机车电传动 2017 年第 1 期 (2017-01-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №1,2017(Jan.10, 2017)

文章编号：1000–128X(2017)01–0098–04

南昌地铁 1 号线网络控制与诊断系统

柳琳琳[1]，李一叶[2]，邓飞飞[1]，陈　军[1]

（1. 南昌轨道交通集团有限公司 运营分公司车辆中心，江西 南昌　330038；
2. 株洲中车时代电气股份有限公司 技术中心，湖南 株洲　412001）

摘　要：介绍了南昌地铁 1 号线列车网络控制管理系统 TCMS（Train Control and Management System）的构成和性能，阐述了 TCMS 在列车上的应用特点、牵引制动的控制功能和诊断功能。目前该型列车已经投入正线载客运营，运营效果良好。

关键词：TCMS；牵引控制；电制动；气制动；诊断系统

中图分类号：U231；TP393　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2017.01.023

Train Control and Management System of Nanchang Metro Line 1

LIU Linlin[1], LI Yiye[2], DENG Feifei[1], CHEN Jun[1]

(1. Vehicle Center, Operation Branch, Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330038, China;
2. Technology Center, Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The structure and function of the TCMS (Train Control and Management System) applied in Nanchang metro line 1 were introduced, including the application characteristics of the TCMS, the control function of traction and braking, and the diagnostic function. Now this type of trains has already put into operation with a good performance.

Keywords: TCMS; traction control; electric brake; air brake; diagnostic system

机车电传动

0　引言

南昌地铁 1 号线是南昌市首条开通运营的地铁线路，一期工程全长 28 km，连接经济开发区、红谷滩新区、东湖区、青山湖区、高新区。车辆设计采用 6 节编组设计，车型为 B 型车，设计最高速度为 80 km/h。列车整车由中车长春轨道客车股份有限公司制造，其中列车网络控制管理系统（后文简称 TCMS）采用由株洲中车时代电气股份有限公司生产的 DTECS 分布式列车电子控制系统（Distributed Train Electronic Control System）。该平台是专为轨道交通车辆设计开发的一套基于车载通信网络的控制系统平台，完全遵循 IEC 61375 标准要求，广泛应用于机车、动车、城轨车辆、工程机车等多种铁路车辆。

收稿日期：2016–11–25

1　系统架构及特点

1.1　硬件配置

南昌地铁 1 号线 TCMS 符合 IEC 定义中 TCN 通信网络架构标准，依照功能划分，可以分为列车控制级和车辆控制级两级。南昌地铁 1 号线中，列车控制级总线和车辆控制级总线均采用电气中距离介质 EMD（Electric Middle Distance）的 MVB（Multifunction Vehicle Bus）多功能车辆总线。每节车厢内布设有 REP（Repeater）模块，实现对列车级总线与车辆级总线的数据转发。列车具体网络拓扑结构如图 1 所示。

南昌地铁 1 号线 TCMS 选用的 DTECS 平台采用模块化设计，根据功能实现主要分为以下几种硬件产品：智能显示单元 HMI、车辆控制模块 VCMe、事件记录模块 EDRM、中继网关 REP、数字量输入输出模块 DXMe、数字量输入模块 DIMe、模拟量输入输出模

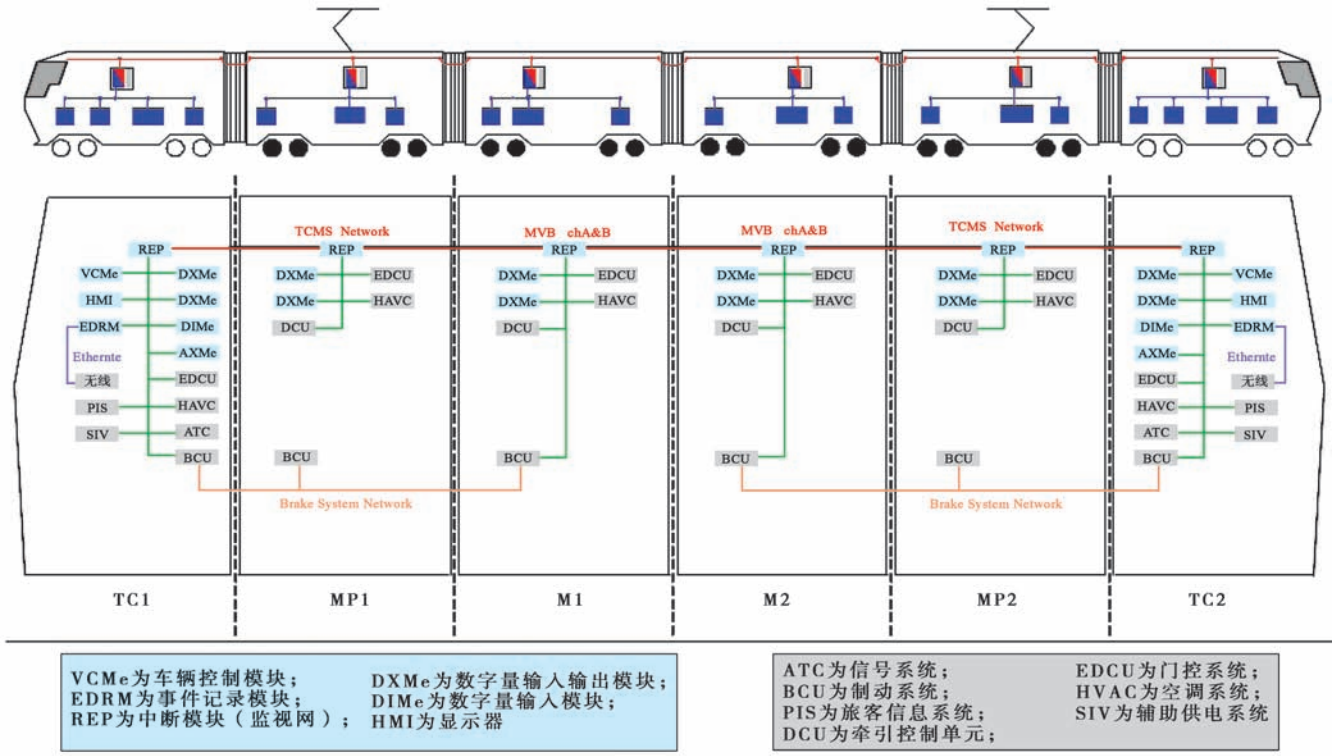

图 1　TCMS 拓扑结构图

块 AXMe。各个硬件模块的主要功能如下：

车辆控制模块 VCMe 作为列车的主控模块，执行列车 MVB 总线管理，模块中同时运行着上层应用控制程序，实现包括基于总线数据的列车控制诊断、应用层数据整合收发等功能。

事件记录模块 EDRM 接收总线数据，根据用户需求选择记录的数据内容，并按照设计周期实时记录在模块存储介质中，用户可以通过 DTECS 系列配套维护工具软件对模块记录数据进行下载并进行解析，用于追溯列车运行状态，进行分析维护。

中继模块 REP 每节车布设 1 个，位于列车网络拓扑中处于列车总线和车辆总线之间，起数据转发作用。

数字量输入输出模块 DXMe、数字量输入模块 DIMe 可以采集车辆 110 V 电气信号并且反馈至总线，DXMe 模块同时还可以根据总线数据控制 110 V 电气信号输出。

模拟量输入输出模块 AXMe 可以采集车辆模拟量信号输入并反馈至总线，同时可以根据总线数据控制模拟量信号的输出。

HMI 智能显示单元布设于两个司机室，用于车辆综合信息的集中显示，并通过触摸屏操作，司机和检修人员可实现部分特殊功能。

1.2　系统关联

TCMS 作为整车控制系统，通过 MVB 总线实现与牵引控制系统、空气制动控制系统、辅助供电系统、车门系统、广播监控系统、信号系统等子系统的数据交换；TCMS 实时采集列车硬线信号、各子系统 MVB 信号，经过运算及逻辑处理，向列车各子系统送出控制指令；同时 TCMS 实时监控各子系统状态和诊断信息，并将信息反馈到显示器上以方便司机和检修人员查看。

TCMS 系统关联如图 2 所示。

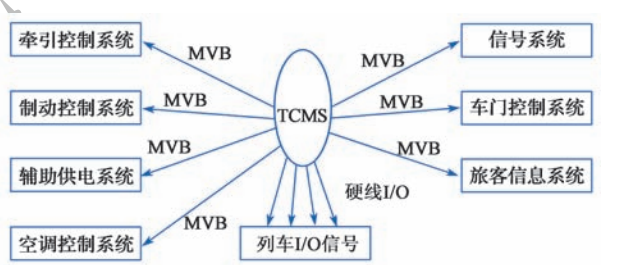

图 2　TCMS 系统关联图

1.3　冗余设计

为了保证系统可靠性，提高 MTBF(Mean Time Between Failure) 值，南昌地铁 1 号线 TCMS 设计中考虑了如下多重冗余设计：

①通信物理层冗余：列车总线和车辆总线均采用 A/B 路双通道设计，所有 MVB 通信节点采用 A/B 两路收发器；A/B 路数据互为热备冗余，正常上电工作时网络节点随机取一路数据，而当信任线路出现通信故障时，可自动切换到备份通信线路，原信任线路降级为备份线路。

②车辆控制模块 VCMe 设备级冗余：2 个 TC 车各配置一个 VCMe 模块，当整个 TCMS 激活给电时，2 个 VCMe 通过竞争机制选择其中 1 个 VCMe 为总线主，总线主 VCMe 执行网络管理和列车控制功能，另一个 VCMe 处于热备状态，实时监视总线主 VCMe 模块是否工作正常；如果总线主 VCMe 发生故障，热备 VCMe 将自动升级为新的主模块，取代前者的全部功

能，原故障总线主模块如果恢复，也将自动降级为热备模块，避免总线干扰。VCMe 的总线主权理论完整切换时间控制在 50 ms 以内，不会影响列车的运营。

③事件记录模块设备及冗余：2 个 TC 车各布设一个 EDRM 模块，进行事件记录，且记录内容一致，互为备份冗余，即使在某些特殊异常情况（自身故障，外力干涉等）导致一个 EDRM 记录数据被破坏或失效情况时，仍然可以通过另外一端 EDRM 模块进行数据记录分析。

2 系统功能

TCMS 是列车控制保护功能的具体执行者，TCMS 汇集 MVB 总线中各类设备节点（DXMe，AXMe，DCU，BCU 等）反馈数据，根据应用需求进行数据的逻辑处理、整合分发；基于所获得总线实时数据实现列车运行管理控制功能。其功能关系图见图3。

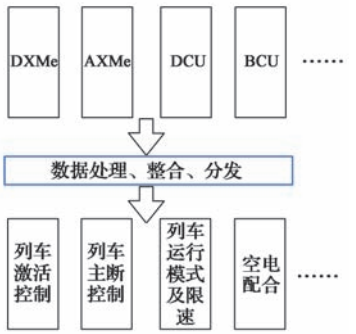

图 3 功能关系图

2.1 列车激活控制

TCMS 首先通过数字量输入模块采集主控钥匙占有信号，从安全原则考虑，TCMS 只接收钥匙占有端的控制指令。

方向控制实际是控制电机的正转和反转。列车一般分为 2 个单元，2 个单元的电机安装是对称的，因此转向是相反的。1~3 车为单元 1，4~6 车为单元 2。当 1 端司机室占有并且有 1 端司机室方向向前指令，或者 2 端司机室占有并且有 2 端司机室方向向后指令时，TCMS 向 DCU 单元 1 电机发送正转指令时，向 DCU 单元 2 电机发送反转指令；当 1 端司机室占有并且有 1 端司机室方向向后指令，或者 2 端司机室占有并且有 2 端司机室方向向前指令时，TCMS 向 DCU 单元 1 电机发送反转指令时，向 DCU 单元 2 电机发送正转指令。

2.2 列车主断路器控制

TCMS 通过数字量输入模块采集受电弓弓升状态，同时将受电弓弓升状态传递至 DCU，DCU 根据受电弓状态等环境信息综合判断是否有异常跳主断路器等故障，并反馈给 TCMS。TCMS 也采集司控台合、分主断路器按钮信息，并将合、分主断路器命令转发给 DCU，DCU 在满足合主断路器的条件下可以执行闭合高速断路器的动作。

2.3 列车运行模式及限速

列车运行操作模式有降级、ATO、PM、RM、慢行、救援模式，优先级从高到低，TCMS 将模式信号通过 MVB 总线发给 DCU，DCU 根据不同的模式调整牵引力并执行限速。

在保证列车安全、可靠运行的前提下，TCMS 根据不同的工况定义了列车应在不同的限速值以下运行，如果列车超过限速值，TCMS 将发出报警提示司机，超过一定值后 TCMS 将施加紧急制动保证列车安全。TCMS 同时将限速值和列车综合速度实时传递给 DCU，DCU 根据限速值控制牵引力的发挥，使列车可以在不超过限速值的工况下运行。

2.4 牵引电制动力给定

计算牵引力大小需要 TCMS 将列车的载荷和加速度发送给 DCU，电制动力的计算公式为：$F=\mu \times m \times a$。牵引系统在空车至定员载荷范围内保持启动加速度基本不变。

2.5 空电配合控制

南昌地铁 1 号线中 TCMS 进行制动力分配，紧急制动时仅使用空气制动，过程如下：① TCMS 根据来自司控器或 ATO 的指令信号计算列车当前所需制动减速度（制动级位），产生控制指令，并分别发送给牵引和制动系统。② TCMS 根据制动级位和载荷等信息，计算列车总制动力需求值。同时，将列车总制动力需求值全部分配成电制动力需求值，发送给各车牵引系统。③牵引系统根据 TCMS 发送的电制动力需求值施加再生制动，并将各个牵引单元电制动力实际发挥值与电制动能力值反馈给 TCMS。④ TCMS 将各车牵引系统的电制动力实际发挥值、电制动能力值与列车总制动力需求值反馈给制动系统。⑤制动系统根据反馈的电制动力实际发挥值、电制动能力值与列车总制动力需求值判断当前列车发挥电制动力是否满足列车总的制动力需求，如果不满足，则通过控制 BCU 气阀通过气制动力进行补足。

3 气制动控制

3.1 常用制动

TCMS 根据司控器或者 ATO 产生的电压信号、制动系统发给网络的列车载荷计算出整车常用制动力请求值。除了司机操作或者 ATO 施加常用制动信号以外，运行中列车检测到影响列车安全的故障或者条件出现（列车无论在牵引、惰行还是在制动工况下，有过多气制动故障、有牵引力气制动不缓解等），TCMS 都将向牵引系统和制动系统发出制动命令，且发出施加最大常用制动力申请，同时在 HMI 上提示司机故障。

3.2 快速制动

TCMS 通过数字量采集模块检测到司机操作快速制动指令，将产生比常用制动力更大的制动力。快速制动时仍然电制动优先，不足部分由空气制动补充。

3.3 紧急制动

紧急制动只施加空气制动，当列车在运行中施加紧急制动，列车将一直制动到停车，在列车零速时无紧急制动施加条件紧急制动才能缓解。

机车电传动

在紧急情况下，如主风管压力低，列车超速等，列车控制与诊断系统通过数字量输入输出模块发出 110 V 控制电压，使紧急制动列车线失电， BCU 检测到硬线状态后施加紧急制动。列车停止且 TCMS 判断紧急制动的条件消失后才取消发出控制紧急制动的 110 V 控制电压，或者司机在确认无安全隐患，优先动车后可以操作安全回路旁路开关，此时紧急制动状态消失，列车可以在限速 60 km/h 工况下运行。

3.4　保持制动

为了防止列车停在坡道上出现溜车情况，需要在列车停稳后施加一个固定大小的常用制动力，该制动力的大小为最大常用制动的 70% 左右，即保持制动。保持制动的施加由制动系统负责，保持制动的缓解由 TCMS 负责。当 TCMS 故障时，保持制动的管理全部由制动系统自身负责。

当满足列车处于牵引工况速度大于 0.5 km/h 或牵引力大于 40 kN 条件之一时，TCMS 向所有的 BCU 发出保持制动缓解命令。

在某些特殊情况下，比如通过调车机拖拽时，需要缓解列车的保持制动，可以通过点击 HMI 上检修界面中的“保持制动切除”软按钮，TCMS 接收到该信号后，同样也会发出保持制动缓解指令。

4　其他控制功能

4.1　安全联锁控制

为了保证列车行车安全，地铁车辆中设计了“车辆电气安全回路”，在 TCMS 中同样对相关环境信号进行了保证逻辑设计，功能上两者互为冗余。TCMS 中安全联锁触发“牵引封锁”的功能点有如下几点：①司机室联锁保护：同一时间只允许 1 端司机室激活。②牵引系统方向保护：TCMS 采集车辆方向信号，DCU 反馈方向信号一致。③车门安全保护：车门未全部关闭，且无“车门旁路”信号。④制动缓解保护：列车停放制动未缓解，且无“停放制动缓解旁路”信号。⑤车辆电气硬线安全回路保护：列车安全环路断开或者列车完整性环路断开。⑥防擦轮保护：列车发出牵引指令后，5 s 内列车仍然不能缓解所有制动。

4.2　扩展供电控制

TCMS 接收车辆信号并判断是否有 SIV 发生严重故障，当列车升弓时，要避免 SIV 启动不同步而导致的误报。

当列车上一台 SIV 发生严重故障，不能正常工作时，需要 TCMS 控制扩展供电接触器，由另一台 SIV 提供整列车的负载需求。为了防止一台 SIV 负责整列车的负载而导致过载保护，TCMS 在扩展供电之前，先发出减载指令给空调系统，当空调系统负载减半后，才发出扩展供电指令。若空调系统减载不成功，则将减载不成功信息发送到显示屏，同时 TCMS 自动将空调系统设置为通风模式，再进行扩展供电。

当以下条件同时满足时，TCMS 通过 DXM 输出“扩展供电”指令（高电平有效）：① 1 台 SIV 通信故障或者 380 V 输出不正常；②向空调发送减载指令后 15 s 内接收到空调完成减载的反馈或完成将空调设置为通风模式；③如果系统扩展供电命令变为高电平后超过 1 s，扩展供电状态反馈信号无效，则发送扩展供电接触器故障信息到 HMI。

5　诊断功能

车载故障诊断系统实现车载各部件状态监视功能，以及故障数据的采集、分析、转储功能。

5.1　监视功能

车辆的监视功能由智能显示器 HMI 完成，每列车辆配有 2 个，为司机和检修人员提供其所需的必要信息。司机可以通过 HMI 了解列车牵引系统、制动系统、车门系统、空调系统、PIS 系统等的状态。

如果列车发生故障，在 HMI 上将以纯文本信息（包括：故障代码，故障等级，故障设备，故障内容，故障发生、结束时间）显示。

5.2　记录功能

对于维修人员，可以利用诊断系统记录的数据查找和分析故障，诊断系统的故障数据和环境参数以数据库的形式存储于 EDRM（Ethernet Data Record Module，以太网数据记录模块）中，EDRM 是专门针对轨道交通行业应用环境设计的一种车载数据记录设备，具有采集 MVB、TRDP 等外部接口数据并存储的功能。

EDRM 模块需要配合地面解析软件 PTU 共同使用。PTU 软件的功能是下载存储事件记录仪中的列车运行参数和故障数据，并对下载的数据进行解码处理，最终以波形或者图表等易于理解的形式进行显示，用于详细的故障分析。

6　结语

南昌地铁 1 号线已于 2015 年 9 月 10 日正式上线运营，自运营以来，列车网络控制系统工作良好，总体 MTBF 时间满足设计招标要求，没有发生一起因网络系统故障导致的清客或下线级事故，为后续南昌地铁线路积累了运营经验。

参考文献：

［1］曾嵘，杨卫峰，刘军 . 列车分布式网络通信与控制系统［J］. 机车电传动，2009(3)：17–19.

［2］朱俊，李芳，王丽芳 . MVB 总线网络动态性能的研究［J］. 机车电传动，2013 (1)：35–38.

作者简介：柳琳琳（1978–），女，高级工程师，从事城市轨道交通车辆运用及维护方面的研究。

机车电传动