

# 第一章 列车网络基础知识

## 第一节 国内外列车信息网络的发展

### 一、国外列车信息控制网络的发展

#### 1. 初期阶段

计算机在轨道交通工具上的应用随着 20 世纪 70 年代后期微处理器技术的普及而迅速发展。开始阶段，微处理器主要应用于机车车辆单个设备的控制，如西门子、BBC 于 20 世纪 80 年代初把 8086 微处理器应用于机车或动车的传动控制等。

#### 2. 发展阶段

随着微处理器控制、服务对象的增多，人们逐渐引入了铁路控制系统层次划分的思想，产生了基于串行通信的、用于较为独立的控制设备或层次间信息交换的总线与企业标准。例如，BBC 的连接机车控制层与传动控制层的串行控制器总线，该总线后来发展成为用于连接机车内的所有智能设备的 MICAS 车辆总线，简称 MVB。

#### 3. 成熟阶段

20 世纪 90 年代初，产生了以满足机车和动车组重联控制需要的列车总线，如西门子的 DIN43322 列车总线。至此，一些大的铁路公司以牵引控制系统为基础、列车通信系统为纽带、新器件和新工艺为载体，相继推出广泛覆盖牵引、制动、辅助系统、旅客舒适设备控制和显示、诊断等的列车通信与控制系统，它们在欧洲一般被简称为 TCC。而在北美，类似的系统被称为基于通信的列车控制系统，简称 CBTC。

### 二、列车通信网络 (TCN) 标准

1999 年 6 月，经过长达 11 年的摸索与实践，IEC/TC9/WG22 在 ABB 的 MVB、西门子的 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 IEC61375，并正式成为国际标准。

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。它紧跟在 IEC61375 之后也

正式成为国际标准，美国电气和电子工程师协会 (IEEE) 于 1999 年制定了 IEEE1473 列车通信协议。该协议包含 IEC61375 规定的 TCN (14732T) 和 78 kb/s 数据速率的 LonWorks (14732L)。

TCN 的核心技术由西门子、Firema、AEG 和 ABB 组成的联合开发组开发，使之能用于各自的 TCC 系统。TCN 的芯片可以在市场上自由购买。还有一些中、小公司提供 MVB 电路板、WTB 节点、组态和监控工具、实时协议栈或文件等。

TCN 得到了在制动、车门、黏着、厕所、仪表、显示、自动控制等方面的许多部件供应商 (如 Knorr Electronics、Westinghouse Brakes、IFE、Deuta、Faiveley、Secheron、Selectron Lyss、Holec 等) 的支持。在 IEC/TC9/WG22 的工作完成之后，2001 年成立了主要来处理一致性测试的工作组——WG38 (最近又改名为项目组 PT6137522)。

TCN 技术在各种铁道机车车辆上得到了广泛应用，表 1-1-1 和表 1-1-2 仅列出 Adtranz 与西门子公司装备有 TCN 产品的部分车型。

表 1-1-1 Adtranz 的 TCN 项目

车 型	国 家	数 量	总线类型	交付日期
SBB Lok460-1/2/3	瑞士	119	MVB	1991—1995
NSB IC 70 EMU	挪威	12	MVB	1992
ESL (海峡隧道)	法国/英国	37	MVB	1992
BR Class 92	英国	46	MVB	1993
VR Sr2	芬兰	20	MVB	1994
QR-SMU	澳大利亚	12	MVB	1994
ERR I-TCN 试验	欧洲	1	WTB + MVB	1994
LRV Mannheim	德国	69	WTB + MVB	1994
IR WAG 和 WAP	印度	33	MVB	1995
BR101	德国	145	WTB + MVB	1996
ET423	德国	100	WTB + MVB	1997
Gardemoen	挪威	6 + 33 + 9	WTB + MVB	1996—1998
IC2000	瑞士	250	WTB + MVB	1997—1998
斯德哥尔摩地铁列车	瑞典	75×3	WTB + MVB	1997
NSB EMU	挪威	16×3	WTB + MVB	1997
丹麦 DMU	丹麦	13×2	MVB	1997
马尼拉地铁列车	菲律宾	7×4	WTB + MVB	1998

表 1-1-2 西门子的 TCN 项目

项 目	种 类	数 目	铁 路	国 家
-----	-----	-----	-----	-----

Prag	地铁列车	22	布拉格地铁	捷克
Tren Urbano	地铁列车		San Juan, Puerto Rico	美国
BR152	机车	119	德国铁路 DB	德国
ICT (7 辆编组)	摆式动车组	32	DB	德国

续表

项 目	种 类	数 目	铁 路	国 家
ICT (5 辆编组)	摆式动车组	11	DB	德国
DJI	机车	20	中国	中国
ICE3	高速 EMU	50	DB	德国
ICE3	高速 EMU	6	NS	荷兰
ICE-ET	摆式 DMU	20	DB	德国
VT605	摆式 EMU		DB	德国
CP Pendoluso	摆式 EMU	10	保加利亚铁路	保加利亚
EM G312	摆式 EMU		斯洛文尼亚铁路	斯洛文尼亚
San Paulo CPTM	摆式 EMU		巴西 CPTM	巴西
马来西亚机场	摆式 EMU		马来西亚 Kuala Lumpur	马来西亚
双层车	控制车	10	OeBB	奥地利
双层车	拖车	50	OeBB	奥地利
ET424、425、426	摆式 EMU		DB	德国

### 三、国内列车信息控制网络的发展

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其购买的 ABB 公司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，并安装于 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，随着动车组技术在我国越来越受重视，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，原铁道部开展了列车通信网络课题研究；另一方面，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 RS485 的通信协议等领域展开。例如，当

时的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 的车辆总线的列车通信网络的研究；当时的上海铁道大学用 CAN 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 的研究；株洲电力机车研究所的基于 FSK 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 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、武汉市剑湖铁路客车配件厂、武汉正远公司等对 LonWorks、MVB、WTB 进行的研究及购买了或准备购买 LonWorks、MVB、WTB 的开发工具。

以上这些研究,有一些成果得到了应用,如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 采用了列车通信技术的国产机车/动车组

车 型	编 组	列车总线	车辆总线	子系统总线	总线供应商	出场日期
TM 1 出口伊朗 EMU	2 动 10 拖	FSK 动车重联	MVB 连接显示器和牵引控制	RS485 连接机车级和传动级	Adtranz 株洲所	1997
“庐山”号双层 DMU	2 动 2 拖	RS485			西门子	1998
“春城”号 EMU	3 动 3 拖	远程 RS485 连接 MMI 和 3 个动车		RS485 连接机车级和传动级	株洲所	1998
液力传动 DMU	2 动 4 拖	高速 RS485			日本新泻铁工所	1999
“新曙光”号 DMU	2 动 9 拖	LonWorks 动车重联			株洲所	1999
“大白鲨”号 EMU	1 动 + 5 拖 + 1 控制车	FSK 连接动车和控制车	MVB 连接显示器和牵引控制	RS485 连接机车级和传动级	Adtranz 株洲所	1999
“蓝箭”号交流传动 EMU	1 动 + 5 拖 + 1 控制车	WTB 连接全列车每一节车辆	MVB 连接本动车或拖车内所有智能设备		Adtranz	2000
“神州”号 DMU	2 动 10 拖	LonWorks 动车重联			株洲所	2000
“神州”号 DMU	2 动 10 拖	CAN 动车重联			武汉正远	2000
“先锋”号动力分散交流传动 EMU	4 动 2 拖	FSK 连接全列车每一节车辆	MVB 连接制动控制、辅助系统控制、车辆设备控制、显	远程 RS485 连接牵引控制、ATP	株洲所	2001

			示器			
哈尔滨铁路局 DMU	2 动 5 拖	RS485 动车重联			长春客车厂	2001
“中原之星”号 动力分散交流 传动 EMU	4 动 2 拖	FSK 连接 2 个各由 2 动 1 拖三节车组 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
“奥星”号交流 传动	机车		MVB 连接机车内所 有智能设备		株洲所	2001
集速 DMU	2 动 2 拖	LonWorks 动车重联			株洲所	2001

“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，但采用了二路方式，即设置了一路 LonWorks 冗余通道。

“先锋”号是首列采用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的各个节点。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），而整列车仅设置了两个列车总线节点，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，好像整个列车是由两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、某些重要设备控制用的数字输入/输出通道（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发展已经进入实用化的新阶段。

## 第二节 网络基础知识及概念

### 一、计算机网络的组成要素

计算机网络的组成必须具备以下 3 个要素：

- (1) 至少要有两台以上具有独立操作系统的计算机，相互间有共享某种资源的需求；
- (2) 节点之间需要有某种通信手段或方法将其互联；
- (3) 两个或多个节点之间进行通信，必须遵循某种被公认的规则（即协议）。

## 二、局域网

### 1. 局域网的概念

根据网络连接范围的大小，可以将计算机网络分为局域网和广域网两种。

局域网（Local Area Network, LAN）也称为局部网络，是将分散在有限地理范围内（如一栋大楼，一个部门）的多台计算机通过传输媒体连接起来的通信网络，通过功能完善的网络软件，实现计算机之间的相互通信和共享资源（现在的传输速度一般在 10 Mb/s 以上）。

美国电气和电子工程师协会（IEEE）于 1980 年 2 月成立了局域网标准化委员会（简称 802 委员会），专门对局域网的标准进行研究，其制定的 IEEE802 标准已逐步成为国际标准。该委员会给出的 LAN 的定义是：允许中等地域内的众多独立设备通过中等速率的物理信道直接互联通信的数据通信系统。

### 2. 局域网的特性和特点

- (1) 网络覆盖范围小（25 km 以内）。
- (2) 选用较高特性的传输媒体：高的传输速率和低的传输误码率。
- (3) 硬软件设施及协议方面有所简化。
- (4) 媒体访问控制方法相对简单。
- (5) 采用广播方式传输数据信号，一个节点发出的信号可被网上所有的节点接收，不考虑路由选择的问题，甚至可以忽略 OSI 网络层的存在。

## 三、站地址

### 1. 站地址的概念

为了能够进行数据传输，入网的每个设备都具有可被唯一识别的地址，称之为站地址。

### 2. 站地址的类型

局域网中可用的地址格式一般有两种（见表 1-2-1）：

(1) 静态分配地址格式（也称通用格式或全局地址）：由网络硬件制造商在生产硬件（如网络适配卡——网卡）时给定。静态地址通常占 48 个二进制位，为了保证地址的通用性（全球唯一），该 48 位的一部分（一般为 24 位）由 IEEE 委员会分配给不同的制造厂商，另一部分（一般为 16 位）由厂商为其产品编号，而其他位则保留它用。

(2) 动态分配地址格式（也称本地地址或局部地址）：该地址在安装网络时，由系统管理员分配给上网的设备，或者在站点运行时，通过询问网络、检测地址冲突后动态获得。这种

地址结构仅适用于单个网络，地址长度一般为 16 位。

表 1-2-1 站地址的分类

地址格式	优点	缺点
静态地址	地址的永久性，无须为获得地址而消耗网络资源	地址占用较大的空间，因此会影响通信的效率（地址字段在分组中的比例较大）
动态地址	地址空间小，无须硬件制造商为地址分配权进行协商	地址的临时性，以及为获得地址而消耗网络资源

## 四、局域网的拓扑结构

### 1. 网络拓扑的概念

在网络中，将不同设备根据不同的工作方式连接称之为拓扑（topology）。各种不同计算机网络系统的拓扑结构是不同的，同时不同拓扑结构的网络的功能、可靠性、组网成本等方面是不同的。

局域网的拓扑结构是指连接网络设备的传输媒体的铺设形式。

### 2. 局域网拓扑结构的类型

构成局域网的网络拓扑结构主要有星形结构、总线结构、环形结构和混合形结构，如图 1-2-1 所示。

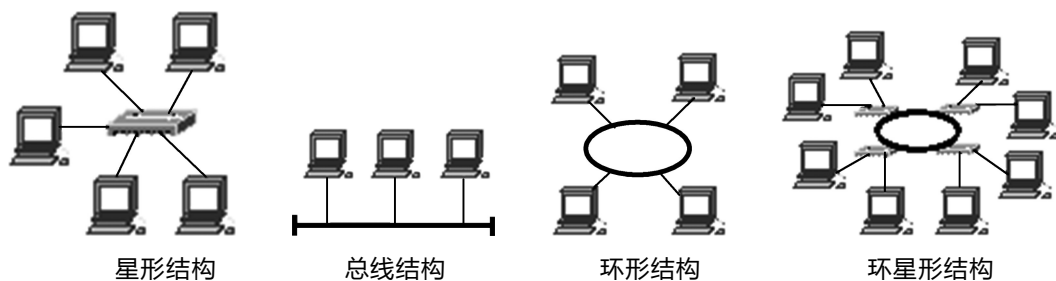


图 1-2-1 局域网拓扑结构示意图

#### (1) 星形结构。

星形结构由中央节点和分支节点构成，各个分支节点均与中央节点具有点到点的物理连接，分支节点之间没有直接的物理通路。如果分支节点间需要传输信息，必须通过中央节点进行转发；或者由中央节点周期性地询问各分支节点，协助分支节点进行信息的转发。

#### (2) 总线结构。

总线结构采用无源传输媒体作为广播总线，利用电缆抽头将各种设备接入总线。如果某个节点有信息需要发送，则直接发往总线，总线上的所有节点都将感知该信息的到来。为了防止传输信号的反射，总线两端需使用终结器（也称终端适配器）。

(3) 环形结构。

环接口设备通过传输媒体串接形成闭合环路，每个环接口设备仅与其相邻的两个环接口设备（分别对应上行和下行环接口设备）之间具有点到点连接，入网设备通过环接口设备接入环路。当某个节点有信息希望发送时，信息首先发到对应的环接口设备，并沿环路发往其下行的环接口设备，该设备进行转发或者递交给其附接的节点。

(4) 混合形结构。

混合形结构是将上述各种拓扑混合起来的结构，常见的有树形（总线结构的演变或者总线和星形的混合）、环星形（星形和环形拓扑的混合）等。

## 五、传输媒体

用于局域网的传输技术主要分为有线传输和无线传输两类，有线传输使用的媒体包括双绞线、同轴电缆和光缆等；无线传输使用的媒体为大气层，使用的技术主要包括微波、红外线和激光等。

### 1. 双绞线（见图 1-2-2）

双绞线是一种价格低廉、易于连接的有线传输媒体。

(1) 非屏蔽双绞线（Unshielded Twisted Pair, UTP），用塑料套管套装了多对双绞线，目前在局域网中使用最广泛。常用的 5 类 UTP 双绞线，在单段线缆长度为 100 m 时，传输速率可达 100 Mb/s。

(2) 屏蔽双绞线（Shielded Twisted Pair, STP），用铝箔套管套装多对双绞线，具有抗电磁干扰能力。

(3) 拓扑结构：星形。

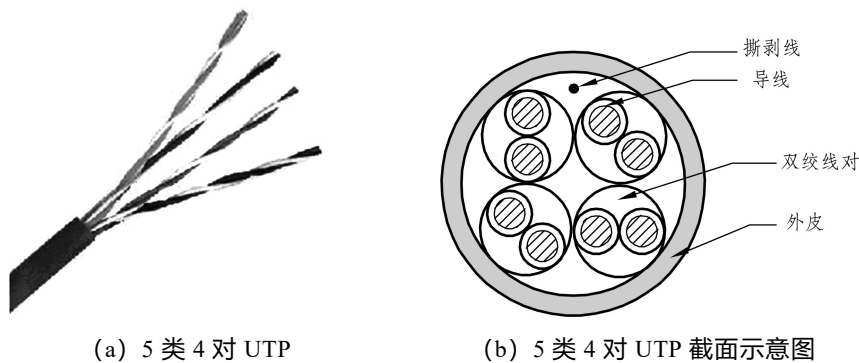


图 1-2-2 双绞线



## 2. 同轴电缆 (见图 1-2-3)

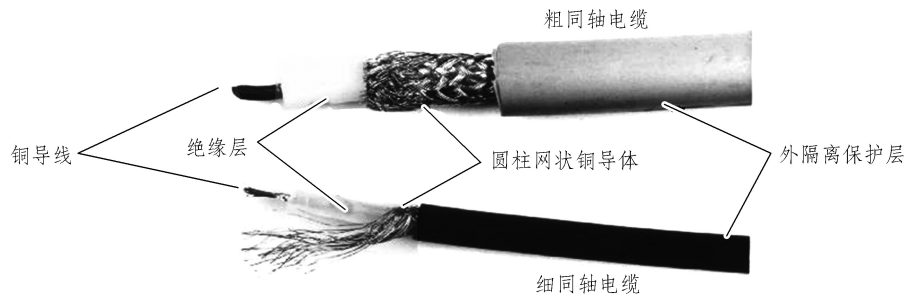


图 1-2-3 同轴电缆

同轴电缆具有辐射小和抗干扰能力强等特点，常用于电视工业，也曾经是 LAN 中应用最多的传输媒体，现已不常使用，被双绞线和光纤所代替。

- (1) 基带同轴电缆：阻抗为  $50\ \Omega$ ，用于基带数字信号传输
- (2) 宽带同轴电缆：阻抗为  $75\ \Omega$ ，用于传输宽带模拟信号。
- (3) 拓扑结构：总线形。

## 3. 光导纤维

光导纤维（光纤）是一种新型的传输媒体。它具有误码率低、频带宽、绝缘性能高、抗干扰能力强、体积小和质量轻等特点。

- (1) 单模光纤：采用注入型激光二极管作为光源产生激光，激光的定向性强，在给定的波长上，只能以单一的模式进行传输，其传输距离可达 100 km。
- (2) 多模光纤：采用发光二极管作为光源产生荧光（可见光），定向性较差，在给定波长上，通过反射，以多种模式进行传输，多模光纤的传输距离一般在 2 km 以内。
- (3) 拓扑结构：星形或环形，常用于局域网主干网。

## 4. 无线传输

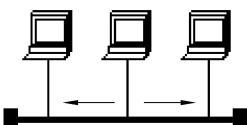
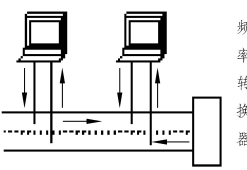
无线传输是指通过无线电波在自由空间的传播进行通信，常用于电（光）缆铺设不便的特殊地理环境，或者作为地面通信系统的备份和补充。

- (1) 微波：在空间只能直线传输，长距离通信时需要在地面上架设微波塔，或者在人造同步地球卫星上安装中继器，作为微波传输中继站，来延伸信号传输的距离。
- (2) 红外线和激光：通信的收发设备必须处于视线范围之内，均具有很强的方向性，因此，其防窃取能力较强，但对环境因素较为敏感。

# 六、局域网的传输技术

局域网中，利用传输媒体传输信号的技术可分为基带传输和宽带传输两种，见表 1-2-2。

表 1-2-2 局域网的传输类型

传输技术类型	描述	特征	传输方向
基带传输	保持数据波的原样进行传输称为基带传输或者基带数字信号传输	① 数字信号为电脉冲或者光脉冲； ② 信号传输将占用整个信道的带宽； ③ 数据波信号会随着距离的增加而衰减，随着频率的增加而容易发生畸变，因此它不适合高速和远距离的传输	
宽带传输	宽带在电话系统中通常指带宽超过一个标准话路（约 4 kHz）的传输系统，在数据通信领域则指数据传输速率超过 1 Mb/s 的传输系统	① 宽带传输系统传输的是模拟信号； ② 需采用适当的调制解调技术； ③ 采用频分多路复用技术，支持多路信号传输； ④ 与基带相比较，宽带传输可提供较高的传输速率和抗干扰能力	

## 七、局域网的逻辑结构

为了规范 LAN 的设计，IEEE 802 委员会针对各种局域网的特点，并且参照 ISO/OSI 参考模型，制定了有关局域网的标准（称为 IEEE 802 系列标准）。有关 LAN 的标准化主要集中在 OSI 体系结构的底二层，已制定了一系列的标准，具体包括：

- (1) IEEE 802.1A——综述和体系结构。
  - (2) IEEE 802.1B——寻址、网络管理和网络互联。
  - (3) IEEE 802.2——逻辑链路控制协议（LLC）。
  - (4) IEEE 802.3——载波侦听多路访问/冲突检测（CSMA/CD）访问控制方法和物理层规范。
  - (5) IEEE 802.4——令牌总线（Token-Bus）访问控制方法和物理层规范。
  - (6) IEEE 802.5——令牌环（Token-Ring）访问控制方法和物理层规范。
  - (7) IEEE 802.7——宽带时间片环（Time-Slot）访问控制方法和物理层规范。
  - (8) IEEE 802.8——光纤网媒体访问控制方法和物理层规范。
  - (9) IEEE 802.9——等时网（Iso-net）。
  - (10) IEEE 802.10——LAN 的信息安全技术。
  - (11) IEEE 802.11——无线 LAN 媒体访问控制方法和物理层规范。
  - (12) IEEE 802.12——100 Mbps VLB-Anylan 访问控制方法和物理层规范。
- IEEE 802 系列标准间的关系如图 1-2-4 所示。