

研
究
开
发

TM3 型机车微机网络控制系统

李小平

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 李小平 (1971-), 男, 高级工程师, 从事电力机车控制系统和DC600V控制系统的开发设计工作。

摘 要: 向伊朗出口的TM3型机车与双层客车组成2动10拖的推挽式动车组, 是原有TM1、TM2机车升级改造设计的新一代机车。文章从TM3机车在微机网络控制系统方面与TM1、TM2机车比较出发, 全面介绍了TM3机车的微机网络控制系统及技术提升点。

关键词: TM3 机车; 列车总线; 车辆总线; 控制总线; 微机控制; 网络控制

中图分类号: TP393; U264.91*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)02-0001-04

Computer Network Control System of TM3 Locomotive

LIXiao-ping

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

Abstract: The push-pull EMUs exported to Iran was made from TM3 locomotive and double-deck bus. TM3 locomotive was a new generation upgrades design from the original TM1, TM2 locomotive. This paper introduced the computer network control system and technic characteristics of TM3 locomotive, which compared by TM1, TM2 locomotive.

Key words: TM3 locomotive; train bus; vehicle bus; control bus; microprocessor control; network control

1 概述

供应给伊朗首都德黑兰—梅莎城郊铁路使用的TM3型客运电力机车是根据原有TM1、TM2机车升级改造设计的新一代机车, 在网络通信控制与传动控制上做了较大的技术改进。这一系列机车均以国产SS₈准高速干线客运机车为原型车。它与双层客车组成推挽式动车组, 其编组方式为: L+10T+L (L代表机车; T代表双层客车)。

2台机车分别配置在动车组的首端和尾端, 每台机车只有一端有司机室。动车组可以朝2个方向行驶, 而无须解列重新编组。它总是由前端司机室进行操纵, 前后2台机车实现重联控制。

2 与原有 TM1、TM2 机车的差异性比较

2.1 硬件体系的整体提升

TM1、TM2机车网络控制单元 (CCU) 基于 Adtranz

公司的MICAS-S2平台开发, 传动控制单元 (TCU) 基于MICAS-S平台开发。车辆总线的介质为光纤。诊断计算机、车辆总线计算机及车箱总线管理器的主CPU为80C186, 而列车总线管理器的CPU为80C196。机车控制逻辑采用有触点的开关器件搭建。这些技术在当时是非常先进的。

基于以下几个方面的原因, 对TM3机车的硬件体系进行重构:

① 原有的相关技术平台已有较长历史, 其硬件架构无法适应当今电子元器件技术, 采购生产较困难, 难以满足产品的供货周期。

② 国外已停止了相关底层技术的支持工作, 难以彻底解决系统遗留的少量疑难问题。

③ 采用的新技术方案能适应当前的技术发展, 可以提升机车的技术水平, 并在近年来的国产车上得到了充分的验证。

新的网络控制系统与传动控制系统采用模块化、通用化和标准化的设计理念, 拥有完全的自主知识产权。

收稿日期: 2011-01-07

权。其中TCU采用TES06交直机车微机控制平台开发,CCU采用DTECS网络平台开发,状态显示屏采用新一代TPX21显示屏开发。MVB总线采用ESD+接口,不使用光缆。机车信号绝大部分通过网络传输,最大程度减少机车布线。

2.2 列车级总线通信方式的改进

由于硬件架构的改变,原有列车总线通信采用FSK(frequency shift keying)方式,数据发送率为19.2 Kbit/s。现改为采用符合IEC 61375标准的列车总线WTB,其介质采用双绞屏蔽线,传输波特率为1 Mbps。

2.3 功能控制级总线的改进

TM1、TM2机车控制器总线采用双绞线作介质,通信标准为RS485。即单板机形成的移相控制信号以串行通信方式发送至脉冲控制插件。现有的TCU系统中,脉冲分配插件直接设计了标准AMS总线接口,这样,机车控制器总线直接采用了AMS并行总线,机车控制板形成的移相控制信号直接写入脉冲分配板,实时性有很大提高。

2.4 传动控制单元的控制方式

TM1、TM2机车微机柜在故障转换开关置正常运行位时,2个转向架分别由插件箱1和2独立控制,为架控方式;在故障位时,改由一个正常的插件箱集中控制2个转向架,其中存在一架开环跟随,且没有了电制动功能。现有的传动控制单元采用完全相同的2组硬件构成,为冷备冗余方式,正常运行时,任意选择一组即可。当投入运行的该组出现故障时,手动切换至另一组运行。每组系统均可独立控制2个转向架,具备完整的控制功能。

2.5 机车降级运行处理

TM1、TM2机车的列车总线有2组:A和B,一组工作,另一组备用。车辆控制级总线只有1组,但CCU单元还对司机的主要操作命令进行了采集,并传送到从车。这样,在主车的TCU彻底故障的极端情况下,司机还可以操纵从车继续运行。此外,当主车网络系统瘫痪时,司机也可以依靠主车的TCU进行单节车运行。TM3机车的降级运行处理模式类似,区别体现在2点:一是车辆级总线控制有2组,可以进行冗余备份;二是由于TCU不再自己采集外部司机的操作信号,改由LCU采集,再通过车辆级的网络通信方式传送到TCU,这样当主车的网络系统全部瘫痪时,会导致机破。但这种方式的机车整体布线得到精简。

2.6 增加与改进了部分功能

为满足客户在新时期下对机车运用的特殊需求,

TM3机车新增与改进了部分功能。其中,新增的功能主要有:停车换端控制、逆电保护、ATP卸载、增加LCU、BCU的信息显示等。改进的功能主要有:空电联合控制功能、机车特性、实时保护、诊断、记录、显示等。

3 微机网络控制系统体系架构

TM3型机车的微机网络控制系统分为列车控制级、车辆控制级和功能控制级3级,由列车总线、车辆总线 and 控制器总线构成。通过3层总线的通信,将2台机车中的各部件连通交换信息。图1~图3为TM3机车微机网络控制系统自顶向下完整的体系架构框图。

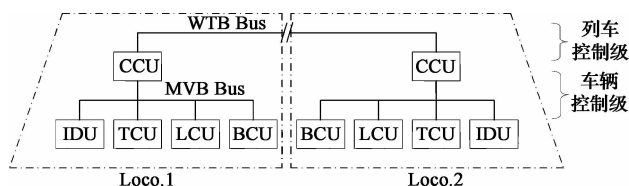


图1 TM3机车微机网络控制系统

CCU——网络控制单元;TCU——传动控制单元;IDU——显示控制单元;LCU——逻辑控制单元;BCU——制动控制单元

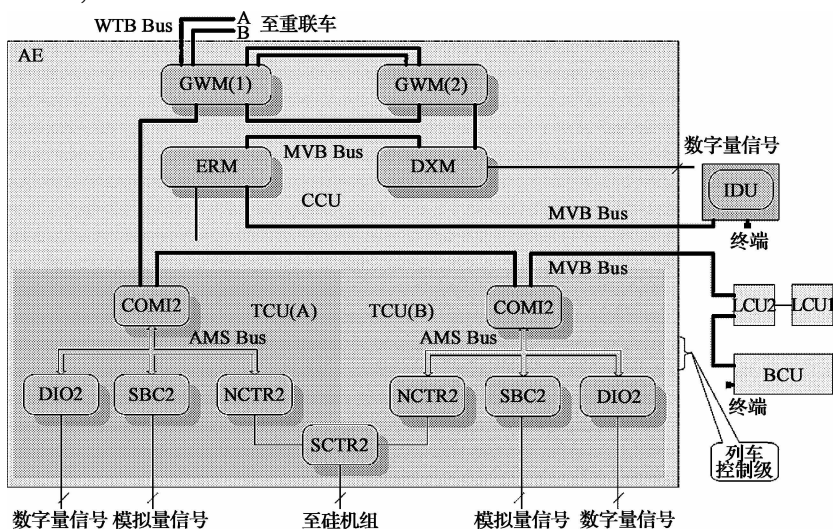


图2 TM3单节机车微机网络控制架构

GWM1——中央控制单元1;GWM2——中央控制单元2;ERM——事件记录仪模块;DXM——数字量输入输出模块;COMI2——MVB网卡板;DIO2——数字量输入板;SBC2——机车控制板;NCTR2——脉冲分配板;SCTR2——转换控制板;TCU(A)——传动控制单元(A组);TCU(B)——制动控制单元(B组);AE——微机控制柜,包含CCU单元、TCU单元

如图1所示, TM3机车的列车控制级只连接首尾2台机车的CCU, 用于机车的重联控制, 不与客车中的设备发生直接联系, 故挂在列车总线上只有2个“节点”。列车总线的通信采用WTB方式。如图2所示, 车辆控制级总线采用符合IEC 61375标准的多功能车辆总线, 通信波特率为1.5 Mbps, 数据传输周期最小为32 ms。网络控制单元CCU通过MVB总线与机车的传动控制单元TCU、制动控制单元BCU、逻辑控制单元

LCU、信息显示单元IDU连接，形成车辆控制级的网络系统。列车总线和车辆总线之间通过网关交换数据，网关负责两级网络间的协议转换，实现车载设备的控制和诊断，并将设备的相关数据送到信息显示单元IDU。如图3所示，数字入出板（DIO2）、MVB网卡板（COMI2）、脉冲分配板（NCTR2）挂在一条并行总线上，机车控制板（SBC2）为总线管理者，机车控制板通过该总线与外围板交换信息，总线标准为MULTIBUS-96。信息的交换方式有2种，一种为外围板通过硬连线直接交换，另一种为通过MVB网卡板与网络系统交换信息。机车控制板计算出的晶闸管触发移相控制信号通过功能控制级总线以并行通信方式传递给脉冲分配板，该控制级总线就是TCU单元机箱中的并行总线。脉冲分配板则根据移相控制信号控制触发时刻和触发位置，实现牵引和制动力的调速控制。

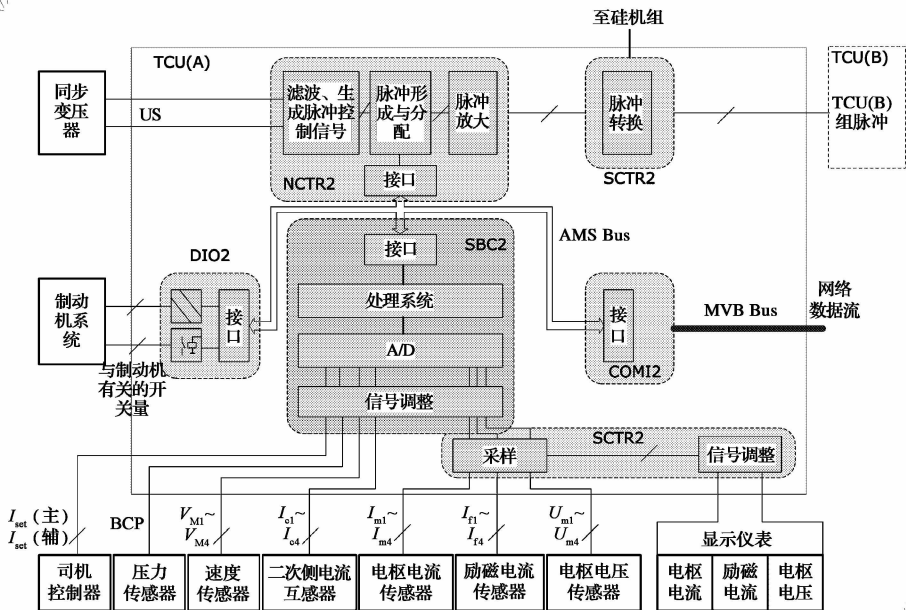


图3 传动控制单元TCU 硬件框图

4 牵引、制动控制功能

4.1 牵引控制性能

①采用特性控制。即低速时的恒流控制和设定速度点的准恒速控制。司机控制器的每一个给定点对应着一条特性曲线。其表达式为：

$$I_s = \min \left\{ \begin{matrix} 120N \\ 875N - 87.5V \\ 1408 \end{matrix} \right\} A$$

式中：N——牵引级位，0~15级连续可调；
V——机车速度，km/h。

在粘着限制的范围内，机车先按特性的平直段恒流启动（120N），待机车速度升高进入特性的斜线段即准恒速控制区（875N-87.5V）后，机车按准恒速运行，同一级位速度变化范围约为10 km/h。在高级位低速时受

最大启动电流1 408 A限制。
②采用顺控方式。先开放大桥（1段），再依次开放2段小桥（2段、3段）。当电机电压达到最大限制值后，即可自动进入无级磁场削弱。最深削磁系数限制在48%。
③由速度-电流限制曲线作为粘着限制控制曲线，其限制值见表1所示。

表1 粘着限制控制参数

限制公式	速度范围
$I_s=1408$	$v=0\sim2\text{ km/h}$
$I_s=1408-5.93\left(v-2\right)$	$v=2\sim75\text{ km/h}$
$I_s=975-9.29\left(v-75\right)$	$v=75\sim82\text{ km/h}$
$I_s=910-10\left(v-82\right)$	$v=82\sim91\text{ km/h}$
$I_s=820$	$v=91\sim130\text{ km/h}$
$I_s=820-40\left(v-130\right)$	$v=130\sim132\text{ km/h}$
$I_s=740$	$v=132\text{ km/h 以上}$

4.2 制动控制性能

采用特性控制。制动特性为一族平行斜线，制动给定的每一个点对应一条斜线。其表达式如下：

$$I_s = \max \left\{ \begin{matrix} 50 \\ 87.5V - 875N \end{matrix} \right\} A$$

式中：N——牵引级位，0~15级连续可调；
V——机车速度，km/h。

制动时最大电机电流给定限制为860 A。

采用加馈制动。控制系统根据机车的速度首先自动调节励磁电流，使制动电流沿着给定的速度-电流曲线变化。当励磁电流达到最大后，则进入加馈制动工况，通过调节电枢电流来维持制动电

流。在制动工况，有50 A的最小制动电流限制，以满足静止试验的需要。

4.3 防空转、防滑性能

防空转、防滑控制可以保证机车在任何轨面条件下启动、加速、制动不擦伤轮轨，不发生牵引电机超速。防空转、防滑控制完全由软件实现，控制特性一致性好，控制参数的调整和控制方式的修改较方便，运行过程中可以将控制过程的中间量经过网络系统传送给IDU单元进行显示，以便设计人员进行读取和分析。经过调整参数后能较好地满足控制要求。

微机以经过处理的Δv、dv/dt等信号作为控制值，空转时按各自的动作阈值作快速减流校正。空转、滑行被强烈抑制后，立即以较快的速率恢复电流。当电流回升到一定值时，再进行缓慢上升，寻找下一个粘着极限值。用这种方法使轮对在较高的粘着值附近运行。机车在空转时，会持续撒砂以抑制空转，每次空

转、滑行结束后,还持续间隙撒砂约5s。电枢电流在400 A以下时不修正。

4.4 空电联合功能

微机控制装置通过采集制动时的电枢电流、判断制动电流的大小来决定是否采用空气制动,从而实现空电联合功能。空电联合功能主要有以下几点:

①在机车电制动工况构成的情况下,微机检测到制动电流小于或等于30 A且持续时间超过20 s时,则说明电制动失效,微机输出一个高电平信号使制动系统采用空气制动。

②在机车电制动工况构成的情况下,微机检测到制动电流大于40 A,则说明电制动有效,微机输出一个高电平信号使制动系统对闸缸进行缓解。

③在行车过程中,当微机检测到机车速度大于5 km/h,而且列车门未关好时,则输出一个高电平信号使制动系统采用空气制动。

4.5 保护功能

1) 逆电保护功能

机车非零速时,TCU依据检测第1位双通道速度传感器的2路速度信号在向前向后运行时相位差的不同来判断机车运行的实际方向。若发现机车运行方向与方向鼓置位方向不一致时,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号,同时告知LCU,由其发出跳接触器保护命令。

2) 二次侧过载保护功能

当TCU检测到二次侧电流超过3 300 A时,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

3) 电机电流过载保护功能

牵引、制动工况下,当TCU检测到的电机电流分别超过1 600 A、1 300 A时,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

4) 电机电压过压保护功能

当TCU检测到电机电压超过1 150 V时,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

5) 制动励磁过载保护

在制动工况下,当TCU检测到励磁电流超过1 100 A时,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号,同时告知LCU,由其发出跳接触器保护命令。

6) 网压过、欠压保护功能

机车主断已合,当TCU检测到 $27.5 \text{ kV} < \text{网压} < 29 \text{ kV}$ 持续10 s或网压 $\geq 29 \text{ kV}$ 时,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号。

机车主断已合且零压隔离开关处于正常位,当TCU检测到 $17.5 \text{ kV} < \text{网压} < 19 \text{ kV}$ 持续10 s或网压 $\leq 17.5 \text{ kV}$,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

7) 超速保护功能

当TCU检测到机车速度超过152 km/h时,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

8) 小齿轮弛缓保护功能

TCU检测到任一架两轴速度差小于2.5 km/h,若同架2个电机电流反馈均大于200 A且两者相差超过70 A或者同架的2个电机电流相差超过本架最大电机电流的30%时,封锁触发脉冲、发出跳主断路器保护命令,并通过网络送出故障显示信号。

9) 监控卸载保护功能

当TCU检测到ATP监控装置的卸载请求命令后,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号。

10) 车辆停放切除牵引保护功能

当TCU接收到车辆停放切除牵引信号命令,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号。

11) 停车制动保护功能

当TCU检测到CCU通过MVB网络送出的停车制动命令后,封锁触发脉冲,并通过网络送出故障显示信号。

5 网络控制、记录、诊断与显示

5.1 网络控制功能

网络系统配置2个GWM模块实现了列车总线和车辆总线的通信管理和数据的组织。为了保证列车及车载设备的安全,网络系统对接收到的数据进行逻辑处理,输出相关控制命令。如:当监测到LCU通信异常时,通过MVB总线发送牵引封锁命令及分主断命令给TCU;当监测到TCU通信异常时,通过MVB总线发送分主断命令给LCU;当监测到手柄与转换鼓方向不一致时封锁牵引;当监测到多司机钥匙且列车速度大于零速时,通过MVB总线发送分主断命令给LCU和TCU。

5.2 监控记录功能

网络系统配置ERM模块完成故障和事件的记录功能。对指定的事件记录信号在列车上电后以200 ms的采样周期全程记录,记录的数据能够通过地面软件显示和打印。根据记录故障相关环境变量的不同将故障记录分为一般故障、严重故障、跟踪故障3种类型。一般故障不记录环境变量,严重故障记录故障发生时刻的环境变量,跟踪故障需要记录故障发生前6 s到故障发生后4 s内的环境变量。

5.3 诊断与显示功能

网络系统自动识别列车网络上的各个设备的故障及状态数据,对故障进行评判并给出相应的处理措施,并将相关信息发送给显示器显示。

显示的原则定为2级显示。一级显示下,在重联通信正常时,主车显示从车数据,从车显示本车信息;重联通信失效时,主从车均显示本车信息。在格式2下可

(下转第11页)

0~0XFFFFFFFF (0~4 294 967 295), 小于数据库字典允许范围 [number (10) 0-9 999 999 999], 数据入库时不会溢出。分别选取以下 6 个数进行验证: 0X00000000、0X00000001、0X8FFFFFFF、0X8FFFFFFF、0XFFFFFFFE、0XFFFFFFF, 发现当输入数据 $\leq 2\ 147\ 483\ 647$ (7FFFFFFF) 时, 输出正确; 当输入数据 $> 2\ 147\ 483\ 647$ (7FFFFFFF) 时, 输出为 -1。经过设计者检查, 是程序中该变量类型定义有误, 导致数据溢出。

3) 等价类测试方法及运用

本方法是把软件的输入数值划分为多个子集合, 每个子集合即为一个等价类, 在每个等价类中选取少数具有代表性的数据作为测试用例, 可分为有效等价类和无效等价类 2 种。

实例: 按协议传送的开机自检信息如果在正常范围内 (年份 ≥ 1970 , 月份为 1~12, 日期为 1~31) 应直接入库; 如果不在正常范围内, 数据库中记录为“ 1970-1-1 1:1:1 ”。确定输入和输出状态, 并将其进行等价类划分。输入变量包括年-月-日, 其等价类集合划分见表 2。

表 2

输入	有效等价类	无效等价类
年	1970~9999	$< 1970 ; \geq 10000$
月	1~12	$\leq 0 ; \geq 13$
日	1~31	$\leq 0 ; \geq 32$

3 总结

通过 CMD 系统地面综合应用软件验证, 发现软件存在的缺陷并进行修正, 有效保证软件可靠性。目前验证工作尚处于几种常见验证方法的简单运用阶段, 今后还需加强对验证技术的学习, 总结验证经验和方法, 通过设计科学合理的验证用例, 达到最佳验证效果, 同时也需遵循技术中心产品研发体系流程要求及相关验证原则, 确保验证过程规范高效, 提高软件可靠性。

参考文献:

[1] 刘 雅. 星载软件测试用例设计方法的研究 [J]. 航空计算技术, 2010 (5).

(上接第 4 页)

以同时查看主从车的数据。正常情况下, 主车一般可直接看仪表显示。二级显示下, 增加了与调试、检修相关的信息和交互界面, 如轮径设置、历史故障信息查看等。

6 几个关键的设计考虑

6.1 停车换端功能

TM3 机车为推挽式动车组编组模式, 列车折返运行时, 需要换端操作。为提高机车运用效率并保障机车安全, 列车网络系统设计了停车换端功能。司机在进行换端时只需按下停车换端按钮, 网络系统先通过 MVB 总线发送停放制动施加命令给 LCU, LCU 输出停放制动, 在接收到列车停放制动施加后, 系统进入停车换端工况, 此时主控端司机关断司机钥匙后显示屏换端界面开始倒计时, 同时受电弓、列供、劈相机等设备保持在正常工作状态。换端过程中在规定的 3 min 时间内, 任意一端重新闭合司机钥匙并闭合受电弓、列供、劈相机等琴键开关则完成换端, 再次按下停车换端按钮缓解网络系统因换端而输出的停放制动。网络停车换端逻辑控制功能在保证机车安全的前提下实现了机车无钥匙情况下保持相关设备正常工作, 减小了列车到达终点站后更换操作端的时间, 提高了机车折返的效率。

6.2 系统冗余处理

TM3 机车微机网络控制系统在三层总线的通信、

各控制设备硬件及相互协同工作等方面均做了完备的冗余设计考虑, 对防止机破、保证机车按运行图正常运行是必不可少的。首先, 列车级 WTB 网络、车辆级 MVB 网络均有冗余热设计备份。TCU 单元采用 A、B2 组冷备, 功能控制级总线及功能单元均有备份。LCU 等控制设备硬件也采用 A、B2 组冷备方式。这样保证了通信功能及控制设备的可用性。此外, CCU 单元中 DXM 模块进行了主要操作命令的冗余采集, 这样, 当主车 LCU、TCU 单元彻底瘫痪故障时, 司机还可以操纵从车进行降级运行。同时保证了在主从车均可以实施紧急制动的功能。

7 结语

TM3 型机车微机网络控制系统已在 2009 年底完成了施工设计及全面试验, 并完成了全部 42 套产品的制造交付。在 2010 年已全面投入运用, 产品运行非常稳定。这是基于公司构建的适应多需求最优控制系统平台进行高效组合应用开发的成功范例, 推动了电力机车控制技术的发展, 满足了铁路运输运载设备的需要。

参考文献:

[1] 周桂法. SS8 型机车微机控制和部件诊断系统 [J]. 机车电传动, 1995(4).
[2] 严云升. TM1 型机车的微机控制系统 [J]. 机车电传动, 1997 (6).