

# 第一章 现代列车网络发展状况

## 第一节 列车网络技术的发展现状与网络控制系统功能

列车网络控制系统是列车的核心部件，它包括以实现各功能控制为目标的单元控制机、实现车辆控制的车辆控制机和实现信息交换的通信网络。列车网络系统的发展过程从系统功能来看经历了由单一的牵引控制到车辆（列车）控制，到现在已经进入分布式控制系统的发展阶段。

### 一、列车网络系统的发展现状

20 世纪 70 年代末至 80 年代初，车载微机的雏形分别在西门子公司和 BBC 公司出现，开始仅仅用于传动装置的控制。随着控制、服务对象的增多，人们把铁道系统依次划分为 6 个层次：公司管理、铁路运营、列车控制、机车车辆控制、传动控制和过程驱动，于是列车通信网络在初期的串行通信总线的基础上应运而生，并从原来不同公司的企业标准推向国际标准，逐步形成了列车通信与控制系统的标准化、模块化的硬件系列和全方位的开发、调试、维护、管理软件工具。

1988 年，IEC 第 9 技术委员会（TC9）成立了第 22 工作组（WG22），其任务是制订一个开放的通信系统，从而使各种铁道机车车辆能够相互联挂，车上的可编程电子设备能够互换。

1992 年 6 月，TC9WG22 以委员会草案（Committee Draft，CD）的形式向各国发出列车通信网（Train Communication Network，TCN）的征求意见稿。该稿分成 4 个部分：第 1 部分为总体结构；第 2 部分为实时协议；第 3 部分为多功能车辆总线（MVB）；第 4 部分为绞式列车总线（WTB）。

总体结构把列车通信网规定为由多功能车辆总线（MVB）和绞式列车总线（WTB）组成。MVB 的传输介质可以是双绞线，也可以是光纤。在后一种场合，其跨距为 2000 m，最多可连接 256 个职能总线站。数据被划分为过程数据、消息数据和监管数据。对过程数据的传输做了优化，发送的基本周期为 1 ms 或 2 ms。

WTB 的传输介质为双绞线，最多可连接 32 个节点，总线跨距 860 m。WTB 具有列车初运行和接触处防氧化功能。发送的基本周期为 25 ms。

1994 年 5 月至 1995 年 9 月，欧洲铁路研究所（ERRI）耗资 300 万美元，在瑞士的因特拉肯至荷兰的阿姆斯特丹的区段，对由瑞士 SBB、德国 DB、意大利 FS、荷兰 NS 的车辆编组成的运营试验列车进行了全面的 TCN 试验。

1999年6月，TCN标准草案正式成为国际标准，即IEC61735。该标准对列车通信网络的总体结构、连接各车辆的列车总线、连接车辆内部各智能设备的车辆总线及过程数据等内容进行了详细的规定。列车通信网络的标准化对其目前和将来的开发设计提供了一个良好的基础，现已交付或投入运营的采用TCN的车辆达600辆以上，装备TCN的车辆数量正在迅速增长，Adtranz、Firema、Siemens等车辆制造工厂的所有新项目均以TCN为基础。

我国列车通信网络的发展可以追溯到1991年，株洲电力机车研究所在购买ABB公司的牵引控制系统开发工具特别是软件开发工具的基础上，联合高校开发出建国第一套电力机车微机控制装置，安装于SS40038电力机车上。在该装置中，系统被明确划分为人机界面显示级、机车控制级和传动控制级三级，级与级之间通过串行总线连接，形成了二级总线的雏形。其中，连接司机台显示器与机车控制级之间的显示总线在“春城”号动力分散电动车组上扩展为贯穿列车连接各动力车的机车控制级与司机台显示器的列车显示总线；连接机车控制级与传动控制级的近程控制器总线在“先锋”号动力分散交流传动电动车组上扩展为连接动力车节点与传动控制单元和列车自动保护系统（Automatic Train Protection，ATP）的中程控制器总线。

近年来，国内机车车辆工业发展迅速，相继开发成功了动车组、200 km/h高速车，以及目前尚处于开发研制阶段的摆式列车、轻轨车等产品。这些产品需要对列车的运行状况和故障做出快速准确的判断和处理，而传统的机车车辆控制技术已不能满足这方面的要求。同时，随着电子技术的飞速发展，应用于车辆上的智能设备也越来越多，如集中轴报、电动塞拉门、电子防滑器、电空制动、信息显示等系统都装在K型车上。这些系统需要配备大量的控制线路，且有的系统自成一个小型网络，使一个车辆有多种网络存在，各系统间的数据不能共享，信号重复检测。为解决上述问题，引入列车通信网络技术将全列车的智能用电设备连接起来，达到数据共享是非常必要的。20世纪90年代中期，随着动车组在我国升温，对列车通信网络特别是机车的重联控制通信的需求十分迫切。一方面，铁道部开展了列车通信网络研究课题；另一方面，各单位也先后开展了自我开发、联合开发或技术引进工作，这些工作主要在局域网、现场总线、TCN、通信介质、基于RS485的通信协议等领域展开。如上海铁道大学与株洲电力机车研究所合作开发的基于ARCNET的列车总线和基于HDLC（高级数据链路控制协议）的车辆总线的列车通信网络的研究；上海铁道大学用CAN（控制器局域网）作为连接司机台和列车控制单元的局部总线的研究；国防科技大学用CAN作为磁悬浮列车的列车总线的研究；西南交通大学用RS485+协议作为摆式列车倾摆控制总线的研究；北京交通大学对通信介质及其转换的研究；大同机车厂对列车通信网结构及其协议的研究和对BITBUS（位总线）的研究；株洲电力机车研究所的基于FSK（频移键控）的列车通信的研究、基于RS485+协议的局部总线的研究、基于LonWorks的列车总线和局部总线的研究、CAN总线用于列车监控装置和摆式列车局部控制总线的研究、基于ModBus的I/O局部总线的研究、MVB与WTB的研究，以及国产化的MVB产品与其他公司的MVB产品的兼容性试验；四方机车车辆研究所、铁道科学研究院、西南交通大学、武进市剑湖铁路客车附件厂、武汉正远公司等对LonWorks、MVB、WTB的研究。

“新曙光”号是首列采用LonWorks列车总线技术的内燃动车组。在该项目中，LonWorks列车总线网卡插在成熟的内燃机车微机控制装置EXP机箱中。首尾动力车的重联通信通过LonWorks列车总线以显式报文方式实现，而EXP机箱内的主CPU通过机箱背部的并行FE

总线访问网卡上的双口 RAM 实现信息交换。“神州”号 LonWorks 列车重联通信与此类似，但采用了二路总线，即设置了一路 Lonworks 冗余通道。

“先锋”号是首列采用了株洲电力机车研究所的 TEC 列车通信与控制系统的动力分散交流传动电动车组。在该项目中，每节动车或拖车上都有一个列车总线节点，列车总线贯穿全列车连接各个节点。在每节动车或拖车内，各智能控制设备通过 MVB 或控制器总线与节点交换信息。在司机台显示器上可以选择查看全列车各个设备的状态。

“中原之星”号是第二列采用 TEC 技术的动力分散交流传动电动车组。该项目与“先锋”号项目的主要区别是采用了 MVB 光缆连接一个车组单元内 3 节车的所有智能控制设备（大部分布置在车辆的地板底下），而整列车仅设置了 2 个列车总线节点，即每个车组单元只设置 1 个列车总线节点。从而从列车总线往下看，好像整个列车是由 2 个基本运转单元构成，简化了控制信号在列车总线上的传递。另外，“中原之星”号的车辆总线、列车总线、列车控制单元、某些重要设备的数字 I/O 通道（如继电器）等采取了冗余措施。

“新曙光”号、“神州”号列车重联通信的成功，特别是“先锋”号、“中原之星”号的较为完备的列车通信与控制系统的成功，标志着我国列车通信与控制系统的的发展已经进入实用化的新阶段。

## 二、列车网络控制系统的功能

列车网络控制系统的功能主要包括：实现牵引控制，即牵引特性曲线的实现和牵引功能的优化；实现列车牵引黏着控制，使列车在各种运用条件下，都能保持轮轨间的牵引力，并尽可能地使机车运用在轮轨间的牵引力实现最大化；实现并联和电路的连接，即逻辑控制功能；以及实现列车运行过程中的故障信息处理，即进行故障信息的采集、处理、传输、显示和记录，并为列车乘务提供故障的现场处理和排除信息的提示。此外，还提供列车运行的状态信息。

# 第二节 列车网络特点与发展总趋势

## 一、铁路微机监控系统的发展

近年来，随着计算机技术、通信技术、控制技术以及系统集成技术的迅速发展，微机监控技术也得到迅速发展。目前的微机监控系统，除了能完成常规 SCADA 系统（数据采集与监视控制系统）的“四遥”功能外，还可以完成许多其他的数据处理和管理功能，如可以提供各种数据报表、图形曲线，可提供复式终端，可与其他系统联网等，还拥有操作人员在线培训、防误操作以及辅助决策等功能。

铁路微机监控系统在技术上的两大发展趋势是：调度端（控制中心）实现综合监控；变电所实现综合自动化。调度端的综合监控，也称为调度综合自动化。

随着技术的发展，一些新的技术将在铁路微机监控系统中得到越来越多的应用。例如，

采用多媒体技术，可以实现语言报警、语音操作提示、视频监控等功能。

近年来，随着现场总线（Fieldbus）技术的发展，许多先进的现场总线涌现出来，所谓现场总线，是用于过程自动化和制造自动化最底层的现场设备或现场仪表互联的通信网，是现场通信网络与控制系统的集成。现场总线构成的控制系统，称为现场总线控制系统（Fieldbus Control System，FCS）。它带来的变革是：FCS的信号传输实现了全数字化；FCS的系统结构是全分散式的；FCS的现场设备具有互操作性；FCS的通信网络为开放式互连网络；FCS的技术和标准实现了全开放。目前较流行的现场总线主要有CAN、LonWorks、PROFIBUS、HART、FF等。现场总线在变电所综合自动化系统中已得到成功应用。

随着计算机软件技术的发展，微机监控系统的软件也逐渐走向组态化、方便化。因此，微机监控系统将越来越多地采用软件组态技术和系统集成技术。

随着卫星通信技术的发展，全球卫星定位系统（GPS）成功地用作微机监控系统的系统时钟，并将得到越来越多的应用。

总之，随着计算机、通信、控制等技术的发展，铁路微机监控系统也将不断地得到提高和发展。

## 二、列车控制网络的发展趋势

目前，网络技术方兴未艾，同时，随着控制网络应用范围的不断扩大，用户对网络的开放性、性价比、开发和应用的多样性和灵活性等都提出了更高的要求。由于各种控制网络都有其优缺点，目前还没有一种控制网络能很好地满足铁路用户所有的应用需求，因此，将来的列车网络技术标准和IEC 61158工业现场总线标准一样，将不再是仅包含一种技术的标准，而是多种网络技术的融合。列车控制网络技术今后的发展将呈以下趋势。

### 1. 相互竞争，多种网络技术并存

基于WTB和MVB的IEC TCN网络技术是专为铁路应用开发的，它具有很强的实时性和很高的可靠性，能满足铁路行业的特殊需求，因而在今后相当长的时间内，仍将作为列车控制网络技术的主流，在互操作性要求高的高速机车/动车组、地铁车辆等高端市场被广泛应用。而其他通用网络技术，如LonWorks、CANopen等，由于其具有良好的开放性、较高的性价比，以及开发的灵活性和便利性，将用在通信数据量不太大，或实时性要求不太高的应用场合，如客车，货车，轻轨、内燃机车及控制子系统等领域。

### 2. 相容并蓄，多种网络共存于一个系统中

由于用户需求的多样性，WorldFIP、CANopen、TIMN、LonWorks等通用网络技术在今后一段时间内将和原有TCN网络共同发展，取长补短并相互融合。例如，列车总线可能仍然采用WTB，而车辆总线除MVB外则可采用WorldFIP、CANopen、LonWorks、TIMN中的一种；或者车辆总线仍然采用MVB，而I/O和控制子系统则采用上述通用网络中的一种。

### 3. 异军突起，工业以太网的引入将成为新的热点

近年来，工业以太网技术在工业自动化和过程控制市场上迅速发展。以太网技术已渗透到工业控制中，出现了现场总线型网络技术与以太网/因特网开放型网络技术的自然结合。随

着基于网络的远程诊断与维护、旅客信息与舒适性支持等新的用户需求的提出，以太网不仅可以成为列车网络中的高层信息网络，也极有可能上下贯通，直接与下层车载控制设备相连，从而形成车辆控制与信息服务的新型宽带网络系统，实现控制网络与信息网络的有机融合。

4. 由于电子技术的迅速发展，高速列车的控制、检测和诊断系统正在向智能化方向发展

在控制系统方面，为改善控制性和确保可靠性，在中央装置和各终端装置上已分别采用 32 位 CPU 代替早期的 8 位 CPU。提高无线传送质量和位置检测精度的研究尚需继续进行。以安全控制为中心的列车运行检测还要不断提高其可靠性和响应速度，可以采用光纤通信提高系统的抗干扰性。此外，还有提高彩色显示技术、实现标准化和无维修化等课题有待研究。

目前，我国的列车网络技术和国外相比，开发和应用水平相对较低，如何抓住铁路跨越式发展所带来的大好机遇，通过引进、消化、吸收、再创新，开发出能真正满足用户需求的“先进、成熟、经济、实用、可靠”的列车控制网络标准技术和系列产品，是广大控制网络部件开发商、系统集成商、铁路用户及行业主管部门共同的责任和使命。

## 思考题

- (1) 简述我国列车网络技术的发展情况。
- (2) 简述列车控制网络的发展趋势。