

# 新能源悬挂式单轨列车网络控制系统设计要点及优化方向

于人生 石 勇 白 龙

(中车大连电力牵引研发中心有限公司,116052,大连//第一作者,高级工程师)

**摘 要** 从硬件需求、功能需求、调试和维护等方面,分析了第二代新能源悬挂式单轨列车的特点。提出了网络控制系统的主要设计要点,并介绍了其在样车上的实现方法。指出了新能源悬挂式单轨列车进一步研究和优化的主要方向。

**关键词** 单轨列车;网络控制系统;设计要点

**中图分类号** U232.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.09.009

## Design Points and Optimization Direction of TCMS Applied to New Energy Suspended Monorail Train

YU Rensheng, SHI Yong, BAI Long

**Abstract** From the aspects of hardware requirement, function requirement, debugging and maintenance, the characteristics of the second generation new energy suspended monorail train are analyzed. Key points of TCMS (train control and management system) design is proposed, and the method of development on sample vehicle is introduced. The main direction for new energy suspended monorail train future research and optimization is pointed out.

**Key words** monorail train; TCMS (train control and management system); design point

**Author's address** CRRC Dalian R & D Co., Ltd., 116052, Dalian, China

新能源悬挂式单轨列车(以下简称为“单轨列车”)是一种以电池动力包为动力源的空中悬挂式轨道列车系统,是一款我国拥有完全自主知识产权的新型轨道交通车辆。为适应这种新型轨道交通车辆的特点,对其列车网络控制系统进行了针对性设计,并通过在样车上的装载、调试和应用,验证了该设计的实际效果,积累了操作经验,同时也为后续进一步的设计优化提供了借鉴。

## 1 新能源悬挂式单轨列车

单轨列车又称为空轨列车,具有造价低、占地少、对城市景观影响小等特点<sup>[1]</sup>。一般研究资料认

为,1901年德国伍珀塔尔市的非对称悬挂车是最早的单轨列车。我国首列悬挂式单轨列车,即“熊猫列车”,在中车浦镇公司下线,标志了我国成为第3个掌握该种技术的国家。目前,国内众多机构正在进行单轨列车的设计、制造与研究。与此同时,众多城市如贵州雷山、四川大邑和湖北恩施等,也在积极论证和筹备建设这种交通方式的示范线路。

新能源单轨列车可视为继“熊猫列车”之后的第二代产品。相比于第一代,其车体全透明,整车在减重、降噪、牵引制动性能等方面均有提升。新能源单轨列车照片如图1所示。



图1 新能源单轨列车照片

Fig. 1 Photo of new energy monorail train

## 2 网络控制系统的设计要点

### 2.1 硬件设备

#### 2.1.1 安装空间和环境

一般轨道交通列车的机电系统设备的安装空间相对充裕,而单轨列车的TCMS(列车控制与管理系统)设备除显示屏外均安装于车顶控制电器箱中,与其他系统设备如牵引、制动及辅助供电等共用车顶空间,这就要求各种设备的体积要尽量小,因此更小的系统设备体积,其结构更优。

TCMS设备所在的控制电气箱暴露在室外,温度、湿度和沙尘条件相对恶劣。一般对车载电气设备的环境要求按照GB/T 25119—2010《轨道交通机车车辆电子装置》标准进行设计,但其中对沙尘

防护没有明确要求;盐雾试验也是型式试验中的可选项目。设计时若能同时考虑以上两个因素,TCMS 设备则更有优势。

### 2.1.2 集成化和低功耗

出于对布线和布局方面的考虑,整车对电气信号进行就近采集,使得其他系统的传感器和子网的通信接口需要通过 TCMS 进行数据采集和接口转换。这就要求 TCMS 具备更多的电气信号输入输出通道和更多制式的通信接口,因此 TCMS 设备集成化程度更高的设备更优。

新能源单轨列车采用动力电池供电,为了提高续航里程,列车各系统的轻量化和低功耗设计尤为重要。虽然,TCMS 各设备的功耗和体量设计在整车设计中所占比例较低,但降耗和减重设计显然更符合整车的设计方向。

## 2.2 系统功能

### 2.2.1 能量管理

新能源单轨列车的动力电池性能是关系到列车可靠性和可用性的重要指标,TCMS 对整车的能量管理是车辆设计的要点之一。能量管理主要从以下几个方面考虑:

1) 动力电池组状态和寿命监控。TCMS 能够从电池管理系统中获取电池的当前电量、损耗程度、充放电状态和电池温度等信息,利用 TCMS 的数据记录功能,将这些信息进行长期汇总和统一分析。

2) 能量管理功能。TCMS 对车辆能量管理的功能设计主要包括:根据动力电池容量对牵引系统进行限制,根据动力电池容量和健康状态对辅助系统进行限制,根据辅助系统状态对空调系统进行限制。

3) 能耗统计。新能源单轨列车对牵引系统能耗(牵引工况和制动工况)、辅助供电系统能耗和空调能耗的要求更高,其数据记录和统计的需求更为多样。电能消耗和动力电池容量变化的相关数据是支持电池组优化的重要数据。

### 2.2.2 全自动驾驶

新能源单轨列车系统结合其自身特点,从信号系统的角度对 CBTC(基于通信的列车自动控制)运控系统提出了新的思考,并且推荐采用 DTO(有人值守的列车自动运行)运控系统<sup>[2]</sup>。除了基本的硬线指令,通过 TCMS 连接是另一种车辆与信号系统的接口方式,这就要求 TCMS 充分考虑到空铁列车

信号有司机自动化运行 STO(半自动运行)模式的特点,以及 DTO 模式的设计需求。

### 2.2.3 显示风格和交互安全

全景单轨列车采用无司机室的设计,使 TCMS 显示屏“暴露”在乘客面前,因此要考虑界面与透明车体融合的美观性,同时也要考虑无人值守或非激活侧的人机交互安全性问题,既让乘客等非专业人员感觉界面美观,又不至于误操作而发生交通意外。

## 3 网络控制系统的实现

### 3.1 系统设计

单轨列车的 TCMS 采用 MVB(多功能车辆总线)网络传输控制信号,整车一个网段的拓扑结构省去了 MVB 网络中继器的配置。采用以太网构成贯穿整车的维护网络,用于更新软件以及下载数据文件;采用定制化显示屏用于同时接入 TCMS 和 PIS(乘客信息系统)以太网网络,以实现显示视频监控图像的功能。采用 RS485 串行总线与信号系统进行通信。重要的牵引/制动指令采用硬线备份,在 TCMS 故障时满足车辆基本的驾驶功能。新能源单轨列车的 TCMS 拓扑图如图 2 所示。

结合单轨列车 TCMS 的设计要点,新能源单轨列车的 TCMS 设计方案在以下几个方面进行创新性设计,并成功应用于样车。

1) 小型化设备机箱。TCMS 的中央控制机箱和远程输入输出机箱均采用统一尺寸的小型化机箱,相比于同类机箱产品,其体积明显有所减小。机箱尺寸对比如表 1 所示。

表 1 机箱尺寸对比表  
Tab.1 Chassis size comparison

机箱型号	长/mm	宽/mm	高/mm	X 型机箱相对于其他型号 机箱的体积比/%
X 型	227.0	199.5	132.5	100
A 型	435.0	262.5	132.5	40
B 型	440.0	204.0	266.0	63

2) 多功能网关。RIOM(远程输入输出模块)机箱中的网关除了完成从 IO(输入输出)板卡信号到 MVB 网络的转换,还配置了 USB(通用串行总线)接口用于维护,以及 RS485 串行总线接口和以太网用于与其他设备的连接,并完成到 MVB 的协议转换。

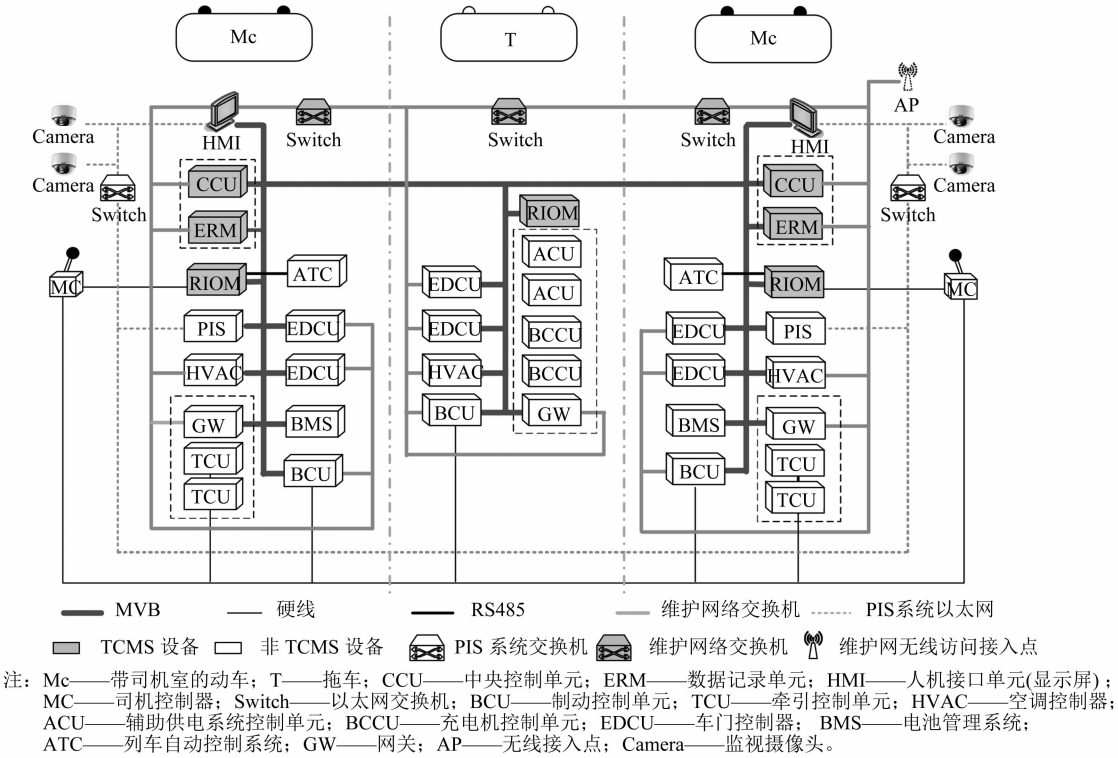


图 2 新能源单轨列车的 TCMS 拓扑图

Fig. 2 Topology of new energy monorail train TCMS

3) 双以太网卡显示屏。显示屏采用双以太网卡设计,可以分别接入不同段的以太网,优化了显示屏的操作系统软件,以实现针对系统开销动态分配运算能力。

3.2 主要功能的实现

新能源单轨列车的 TCMS 基于城市轨道交通(以下简称“城轨”)车辆平台,其总体的监控功能与其他城轨车辆类似,在控制功能的实现方面,需要特别介绍以下几个方面。

3.2.1 制动力管理

新能源单轨列车的制动系统采用液压制动方式为车辆提供摩擦制动力,整车制动力由 TCMS 计算,并面向各个转向架的制动系统进行统一分配。TCMS 制动力管理包括两部分:制动力计算,包括整车制动力和各车制动力需求的计算;根据制动过程的不同阶段分别实施制动力分配策略。面向制动过程的制动力管理策略如表 2 所示。

所提制动力管理方法的特点有:①按照整车计算制动力需求,而不是按照各车或各动力单元计算,避免出现单节车或动力单元实际制动力不足而造成整车制动力不足的情况;②相比于由制动系

表 2 面向制动过程的制动力管理策略

Tab. 2 Strategy of braking force management for braking process

过程	起始	结束	策略
过程 1	制动指令有效	电制动力建立	不对制动系统进行制动力分配 电制动力不足时,优先在拖车上按照平均分配的原则补充摩擦制动力;电制动故障的动车转向架、电制动被关闭的动车转向架及牵引系统不在线的转向架,作为拖车转向架来处理
过程 2	电制动力建立	电制动力退出	平均分配到制动系统工作正常的转向架
过程 3	电制动力退出	零速信号有效	

统进行计算和分配的方式,TCMS 统一管理减少了数据传输导致的延时或牵引系统和制动系统实际制动力叠加的情况;③对制动期间的不同阶段针对性地制定控制策略,并在控制策略中考虑建立电制动力和液压制动力所需的时间,有利于电液切换过程的平滑过渡;④将牵引系统和制动系统作为执行机构,在调试期间仅通过修改 TCMS 中的参数即可实现管理策略的修改,进而提升列车的调试效率。

3.2.2 面向自动驾驶的软件

新能源单轨列车与信号系统的接口和功能设

计主要考虑实现 STO 模式,同时也考虑了预留 DTO 模式,其最主要的特征是 TCMS 改变了模式和工况管理在软件结构中的处理方式。

TCMS 软件设计常用的是面向功能的程序设计思想,用一个软件逻辑模块实现一个控制功能,在逻辑内部分情况讨论各工况下的处理方法,如图 3 a)所示。而新能源单轨列车的 TCMS 采用的是面向工况的设计,先是根据不同条件判断当前工况,进而逐个完成在该工况下应采取的控制功能。

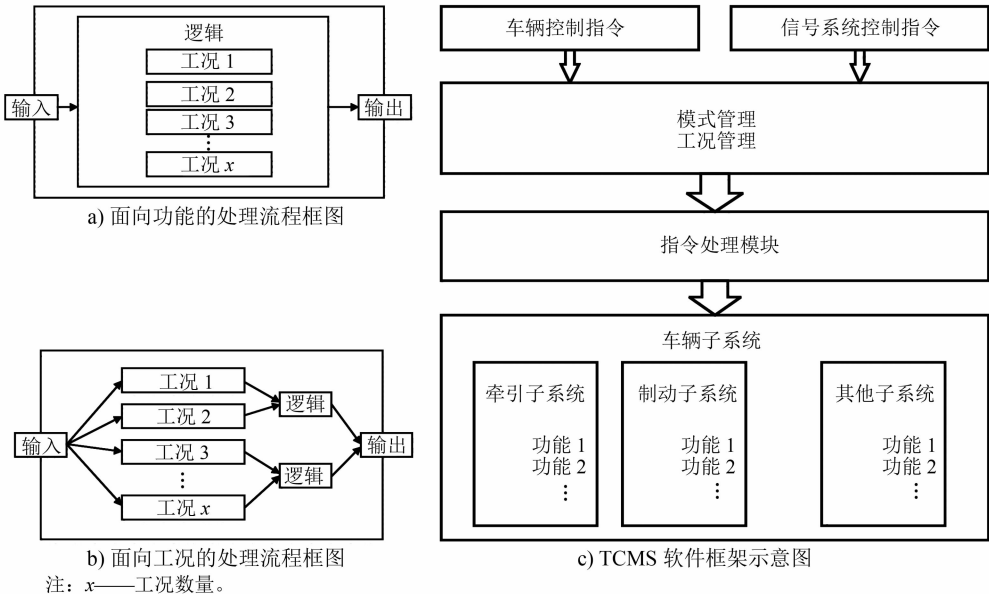


图 3 TCMS 软件示意图  
Fig. 3 Diagram of TCMS software

3.2.3 显示屏功能

1) 视频监视和广播控制。新能源单轨列车取消了乘客信息系统的监控屏,其部分功能融合到 TCMS 显示屏中实现,包括客室/车外摄像机的实时监控图像显示,以及异常状态与监控摄像头的联动和记录。

2) 自动锁屏和动态屏保。在非激活端或在无人值守自动驾驶模式下,TCMS 显示屏将自动进行锁屏。在锁屏状态下,屏幕显示时间、站点和列车速度等信息,屏幕背景为定时切换的图片,且该图片可由用户灵活定制。

4 优化方向

1) 车载子系统融合。新能源单轨列车虽然已经对显示屏进行了功能上的整合,但其系统层面仍保持子系统的独立性。若能融合各子系统(如 TCMS 与 PIS)将明显减少设备及其布线。

2) 无线通信网络。车地无线通信网络可将所

若在不同工况下对某种功能采用同样的处理方法,就可以调用同一个逻辑处理模块,如图 3 b)所示。

基于上述设计思想,TCMS 首先预处理列车信号指令,识别出列车当前处于的工况或模式,然后选择信任的信号源(列车、信号系统或计算逻辑),最终在各子系统中根据预处理指令进行逻辑运算,并将所获得的结果通过总线通讯分发至各设备。新能源单轨列车的 TCMS 控制软件框架如图 3 c)所示。

记录的数据自动上传,避免了由单轨列车车库的条件限制所带来的数据下载不便,同时也能够实现 TCMS 以及其他系统的无线调试和维护。

3) 无人驾驶。新能源单轨列车的 TCMS 还需要进一步加强其安全性和可靠性设计,系统的接口和功能还需进一步结合无人驾驶的应用场景进行补充和完善。

4) 动力电池性能分析和管理。新能源单轨列车的动力电池技术是其核心技术之一。TCMS 利用大容量数据存储能力,结合数据自动传输网络形成大数据分析的基础。通过数据分析技术,研究不同动力电池电量条件下的运营规则,合理规划充电时间,进而使运营效率最大化。

5 结语

本文介绍了新能源单轨列车的设计要点、实现  
(下转第 52 页)