

# 以太网列车骨干网在复兴号动车组中的应用

罗昭强 尚大为 韩东宁 刘利国

(中车长春轨道客车股份有限公司高速动车组调试车间,130062,长春//第一作者,高级技师)

**摘 要** 对 CR400BF 型动车组网络系统中的列车骨干网进行应用分析,重点论述列车骨干网及其控制逻辑在复兴号动车组上的应用,从而展示复兴号动车组的智能化优势和以太网列车骨干网的应用优势。

**关键词** 复兴号动车组;列车通信网;以太网列车骨干网

**中图分类号** U283.1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.02.031

## Application of Ethernet Train Backbone Network in Fuxing CR Train

LUO Zhaoqiang, SHANG Dawei, HAN Dongning, LIU Ligu

**Abstract** The application of train backbone network in the CR400BF EMU network system is analyzed. Then, the application and logical control of train backbone network in Fuxing CR train is emphasized, so as to reflect the intelligent advantages of Fuxing CR train and the broad perspective of Ethernet train backbone application.

**Key words** Fuxing CR train; train communication network (TCN); Ethernet train backbone

**Author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着我国高速铁路建设的飞速发展,传统列车控制网络技术,如列车通信网络(TCN)、绞线式列车总线(WTB)、多功能车辆总线(MVB)、控制器局域网(CAN)等都已无法满足高速列车日益发展的需求,为此,迫切需要开发新型的列车控制网络技术。以太网列车骨干网(ethernet train backbone, ETB)技术的诞生,可以满足高速列车网络控制技术的需求。

### 1 以太网列车骨干网构架

以太网是当今现有局域网普遍采用的通信网络。以太网局域内所有计算机被连接在一条同轴电缆上,具有冲突检测的载波感应多处访问方法,

采用竞争机制和总线拓扑结构。以太网由共享传输媒体,如双绞线电缆或同轴电缆和多端口集线器、网桥或交换机构成。采用现代工业以太网替代传统的 TCN 等网络来组成列车网络和车辆网络,具有通信速率高、实时性强、互操作性好等优点,彻底解决了 TCN 等网络存在的带宽窄、速率低、互操作性差等缺点。以太网列车骨干网构架见图 1。

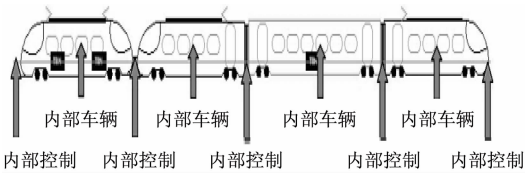


图 1 以太网列车骨干网构架

以太网列车骨干网即列车以太骨干网络,是由国际电工委员会标准 IEC 61375-2-5 《Electronic railway equipment--Train communication network (TCN)--Part 2-5: Ethernet train backbone》规定的一种基于以太网技术的列车级通信网络。该标准同时规定了列车不同种类网络系统的互用性和开放性。ETB 技术基于 TCP/IP 协议中 ISO-OSI 模型的 1~4 层技术和 IEEE 802.3 以太网技术,规定了列车以太骨干网络传输层、网络层、数据链路层和物理层,以及网络通信的服务质量、数据结构和冗余定义等。列车通信网络最终由一条列车以太骨干网络连接起来,其稳定性和安全性直接决定了列车是否能够正常运行。

在列车上,ETB 使用物理线路将有源网络设备,如 ETBN(以太网列车骨干网节点)、中继器等连接在一起,并使用无源部件作为以太网的线缆和连接器。列车上的 ETB 被分为 3 个区域,分别为车辆内部有源(TBN)/无源部件、连接同一编组车辆的无源部件、连接编组间无源部件(手动/自动车钩)。ETB 规定车辆内部连接、同一编组车辆间连接、编组间连接都需要使用 CAT5e 线缆和 M12D Coded 连接器作为有源设备的连接器,采用全双工模式,

物理层之间的连接方式采用交叉的连接方式,使用以太网供电。

## 2 复兴号动车组网络拓扑结构

复兴号动车组为 8 辆编组,采用 4 动 4 拖编组

方式,每 4 辆车为 1 个牵引单元,具体编组为:Tc + M + Tp + M + M + Tp + M + Tc。动车组网络控制系统(见图 2)的列车总线采用 WTB,车辆总线采用 MVB,同时布设以太网,用于列车监控、软件上传和数据的下载解析(见图 3)。

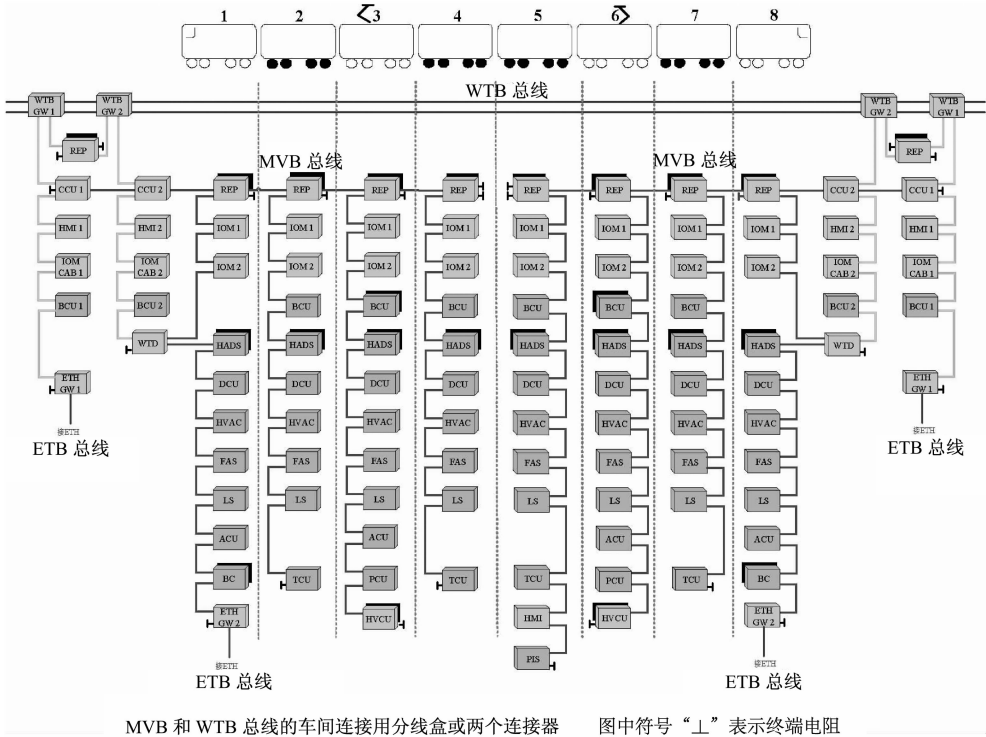


图 2 动车组控制系统网络拓扑结构

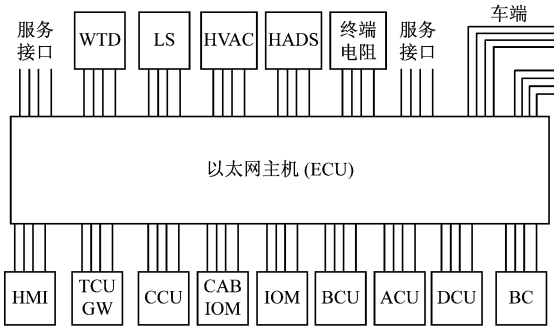


图 3 动车组以太网拓扑结构

每辆车上装有以太网交换机(见图 4),通过车辆之间的贯通线缆把车辆连成一个整体,实现子系统通过以太网接口与车辆以太网的连接,进行以太网数据交换。利用笔记本电脑,通过 RJ45/M12 线缆,可以连接车辆上任意一台以太网主机,实时对车上带有 MVB 总线的设备实现数据的下载、传输、监控及上传,对车辆子系统进行实时监控和查询。

### 2.1 子系统组网设置正确性检查

车辆的各个设备,在整个通信网络层面相当于

各个子系统,都有自己的 IP 地址和 MAC 地址。IP 地址是车辆设备唯一的动态地址,通过 SoftPerfect Network Scanner 软件进行扫描测试,可将整列车所有 MVB 连接设备的 IP 地址都扫描出来。例如,IP 地址为 10. 1. 1. 202,代表此设备已经连入了以太网,可以通过以太网进行监控和传输。

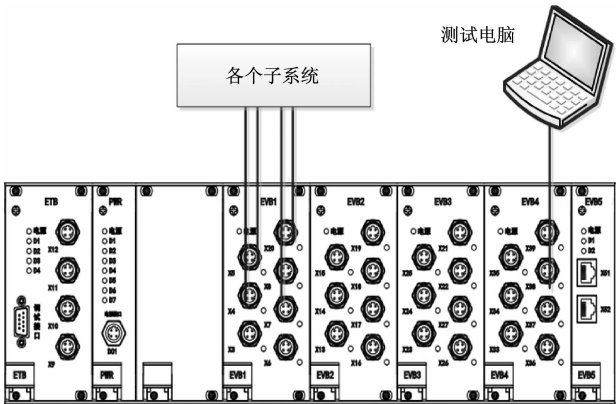


图 4 动车组车辆以太网交换机结构

## 2.2 动车组初运行

动车组初运行时基于一个特殊的协议:列车拓扑发现协议(TTDP)。所有的ETBNs(多个以太网列车骨干网节点)都需要执行TTDP。动车组初运行时需要为每一个组成网址节点(子网号)及每一个以太网列车骨干网节点配置一个标识号。子网号和列车骨干网节点号用于建立列车IP地址映射、列车路由定义、网络地址转换规则及终端设备命名等。TTDP的主要目标是计算出这些标识符,而为了计算确定这些标识符,TTDP构建了两类拓扑结构,即物理拓扑和逻辑拓扑。

(1)物理拓扑:用于生成以太网列车骨干网节点的顺序和导向列表;列车物理拓扑在连通性列表中被定义。物理拓扑总是随着连接到以太网列车骨干网的节点数目的改变而更新。

(2)逻辑拓扑:用于生成列车子网的顺序和导向列表;列车逻辑拓扑在列车网络目录中被定义。逻辑拓扑包含了“子网号”和“以太网列车骨干网节点号”。

动车组初运行进程遵循以下规则:

(1)具有最低编组UUID(universally unique identifier)的编组内,以太网列车骨干网节点(ETBN)的末端节点,被称为ETBN的顶节点。

(2)如果列车只有唯一编组,ETBN的顶节点是静态确定的,顶节点地址“ETBN ID”取值为1。

(3)ETBNs在ETB参考方向2时升序定义为2,最后一个被确定的ETBN是ETB的底节点。

(4)ETB的参考方向总是指向ETBN顶节点。

动车组初运行过程应当在所有ETBN上运行(见图5),其过程如下:

(1)发现和监视ETB成员的运行状态。发现拓扑过程一直保持激活状态,TOPOLOGY报文从每一个ETBN由多播发送到其他节点,因此,ETBN交换机转发列表要随每一次传输不断更新。

(2)与列车应用程序通告并协商拓扑结构。如没有应用程序的确认,则无法添加任何行为。

(3)在应用程序确认之后,列车的逻辑拓扑被用来参考以建立列车IP映图和更新网络服务。列车的终端设备(EDs)将被通告最新被认可的拓扑。列车ETB端点的端口被设为阻塞状态(discarding state),只有HELLO报文(IEEE 802.3管理帧)能被发送(使用管理MAC地址),以发现预期的重联。

拓扑的稳定性基于循环冗余校验码(CRC)的

计算。当所有的CRC(本地的和从其他ETBN接收到的)一致时,所有的ETBN分享相同的拓扑结构。

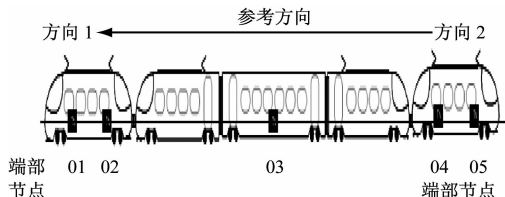


图5 ETBN上的动车组初运行示意图

## 2.3 ETBNs成员发现

(1)内部成员发现:每一个ETBN不断地尝试探测ETB上其他的ETBNs。为了检测其余的ETBNs,每一个ETBN周期性地发送一个数据链路层多播帧去其余的ETBNs。这个帧被命名为TTDP TOPOLOGY帧。在ETB的两个方向上,链路聚合组被用于发送TTDP TOPOLOGY帧。当接收到TTDP TOPOLOGY帧,ETBN应该在交换机转发列表中寻找帧的源MAC地址,用来探测这个帧是来自于目录DIR1还是目录DIR2。当ETBN从未接收到帧,则说明在ETB上ETBN是唯一的,在一个超时后将会声明稳定性。在一个超时后,没有接收到一个特定ETBN的帧,则说明特定的ETBN消失。两种不同的工具用来建立:①连通性列表“连通性矢量”字段;②“ETBN矢量”字段。

(2)外部成员探测:一旦拓扑被列车应用程序认可,“InaugInhibition”标志位是“True”时,列车末端ETB的以太网端口被设置为丢弃状态;只有管理帧(参考它们的目的MAC地址)被允许通过(如TTDP HELLO帧),而TTDP TOPOLOGY帧被禁止。例如,在列车重联/ETB延长时,新的外部ETB成员将由周期性交换的帧检测。这个消息被命名为TTDP HELLO帧。当列车应用程序允许一个新的ETB初运行,新的成员将被添加到ETB拓扑。这个帧相当小,它们会被配置较高的发送频率,因此能够对其余的ETBN出现或消失有较快的响应。

(3)交换机端口状态处理:根据列车初运行状态和成员探测,处理ETBN交换机端口状态。尤其是描述一个末端节点如何从丢弃状态转换为转发状态(见图6)。

(4)ETB分享:ETB线路状态由TTDP TOPOLOGY帧发出,被所有的ETBN分享。每一个ETBN根据从它的端口接收到的TTDP HELLO帧计算出它的线路状态。图7显示出ETBN线路的成员发现

过程,它仅适用于使用线路进行静态配置状况。

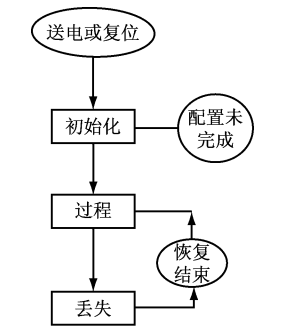


图6 交换机端口状态处理

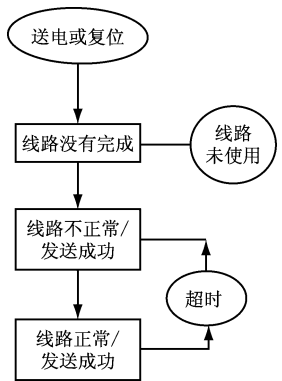


图7 ETBNs 成员发现过程

### 3 以太列车骨干网应用

以太列车骨干网可以将构成列车编组中的骨干节点互相连接起来,每一个编组可有 0、1 或多个列车骨干节点,其组成网可以通过一个或多个骨干网节点连入列车骨干中。列车骨干网节点状态有以下两种:

- (1)激活的(Active):这种状态下,列车骨干网节点可以在组成网和列车骨干网之间传递数据包。
- (2)未激活的(Passive):这种状态下,列车骨干网节点不会在组成网和列车骨干网之间传递数据包。

组成网和列车骨干网间的连接应该是冗余的,有以下两种冗余架构(见图8):

- (1)组成网冗余:复制一个完整的组成网作为冗余,该冗余组成网的列车骨干网节点是未激活的。
- (2)列车骨干网节点冗余:组成网和列车骨干网至少要通过 2 个列车骨干网节点进行连接,可以将终端设备通过列车骨干节点直接连接到列车骨干网上,也可以将终端设备放到组成网中,之后再连接到骨干网。

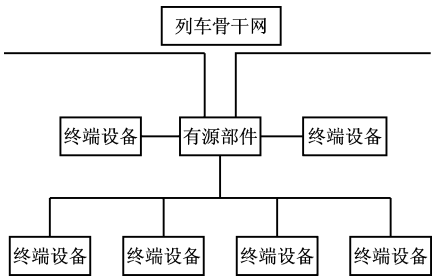


图8 组成网与列车骨干网连接的冗余结构

组成网和列车骨干网的应用可以通过一种网络技术或多种网络技术的结合来实现。对于列车骨干网可采用以下技术:

- (1)列车可以使用 WTB 或者 ETB 其中的一个。
- (2)列车可以同时使用 WTB 和 ETB,如 WTB 用于可操作数据,ETB 用于多媒体数据。
- (3)列车可以使用多个 ETB,如一个 ETB 用于可操作数据,另一个 ETB 用于多媒体数据。
- (4)列车在固定的配置(列车组之间无可操作的重联或解编)情况下,可以忽略列车骨干网,如果列车骨干网使用不同的技术(WTB 或 ETB),则需要使用网关进行连接。

对于组成网,可以采用以下技术:

- (1)在一个编组中,可以使用 MVB、CAN 或 ECN(ethernet consist network)等技术。
- (2)如果明确支持上述技术,组成网中 MVB、CAN 及 ECN 技术可以联合使用。在这种情况下,组成网技术间的数据交换以及组成网和列车骨干网之间的数据交换需要特别明确。
- (3)简单编组不需要组成网,终端设备可以直接连接到列车骨干节点上,或者骨干网节点实现终端设备的功能。

为了提供冗余,数据传输媒介应该是双重的。为了支持动车组初运行,节点应该能够打断总线,去接收选择的数据传输方向。为了防止无效或不运行的节点无意识地打断总线,需要提供一个作用机制。

### 4 结语

列车骨干网在复兴号动车组的应用,是高速动车组的一个突破,打破了常规的 TCN、WTB、MVB 及 CAN 的构架,使得车辆控制更为方便与快捷,并可以准确、实时地监控列车状态。

(下转第 133 页)

利申请权及专属权均归雇员。因此,建议与雇员签订相关合同,对申请专利的权利和专利权的归属、使用等作出明确约定。

### 3 商业秘密的保护

商业秘密就是企业独到的、能够形成市场优势的经营诀窍,是企业最核心、最宝贵、最具潜力的财富。在中俄联合企业的高铁产品的生产制造过程,在双方的技术合作与交流过程中,商业秘密的严密保护是做好高铁技术知识产权保护的重要部分。

从立法角度看,俄罗斯十分重视商业秘密的保护。2004年,俄罗斯颁布了《商业秘密法》。《俄罗斯联邦民法典》第四部分第七十五章,专章规定对商业秘密的法律保护。《俄罗斯联邦民法典》第1465条规定了商业秘密的保护对象:商业秘密是指任何性质的(生产、技术、经济、管理和其他的)有关科技领域的智力活动成果信息,以及有关从事专业活动方法的信息,这些信息由于不为第三人所知而具有现实的或潜在的商业价值,第三人对其无法合法地公开获取,并且信息持有人对其以商业秘密制度加以保护。《俄罗斯联邦民法典》第1467条规定,商业秘密的保护期限是不确定的,即仅在构成其内容的信息资料得以保密的情况下有效,这与其他知识产权有特定有效期的规定不同。自相应信息资料保密性丧失之时起,所有权利持有人的商业秘密专属权即行终止。一项技术秘密可能由于权利人保密措施得力和技术本身的应用价值而延续很长时间,远远超过专利技术受保护的期限。《俄罗斯联邦民法典》第1468条规定,商业秘密的专属权可以转让,权利人可通过商业秘密专属权转让合同,向他人全部转让其商业秘密权。《俄罗斯联邦民法典》第1469条规定,商业秘密持有人可以通过合同方式许可他人使用其商业秘密。

需要注意的是,俄罗斯与中国法律在商业秘密归属权方面的规定不同。根据《俄罗斯联邦民法典》第1470条规定,职务商业秘密是指雇员因履行劳动义务或完成雇主具体任务所形成的商业秘密,职务商业秘密的专属权属于雇主。如商业秘密是在履行承揽合同或政府合同时获得的,则这些商业秘密专属权属于承揽方(执行者),但合同另有规定的除外。中国合同法规定,委托开发关系下商业秘密的归属由当事人自行约定,也就是说当事人可以在约定委托关系下完成的技术成果属于委托人,也可约定属于被委托人。如果没有约定或约定不明的,委托人和被委托人都有使用和转让的权利,也就是说由双方当事人共同拥有。另外,除当事人另有约定以外,委托开发中完成的技术成果专利申请权属于被委托人。因此建议,中车关联企业在雇佣关系、委托开发关系以及合作开发关系的合同中,对商业秘密权的归属、使用等方面应作出明确约定,必要时可以作出商业秘密权的转让和许可。

### 4 结语

本文结合俄罗斯知识产权法律环境,在专利布局、职务发明、商业秘密3个方面提出建议,阐述中俄联合建厂制造中国高铁涉及的知识产权保护问题。中车关联企业应该熟知高铁进口国的知识产权法律法规,提高知识产权保护意识,做好技术创新成果的全方位知识产权保护,有效保障我国高铁事业的持续发展。

### 参考文献

- [1] 黄道秀. 俄罗斯联邦民法典译本[M]. 北京:北京大学出版社, 2007:427.

(收稿日期:2018-10-11)

(上接第130页)

### 参考文献

- [1] 株洲电力机车研究所. 列车实时以太网介绍 IEC61375-1[R]. 株洲:株洲电力机车研究所, 2001.
- [2] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [3] 郭其一. 现场总线与工业以太网应用[M]. 北京:科学出版

社, 2016.

- [4] 李正军. 现场总线与工业以太网及其应用技术[M]. 北京:机械出版社, 2011.
- [5] 梁庚. 工业测控系统实时以太网现场总线技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2013.

(收稿日期:2018-10-11)