

# 城市轨道交通车辆电气牵引系统 自主研发与应用

李东林

(株洲南车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)



作者简介：李东林（1967-），男，硕士研究生，高级工程师，株洲南车时代电气股份有限公司总经理。

**摘要：**详细阐述株洲南车时代电气股份有限公司在轨道交通电气牵引系统方面的技术能力、平台建设情况，介绍了应用业绩，并简述了公司新技术的研发与发展状态，表明公司具有强大的自主研发和引领新技术的能力。

**关键词：**城市轨道交通；电气牵引系统；自主知识产权；新技术；平台建设

**中图分类号：**U266.2；U239.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-128X(2012)01-0037-06

## Independent Development and Application of Electrical Traction System for Urban Rail Transit Vehicle

LI Dong-lin

(Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** Technological capability and platform construction on rail transit vehicle electrical traction system of Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd. were expounded. The outstanding achievement of application was introduced, and new technique researching and developing of the company were presented simply, which indicated great ability of the company on independent development and new technique lead.

**Key words:** urban rail transit vehicle; electrical traction system; independent intellectual property; platform construction

### 0 引言

城市轨道交通以其高效、安全、可靠、环保的特点近年来在我国许多大中城市获得迅猛的发展，而电气牵引系统作为城市轨道交通车辆的核心装备，以其高技术含量成为城市轨道交通发展的主要保障。

株洲南车时代电气股份有限公司（简称南车时代电气）凭借多年的技术积累与创新能力，已成为国内最大的具有完全自主知识产权的城市轨道交通车辆电气牵引系统装备研发与生产的企业。

### 1 技术能力

城市轨道交通车辆电气牵引系统主要包括交流传动系统、列车控制和诊断系统、辅助静止变流器系统等三大车载电气子系统。

系统采用目前世界上最先进的电力电子技术、传动控制技术、计算机技术、网络信息技术、电机电器技

术等，实现城市轨道交通车辆的电力牵引传动和电制动运行、控制监测、信息显示以及辅助电源供给，保证城轨交通车辆的正常运营，具有性能好、可靠性高、驱动功率大、维护工作量小、乘坐舒适等优点，是城轨交通装备的核心。

南车时代电气通过长期的基础研究、技术攻关和“产学研用”的协作，尤其是“十五”期间，依托相关地铁公司和主机厂，进行了交流传动系统核心技术的研究攻关，已突破并掌握了城轨车辆的牵引传动与控制系统的系统集成、交流传动控制、网络控制和诊断、辅助电源供给、试验检测等关键的全套核心技术，形成了核心部件的标准化、系列化研发平台，研制出了应用于DC 750 V和DC 1500 V 2种供电制式A型、B型2类不同车辆的基于IGBT牵引逆变器的城轨地铁交流电传动系统，符合TCN标准的车载列车控制和诊断系统、辅助系统静止变流器等工程化产品。

#### 1.1 系统集成技术

城市轨道交通车辆电气牵引系统集成技术包括系

统特性及仿真、系统电路及架构、系统集成及试验、参数的匹配与优化、系统逻辑控制及故障保护、系统 RAMS 及 EMC、故障诊断及记录等, 以提供列车的牵引/电制动力和实现列车的牵引顺序逻辑控制、故障保护及列车牵引/电制动运行等。

所形成的电气牵引系统采用基于 IGBT 器件的大功率逆变器-异步鼠笼电动机交流传动系统、高性能的交流传动直接转矩控制策略、符合 TCN 标准的车载网络控制与故障诊断系统、辅助系统静止变流器等, 具有反应迅速、有效可靠的防空转/防滑行保护和优先使用电气制动的特点, 满足基于地铁工况条件下(启/制动频繁、启动力矩大、制动峰值功率大)列车的动力性能和运行要求。其总体技术模式、技术水平和技术标准与国际全面接轨。

## 1.2 牵引变流技术

城市轨道交通车辆牵引变流技术包括大功率半导体器件(IGBT)的应用技术、IGBT 元件驱动与保护技术、基于可编程逻辑器件(CPLD)的脉冲分配技术、叠压低感母排技术、光纤传输与隔离技术、冷却技术、模块化及整机防护技术等, 实现了基于地铁条件下直交能量的有效变换。

牵引逆变器装置采用二电平电压型逆变电路、IGBT 开关元件、模块化结构、光纤传输技术、低电感母排(Busbar)连接、无吸收电路、以水为冷媒的热管散热器走行风自然冷却技术等, 电路简洁, 开关特性好, 可维修性好, 系统负荷运行能力强, 运行噪声低, 可靠性高, 环保经济。

## 1.3 交流传动控制技术

交流传动控制技术包括基于地铁条件下特性控制技术、逆变器暨异步电机控制技术、粘着控制技术、参数辨识技术、硬件和软件模块化设计技术、传动系统故障诊断与保护技术等。攻克了控制对象强耦合、非线性时变、运行工况复杂等难题, 实现异步牵引电机控制理论的工程化、实用化, 满足地铁车辆电气驱动系统高稳定性、高精度、动态响应快和动力充分发挥等要求。

传动控制单元(DCU)装置采用 32 位双 DSP 的高性能数字信号处理芯片、先进的直接转矩控制策略、SVPWM 技术和磁链轨迹优化控制技术, 形成模块化、网络化产品, 实现了高性能的逆变器暨异步电机实时控制和转矩动态响应以及牵引电机无速度传感器控制, 具有优越的粘着利用控制和空转/滑行保护功能。

## 1.4 列车控制和诊断技术

城市轨道交通列车网络控制和诊断技术包括网络通信、实时控制、图形化编程、状态监测及故障诊断、电磁兼容、在线调试、试验检测等, 满足城轨列车流动性大、环境恶劣、可靠性要求高、实时性强等要求, 实现列车控制、监视、诊断、故障和事件记录等功能。

列车控制和诊断系统遵循 IEC61375 等国际标准, 采用分布式控制系统和模块化结构, 中央控制单元采用热

备冗余, 总线 MVB 采用双通道冗余。系统集成列车监视、诊断和控制功能于一体, 网络协议开放, 产品互操作性好, 接口丰富, 适用性强, 为轨道交通领域主流技术。

## 1.5 辅助电源技术

城市轨道交通车辆辅助电源技术包括半导体器件(IGBT)应用、输出电压低谐波含量控制、输出滤波、高频变压器设计、降噪、应急启动、整机防护、冷却以及输出并网控制技术等, 实现列车的辅助电源供给。

辅助变流器采用 IGBT 开关元件、模块化结构、低感母排、2 点式逆变电路、微机数字高频 SPWM 控制、自然冷却等技术。充电机具有符合蓄电池恒压、限流充电要求的输出特性和自主功能。装置分为集中式和分散式两大类, 冗余输出采用扩展供电方式或者并网供电方式。

## 2 技术平台建设

南车时代电气注重持续创新和与国际行业先进水平同步的平台建设, 建立了设计平台、产品平台、制造平台、试验平台, 保障了公司的产品先进、可靠和具有持续发展能力。

南车时代电气为 IEC/TC9 行业标准的中国大陆归口单位, 产品的设计遵循国际标准, 结合多年的科研、产品与市场应用的实际, 产品立足于平台化的开发模式, 遵循可靠性的设计理念及准则, 将引进技术与原创技术相结合, 并融合高速动车组转让技术, 技术水平和产品质量得到大幅提升。同时, 长期的技术与产品积淀, 技术和产品经验得以传承。

### 2.1 设计平台

#### 2.1.1 系统及部件设计仿真平台

通过构建及完善系统及部件的设计仿真研究平台, 提升了系统及产品的设计水平和固有可靠性。

设计仿真研究平台主要包括系统仿真及部件仿真平台。系统仿真可以分成交流传动系统主电路仿真、半实物仿真、牵引计算仿真等, 仿真通过软件(如 MATLAB)建模进行, 主要进行特性设计、主电路设计、电路参数确定、性能模拟运行仿真及控制方法验证等。半实物仿真是指将实物(硬件)置于仿真系统中, 进行部分实物参与的仿真。仿真系统可以贯穿整个设计过程, 给设计提供最佳的工程方案, 获得最佳产品性能, 提高设计成功率并可节约成本, 缩短开发周期。部件仿真主要通过相关软件实现。

#### 2.1.2 软件开发平台

公司根据企业发展的需求, 在符合企业商业目标的前提下进行过程改进, 致力于软件设计开发平台的建设。2009 年, 基于 CMMI 模型, 借鉴行业通用实践和特定实践经验, 发布 RDP6.0 产品开发体系, 并于 2010 年通过 CMMI 国际三级认证。软件产品的开发遵循“需求设计、实现、测试、验证”的“V”模型的设计模式, 进行全过程的闭环控制。软件的开发过程完全遵照

RDP6.0 产品开发体系对软件设计开发的要求：设置关键检查点和评审点，跟据检查单等检查依据进行过程符合性、成果物规范性的审查；规范软件的发布、软件的下发、软件的变更控制过程；并通过对软件产品的测试及验证检验产品与需求的符合度。

## 2.2 产品平台

### 2.2.1 IGBT主变流器平台

在突破和掌握关键核心技术的基础上，研制了用于牵引系统的采用不同冷却方式的系列化IGBT变流器模块，形成了不同规格的IGBT元件、不同中间直流电压（750 V或1 500 V或3 000 V）功率可以涵盖1 600 kVA以下的主变流器。变流器模块可灵活应用于网侧变流器和负载逆变器，形成了IBAM、IBBM、IBCM 3个子系列，已成功应用于各种功率等级的车载变流器中，在性能、可靠性、集成度等各方面都表现优良。零部件也已标准化、模块化，如低感母排、门极驱动单元、脉冲分配板、支撑电容器等，并建立了相应的供应体系。

### 2.2.2 TEC3000传动控制平台

在TEC2000技术储备的基础上，以EMC实验手段、半实物仿真和地面系统试验等方法，优化控制策略，完善、提高电机逆变器控制、粘着利用控制、折角控制、异步电动机在线参数辨识等技术，提升传动控制系统的技术水平，并进行传动控制系统的可靠性设计与评估技术的研究。

传动控制系统采用异步电动机直接转矩控制、粘着控制模块化软件和含32位控制芯片的交流传动控制模块化硬件，以及多功能列车车辆总线接口及通信技术，形成了模块化、网络化的平台产品。

DCU的最新一代TEC3000交流传动控制平台，应用TI先进的浮点数字信号处理芯片TMS320 6711和定点数字信号处理芯片TMS320 2812，运算速度高达6 000 MIPS；采用基于C++的面向对象编程，实现了软件的模块化；具备异步电动机参数辨识和无速度传感器控制等先进控制功能和网络通信、数据采集与数据下载等强大的信息处理能力。

### 2.2.3 DTECS列车网络控制平台

通过自主创新，构建了符合TCN标准的模块化的分布式列车网络控制平台DTECS（Distributed Train Electronic Control System）。

DTECS是专为轨道车辆的列车控制和通信而设计的一套车载计算机系统，它包括车辆控制模块（VCM）、数据记录模块（DRM）、总线耦合模块（BCM）、数字量输入输出模块（DXM）、模拟量输入输出模块（AXM）、RS485通信接口模块（RCM）、人机接口单元（HMI）以及维护调试工具（PTU）等独立模块平台单元，系统构建灵活。各模块自带底层软件，遵循统一的通信标准IEC61375。DTECS列车网络控制平台的车辆总线为基于EMD/ESD+介质的WTB/MVB网络控制技术。

### 2.2.4 辅助电源产品平台

辅助电源装置采用了与国际先进产品基本相同的技术路线，采用了成熟、先进、可靠的IGBT功率开关器件、微机数字高频SPWM控制等技术和模块化结构，形成了直流环节电压为DC 750 V、DC 1 500 V电压等级容量可覆盖80~240 kVA的模块系列，并完成了相关部件平台的建立，形成了模块化、系列化辅助电源装置平台产品。

## 2.3 制造平台

近年来，为满足轨道交通迅猛发展的需求，公司新建七跨联合厂房37 800m<sup>2</sup>，建设了专用的变流器生产线、模块生产线、SMT插件生产线、大功率半导体器件等专业化生产线。新建部分可满足年产各种变流器1 600柜，网络控制装置2 060套，电子插件70万块，彩屏950个，供电柜及高压电器箱1 050台，功率半导体器件8.5万只的产能，并已经完全掌握了城轨系统变流装置、整流装置、列车网络控制和诊断装置以及交流传动控制系统产品等专业制造技术，具有先进的生产设备、高水平的试验能力、专业的工程转化能力及一批优秀的技术工人，拥有完善的质量控制体系和成本控制体系，并建立了ERP系统和采购电子商务等较为完善的信息化系统平台。在生产现场推行了精益生产方式，形成了一个工艺手段齐备、制造技术先进、生产能力强大、员工队伍精干、科研试制和批量生产并举的现代化制造基地。

新的制造能力与既有能力一道，形成3个轨道交通电传动及控制系统专业化制造基地。借助完备的制造平台，90%以上的科技成果可转化为生产力，其中50%以上可形成批量。

## 2.4 试验平台

公司采用一套全面的测试系统，包括系统测试、仿真测试及电磁兼容测试。引进了具有国际先进水平的专用测试设备及仪器，引入了CAD/CAM/CAE计算机系统、多通道数据采集和处理系统、复合环境试验箱、冲击振动试验台、高精度测量电桥以及从事变流技术应用研究和开发的相关实验室的全套设备，拥有具备国际先进水平的电子产品、半导体器件、印制电路板的整套和专用测试设备及仪器。

同时，扩建了现有的检测试验能力（创新基地），重点是扩能改造车载电气系统实验室和电机实验室，新建大型振动试验系统、电气设备可靠性与环境工程实验室、客车电气系统实验室、大型工程机械电气系统实验室、网络产品一致性实验室和3G信息技术应用实验室。升级改造原大功率半导体器件实验室、变流技术综合实验室和电磁兼容性实验室。建设完成后的检测试验体系（包括变流技术国家工程研究中心）由18个实验室组成，涵盖全部领域的研究性试验、型式试验，具备了国际先进、国内一流的检测、试验手段。形成完善的检测试验平台，为城市轨道交通设备的检验

提供保障。同时,作为铁道部产品质量监督检验中心牵引电气设备检验站,行使产品质量监督检验职能。

### 3 应用业绩

南车时代电气所自主研发的电气牵引系统及其平台产品已装车实际运用于DC 1 500 V、DC 750 V电压等级受电弓、第三轨受流方式,80~120 km/h速度等级,鼠笼式电机、直线电机驱动形式,车控、架控,双轨、单轨、磁悬浮、地面轻轨、双电源工程维护车等多种类型城轨交通车辆。

表1 南车时代电气城市轨道交通业绩表

| 项目名称                                      | 项目内容                      | 执行年份      |
|---|---------------------------|-----------|
| 香港地铁辅助系统改造                                | 469台SIV                   | 2002-2008 |
| 北京地铁国产化B型车<br>(三轨,DC 750 V,2M2T)          | 1列牵引控制系统                  | 2003-2007 |
| 广州地铁1号线牵引系统国产化<br>(DC 1 500 V大修周转件)       | 5台VVVF;10台SIV;<br>3台DC/DC | 2005      |
| 香港九广铁路辅助系统改造                              | 118台SIV                   | 2006-2009 |
| 上海中低速磁悬浮列车<br>(DC 1 500 V,3M)             | 1列牵引控制系统                  | 2006      |
| 上海地铁国产A型列车<br>(DC 1 500 V,4M2T)           | 1列牵引控制系统                  | 2006      |
| 唐山中低速磁悬浮列车<br>(DC 1 500 V,3M)             | 1列牵引控制系统                  | 2007      |
| 上海地铁1号线扩编改造<br>(DC 1 500 V,6M2T)          | 16列牵引控制系统                 | 2007-2009 |
| 沈阳地铁2号线<br>(DC 1 500 V,3M3T)              | 20列牵引及控制系统                | 2008-2011 |
| 深圳地铁5号线<br>(A型车,DC 1 500 V,4M2T)          | 8列牵引控制系统                  | 2009-2012 |
| 新加坡地铁工程维护车<br>(三轨/蓄电池,DC 750 V)           | 14套牵引控制系统                 | 2009-2011 |
| 北京地铁房山线<br>(三轨,DC 750V,4M2T,100 km/h)     | 21列牵引控制系统                 | 2009-2011 |
| 北京地铁昌平线<br>(三轨,DC 750 V,4M2T)             | 27列列车网络控制和<br>诊断系统        | 2010-2011 |
| 重庆地铁6号线<br>(DC 1 500 V,4M2T,100 km/h)     | 21列牵引及控制系统                | 2010-2012 |
| 土耳其伊兹密尔轻轨<br>(三轨,DC 750 V,4M,架控)          | 8列牵引控制系统                  | 2010-2011 |
| 广州地铁5号线增购<br>(三轨/受电弓,直线电机DC 1 500 V,3M3T) | 12列牵引控制系统                 | 2010-2012 |
| 深圳地铁综合检测车<br>(受电弓/蓄电池,DC 1 500 V)         | 1套牵引控制系统                  | 2010-2011 |
| 重庆地铁3号线<br>(单轨,DC 1 500 V,架控)             | 1列牵引控制系统                  | 2010-2011 |
| 上海A型架控车<br>(DC 1 500 V,120 km/h)          | 1列牵引控制系统                  | 2010-2011 |
| 昆明地铁首期工程<br>(三轨,DC 750 V,4M2T,100 km/h)   | 40列牵引控制系统                 | 2010-2012 |
| 广州地铁1,2,8号线增购<br>(DC 1 500 V,4M2T)        | 32列牵引控制系统                 | 2010-2012 |
| 长沙地铁2号线<br>(DC 1 500 V,4M2T)              | 16列牵引控制系统                 | 2011-2013 |
| 北京磁悬浮S1线<br>(DC 1 500 V,6M,100 km/h)      | 10列牵引控制系统                 | 2011-2013 |
| 重庆地铁1号线增购                                 | 8列牵引控制系统                  | 2011      |
| 重庆地铁6号线支线                                 | 11列牵引控制系统                 | 2011-2012 |

近几年的业绩见表1所述。

已运营的系统及装置经历了大暴雨、寒冷、高温等恶劣天气,经受住了全天不间断及持续超载的载客运营的严酷考验,系统工作正常、状态良好。

完全自主知识产权的地铁电气牵引系统在地铁正线上成功运行和载客运营,全面验证和考核了交流传动系统、网络控制和诊断系统、辅助电源系统及其相关平台产品的性能、可靠性和各项技术指标以及时代电气在电气牵引系统和控制系统上的技术能力,系统完全满足和达到了各类型车辆技术条件的要求。

## 4 系统保障

### 4.1 质量体系认证

南车时代电气全面贯彻实施IRIS国际铁路工业标准,产品覆盖范围包括牵引系统、辅助系统、车载车辆控制、通信系统、布线和柜体、信号、单一铁路部件,建立起涵盖市场营销、设计开发、采购、生产制造、产品服务等产品全生命周期的质量管控体系,通过了IRIS Rev02认证和ISO9001质量体系年度监督审核,持续保持认证注册资格。

在通用产品设计方面通过CMMI DEV系统3级认证,焊接相关产品方面通过了EN15085国际焊接质量体系认证,并持续保持认证注册资格;安全相关产品方面,南车时代电气下属的印制电路事业部独立通过GJB9001A国军标质量管理体系认证。

### 4.2 过程质量管理

南车时代电气以集成产品开发(IPD)模型思想作为基础,在设计开发过程控制环节建立起从用户需求分析到产品定型的过程体系,实现对机电、电子、软件产品开发全生命周期的质量控制。以PLM等IT系统为载体固化设计开发流程,建立设计过程质量管控信息平台。

在生产制造过程质量管理方面,建立了整体化、系统化的制造工艺体系,形成稳定有效、操作性强的工艺、现场、关键工序的过程管控方案,同时配置了一系列先进检测试验装置,部署从电路板工艺检测、功能测试、全动态老化、整柜低压逻辑测试、高压测试全套测试方案,充分保证了产品质量。

南车时代电气逐步建立了物料认

证体系,规范物料选用、认证、采购、检验、质量保证等活动,有效提高物料的质量控制水平。

建立产品用户现场运用质量问题跟踪处理管理程序,通过条码管理等手段建立起产品运用过程质量跟踪机制、通过FRACAS IT系统进行固化,建立起产品运用过程质量问题跟踪、分析与闭环控制平台,做到产品运用质量问题处理及时、运行高效,纠正预防措施闭环管理规范。

#### 4.3 开放性

南车时代电气通过上述项目的实施,积累了与不同供应商设备进行接口的技术经验,能充分考虑与整车及所有其他系统的兼容性,具有高效有序的处理接口能力。其中,与不同的制动系统、信号系统供应商的成功合作得益于列车控制和诊断系统具备丰富的与外围设备接口的能力,同时,也是中国大陆唯一有能力为地铁提供多系统设备的公司,业务范围涉及系统集成、信号、直流供电、制动系统、屏蔽门等多种领域,在与各子系统的接口管理方面具有优势。

另外,南车时代电气具有引进应用、合作开发、自主研发等各种合作方式的应用业绩以及出口业绩,具有其他各种轨道交通车辆的开发业绩,如电力机车、内燃机车、电动车组、内燃动车组等,可以和任何车辆制造、制动系统和信号系统供应商合作,业绩丰富,系统开放。

#### 4.4 技术支持与服务

南车时代电气建立了标准的服务体系,有一个完善、完整的业务流程和科学的管理体系。

公司建立了完善的售后服务网络并覆盖全球。在国内设置了沈阳、北京、武汉、上海、资阳、广州、西安、兰州、株洲9个服务办事处,1个青岛动车检修基地。专职售后服务人员160多人,涵盖70多个服务现场;在巴西、哈萨克斯坦、土库曼斯坦等地设有服务站。公司推出“绿荫”服务品牌,以“快速、有效、满意”为宗旨,提供质量保证期内的合同服务及质保期外的有偿协议服务。国内的服务网络通过服务本部—服务办事处—服务站3级服务模式,实现了8 h到现场,24 h解决问题的承诺,让客户放心。

公司利用现代化的技术手段,建立了售后服务信息平台,既为客户提供技术支持和系统培训,同时是标准化、规范化服务管理的有效载体。

在售后服务信息平台,客户能随时获得售后服务、技术支持、业务咨询、质量反馈、投诉建议和综合信息的咨询。同时建立了一套从顾客反馈信息到事件关闭的完整的工作流程和监控流程。从事件发生到工作任务的安排,从任务的实施到工作效率的考核,从故障处理的管理到配件的使用,从完成任务的质量到用户的满意度等各环节进行全方位的控制。服务配套齐全、技术完全自主,可做到交流方便、无障碍技术支持

和升级,做到“绿荫”服务和全程包保服务,让客户放心并追求共同进步。

同时,由于具有完全自主知识产权,系统及产品在初始采购、改进升级、后续维护以及备品备件等成本方面具有巨大的优势,做到全生命周期成本最优,为业主和用户创造最大价值。

## 5 发展与展望

南车时代电气紧跟当今世界先进技术的发展,孜孜不倦地进行着前沿技术的研究和开发,在充分利用现有技术及产品成果的基础上,目前主要开展了如下新技术的研究工作。

### 1) 永磁同步电机驱动技术

其优点是可取消齿轮箱实现直接传动,从而减轻车辆的重量、降噪并提高传动效率,也给转向架的设计提供更多的空间,大大提高车辆的经济性和动力学性能,并有效节能。南车时代电气于2008年完成了中国南车项目“铁道车辆传动系统用永磁同步电机控制技术”,针对额定功率100 kW/峰值功率150 kW永磁同步牵引完成了功能性试验研究,并搭载在纯电动大巴上考核运行了6 000 km,运行情况良好。在此基础上针对并联混合动力客车用40 kW永磁同步牵引系统进行了研制,目前已批量生产了700台,第一批系统已完成6万km的安全稳定运行。2009年开始研制额定功率200 kW/峰值功率300 kW永磁同步牵引系统,完成了系统方案设计、电机样机生产和试验研究、全速度范围内的组合试验,成功解决了电机温升高、高速带速度重投、矢量控制下的同步调制等技术,于2011年12月进行装车试验考核。

### 2) 以太网列车控制和诊断技术

目前,列车网络控制和诊断主要采用TCN技术,包括MVB车辆总线和WTB列车总线。TCN协议具有非常好的实时性、确定性,但是其带宽限制了其进一步的应用。随着媒体与故障数据的传输、智能列车、城轨运行状态检测传感器网等都要求列车通信网络在具有确定性和实时性的同时,要具有更高的带宽。为解决这些问题,公司开展了DTECS-2网络控制系统平台的研发工作。

DTECS-2完全符合即将颁布的IEC 61375国际标准的最新版本,其网络架构分为2级:以太骨干网,采用骨干网交换机,链路汇聚方式进行冗余;编组网,采用编组网交换机,环网方式进行冗余。对于需要动态编组的列车,一般采用2级网络;对于不需要动态编组的列车,可以采用1级网络。DTECS-2系统采用了100 Mbps的以太网,具有同时传输控制信息和媒体信息的能力,在物理上可以为1个网络。为了保证控制信息的传输,在传输时可以对2种数据分别采用不同的VLAN(Virtual Local Area Network虚拟局域网)进行传输,系

统的骨干网和编组网可以同时支持多个VLAN。

### 3)再生能馈式供电技术

目前,我国仍采用二极管整流或相控整流方式供电,对电网的谐波污染大;车辆制动时的能量不能回馈电网,而以热能的形式在制动电阻上消耗,造成能量的巨大浪费,而且使得隧道以及站内温度升高、环境恶化。近来,直流储能(超级电容)方式也在初步应用,但所利用的再生能量非常有限。而能馈式牵引供电系统则将再生能量反馈回高压交流电网,最大地利用车辆再生电能,并使隧道以及站内温度升高等环境问题得以有效缓解改善等。另外,可使整流器网侧电流正弦化且可运行于接近于1的单位功率因数,对电网谐波污染小;而且,还能节约牵引列车或地面吸收设备成本、简化列车牵引系统、实现车体轻量化,提高车地一体电气系统的稳定性和可靠性。因此,采用再生能馈式供电技术,可做到节能、高效、绿色环保和车—地系统优化。

南车时代电气已掌握可逆三相四象限PWM脉冲整流器及控制等关键技术,相关轨道交通牵引系统实现了PWM整流技术具有网侧电流为正弦波、网侧功率因数为 $\pm 1$ 、输出电压可控、快速动态控制响应、能量双向传输等优良性能。目前,额定容量为2.4 MVA(DC 1 500 V)的PWM中高压回馈系统装置已完成样机试制,即将进行现场挂网试验考核。

### 4)列车状态监视及无线维保技术

城轨地铁列车运营过程中,现有地铁公司的运营

维保现状基本为当值司机通过电话联系维保调度中心,指派现场维保人员赶赴现场处理故障的被动式维保方式。采用被动维保方式具有诸多的不稳定性和不可靠性,与城轨地铁列车运营的高可靠性高稳定性要求相距甚远。为弥补被动维保过程中的缺点,探索主动维保手段,研究城轨地铁列车主动维保系统模式逐渐成为该领域的热门研究方向之一。城轨地铁列车主动维保系统模式包括远程指导司机现场处理在途列车故障、地铁列车可运营状态评估、地铁列车故障影响推演及预警等,形成不同层面维保模式下的主动维保系统,以达到主动维保目标。

南车时代电气已与相关院校和地铁公司一起,开展以太网、可信传输、快速切换、软件开发、环境及故障因果链数据分析、专家系统、数据处理及数据库等多项关键技术的研究,其中《地铁列车运行状态监视系统》经过1年多的努力,在上海1号线直改交113号列车上实施,并且于2010年4月通过国家863专家评审团的评审。

## 6 结语

南车时代电气的电气牵引系统是城市轨道交通车辆的核心装备,南车时代电气具有现代管理理念、先进企业文化和核心竞争优势,愿为中国大陆城市轨道交通体系建设及持续发展提供核心装备和技术保障。

(上接第20页)

试验数据表明,机车机械间正压为60 Pa,能保证机械间的恒正压,机车外部的脏空气不会从车体的不严密处渗入;同时4 h后车底排风口未见水滴、辅助变压器表面干燥,表明外部雨水基本不会进入辅助变压器,通风系统的过滤效率大大提高,接近100%,完全没有雨水透过旋风过滤器再进入机车机械间,辅助变压器及机械间内电气设备的工作环境大大地得到了改善。

## 5 结语

通过在侧墙百叶窗外侧四周增加挡水框、内侧增加接水盒,同时增加挡水风筒,大大提高了通风冷却

系统对雨水、尘粒的过滤能力,改善了辅助变压器及机车机械间设备的工作环境。

### 参考文献:

- [1] 张曙光. HXD1型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [2] 郭浩兵. 电力机车除尘器应用探讨[J]. 电力机车与城轨车辆,2010(4).
- [3] 孙一坚. 简明通风设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 陈明绍,吴光兴,张大中. 除尘技术的基本理论与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1981.
- [5] TB/T 2054—1989,铁路机车漏雨试验方法[S].