且有MVB接口与车辆系统相连, 有GPRS和WLAN无线局域网接口与地面系统连接;

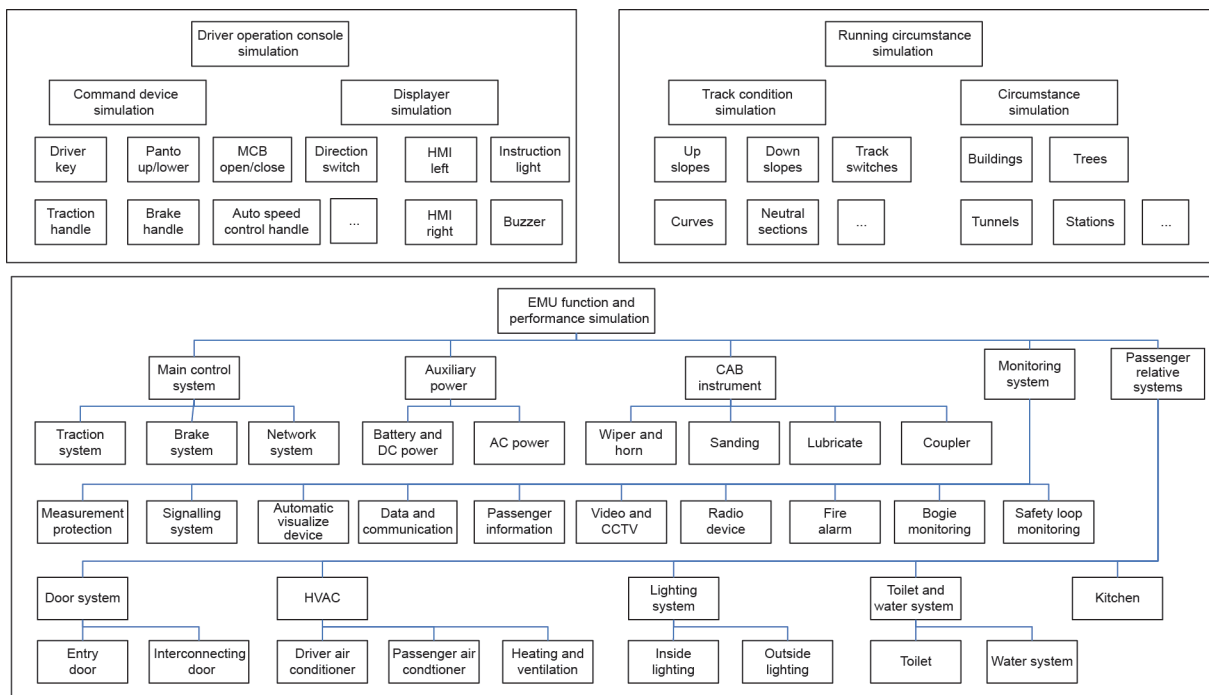


图5. TCMS驾驶仿真平台结构。

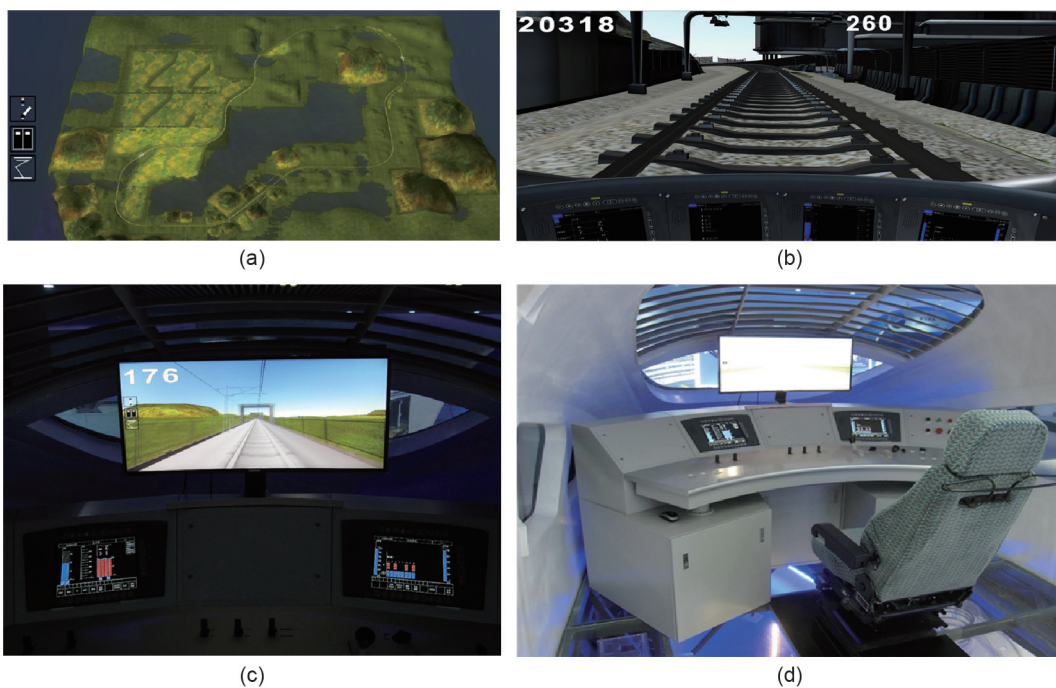


图6. TCMS驾驶仿真平台。

地面数据处理系统以客户端/服务器的数据浏览模式，提供了高速动车组运行状态查询、故障检修指导、在线列车位置跟踪和故障统计汇总分析等功能。

无线远程传输装置(WTD)安装于动车组，系统通过MVB网络获取有关信息，包括受电弓升/降、主断路器闭合/断开、牵引力、紧急或最大常用制动施加或缓解

状态，也提供轴箱或齿轮轴轴承温度信息，还包括GPS位置信息。通过以太网或其他串行通信获取故障信息，当故障发生或恢复时传送数据。

数据发送和接收是车载和地面系统的重要链接，许多优化发送的方法(如延时发送和重发机制)在车载设备上采用。特殊的数据处理方法(如数据重组和数据检查

机制)用于地面系统。基于以上有效的方法,实时、稳定、连续和高质量的数据被接收、记录、存储和导入数据库。由于数据应用和管理,运行数据查询、故障代码查询、历史数据存储和检索变得越来越容易。

基于地面故障代码数据库,故障代码和操作数据同时集成,这使得故障原因分析和故障部件定位变得越来越容易。依靠历史数据、故障数据和维修数据的长期积累,更多的研究工作可以开展和继续,如统计历史数据找到最易发生的故障及故障发生与气候的关系,并且探索为了防止故障发生应采取何种维修工作等。

采用B/S(Browser/Server)结构为用户提供远程故障诊断数据复示功能。在这种结构下,用户工作界面是通过WWW浏览器来实现,极少部分事务逻辑在前端(Browser)实现,但是主要事务逻辑在服务器端(Server)实现,形成所谓三层(3-tier)结构。这样就大大简化了客户端计算机载荷,减轻了系统维护与升级的成本和工作量,降低了用户的总体成本。不同的用户,从不同的地点,以不同的接入方式(比如LAN, WAN, Internet/Intranet等)访问和操作共同的数据库;还能有效地保护数据平台和管理访问权限。

TCMS远程数据传输和维护平台结构如图7所示,TCMS远程数据传输和维护平台如图8所示。

4. 结论

TCMS软件开发平台、TCMS测试和验证平台、EMU驾驶仿真平台及EMU远程数据传输和维护平台已被应用于许多项目。TCMS软件开发平台、TCMS测试和验证平台被应用于我国CRH3系列动车组和新型时速350 km标准动车组开发测试和验证项目。在许多新线如京沪线、哈大线开通运营和新型动车组投入运用阶段,TCMS动车组软件开发以及测试和验证平台在软硬件集成测试、TCMS和子系统接口和功能测试、现场故障仿真、故障原因分析和故障解除方案验证中发挥了重要作用。动车组驾驶仿真平台可以培训操作者熟悉操作线路条件,掌握操作规范和常规操作,帮助他们了解信号和故障代码及动车组应急处理措施。EMU远程数据传输和维护平台给动车组的运行提供了极大的技术支持,一些轴承温度问题被地面团队人员发现并及时通知车上人员主动降速,从而避免了安全事故。故障信息帮助动车

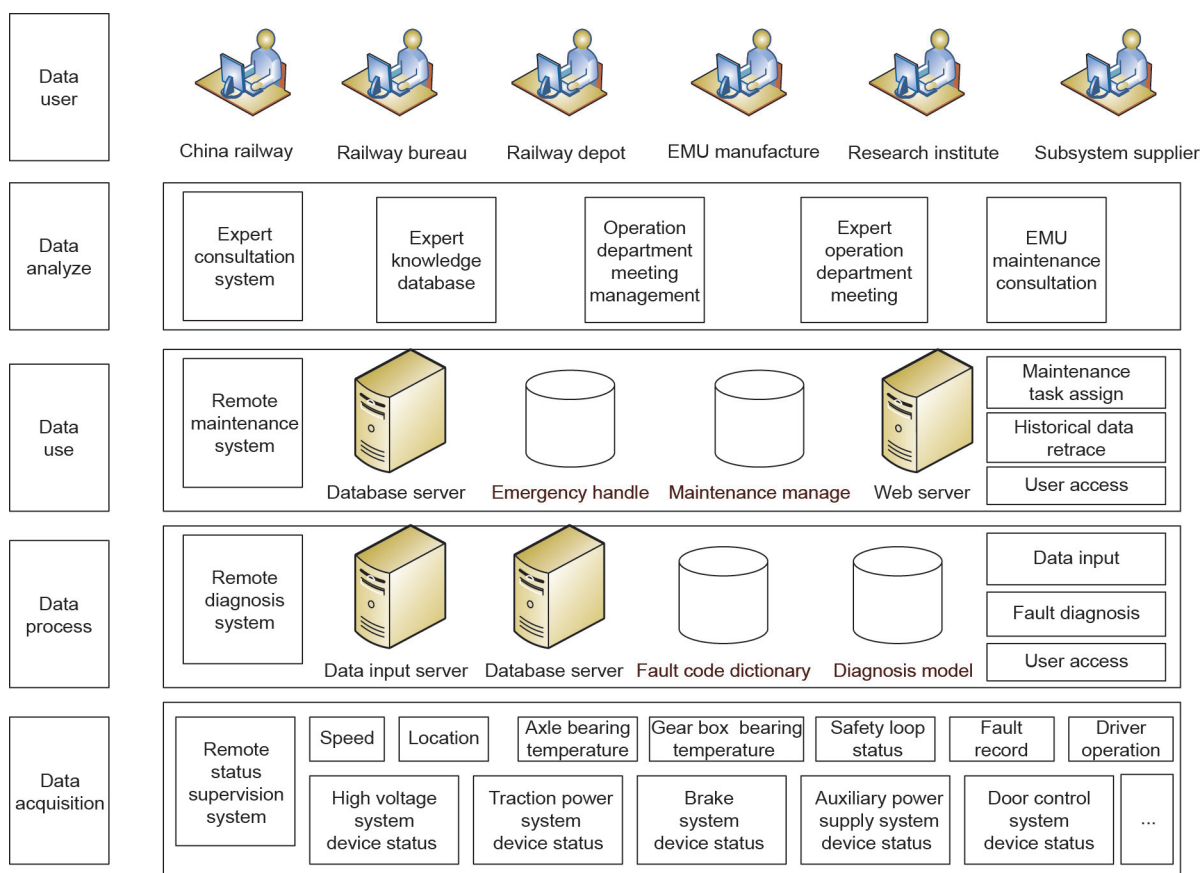


图7. TCMS远程数据传输和维护平台结构。

高速动车组远程无线传输系统										
当前在线列车 数据列表 (按日期)										
车次	车号	车名	车型	车号	位置	速度	方向	公里	时间	备注
1	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
3	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
4	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
5	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
6	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
7	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
8	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
9	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
10	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
11	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
12	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
13	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
14	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
15	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
16	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
17	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
18	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
19	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2
20	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2	CRH2

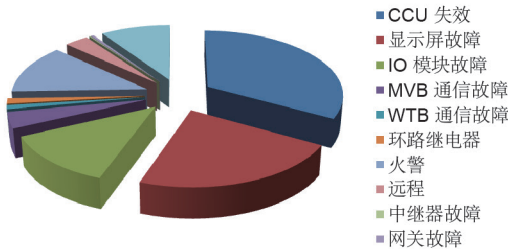


图8. TCMS远程数据传输和维护平台。

库技术中心分配维修工作并提早准备维修材料和工具。基于该平台可迅速响应并获得高质量的维修效果。

基于以上平台可以从设计阶段到维护阶段一直监视动车组。这些平台构成了动车组全寿命周期管理系统并且绑定在一起。每个平台都有利于全寿命周期管理并且成为全寿命周期管理系统的重要组成部分。未来每个平台还会继续优化并且绑定得更为紧密。动车组驾驶仿真平台可以与在TCMS软件开发及测试和验证平台下开发的新型动车组同时开发，司机驾驶仿真平台还可以用于新型动车组的市场推广。EMU远程数据传输和维护平台将进一步发展，随着历史数据的积累，动车组健康管理和早期故障预测功能将可能实现。随着科技的进步，高速动车组将越来越安全和可靠，动车组全寿命周期成本将大大降低。

Compliance with ethics guidelines

Hongwei Zhao, Zhiping Huang, and Ying Mei declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] Zhao H, Mei Y. EMU TCMS digital design and validation platform technical report. Beijing: China Academy of Railway Sciences; 2015 May. Project No. 2013DFA82220. Chinese.
- [2] Zhao H, Wang L, Zhu G. High-speed train network control system half-physical platform technical report. Beijing: China Academy of Railway Sciences; 2010 Jun. Report No.: TY2861. Chinese.
- [3] Zhao H, Xie B, Xia F, Zheng X, Gao F. Research report on fault oriented safety control and integrated testing and simulation technology for traction system of high speed train. Railway Technical Innovation 2015;(2):31-9. Chinese.
- [4] Wang H, Huang Z, Hu H, Wang L. High-speed train remote diagnosis maintenance mode research. China Rail 2012;(4):41-4. Chinese.
- [5] Lu X, Zhao H, Huang Z, Gao F. High-speed train running safety monitoring technology. Rail Locomot Car 2011;(2):34-7. Chinese.