

第一章

现代列车网络发展状况

第一节 国内外列车网络系统的发展

一、我国列车网络技术的现状与发展

我国对列车网络的应用始于对机车微机控制系统的应用。我国铁路列车的微机控制系统是从机车的牵引控制开始的。

1987年，我国开始对国产电力机车车载微机控制系统进行研究。在引进的6K、8K微机控制电力机车和与美国GE公司合作研制的内燃机车微机控制系统的基础上，开发研制了两种用于牵引控制的微机系统：一种是国产化的MICAS-S微机系统，用于SS_{4B}和SS₈等电力机车；另一种是基于美国GE公司20世纪80年代的C39-8机车上所用的微机控制系统，用于DF₁₁和DF_{8B}等内燃机车。这两种系统都采用80186作为CPU，单机结构，但MICAS-S系统允许有多个处理器。与此同时，机车上的其他一些小系统也采用了微机，主要是单片机（51系列或96系列）。例如，目前在各型机车上都已经安装使用的LKJ-93、LKJ-2000型列车运行监控记录装置，其CPU采用的就是8097单片机。

1989年，我国引进了瑞士ABB公司MICAS-S系统机车模拟控制装置。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，联合路内高校开发出了我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全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动车组上扩展为连接动力车节点与传动控制单元和ATP的中程控制器总线。

20世纪90年代中期，随着动车组在我国升温，人们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。1995年，铁道部开始立项研制拥有自主知识产权的ARCNET列车通信网络，由株洲电力机车研究所联合铁路相关单位进行研究。它是一种令牌总线网络，

通信速率为 2.5 Mbps，可降到 1 Mbps 使用。该项目已制造出了网关等设备，但最后未完成系统。在这一时期，路内外许多单位也先后自发地开展了自我开发、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 RS-485 的通信协议等领域展开。例如：原上海铁道学院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 的车辆总线的列车通信网络的研究；原上海铁道学院用 CAN 作为连接司机台与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 RS-485 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 的研究；株洲电力机车研究所基于 FSK 的列车通信的研究，基于 RS-485 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，将 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 ISO 局部总线的研究，MVB、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配件厂、武汉正远公司等对 LonWorks、MVB、WTB 进行了研究，购买了或准备购买 LonWorks、MVB、WTB 的开发工具。

近年来，国内机车车辆工业发展迅速，动车组、200 km/h 的高速机车等产品相继被成功开发，摆式列车、轻轨列车等产品也已进入开发阶段。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，应用于机车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、电控制动、信息显示等系统都装在 K 型车上。这些系统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，各系统之间数据不能共享，信号重复检测。为解决上述问题，引入列车信息网络技术，将全列车的智能用电设备连接起来，从而实现数据共享。国内各铁路工厂为满足新型机车车辆、动车组以及城市轨道交通车辆的需要，纷纷采用了各种类型的计算机通信网络，从简单的 RS-485 高速总线到符合 TCN 标准的 WTB 系统和 MVB 系统都有成功应用。

“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的方式实现，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”号的 LonWorks 列车重联通信与此类似，但采用了两路通道，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”号是第二列采用了 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三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的，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、某些重要设备控制用的数字输入/输出通道（如继电器）等都采取了冗余措施。

“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。

表 1.1 和表 1.2 分别列出了我国列车通信网络在动车组和机车上的应用情况。

表 1.1 我国列车通信网络在动车组上的应用情况

车型	编组	列车总线	车辆总线	子系统总线	总线供应商	出厂日期
TM1 出口伊朗 EMU	2M10T	FSK 动车重联	MVB 连接显示器和牵引控制系统	RS-485 连接机车级和传动级	ADtranz、株洲所	1997
“庐山”号双层 DMU	2M2T	RS-485	—	—	西门子	1998
“春城”号 EMU	3M3T	远程 RS-485 连接 MMI 和 3 个动车	—	RS-485 连接机车级和传动级	株洲所	1998
四方厂液力传动 DMU	2M4T	高速 RS-485	—	—	日本新泻铁工所	1999
“新曙光”号 DMU	2M9T	LonWorks 动车重联	—	—	株洲所	1999
“大白鲨”号 EMU	1M6T	FSK 连接动车和控制车	MVB 连接显示器和牵引控制系统	RS-485 连接机车级和传动级	ADtranz、株洲所	1999
“蓝箭”号交流传动 EMU	1M6T	WTB 连接全列车所有车辆	MVB 连接动车和拖车内所有智能设备	—	ADtranz	2000
“神州”号 DMU	2M10T	LonWorks 动车重联	—	—	株洲所	2000
“神州”号 DMU	2M10T	CAN 动车重联	—	—	武汉正远	2000
“先锋”号动力分散 EMU	4M2T	FSK 连接全列车所有车辆	MVB 连接制动系统、辅助系统、车辆设备、显示器	远程 RS-485 连接牵引控制系统、ATP	株洲所	2001
哈尔滨局 DMU	2M5T	RS-485 动车重联	—	—	长春客车厂	2001
“中原之星”号动力分散交流传动 EMU	4M2T	FSK 连接 2 个各由 2M1T 三节车组成的车组单元	MVB 连接一个车组单元内所有智能设备	—	株洲所	2001
集通 DMU	2M6T	LonWorks 动车重联	—	—	株洲所	2001
“中华之星” EMU	2M8T	WTB 连接全列车所有车辆	MVB 连接制动系统、辅助系统、车辆设备、显示器	—	ADtranz、株洲所	2003
CRH1 动车组	5M3T	WTB /MITRAC 系统	MVB	—	Bombardier	2007
CRH2 动车组	4M4T	ARCNET	点对点串行传输，20 mA 电流环	—	日本日立	2007
CRH3 动车组	4M4T	WTB/ SIBAS32 系统	MVB	CAN、RS-485	Siemens	2008
CRH5 动车组	5M3T	WTB	MVB	CAN	ALSTOM	2007

表 1.2 我国列车通信网络在机车上的应用情况

车型	编组	列车总线	车辆总线	子系统总线	总线供应商	出厂日期
“奥星”号交流传动	电力机车	—	MVB 连接机车内 所有智能设备	—	株洲所	2001
HXD1 机车 HXD1B 机车 HXD1C 机车	电力机车	WTB/SIBAS 32 系统	MVB	—	Siemens	2007
HXD2 机车 HXD2B 机车	电力机车	WorldFIP/AGATE	—	—	ALSTOM	2007
HXD3 机车	电力机车	Ethernet/以太网	RS-485	—	日本东芝	2006
HXD3B 机车	电力机车	WTB/MITRAC 系统	MVB	—	Bombardier	2008
HXN3 机车	内燃机车		EM2000 系统	Ethernet/CAN	EMD	2008
HXN5 机车	内燃机车	Ethernet/以太网	ARCNET	—	GE	2008

二、国外列车网络技术的发展

随着微机技术和通信技术的发展，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发展为国际标准，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。

1. 德国西门子（Siemens）公司列车网络技术的发展

1979 年，德国西门子公司首次开发车载微机控制装置；1981 年，采用 8086CPU 开发了 SIBAS 系统，80 年代末改用 80186 作为 CPU；1992 年，在 SIBAS 16 基础上推出的以 80386 为 CPU 的 SIBAS 32 系统已具备网络控制功能（符合 TCN 标准）。

2. 德国 ADtranz 公司列车网络技术的发展

德国 ADtranz 公司即 ABB 戴姆勒-奔驰运输系统股份公司(ABB Daimler-Benz Transportation GmbH)，简称 ADtranz，中文译作“安达”，是一家生产铁路车辆的公司，已在 2001 年被庞巴迪收购。该公司的 MICAS-S 牵引控制系统创建于 20 世纪 80 年代初，其 CPU 采用 80186。1992 年，MICAS-S2 系统开始大批量应用于列车通信网络。之后，在其基础上推出了以 Motorola MC68EN360 为 CPU 的 MITRAC 分布式列车控制与通信系统，符合 TCN 标准。

3. 法国阿尔斯通（ALSTOM）公司列车网络技术的发展

ALSTOM 公司于 20 世纪 80 年代在机车车辆上开始进行车载微机的控制研究。该公司将 WorldFIP 作为标准通信协议应用于其开发的 AGATE 列车控制系统，并成功应用于 TGV 高速列车。

4. 北美列车网络技术的发展

在北美，由一家美国公司 Echelon 于 20 世纪 90 年代初开发的主要用于建筑自动化和工业控制的现场总线 LonWorks 被部件供应商和铁路公司所接受，紧跟在 IEC 61375 之后正式成为国际标准。IEEE 于 1999 年制定了 IEEE 1473 列车通信协议，该协议包含 IEC 61375 规定的 TCN (14732T) 和 78 Kbps 数据速率的 LonWorks (14732L)。

5. 日本列车网络技术的发展

日本的铁路运输业也十分发达，但由于其地形十分封闭，其列车控制网络技术模式不同于欧洲，而采用了一种适用主义的技术路线：列车总线采用实时的 ARCNET 令牌环型或梯型网络，而车辆总线则采用基于 HDLC 的 RS-485 总线，同样满足了包括新干线高速列车在内的各种列车的控制需求，且具有较高的性价比。

6. TCN 的发展

1988 年，受国际电工委员会 (IEC) 第 9 技术委员会 (TC9) 的委托，来自 20 多个国家 (中国、欧洲部分国家、日本和美国) 以及 UIC (国际铁路联盟) 的代表组成了第 22 工作组 (WG22)，共同为铁路设备的数据通信制定一项标准。1999 年 6 月，经过长达 11 年的工作，工作组在 ABB 公司的 MICAS、西门子公司的 DIN43322 和意大利的 CD450 等运行经验的基础上制定了列车通信网络 (TCN) 标准——IEC 61375，正式成为国际标准。我国于 2002 年颁布的铁道部标准 TB/T 3025—2002 也将其正式确认为列车通信网络标准。

目前被我们广泛使用的列车通信网络有：符合 IEC 标准的 TCN 网络 (IEC 61375)；符合 IEEE 标准的列车通信网络 (IEEE 1473，包括 TCN 网络和 LonWorks 网络)；其他工业控制网络，如应用于法国 TGV 高速列车 AGATE 控制系统的 WorldFIP 网络，应用于日本新干线高速列车的 ARCNET 网络等。

第二节 列车网络特点与发展趋势

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，就是本节下面将要介绍的内容。

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连的通信网络,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联网络; 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)也正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方面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,在将来,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网络技术是为铁路应用而开发的,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、内燃机车以及控制子系统等领域得到广泛使用。

(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,工业以太网技术正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；采用光纤通信可以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，开发和应用水平还较低，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，是广大的控制网络部件开发商、系统集成商、铁路用户以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) 简述国外列车网络发展状况。
- (3) 简述列车控制网络的发展趋势。