



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28029.12—2020

## 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 3-4 部分:以太网编组网(ECN)

Electronic railway equipment—Train communication network (TCN)—  
Part 3-4: Ethernet Consist Network (ECN)

(IEC 61375-3-4:2014, MOD)

2020-03-06 发布

2020-10-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



目次

前言 ..... Ⅲ

引言 ..... V

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语、定义、缩略语和约定 ..... 2

    3.1 术语和定义 ..... 2

    3.2 缩略语 ..... 3

    3.3 约定 ..... 6

4 通用部分 ..... 7

    4.1 概述 ..... 7

    4.2 架构 ..... 7

    4.3 数据类型 ..... 10

    4.4 功能与服务 ..... 12

    4.5 冗余 ..... 12

    4.6 服务质量 ..... 14

    4.7 IP 地址及相关定义 ..... 16

    4.8 IP 地址与网络配置管理 ..... 17

    4.9 网络设备接口 ..... 19

    4.10 终端设备接口 ..... 25

    4.11 网关功能 ..... 28

    4.12 网络管理 ..... 29

5 一致性测试 ..... 29

附录 A (资料性附录) ECN 架构可靠性和可用性比较 ..... 30

附录 B (资料性附录) 轨道交通用网络地址转换(R-NAT) ..... 40

附录 C (规范性附录) 带信号放大的收发器协议定义 ..... 44

附录 D (资料性附录) 梯形拓扑协议定义 ..... 52

参考文献 ..... 98



## 前 言

GB/T 28029《轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN)》分为以下 12 个部分：

- 第 1 部分：基本结构；
- 第 2-1 部分：绞线式列车总线(WTB)；
- 第 2-2 部分：绞线式列车总线(WTB)一致性测试；
- 第 2-3 部分：TCN 通信规约；
- 第 2-4 部分：TCN 应用规约；
- 第 2-5 部分：以太网列车骨干网(ETB)；
- 第 2-6 部分：车地通信；
- 第 2-7 部分：基于电台的无线列车骨干网(WLTB)；
- 第 3-1 部分：多功能车辆总线(MVB)；
- 第 3-2 部分：多功能车辆总线(MVB)一致性测试；
- 第 3-3 部分：CANopen 编组网(CCN)；
- 第 3-4 部分：以太网编组网(ECN)。

本部分为 GB/T 28029 的第 3-4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 61375-3-4:2014《轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 3-4 部分：以太网编组网(ECN)》。

本部分与 IEC 61375-3-4:2014 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(Ⅰ)进行了标示，具体技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 删除了 ISO/IEC 7498、ISO/IEC 8824；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 18015.6 代替 IEC 61156-6(见表 12、4.9.4.2、表 14)；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 18233 代替 ISO/IEC 11801(见表 12、4.9.4.2、表 14、4.10.2.2)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 28029.1 代替 IEC 61375-1(见 3.3、4.2.2、4.3、4.11.1)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 28029.2 代替 IEC 61375-2-1(见 3.1、4.12.2、第 5 章)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 28029.6 代替 IEC 61375-2-5(见 4.6.2、4.7.2、4.7.3、4.11.2、4.12.3、第 5 章)；
- 将 IEC 61375-3-4:2014 参考文献中的 IETF RFC 768、IETF RFC 791、IETF RFC 792、IETF RFC 793、IETF RFC 826、IETF RFC 1918、IETF RFC 2236、IETF RFC 2365、IETF RFC 3022、IETF RFC 3203、IETF RFC 3376、IETF RFC 4541 调整为规范性引用文件，以符合 GB/T 1.1 的要求(见第 2 章)。

——删除了在 GB/T 28029.2 已界定的术语和定义，直接引用 GB/T 28029.2。

——增加了“编组交换机”的术语和定义(见 3.1.12)；

——将 IEC 61375-3-4:2014 中第 5 章的注调整为正文，因为其包含了要求。

本部分还做了下列编辑性修改：

——增加了表 8、表 9 的表号和表题；

——调整了部分列项编号(见 D.1、D.3.2.3.2)。

本部分由国家铁路局提出。

本部分由全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278)归口。

本部分起草单位:中车株洲电力机车研究所有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司机车车辆研究所、中车长春轨道客车股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车株洲电力机车有限公司、中车南京浦镇车辆有限公司。

本部分主要起草人:肖家博、郝波、李申龙、李波、刘泰、周安德、吴文慧、陈美霞。

## 引 言

TCN 通用架构(见 GB/T 28029.1)定义了两层网络结构:列车骨干网和编组网。该分层结构规定了基于诸如 MVB、CANopen 和 ECN 等不同技术的编组网,它们可接入到同一个列车骨干网。基于不同设计和实现的 ECN 可接口到同一列车骨干网,列车骨干网确保不同实现的编组网之间的互操作性。

GB/T 28029 的本部分通用部分,即第 1 章~第 4 章,定义了所有 ECN 实现、终端设备和网关公用的要求和规范。

该通用部分定义了:

- 连接到 ECN 的终端设备数据通信接口;
- ECN 向终端设备提供的功能和服务;
- 用于列车骨干网和 ECN 之间数据传输的网关功能;
- ECN 性能。





## 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN)

### 第 3-4 部分:以太网编组网(ECN)

#### 1 范围

GB/T 28029 的本部分规定了基于以太网技术的编组内数据通信网络,即以太网编组网(ECN)。

应用本部分可实现开式列车内各车辆内设备的互操作性。

如果供应商与用户协商同意,本部分也可适用于闭式列车和多单元列车。

#### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 18015.6 数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆 第 6 部分:具有 600 MHz 及以下传输特性的对绞或星绞对称电缆 工作区布线电缆 分规范(GB/T 18015.6—2007, IEC 61156-6:2002, IDT)

GB/T 18233 信息技术 用户建筑群的通用布缆(GB/T 18233—2008, ISO/IEC 11801:2002, IDT)

GB/T 28029.1 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 1 部分:基本结构(GB/T 28029.1—2020, IEC 61375-1:2012, MOD)

GB/T 28029.2 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 2-1 部分:绞线式列车总线(WTB)(GB/T 28029.2—2020, IEC 61375-2-1:2012, MOD)

GB/T 28029.6 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 2-5 部分:以太网列车骨干网(ETB)(GB/T 28029.6—2020, IEC 61375-2-5:2014, MOD)

IEC 61076-2-101 电子设备用连接器 产品要求 第 2-101 部分:圆形连接器 带螺纹锁紧的 M12 连接器的详细规范(Connectors for electronic equipment—Product requirements—Part 2-101: Circular connectors—Detail specification for M12 connectors with screw-locking)

IEC 61076-3-104 电气和电子设备用连接器 产品要求 第 3-104 部分:频率在 2 000 MHz 及以下的数据传输用 8 路非屏蔽和固定式连接器的详细规范(Connectors for electrical and electronic equipment—Product requirements—Part 3-104: Detail specification for 8-way shielded free and fixed connectors for data transmissions with frequencies up to 2 000 MHz)

IEC 62439 (所有部分) 工业通信网络 高可用自动化网络(Industrial communication networks—High availability automation networks)

ANSI X3.263:1995 信息技术 光纤分布式数据接口 令牌环双绞线物理层依赖媒体[EN-Information Technology—Fibre Distributed Data Interface(FDDI)—Token Ring Twisted Pair Physical Layer Medium Dependent (TP-PMD)(order number ANSI INCITS 263)]

IEEE 802.1D IEEE 局域网和城域网标准 媒体访问控制桥[IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Media Access Control(MAC)Bridges]

IEEE 802.1Q IEEE 局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网(IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Virtual Bridged Local Area Networks)

IEEE 802.3 信息技术 系统之间的通信和信息交换 局域网和城域网 专门要求 第 3 部分：带冲突检测的载波侦听多路(CSMA/CD)访问方法和物理层规范[IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications]

TIA/EIA-568-B 商业建筑布线标准 第 1 部分：基本需求[Commercial Building Telecommunications Cabling Standard—Part 1: General Requirements (ANSI/TIA/EIA-568-B.1—2001)]

- IETF RFC 768 用户数据报文协议(User Datagram Protocol)
- IETF RFC 791 互联网协议(Internet Protocol)
- IETF RFC 792 互联网控制消息协议(Internet Control Message Protocol)
- IETF RFC 793 传输控制协议(Transmission Control Protocol)
- IETF RFC 826 以太网地址解析协议：或将网络协议地址转换为 48 位以太网地址(An Ethernet Address Resolution Protocol: Or Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware)
- IETF RFC 1918 专用网的地址分配(Address Allocation for Private Internets)
- IETF RFC 2236 互联网组管理协议，版本 2(Internet Group Management Protocol, Version 2)
- IETF RFC 2365 管理范围内的 IP 组播(Administratively Scoped IP Multicast)
- IETF RFC 3022 传统 IP 网络地址转换器[Traditional IP Network Address Translator (Traditional NAT)]
- IETF RFC 3203 DHCP 重配置扩展(DHCP reconfigure extension)
- IETF RFC 3376 互联网组管理协议，版本 3(Internet Group Management Protocol, Version 3)
- IETF RFC 4541 支持互联网组管理协议(IGMP)和多播监听器发现(MLD)侦听的交换机的注意事项[Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches]

### 3 术语、定义、缩略语和约定

#### 3.1 术语和定义

GB/T 28029.2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

**自协商功能 auto negotiation**

以太网点对点链路上两个网络设备能自动选择最优可行配置的机制。

注：如全/半双工模式、传输速率等。

##### 3.1.2

**自动极性变换 auto polarity**

自动校正信号极性的功能。

##### 3.1.3

**交叉功能 crossover function**

在点对点收发链路末端，将一端物理层(PHY)的发送器与对端 PHY 的接收器连接的功能。

##### 3.1.4

**全双工模式 full duplex mode**

全双工模式允许一条链路上的站之间同时发送和接收帧。

## 3.1.5

**车辆内连接 intra-car connection**

车辆内通信设备之间的连接(链路)。

## 3.1.6

**车辆间连接 inter-car connection**

两车辆之间接口(不含两个编组之间接口)上通信设备之间的连接(链路)。

## 3.1.7

**物理层 physical layer**

开放系统互联(OSI)模型中提供在物理链路上传送原始比特方法的一层。

## 3.1.8

**以太网供电 power over ethernet**

使用以太网线缆传输电源。

注:终端分为供电设备终端和受电设备终端。

## 3.1.9

**标记 tag**

在 IEEE 802.3 的 MAC 帧中源介质访问控制(MAC)地址字段后插入的字段。

## 3.1.10

**令牌 token**

在通信设备间传送的用于介质访问控制以避免冲突的信号。

## 3.1.11

**虚拟局域网 virtual LAN**

在链路层上将一个物理局域网划分成多个逻辑分离的网络。

注:即在一个物理局域网内有多个分离的广播域。

## 3.1.12

**编组交换机 consist switch**

基于交换技术用于编组网的网络部件。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACK:确认(Acknowledgement)

ACM:访问控制机(Access Control Machine)

ALG:应用层网关(Application Layer Gateway)

ANSI:美国国家标准协会(American National Standard Institute)

ARP:地址解析协议(Address Resolution Protocol)

ASN.1:抽象语法表示 1(Abstract Syntax Notation Number 1)

AWG:美国线规(American Wire Gauge)

bps:比特每秒(bits per second)

BT:位时间(Bit Time)

CCF:共因失效(Common Cause Failure)

CI:控制入(Control In)

CNN:编组网节点(Consist Network Node)

CS:编组交换机(Consist Switch)

DA:目的地址(Destination Address)  
DHCP:动态主机配置协议(Dynamic Host Configuration Protocol)  
DI:数据入(Data In)  
DNS:域名系统(Domain Name System)  
DO:数据出(Data Out)  
DSCP:差分服务代码点(Differentiated Services Code Point)  
ECN:以太网编组网(Ethernet Consist Network)  
ED:终端设备(End Device)  
EIA:电子工业协会(Electronics Industries Association)  
EMC:电磁兼容(Electro-Magnetic Compatibility)  
EMU:电动车组(Electric Multiple Unit)  
ETB:以太网列车骨干网(Ethernet Train Backbone)  
ExP:外部端口(External Port)  
FCS:帧校验序列(Frame Check Sequence)  
FTP:文件传输协议(File Transfer Protocol)  
FQDN:全称域名(Full Qualified Domain Name)  
HTTP:超文本传输协议(Hypertext Transfer Protocol)  
ICMP:互联网控制消息协议(Internet Control Message Protocol)  
IEEE:电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers)  
IETF:互联网工程任务小组(Internet Engineering Task Force)  
IGMP:互联网组管理协议(Internet Group Management Protocol)  
InP:内部端口(Internal Port)  
I/O:输入输出(Input and Output)  
IP:互联网协议(Internet Protocol)  
LAN:局域网(Local Area Network)  
LPR:本地接收端口(Local Port for Reception)  
LPT:本地发送端口(Local Port for Transmission)  
LSB:最低有效位(Least Significant Bit)  
MAC:介质访问控制(Medium Access Control)  
MAU:介质连接单元(Medium Attachment Unit)  
MD:消息数据(Message Data)  
MDI:介质相关接口(Media Dependent Interface)  
MDI-X:支持交叉功能的介质相关接口(MDI implementing crossover function)  
MRP:介质冗余协议(Media Redundancy Protocol)  
MSB:最高有效位(Most Significant Bit)  
MTBF:平均无故障时间(Mean Time Between Failures)  
MVB:多功能车辆总线(Multifunction Vehicle Bus)  
NAT:网络地址转换(Network Address Translation)  
ND:网络设备(Network Device)  
NTP:网络时间协议(Network Time Protocol)  
OSI:开放系统互联(Open System Interconnection)

OSPF:开放最短路径优先(Open Shortest Path First)

PC:个人电脑(Personal Computer)

PCS:物理编码子层(Physical Coding Sublayer)

PD:过程数据(Process Data)

PHY:物理层(Physical Layer)

PMA:物理介质连接子层(Physical Media Attachment)

PMD:物理介质相关子层(Physical Medium Dependent)

PoE:以太网供电(Power over Ethernet)

QoS:服务质量(Quality of service)

RD:接收数据(Receive Data)

RDA:放大的接收数据(Receive Data Amplified)

RFC:IETF 发布的互联网标准请求评论文件(Request for Comments)

R-NAT:铁路网络地址转换(Railway Network Address Translation)

RX:接收(Receive)

SFD:起始帧定位符(Start Frame Delimiter)

SNMP:简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol)

SNTP:简单网络时间协议(Simple Network Time Protocol)

SS:信号状态(Signal Status)

STP:屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair cable)

TBN:列车骨干网节点(Train Backbone Node)

TCN:列车通信网络(Train Communication Network)

TCP:传输控制协议(Transmission Control Protocol)

TD:发送数据(Transmit Data)

TDA:放大的发送数据(Transmit Data Amplified)

TDRD:发送数据与接收数据(Transmit Data and Receive Data)

TFLPR:本地接收端口失效定时器(Timer for Failure of Local Port for Reception)

TFTP:简单文件传输协议(Trivial File Transfer Protocol)

TFTPU:主干端口上行链路失效定时器(Timer for Failure of Trunk Port Up link)

TIA:电信工业协会(Telecommunications Industry Association)

TLT:限时定时器(Timer for Limit Time)

TNM:列车网络管理(Train Network Management)

TNMS:编组网网络管理发送定时器(Timer for CNN Management Sending)

TNORD:下行链路无数据接收定时器(Timer for No Reception Down link)

TNORU:上行链路无数据接收定时器(Timer for No Reception Up link)

TPCM:主干端口控制机(Trunk Port Control Machine)

TPD:主干端口下行链路(Trunk Port Down link)

TPU:主干端口上行链路(Trunk Port UP link)

TPUD:主干端口上行链路与下行链路(Trunk Port Up link and Down link)

TREQ:发送请求定时器(Timer for Transmit Request)

TRLPR:本地接收端口恢复定时器(Timer for Recovery of Local Port for Reception)

TRTPD:主干端口下行链路恢复定时器(Timer for Recovery of Trunk Port Down link)

TRTPU:主干端口上行链路恢复定时器(Timer for Recovery of Trunk Port Up link)

TRRC:发送、接收与重发控制(Transmission, Reception and Repeat Control)

TTRT:目标令牌循环定时器(Target Token Rotation Timer)

TX:发送(Transmit)

UDP:用户数据报协议(User Datagram Protocol)

UTP:非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair cable)

VLAN:虚拟局域网(Virtual LAN)

VTLT:限时定时器设定值(Value to Timer for Limit Time)

VTREQ:发送请求定时器设定值(Value to Timer for Transmit Request)

VTTRT:目标令牌循环定时器设定值(Value to Target Token Rotation Timer)

WTB:绞线式列车总线(Wire Train Bus)

### 3.3 约定

GB/T 28029.1 定义的和下列约定适用于本文件。

#### 3.3.1 位编号约定

在本部分定义的消息格式表示中,位编号以字节/字中 2 的幂值表示。

#### 3.3.2 字节顺序约定

如无其他声明,在本部分定义的消息格式表示中,整数值编码符合大开端模式。

消息格式以图解式及其之后描述细节的表格规定。如无其他声明,以太网帧中八位位组从左到右、从上到下排序。

#### 3.3.3 数据类型

##### 3.3.3.1 概述

在本部分定义的消息格式表示中,数据类型依据 ASN.1 规定。为忽略标识符、长度和结束符等八位位组,不采用 ASN.1 编码规则。新增的数据类型见如下各条。

注:大多数类型与 GB/T 28029.2 中定义的数据类型相同。

##### 3.3.3.2 布尔类型的表示

一种具有两个特定值的简单类型:真(TRUE)和假(FALSE)。

注:该定义与 GB/T 28029.2 一致。

语法如下:

BooleanType ::= BOOLEAN1

布尔类型应编码为 1 位,值 1 表示 TRUE,值 0 表示 FALSE。

##### 3.3.3.3 无符号整数类型的表示

一种其特定值为全部正数和零的简单类型。后缀 # 定义其以位计数的固定长度。本部分定义了三种类型,后缀 # 分别是 8、16 和 32。

注:该定义与 GB/T 28029.2 一致,但是 # 限定为 8、16 和 32。

语法如下:

UnsignedType := UNSIGNED #, (# = {8, 16, 32})

UNSIGNED8 的取值范围: 0~255

UNSIGNED16 的取值范围: 0~65535

UNSIGNED32 的取值范围: 0~ $2^{32}-1$

三种类型应分别编码为由 8、16 或 32 位组成的二进制数。

#### 3.3.3.4 八位位组字符串类型的表示

八位位组字符串(octetstring)类型的定义应符合 ASN.1。

该类型应编码为连续的八位位组,八位位组顺序与其在数据值中出现的顺序一致。

### 4 通用部分

#### 4.1 概述

本章定义了终端设备、网络设备、列车骨干网节点和整个 ECN 的通用要求和规范。

#### 4.2 架构

##### 4.2.1 网络结构

ECN 逻辑视图如图 1 所示。ECN 互连位于同一编组中的终端设备。ECN 应通过列车骨干网上一个列车骨干网节点(TBN)或一组冗余的 TBN 连接到列车骨干网。通常要求仅一个 TBN 能在 ECN 和列车骨干网之间转发用户数据包。但是,可选允许所有互为冗余的 TBN 在 ECN 和列车骨干网之间转发用户数据包。

注 1: 对于 WTB,一个 ECN 仅一个 TBN 激活。对于 ETB,所有互为冗余的 TBN 激活。参见 GB/T 28029.2 和 GB/T 28029.6。

ECN 应基于交换式以太网。一个 ECN 由编组交换机、连接器、线缆和中继器(可选)组成,并在终端设备之间、终端设备与 TBN 之间传输数据帧。ECN 内可具有子网,这些子网可通过路由器进行连接。

一个编组内可具有一个或多个 ECN,这些 ECN 可接入到同一个列车骨干网,也可接入到不同的列车骨干网。一个终端设备连接到一个编组网,或出于冗余目的连接到一组编组网。终端设备可通过设备上不同的接口连接到不同的编组网,但是该终端设备被视作具有多个逻辑终端设备的一个物理终端设备。

示例: 一个终端设备可为列车监视服务连接到一个编组网,而为多媒体服务连接到另一个编组网。

终端设备与编组交换机之间、TBN 与编组交换机之间的以太网端口应遵循 IEEE 802.3。编组交换机之间的以太网端口宜遵循 IEEE 802.3,但是为满足轨道交通专属要求不强制要求其遵循 IEEE 802.3。

ECN 拓扑可随其实现方式的不同而不同,但本部分定义了通用要求。

注 2: 这是图 1 中的编组交换机不直接连接的原因。

ECN 接入的 TBN 应提供网关功能,负责 ECN 与列车骨干网之间的数据传送。ECN 接入的列车骨干网可以是 WTB 或 ETB。编组网之间的通信可直接或间接通过列车骨干网完成,即网关功能可实现为网络层上的路由功能或应用层网关。

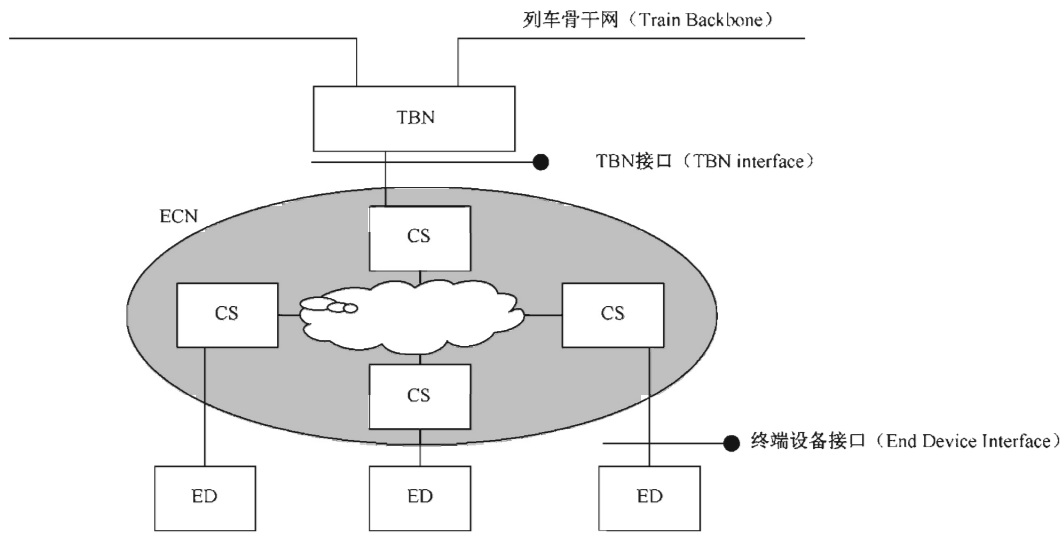


图 1 ECN 逻辑视图

#### 4.2.2 网络拓扑

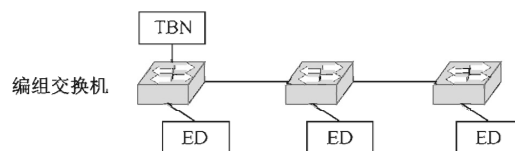
根据应用要求,ECN 可采用任意物理拓扑,但不应在逻辑拓扑上形成一个或多个环。示例如下:

——ECN 物理拓扑可以是线形、环形、梯形或其他形式以实现不同等级的冗余;

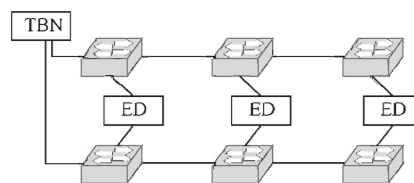
——一个 ECN 可包含一个或多个子网。

线形、环形和梯形拓扑是 GB/T 28029.1 中提及的典型网络拓扑。出于终端设备链路冗余目的,一个终端设备可通过两个独立的通信链路连接到两个不同的编组交换机,见 4.5.4 和 GB/T 28029.1。具有不同物理拓扑和终端设备链路冗余的 ECN 示例见图 2。

注:冗余视图下的拓扑参见 4.5 和附录 A。



a) 线形拓扑



b) 具有双归属的线形拓扑(并行网络)

图 2 ECN 物理拓扑示例



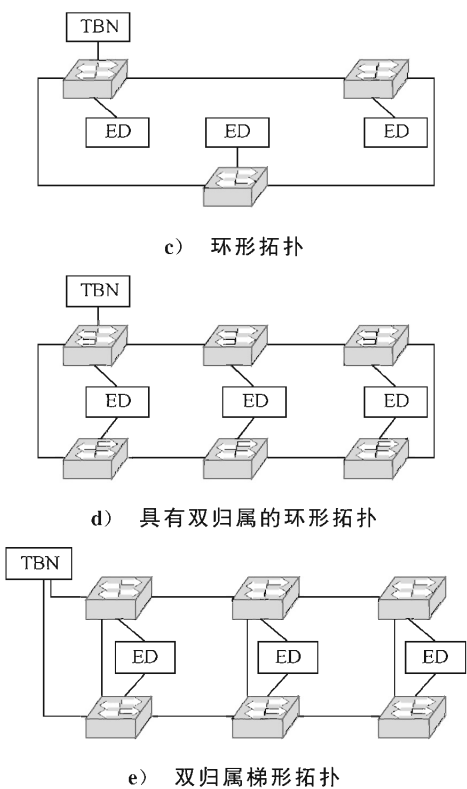


图 2（续）

4.2.3 终端设备类型

从安装角度,终端设备分类见表 1。

表 1 终端设备类型(1)

终端设备类型	描述
临时终端设备	临时终端设备指不是固定安装在列车上,而是出于维护等目的临时连接到 ECN 的终端设备。用于获取设备运行状态的 PC 是典型的临时终端设备
标准终端设备	标准终端设备指固定安装在列车上的的终端设备。标准终端设备是终端设备的主要类型

从通信要求角度,标准终端设备进一步分类见表 2。

表 2 终端设备类型(2)

终端设备类型	描述
编组本地终端设备	编组本地终端设备指仅与同一 ECN 内设备通信的终端设备。该类终端设备并非总是需要知道列车拓扑
列车通信终端设备	列车通信终端设备指使用列车骨干网、并与其他编组内设备或 TBN 直连设备通信的终端设备。该类终端设备应能知道列车拓扑已发生变化以避免初运行后与错误的设备通信。但是,该类终端设备不需要通过自身知道列车拓扑,即其不发起列车骨干网上的通信。列车骨干网拓扑计数器是列车拓扑信息的典型示例。 列车通信终端设备应满足编组本地终端设备要求

表 2（续）

终端设备类型	描述
列车拓扑感知终端设备	列车拓扑感知终端设备指发起列车骨干网上的通信、且需要知道列车拓扑即 ECN 外部设备上列车网络地址的终端设备。 例如，一个控制设备（列车拓扑感知终端设备）通过列车骨干网与远端 ECN 中的 I/O 设备（列车通信终端设备）连接。此时，控制设备需要通过使用列车拓扑数据库知道远端 I/O 设备的地址，而远端 I/O 设备不需要知道控制设备地址。 列车拓扑感知终端设备应满足列车通信终端设备要求

注：与列车拓扑相关的信息分发协议在 GB/T 28029.4 中规定。

4.2.4 网络设备类型与编组交换机类型

从功能角度，ECN 中的网络设备分类见表 3。

表 3 网络设备类型

网络设备类型	描述
中继器	该类网络设备可用于在两个通信设备之间遵循以太网物理层规则。其主要特性是尽可能地对链路层及以上各层所有协议透明
编组交换机	该类网络设备是用作 ECN 的主要类型。编组交换机应在两个设备之间链路层上中继帧。编组交换机分为管理型编组交换机和非管理型编组交换机，如表 4 所示
路由器	该类网络设备是具有至少两个 IP 接口、且确保网络层上多个 IP 子网之间的通信。 ETB 和 ECN 之间的 TBN 包含专用于列车车载通信的路由器。TBN 路由器可实现诸如 DHCP 服务器、DNS 服务器、NTP 服务器等一些常见的物理应用 注：ETB 和 ECN 之间的 TBN 也可以是应用网关。DHCP 服务器、DNS 服务器和 NTP 服务器也可驻留在其他网络设备或终端设备上。ETB 与 ECN 之间报文地址转换可参考附录 B。

从功能角度，编组交换机分类见表 4。

表 4 编组交换机类型

编组交换机类型	描述
非管理型编组交换机	非管理型编组交换机是仅具有有限功能的编组交换机。此类交换机应至少支持 4.9 中定义的 IEEE 802.1D MAC 桥，但不需要支持诸如在线管理和 IP 通信等其他功能
管理型编组交换机	管理型编组交换机是具有诸如 MAC 桥、在线管理、IP 通信等功能的编组交换机。 管理型编组交换机应满足非管理型编组交换机要求

4.3 数据类型

GB/T 28029.1 定义了下列五种主要的数据类型：

- 监视数据；
- 过程数据；

- 消息数据；
- 流数据；
- 尽力而为数据。

示例：在编组交换机之间交换的、用于网络拓扑管理的消息是在 ECN 中使用的监视数据典型示例。

表 5 给出了针对每种数据类型的典型服务参数，表 6 给出了针对每种数据类型的典型服务参数值。但是，服务参数及其值的特定定义应根据特定应用要求确定，ECN 宜支持这些针对每种数据类型的典型服务参数值。

注：QoS 用于实现这些服务参数，参见 4.6。

表 5 数据类型服务参数

服务参数	参数含义描述	测量单位
周期	两个连续的周期传输帧之间的时间	s
数据长度	在链路层发送的帧中数据字段(净载荷)长度	八位位组
延时	在两个终端设备之间链路层上帧的传输时间。 传输起始时间不应迟于向通信协议栈链路层服务发送数据的起始时间。 传输结束时间不应早于在通信协议栈链路层接收到完成数据帧时间	s
抖动	各帧传输时间的差异	s

表 6 数据类型服务参数典型值

数据类型	服务参数	值
过程数据	最小周期	20 ms
	最大数据长度	1 500 个八位位组
	最大时延	10 ms
	最大抖动	10 ms
消息数据	最小周期	不适用
	最大数据长度	1 500 个八位位组
	最大时延	100 ms
	最大抖动	不适用
流数据	最小周期	不适用
	最大数据长度	1 500 个八位位组
	最大时延	125 ms
	最大抖动	25 ms
尽力而为数据	最小周期	不适用
	最大数据长度	1 500 个八位位组
	最大时延	不适用
	最大抖动	不适用

表 6（续）

数据类型	服务参数	值
监视数据	最小周期	10 ms
	最大数据长度	1 500 个八位位组
	最大时延	10 ms
	最大抖动	10 ms

4.4 功能与服务

ECN 应提供下列功能与服务：

- 帧中继。ECN 应从终端设备接收 IEEE 802.3 中定义的 MAC 帧，并向该 MAC 帧目的地址字段标识的指定终端设备转发该 MAC 帧。为实现此功能，4.9 中依据 IEEE 802.1D 定义了编组交换机规范。编组交换机应能中继基本（无标记）MAC 帧和带标记 MAC 帧。
- 虚拟局域网。ECN 应能提供 IEEE 802.1Q 中定义的 VLAN 功能。ECN 中要求的 VLAN 功能在 4.9 中定义。

注 1：配置 VLAN 时谨慎操作，因为配置错误可能导致完全隔离终端设备。

- 冗余管理。当应用强制要求时，ECN 应能提供冗余及冗余管理。ECN 冗余在 4.5 中定义。当应用不强制要求时，ECN 实现可不提供冗余。
- 服务质量。当应用强制要求时，ECN 应能通过设定业务优先级方式提供 QoS。ECN 服务质量在 4.6 中定义。
- 网关功能。当 ECN 接入列车骨干网时，TBN 应提供用于列车骨干网与该 ECN 之间数据转发的网关功能。网关功能在 4.11 中定义。
- 列车网络管理。当 ECN 接入列车骨干网时，TBN 应根据列车骨干网网络管理要求提供列车网络管理服务。列车网络管理在 4.12 中定义。

ECN 宜提供下列功能与服务：

- 动态 IP 地址分配。ECN 宜为设备提供动态 IP 地址分配功能。设备也可使用静态 IP 地址分配。IP 地址分配和管理要求在 4.7 和 4.8 中定义。
- 名称解析。ECN 宜提供 IP 地址与诸如主机名、功能名等名称之间的名称解析功能。名称解析要求在 4.7 中定义。

注 2：功能寻址定义不属于本部分范畴。

4.5 冗余

4.5.1 概述

本条描述了用于 ECN 冗余的要求和定义。

本条描述了网络级冗余和终端设备级冗余。ECN 特定实现宜选择一种或多种冗余方式以满足应用要求。附录 A 描述了所支持的失效场景及可靠性和可用性比较以辅助选择冗余方式。

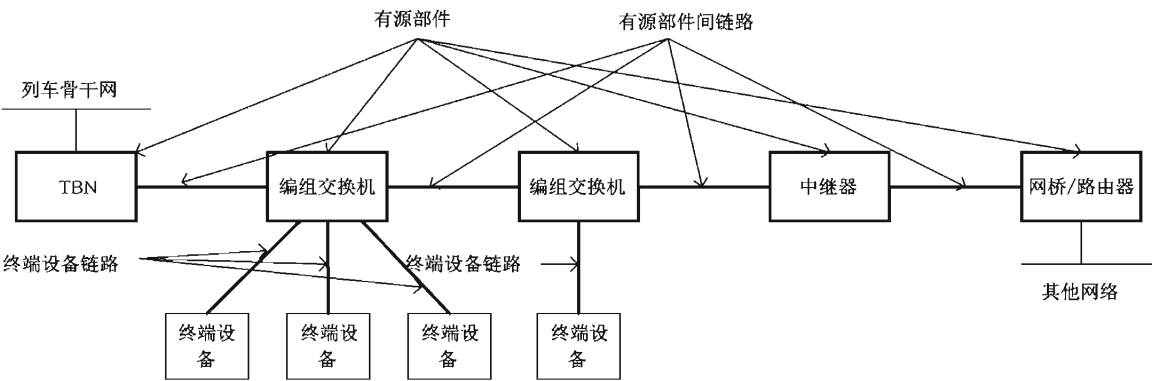
注：终端设备自身冗余不属于本部分范畴，终端设备冗余的优点参见附录 A。

4.5.2 定义

4.5.2.1 网络部件

网络部件被定义为受部件失效影响的单元,即本部分中网络设备有源部件、有源部件间链路或终端设备接口用链路。网络部件示例如图 3 所示。

注：网络设备有源部件参见 GB/T 28029.1 的 4.2.2。



注：黑框和粗线指示网络部件示例。

图 3 网络部件示例

4.5.2.2 恢复时间

当 ECN 网络冗余机制生效时,ECN 网络功能恢复用时的预期应小于维持编组以不影响列车应用功能的时间。

当 ECN 发生失效时,ECN 正常通信功能中断,并在冗余恢复时间后重新启动。

ECN 恢复时间应包含：

- 失效检测时间；
- 冗余切换时间；
- ECN 重配置时间(如果发生了重配置)。

注：冗余切换时间指从失效部件切换其功能到其他部件的时间。

网络恢复时间应在一致性测试中测量。

4.5.3 网络级冗余

网络级冗余采用内置冗余的网络拓扑,是一种在网络部件失效时恢复网络功能的方法。ECN 典型网络拓扑示例见 4.2.2。

网络级冗余要求如下：

- 当 ECN 使用冗余机制时,未分割网络的单一网络部件失效不应妨碍网络剩余部分正常工作,以使得应用能维持其功能；
- 当网络组件晚起或重启时,因网络重配置导致的连接丢失持续时间应等于或小于恢复时间要求值；
- 任意时刻不应形成转发环,以避免广播风暴。

IEC 62439 中定义的 MRP 可用于管理环形拓扑。

4.5.4 终端设备级冗余

高可用性要求的终端设备宜采用终端设备级冗余,即具有冗余链路连接网络。在冗余链路之一失效时,终端设备能继续通信。如果冗余链路连接到多个编组交换机,则在一台编组交换机失效时设备能继续通信。典型的终端设备具有两条链路互为冗余,称作“双归属”。双归属设备应使用独立的物理网络接口,且不应产生 ECN 上的环。非管理型交换机不应用于模拟双归属机制。双归属示例如图 4 所示。

使用双归属机制的一个例子是复制数据包并从两个接口发送。一旦接收到数据包,设备接受第一个接收到的包并丢弃另一个包。为识别数据包是否相同,可在消息中设置序号字段。如果使用这种方法,在失效时不会发生通信中断。

也允许终端设备的一条冗余链路用于设备通信而另一条链路在其失效时接管通信。此时,冗余链路之间的切换可视作冗余设备与其他设备之间的切换。如果使用这种方法,在失效时可能发生通信中断。

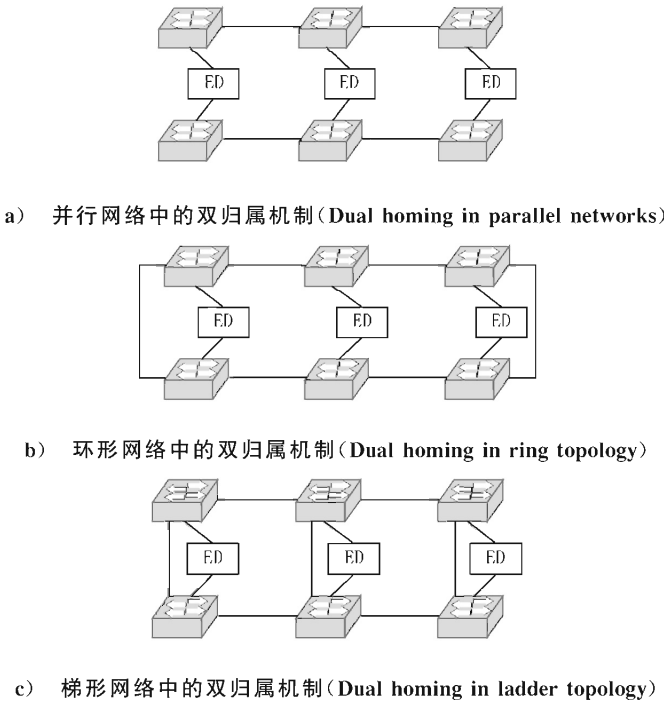


图 4 双归属示例

4.6 服务质量

4.6.1 概述

当应用强制要求时,ECN 应能通过设定业务优先级方式提供 QoS。

QoS 应由编组交换机提供,终端设备能指定其传送的数据包的优先级。

注: 不禁止编组交换机依据端口、协议、地址等指定数据包优先级。

4.6.2 优先级

根据 IEEE 802.1D,计有 8 个优先级,最高优先级是 7,最低优先级是 0。默认优先级应是 0。

当提供 QoS 时,编组交换机应至少提供两个优先级队列。当支持两个优先级队列时,优先级 0~3

和优先级 4~7 分属这两个优先级队列。当支持四个优先级队列时,优先级 0~1、优先级 2~3、优先级 4~5 和优先级 6~7 分属这四个优先级队列。

将优先级映射到数据类型应根据 ECN 中使用的应用要求确定,因为拟使用的数据类型及其性能参数依赖于应用。四个优先级队列时优先级到每一种数据类型的默认映射关系见表 7。

对于 ETB 上的通信,数据包的优先级应符合 GB/T 28029.6。

表 7 优先级到数据类型的映射

优先级	优先级二进制表示 (X:不关注)	数据类型	要求 (M:强制,R:推荐)
最高优先级	11X	监视数据	M
第二优先级	10X	过程数据	R
第三优先级	01X	消息数据和流数据	R
最低优先级	00X	尽力而为数据	M

注 1: 特定过程数据、消息数据和流数据的优先级在 GB/T 28029.4 中定义。

注 2: 如果高优先级数据类型带宽未设限,则低优先级数据可能没有传输机会。

4.6.3 优先级分配

当终端设备分配发送数据包优先级时,终端设备宜使用 RFC 2474 中定义的 IP 数据报 DSCP 字段。终端设备可在带标记 MAC 帧中使用优先级代码点(Priority Code Point)字段。

DSCP 字段二进制表示应如下:

LLL000

其中,LLL 是 4.6.2 中定义的优先级 0~7。

4.6.4 编组交换机行为

当编组交换机支持 QoS 时,编组交换机应能评估 4.6.3 中定义的数据包优先级,并根据优先级和按照 IEEE 802.1D 定义的队列号排队数据包。

当编组交换机支持 QoS 时,编组交换机宜在所有优先级队列上支持基于严格优先级的交换,即所有高优先级帧都应先于低优先级帧从端口发送。

4.6.5 入口速率限制

入口速率限制是编组交换机的一个可选功能。编组交换机可限制从终端设备或 TBN 输入的帧速率。

如果为保持速率限制需要丢弃帧,则应首先丢弃低优先级帧。

注: 入口速率限制使得 ECN 免于被故障终端设备发送的帧非预期泛洪。

4.6.6 出口速率整形

出口速率整形是编组交换机的一个可选功能。编组交换机可限制向终端设备或 TBN 输出的帧速率。

如果为保持速率限制需要丢弃帧,则应首先丢弃低优先级帧。

4.7 IP 地址及相关定义

4.7.1 编组网地址

每一个支持 IP 通信并连接到 ECN 的通信设备应具有一个或多个 IP 地址作为编组网地址。编组网地址应在编组网内唯一。

注：连接到不同编组网的通信设备可具有相同或不同的编组网地址。

编组网地址应使用 IETF RFC 1918 中定义的 IPv4 私有地址，宜使用 A 类私有地址。

当使用 A 类私有地址、ECN 连接到 ETB 且编组网地址与列车网地址不同时，应使用 10.0.0.0～10.127.255.255(10.0/9)区段地址。二进制表示应如下所示，具体见表 8。

00001010.0dddddd.ddddddd.ddddddd/9

表 8 编组网地址构成说明

字段	描述
[d]	<p>该字段自由用于 ECN 中主机标识。该字段可进一步分解如下：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>——将 ECN 划分为子网；</li><li>——在前三个最高有效位使用与列车网地址相同的值以标识多个 ECN；</li><li>——仅使用低 14 位以保证 NAT 可行(附录 B 中的 R-NAT 是一个示例)。</li></ul> <p>注：当使用 R-NAT 时，设备仅在 14 位内具有有效 IP 地址。对于固定组成 EMU 列车，下列方法有助于无歧义地统一地址分配。该方法也适用于终端设备预置 IP 地址分配。</p> <p>低 14 位：r.ccccc.eeeeeee，其中：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>——r：冗余/子网标识符 0/1；</li><li>——c：车厢编号 1～31(足以编号固定组成 EMU)；</li><li>——e：终端设备标识符 1～255(足以编号车厢内设备)</li></ul>

该应用于 ECN 的子网(10.0/9)称作本地 ECN 子网。

4.7.2 列车网地址

如果 ECN 连接到 ETB，则应允许使用列车中唯一的列车网地址实现通信设备列车范围内的寻址。列车网地址可能随每次列车初运行而改变。不强制要求所有通信设备可列车范围寻址，对于许多通信设备本地 ECN 地址已足够。ETB 上通信的源地址和目的地址应是列车网地址。列车网地址和编组网地址可相同。

如果列车网地址与编组网地址不同，则 ECN 应支持将列车网地址映射到编组网地址的服务。不遵循列车网地址规范的地址不应用作 GB/T 28029.6 所定义的 ETB 中的源地址或目的地址。

注：网络地址转换(NAT)和包含代理的应用层网关(ALG)都是用于映射地址的典型服务。

列车网地址应使用 IETF RFC 1918 中定义的 IPv4 私有地址，并符合 GB/T 28029.6 中的定义。列车网地址的二进制表示应如下所示，具体见表 9。

00001010.1bbxssss.sshhhhhh.hhhhhhhh/18

表 9 列车网地址构成说明

字段	描述
[b]	ECN 接入的 ETB 标识符



表 9（续）

字段	描述
[x]	保留。应为 0
[s]	根据初运行结果分配的编组网标识符。0 值保留给 ETB 骨干网子网
[h]	ECN 内唯一主机标识符，每个编组最多 16 382 个主机。一些高位可用于定义内部专用编组本地子网。此时，(ECN 侧的)地址掩码宜考虑该解构形式(应扩展)

4.7.3 组地址

通信设备可在编组级或列车级分组。通信设备可属于多个组。在编组级，组所有成员属于一个编组网。分配给编组级组的编组组地址应在编组网内唯一。编组组的成员通常是静态的。在列车级，组所有成员属于一个或多个编组网。分配给列车级组的列车组地址应在列车内唯一。列车组的成员可随每次列车初运行变化。

组地址应使用 IETF RFC 2365 中定义的 IP 多播地址。

当 ECN 连接到 ETB 时，ECN 级的 IP 多播地址应为 239.255.0.0/16(IETF RFC 2365 中定义的本地范围)。

列车级的 IP 多播地址是 GB/T 28029.6 中定义的 239.192.0.0/14(IETF RFC 2365 中定义的组织范围)。

如果目的地址是 ECN 级的 IP 多播地址，则 TBN 不应向 ETB 转发 IP 多播报文。

4.7.4 名称解析和命名定义

4.7.4.1 名称解析

用于编组网地址和列车网地址的名称解析宜通过通信设备上的本地数据库或 DNS 实现。

ECN 宜提供 DNS 服务器功能。服务器的位置取决于实现，服务器可在 ECN 中的任意终端设备/网络设备或 ECN 连挂的 TBN 上实现。当 ECN 连挂到 TBN 时，服务器宜在 TBN 上实现。DNS 服务器宜冗余。

每一个可作为 ETB 上通信目的设备的通信设备应在列车范围域名空间中可寻址。

注：列车范围域名空间依据 GB/T 28029.6 管理，例如“ltrain”。

4.7.4.2 终端设备自标识

对于自寻址终端设备，内部主机名应如下声明：

“localhost”127.0.0.1

4.7.4.3 终端设备本地标识

所有主机默认在每个 ECN 本地的“lcst”域声明。

示例：“mpu”或“mpu.lcst”与同一个本地终端设备“mpu”IP 地址关联。

4.8 IP 地址与网络配置管理

4.8.1 编组网地址管理

设备的编组网络地址可静态配置或动态配置。

当编组网络地址动态配置时,宜使用 DHCP。

当使用 DHCP 时,ECN 应提供 DHCP 服务器功能。服务器的位置取决于实现,服务器可在 ECN 中的任意终端设备/网络设备或 ECN 联挂的 TBN 上实现。当 ECN 联挂到 TBN 时,宜在 TBN 上实现。DHCP 服务器宜冗余。

4.8.2 列车网地址管理

当分配列车网 IP 地址给设备时,设备可/可不将该列车网地址配置到其以太网端口。

作为路由器的 TBN 应支持 NAT,为未在自身以太网接口配置列车网地址的设备实现,将其列车网地址映射到编组网地址。附录 B 中定义的 R-NAT 可用于简化 TBN 的地址转换算法。

对于某些需要替换 IP 数据报净载荷中地址的特定协议,NAT 可导致问题,宜对这些特定协议使用扩展的 NAT 以解决此问题。否则,可由列车网地址寻址的终端设备宜具有 IP 别名功能,即可将两个不同的 IP 地址配置给一个以太网接口。本地 ECN 地址用于 ECN 内本地通信,列车网地址用于 ETB 上通信。TBN 应根据作为列车网地址的目的地址转发 IP 数据报。

在新的初运行后,强制更新列车网地址。这适用于在每一个通信设备处管理的列车网地址,也适用于在诸如路由、NAT、DHCP 服务器和 DNS 服务器等不同服务处管理的列车网地址。

如果列车网地址由终端设备使用 DHCP 客户端管理,则终端设备和 DHCP 服务器应支持 IETF RFC 3203 中定义的 DHCP 强制更新(FORCERENEW)消息。DHCP 服务器应在初运行之后使用列车网地址向 DHCP 客户端发送 FORCERENEW 消息,DHCP 客户端应在接收到 FORCERENEW 消息后更新列车网地址。

注:初运行限制在启动初始化、联挂、解联时发生。在列车骨干网上丢失或发现路由器并不一定导致新的初运行。

列车 IP 地址的更改由列车应用负责确认,参见 GB/T 28029.6。

4.8.3 静态网络配置参数

使用静态网络地址配置时终端设备网络配置参数见表 10。

表 10 终端设备静态网络配置参数

参数	类型	描述
主机名	M	主机名应在 ECN 内唯一
默认域名	C	使用 DNS 时是强制要求。域名定义,见 4.7.4
IPv4 地址	M	编组网地址定义,见 4.7
IPv4 地址掩码	M	编组网地址定义,见 4.7
IPv4 DNS 服务器地址	C	使用 DNS 时是强制要求
IPv4 默认路由	O	TBN 是典型的默认网关
IPv4 静态路由	O	可用于访问特定设备或子网
注:类型列中:M——强制;C——条件;O——可选。		

4.8.4 DHCP 配置参数

表 11 显示了使用 DHCP 时拟支持的 DHCP 选项要求。

表 11 DHCP 选项

选项号	要求	名称	描述
1	M	子网掩码	IPv4 地址掩码
3	M	路由器选项	子网上可用的 IPv4 路由器列表
6	C	域名服务器选项	DNS 服务器地址列表。 使用 DNS 时对终端设备是强制要求
12	O	主机名选项	DHCP 客户端名称
28	O	广播地址选项	DHCP 客户端子网上使用的广播地址
42	C	网络时间协议服务器选项	NTP 服务器地址列表 使用 NTP 或 SNTP 时对终端设备是强制要求
43	O	供应商专属信息	用于在服务器与客户端之间交换供应商专属信息 可支持该选项
51	M	IP 地址租赁时间	已分配的 IP 地址的允许租赁时间
53	M	DHCP 消息类型	应用于标识 DHCP 消息类型
54	M	服务器标识符	用于标识 DHCP 服务器地址
55	M	参数请求列表	可用于 DHCP 客户端请求特定配置参数
56	O	消息	用于 DHCP 服务器向 DHCP 客户端发送错误消息。 DHCP 客户端可使用该选项指示拒绝服务的原因
61	O	客户端标识符	DHCP 客户端唯一标识符。 可用于 DHCP 客户端保持相同的 IP 地址,见注 1
82	O	中继代理信息选项	可用于指示 DHCP 客户端位置
注 1: 为了从 DHCP 服务器获取同一个 IP 地址,依据位置或终端设备类型,终端设备发送 DHCP 选项 61 或该终端设备接入的编组交换机插入 IETF RFC 3046 中定义的 DHCP 选项 82。			
注 2: 要求列中:M——强制;C——条件;O——可选。			

4.8.5 用于 TBN 冗余的 IP 地址管理

为管理 ECN 内列车骨干网连接冗余,ECN 可通过多个 TBN 连接到列车骨干网。  
TBN 冗余管理与 WTB 或 ETB 一致。  
当实现了冗余 TBN 组且 TBN 是 ECN 与列车骨干网之间的路由器时,该冗余 TBN 组应为 ECN 侧的路由服务输出一个公共的编组网地址。当新一个 TBN 推选为激活路由器时,该 TBN 应向 ECN 发送 ARP 以更新终端设备中的 ARP 表。

4.9 网络设备接口

4.9.1 概述

本条定义了用于中继器、编组交换机和路由器等网络设备的接口。编组交换机和路由器可充当终端设备,此时它们也应符合 4.10 中定义的终端设备网络层及更高层接口要求。  
4.2.4 中定义了两类编组交换机:非管理型编组交换机和管理型编组交换机。管理型编组交换机应支持非管理型编组交换机所有要求。

## 4.9.2 功能要求

表 12 显示了编组交换机接口总结,详细描述见后续各条。

表 12 网络设备接口总结

层	要求	状态				引用和注
		中继器	非管理型 CS	管理型 CS	路由器	
用于终端设备连接的物理层	100BASE-TX	—	M	M	—	IEEE 802.3
	10BASE-T	—	O	O	—	IEEE 802.3
	全双工模式	—	M	M	—	IEEE 802.3
	自协商	—	C	C	—	IEEE 802.3 仅用于临时终端设备
	MDI/MDI-X 自动交叉	—	O	O	—	
	以太网供电(PoE)	—	O	O	—	IEEE 802.3
	超 5 类屏蔽双绞线	—	O	O	—	GB/T 18233 GB/T 18015.6
	超 5 类非屏蔽双绞线	—	O	O	—	GB/T 18233 GB/T 18015.6
	M12 D 型连接器(插座)	—	O	O	—	IEC 61076-2-101
	IEC 61076-3-104 连接器(插座)	—	O	O	—	IEC 61076-3-104
	RJ45 连接器(插座)	—	O	O	—	TIA/EIA-568-B 仅用于临时终端设备
用于网络设备连接的物理层	IEEE 802.3 物理层	C	C	C	C	IEEE 802.3 如果未使用带信号放大的收发器则是强制要求 宜使用 100BASE-TX
	带信号放大的收发器	O	O	O	O	附录 C 见注 1
	全双工模式	—	M	M	M	IEEE 802.3
	自协商	—	O	O	O	IEEE 802.3
	MDI/MDI-X 自动交叉	O	O	O	O	
	超 5 类屏蔽双绞线	O	O	O	O	GB/T 18233 GB/T 18015.6 用于 100BASE-TX 和 10BASE-T
	超 5 类非屏蔽双绞线	O	O	O	O	GB/T 18233 GB/T 18015.6 用于 100BASE-TX 和 10BASE-T
	M12 D 型连接器(插座)	C	C	C	C	IEC 61076-2-101 用于 100BASE-TX 和 10BASE-T

表 12 (续)

层	要求	状态				引用和注
		中继器	非管理型 CS	管理型 CS	路由器	
链路层	使用基本/带标记 MAC 帧的 MAC 服务	—	M	M	M	IEEE 802.3
	流量控制	—	O	O	—	IEEE 802.3
	帧中继	—	M	M	—	IEEE 802.1D
链路层	帧过滤	—	M	M	—	IEEE 802.1D
	VLAN 服务	—	M	M	—	IEEE 802.1Q
	帧排队	—	M	M	—	IEEE 802.1D
	帧打标/去标	—	M	M	—	IEEE 802.1Q
	管理与远程管理	—	—	M	—	IEEE 802.1D
	入口速率限制	—	O	O	—	
	出口速率整形	—	O	O	—	
网络层	端口镜像	—	O	O	—	
	IPv4	—	—	M	M	IETF RFC 791
	IPv4 转发	—	—	—	M	
	ICMP	—	—	M	M	IETF RFC 792
传输层	ARP	—	—	M	M	IETF RFC 826
	UDP	—	—	M	M	IETF RFC 768
	TCP	—	—	M	M	IETF RFC 793
	IGMP v2/v3(路由器)	—	—	—	O	IETF RFC 2236、IETF RFC 3376
	IGMP v2(主机)	—	—	M	O	IETF RFC 2236
	IGMP v3(主机)	—	—	O	O	IETF RFC 3376
应用层	IGMP 侦听	—	—	M	—	IETF RFC 4541
	DHCP(客户端)	—	—	C	C	IETF RFC 2131
	DHCP 中继代理信息选项	—	—	O	—	IETF RFC 3046
	DHCP(服务器)	—	—	O	O	IETF RFC 2131
	DNS(客户端)	—	—	C	C	IETF RFC 1034、IETF RFC 1035
	DNS(服务器)	—	—	O	O	IETF RFC 1034、IETF RFC 1035
	SNTP(客户端)	—	—	O	O	IETF RFC 1361
	NTP v3(客户端)	—	—	O	O	IETF RFC 1305
	NTP v3(服务器)	—	—	O	O	IETF RFC 1305
	SNMP v2(代理)	—	—	O	O	IETF RFC 1901
注 1: 如果使用附录 C 中定义的带信号放大的收发器,则不强制要求使用 IEEE 802.3 物理层。 注 2: 用于附录 D 中定义的梯型拓扑的网络设备接口存在不符合 IEEE 802.3 或 IEEE 802.1D 的特性。 注 3: 状态列中:M——强制;C——条件;O——可选;———不可用或不要求。						

### 4.9.3 性能要求

编组交换机应支持至少两个优先级队列,见 4.6.2。

编组交换机宜在所有优先级队列上支持基于严格优先级的交换,见 4.6.4。

### 4.9.4 物理层

#### 4.9.4.1 协议

##### 4.9.4.1.1 用于终端设备的网络设备接口

用于连接终端设备的网络设备接口应支持 100BASE-TX,且可额外支持 10BASE-T 以增强电气鲁棒性和 EMC 抗扰度。

——100BASE-TX 物理层:

- IEEE 802.3 中定义的 100BASE-X 类型 PCS 和 PMA 子层;
- IEEE 802.3 中定义的 100BASE-TX 类型 PMD 子层和基带介质。

——10BASE-T 物理层:

- IEEE 802.3 中定义的 10BASE-T 类型双绞线 MAU 和基带介质。

应支持 IEEE 802.3 中定义的全双工模式以避免冲突。

应能支持 IEEE 802.3 中定义的自协商功能以连接临时终端设备。自协商功能不宜用于连接标准终端设备以避免建立非预期速率或双工模式的连接。

可支持自动配置 MDI 或 MDI-X 的 MDI/MDI-X 自动交叉功能。

考虑行业应用场景,不宜使用自动极性变换功能。

可支持 IEEE 802.3 中定义的 PoE 供电设备(PSE)。

##### 4.9.4.1.2 用于其他网络设备的网络设备接口

当未使用带信号放大的收发器时,用于连接其他网络设备的网络设备接口应支持 IEEE 802.3 中定义的物理层。

优先使用 100BASE-TX,但可额外支持 10BASE-T 以增强电气鲁棒性和 EMC 抗扰度。

为增强噪声抗扰度,可将带信号放大的收发器连挂到 100BASE-TX PMD 或 10BASE-T MAU,见附录 C。

可使用 1 000BASE 或更高速率接口以支持更高带宽。

应支持 IEEE 802.3 中定义的全双工模式以避免冲突。

不宜使用 IEEE 802.3 中定义的自协商功能以避免建立非预期速率或双工模式的连接。

可支持自动配置 MDI 或 MDI-X 的 MDI/MDI-X 自动交叉功能。

考虑行业应用场景,不宜使用自动极性变换功能。

#### 4.9.4.2 线缆

当使用 100BASE-TX 或 10BASE-T 时,应适用本条规定。

线缆应符合 GB/T 18233 和 GB/T 18015.6。应支持 D 型(5e 类)双绞线。

宜使用屏蔽双绞线(STP)。可使用非屏蔽双绞线(UTP)。

车辆内连接宜用线径是 0.5 mm<sup>2</sup>(AWG20)、0.34 mm<sup>2</sup>(AWG22)或 0.25 mm<sup>2</sup>(AWG24)。

车辆间连接宜用线径是 0.5 mm<sup>2</sup>(AWG20)或更大。

### 4.9.4.3 连接器

#### 4.9.4.3.1 用于终端设备的网络设备接口

本条定义了用于连接终端设备的连接器要求。当使用 100BASE-TX 与 10BASE-T 时,应适用本条规定。

宜在网络设备侧支持 IEC 61076-2-101 中定义的 M12 D 型连接器(插座)。此时,线缆侧应使用 M12 D 型插头连接器。

网络设备侧可使用 IEC 61076-3-104 中定义的插座。此时,线缆侧应使用 IEC 61076-3-104 中定义的插头连接器。

TIA/EIA-568-B 中定义的 RJ45 插座可用于在网络设备侧连接临时终端设备。此时,线缆侧应使用 RJ45 插头连接器。

M12 D 型连接器示例见图 5,其引脚定义见表 13。

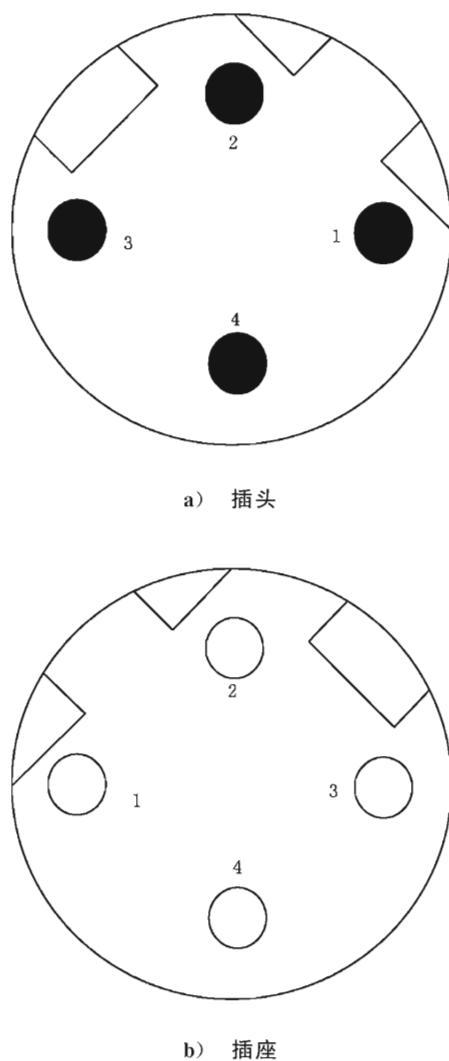


图 5 M12 D 型连接器

表 13 M12 D 型连接器引脚定义

引脚	信号
1	TD+
2	RD+
3	TD—
4	RD—

4.9.4.3.2 用于其他网络设备的网络设备接口

本条定义了用于连接网络设备的连接器要求。当使用 100BASE-TX 与 10BASE-T 时,应适用本条规定。

应在网络设备侧支持 IEC 61076-2-101 中定义的 M12 D 型连接器(插座)。应在线缆侧使用 M12 D 型插头连接器。

4.9.4.4 屏蔽和接地

4.9.4.4.1 车辆内屏蔽

在车辆内,线缆所有屏蔽宜使用,并连接到车辆机械地。为防止 EMC 影响,线缆屏蔽宜在连接器内 360°圆形连接。

4.9.4.4.2 车辆间屏蔽

- 宜考虑以下两个用例:
- 相邻两个车辆电位相同;
  - 相邻两个车辆电位不同。
- 当相邻两个车辆电位相同时,以太网线缆屏蔽宜保持连续性且不宜中断屏蔽。
- 当相邻两个车辆电位不同时,以太网线缆屏蔽宜中断以避免车辆间接地电流。

4.9.5 链路层

4.9.5.1 编组交换机

- 编组交换机应:
- 支持 IEEE 802.3 中定义的使用基本(无标记)帧和带标记帧的 MAC 服务;
  - 支持 IEEE 802.1D 中定义的帧中继。帧中继提供帧接收、帧发送和帧转发;
  - 支持 IEEE 802.1D 中定义的帧过滤。帧过滤提供地址学习和过滤数据库;
  - 支持 IEEE 802.1Q 中定义的 VLAN 服务;
  - 支持 IEEE 802.1D 中定义的帧排队。帧排队可在帧中继期间处理多个数据类型以实现 QoS;
- 注:当支持帧排队时,编组交换机读取 4.6 中定义的 DSCP 字段。
- 支持 IEEE 802.1Q 中定义的帧打标/去标。帧打标可为入口端口在基本(无标记)帧中插入标记,帧去标可为出口端口从标记帧中去除标记。
- 管理型编组交换机应支持 IEEE 802.1D 中定义的管理和远程管理。
- 编组交换机可:



- 支持 IEEE 802.3 中作为 MAC 控制 PAUSE 操作定义的流量控制。流量控制提供禁止帧传送的能力；
- 支持 4.6.5 和 4.6.6 中定义的入口速率限制和出口速率整形；
- 支持配置一个/多个端口镜像另一端口业务的端口镜像。

4.9.5.2 路由器

路由器应支持终端设备链路层要求,见 4.10。

4.9.6 网络层

管理型编组交换机和路由器应支持终端设备网络层要求,见 4.10。

路由器应额外支持 IPv4 转发。

4.9.7 传输层

管理型编组交换机和路由器应支持终端设备传输层要求,见 4.10。

路由器宜支持 IETF RFC 2236 中定义的 IGMPv2 路由器要求,且可支持 IETF RFC 3376 中定义的 IGMPv3 路由器要求。

管理型编组交换机应支持 IGMPv2 主机要求,且可支持 IGMPv3 主机要求。

注: IGMPv3 可与 IGMPv2 和 IGMPv1 互操作。IGMPv3 额外支持源过滤。

管理型编组交换机应支持 IETF RFC 4541 中定义的 IGMP 侦听(IGMP snooping)。IGMP 侦听过滤发向无多播组成员连接的交换端口的多播帧。

4.9.8 应用层

管理型编组交换机和路由器应支持终端设备应用层要求,见 4.10。

管理型编组交换机可支持 IETF RFC 3046 中定义的 DHCP 中继代理信息选项。编组交换机可充当中继代理,以根据编组交换机插入的信息分配特定的 IP 地址。

4.10 终端设备接口

4.10.1 概述

本条定义了用于终端设备的接口。

终端设备接口总结见表 14,详细描述见后续各条。根据 4.2.3 中的定义,共有四类终端设备。

表 14 ED 接口总结

层	要求	状态				引用和注
		临时 ED	编组本地 ED	列车通信 ED	列车拓扑感知设备	
物理层	100BASE-TX	M	M	M	M	IEEE 802.3
	10BASE-T	O	O	O	O	IEEE 802.3
	全双工模式	M	M	M	M	IEEE 802.3
	自协商	M	O	O	O	IEEE 802.3
	MDI/MDI-X 自动交叉	O	O	O	O	

表 14 (续)

层	要求	状态				引用和注
		临时 ED	编组 本地 ED	列车 通信 ED	列车拓扑 感知设备	
物理层	以太网供电(PoE)	O	O	O	O	IEEE 802.3
	超 5 类屏蔽双绞线	O	O	O	O	GB/T 18233 GB/T 18015.6
	超 5 类非屏蔽双绞线	O	O	O	O	GB/T 18233 GB/T 18015.6
	M12 D 型连接器(插座)	O	O	O	O	IEC 61076-2-101
	IEC 61076-3-104 连接器 (插座)	O	O	O	O	IEC 61076-3-104
	RJ45 连接器(插座)	O	O	O	O	TIA/EIA-568-B
链路层	使用基本 MAC 帧的 MAC 服务	M	M	M	M	IEEE 802.3
	使用带标记 MAC 帧的 MAC 服务	O	O	O	O	IEEE 802.1Q
网络层	IPv4	M	M	M	M	IETF RFC 791
	ICMP	M	M	M	M	IETF RFC 792
	ARP	M	M	M	M	IETF RFC 826
传输层	UDP	M	M	M	M	IETF RFC 768
	TCP	M	M	M	M	IETF RFC 793
	IGMP v2/v3(主机)	O	O	O	O	IETF RFC 2236、IETF RFC 3376
应用层	DHCP(客户端)	O	O	C	C	IETF RFC 2131
	DHCP(服务器)	O	O	O	O	IETF RFC 2131
	DNS(客户端)	O	O	O	M	IETF RFC 1034、IETF RFC 1035
	DNS(服务器)	O	O	O	O	IETF RFC 1034、IETF RFC 1035
	SNTP(客户端)	O	O	O	O	IETF RFC 1361
	NTP v3(客户端)	O	O	O	O	IETF RFC 1305
	NTP v3(服务器)	O	O	O	O	IETF RFC 1305
	SNMP v2(代理)	O	O	O	O	IETF RFC 1901
	Telnet 或 SSH 服务器	O	O	O	O	IETF RFC 854、IETF RFC 4251
注：状态列中：M——强制；C——条件；O——可选。						

## 4.10.2 物理层

## 4.10.2.1 协议

物理层应符合 IEEE 802.3。应支持 100BASE-TX，且可使用 10BASE-T 以增强电气鲁棒性和 EMC 抗扰度。

100BASE-TX 物理层应符合：

- 100BASE-X 类型 PCS 和 PMA 子层；
- 100BASE-TX 类型物 PMD 子层和基带介质。

10BASE-T 物理层应符合 10BASE-T 类型双绞线 MAU 和基带介质。

应支持 IEEE 802.3 中定义的全双工模式以避免冲突。

应能支持 IEEE 802.3 中定义的自协商功能以连接临时终端设备。自协商功能不宜用于连接标准终端设备以避免建立非预期速率或双工模式的连接。

可支持自动配置 MDI 或 MDI-X 的 MDI/MDI-X 自动交叉功能。

考虑行业应用场景,不宜使用自动极性变换功能。

可支持 IEEE 802.3 中定义的 PoE 受电设备。

#### 4.10.2.2 线缆

线缆应符合 GB/T 18233 和 IEC 61156。应支持 D 型(5e 类)双绞线。

宜使用屏蔽双绞线(STP)。可使用非屏蔽双绞线(UTP)。

线径宜使用 0.5 mm<sup>2</sup>(AWG20)、0.34 mm<sup>2</sup>(AWG22)或 0.25 mm<sup>2</sup>(AWG24)。

#### 4.10.2.3 连接器

对于标准终端设备,宜在终端设备侧支持 IEC 61076-2-101 中定义的 M12 D 型连接器(插座)。此时,线缆侧应使用 M12 D 型插头连接器。

终端设备侧可使用 IEC 61076-3-104 中定义的插座。此时,线缆侧应使用 IEC 61076-3-104 中定义的插头连接器。

TIA/EIA-568-B 中定义的 RJ45 插座可用于在终端设备侧连接临时终端设备。此时,线缆侧应使用 RJ45 插头连接器。

M12 D 型连接器见图 5,其引脚定义应如表 13 所示。

#### 4.10.2.4 屏蔽和接地

线缆所有屏蔽宜使用并连接到车辆机械地。为防止 EMC 影响,线缆屏蔽宜在连接器内 360°圆形连接。

#### 4.10.3 链路层

链路层 MAC 应符合 IEEE 802.3。

应支持 IEEE 802.3 中定义的使用基本(无标记)帧的 MAC 服务。

可支持 IEEE 802.1Q 中定义的带标记帧的 MAC 服务。

#### 4.10.4 网络层

应支持 IETF RFC 791 中定义的 IPv4。

应支持 IETF RFC 792 中定义的 ICMP。

应支持 IETF RFC 826 中定义的 ARP。

注：终端设备 DSCP 值设定见 4.6。

#### 4.10.5 传输层

应支持 IETF RFC 768 中定义的 UDP。

应支持 IETF RFC 793 中定义的 TCP。

宜支持 IGMPv2 主机要求,可支持 IGMPv3 主机要求。

4.10.6 应用层

可支持 IETF RFC 2131 中定义的 DHCP 客户端功能。当列车通信终端设备和列车拓扑感知终端设备自我管理列车网络地址时,应支持 DHCP。

可为 IP 地址与名称(诸如以 FQDN 表示的主机名和功能名)之间映射支持 IETF RFC 1034 中定义的 DNS 客户端功能。列车拓扑感知终端设备应支持 DNS 客户端功能,以从主机名或功能名中解析列车网地址;列车网地址可随初运行变化。

可为时间同步支持 IETF RFC 1361 中定义的 SNTP 客户端功能或 IETF RFC 1305 中定义的 NTPv3 客户端功能。当使用 NTP 时,ECN 应提供 NTP 服务器功能。服务器位置依赖于实现,但宜在 TBN 中实现。

可支持诸如 IETF RFC 959 中定义的 FTP、IETF RFC 2616 中定义的 HTTP、IETF RFC 1350 中定义的 TFTP 等其他协议。

宜支持 IETF RFC 1901、IETF RFC 1905 和 IETF RFC 1906 中定义的 SNMPv2 代理功能。

可实现 Telnet 服务器(IETF RFC 854)或 SSH 服务器(IETF RFC 4251 或其他),以管理终端设备。

- 注 1: 列车拓扑相关信息在 GB/T 28029.4 和/或 GB/T 28029.5 中给出。
- 注 2: 可在 ECN 内使用 GB/T 28029.4 中定义的传送 PD 和消息数据的协议。
- 注 3: 可在 ECN 内使用任意传送 PD 和消息数据的协议。

4.11 网关功能

4.11.1 WTB 网关功能

如果 TBN 连接到 GB/T 28029.1 中定义的 WTB,则 ECN 与 WTB 之间的网关功能应在该 TBN 上实现。

ECN 与 WTB 之间的 TBN 实现为应用层网关。该 TBN 的逻辑结构见图 6。

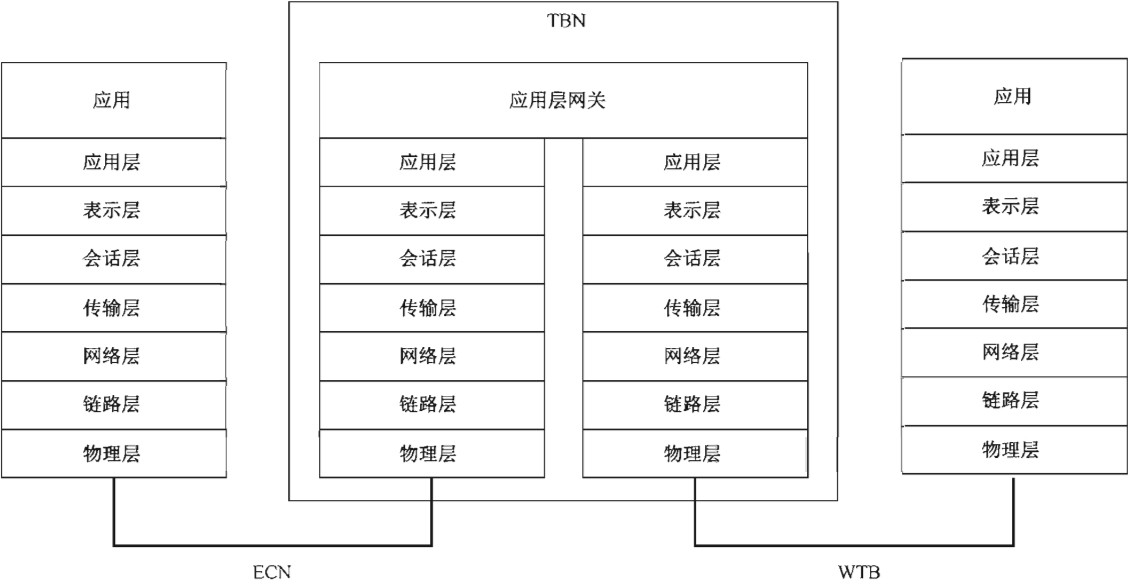


图 6 ECN 和 WTB 之间网关的逻辑结构

#### 4.11.2 ETB 网关功能

如果 TBN 连接到 GB/T 28029.6 中定义的 ETB,则 ECN 与 ETB 之间的网关功能应在该 TBN 上实现。

ECN 与 WTB 之间的 TBN 实现为路由器和/或应用层网关。

如果分配给 ECN 中通信设备的列车网地址不同于编组网地址,则 TBN 应支持 4.7 中定义的将列车网地址映射到编组网地址的服务。不符合列车网地址规范的地址不应用作该 ECN 之外的源地址或目的地址。当该映射在 TBN 路由功能中实现时,IETF RFC 3022 中定义的网络地址转换(NAT)是一种典型实现,见 4.8。

互为冗余的 TBN 对在 ECN 侧共用一个 IP 地址,该地址作为 ECN 与 ETB 之间网关地址,见 4.8.5。

#### 4.12 网络管理

##### 4.12.1 ECN 网络管理

ECN 中的通信设备宜支持 SNMP 代理功能用于网络管理。IETF RFC 1901、IETF RFC 1905 和 IETF RFC 1906 中定义的 SNMPv2 是最小要求。

宜支持 IETF RFC 1213 中定义的标准 MIB。

##### 4.12.2 WTB 网络管理

如果 TBN 连接到 GB/T 28029.2 中定义的 WTB,则 WTB TNM 功能应在该 TBN 上实现。

4.12.1 中定义的 ECN 网络管理服务宜可被 WTB TNM 功能访问。

##### 4.12.3 ETB 网络管理

SNMP 用于管理 GB/T 28029.6 中定义的 ETB 通信设备。

在 ECN 通信设备上实现的 SNMP 代理服务宜可通过 ETB 访问。

#### 5 一致性测试

为声明符合本部分,期望设备通过一致性测试。被测设备应包含:

- 终端设备;
- 网络设备;
- TBN。

TBN 也应符合 GB/T 28029.2 或 GB/T 28029.6 相关要求。

ECN 一致性测试方案不属于本部分范畴。

附录 A  
(资料性附录)

ECN 架构可靠性和可用性比较

A.1 概述

本附录比较了不同 ECN 架构可靠性和可用性,以辅助选择适合的 ECN 架构。本附录描述了典型网络拓扑的可容忍(和不可容忍)失效场景示例,也给出了可靠性和可用性的计算公式。

A.2 失效场景

A.2.1 定义

失效场景定义为失效网络部件在数量和位置上的一种变化。

术语“单网络部件失效”指仅一个网络部件停止工作的情况,参见图 A.1。

术语“双网络部件失效”指两个网络部件同时停止工作的情况,参见图 A.2。

注:网络部件在 4.5.2.1 中定义;其包括网络设备有源部件、有源部件间链路和终端设备用链路。

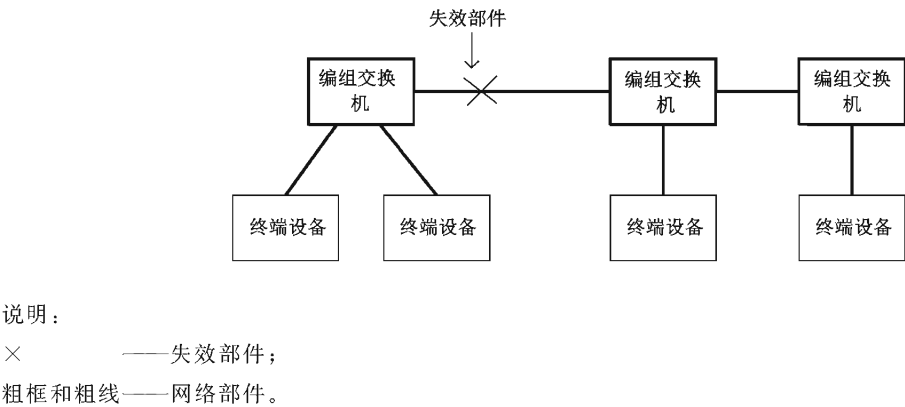


图 A.1 单网络部件失效示例

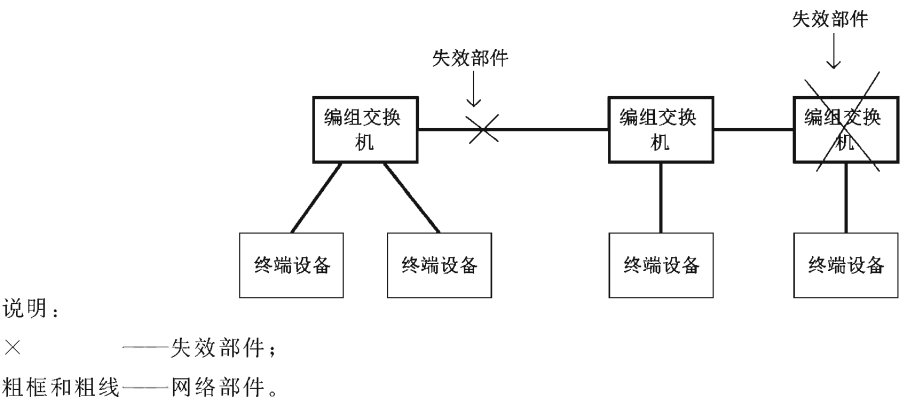


图 A.2 双网络部件失效示例

在网络部件失效时,网络可从无失效发生的正常状态转移到下列状态之一:

- 故障状态。该状态下网络被分割成若干部分。
- 部分功能状态。该状态下,网络未分割但不能提供与正常状态相同的服务。
- 完全功能状态。该状态下,网络能提供与正常状态相同的服务。

A.2.2 线形拓扑失效场景示例

线形拓扑不能容忍单网络部件失效,如图 A.3 所示。

如图 A.4 所示,如果旁路功能已适用于每一个有源部件,则有源部件失效时网络处于部分功能状态,即网络未分割但联挂到失效部件的终端设备不能继续通信。

注:带旁路功能的有源网络部件可有效避免网络分割,并可适用于其他拓扑。

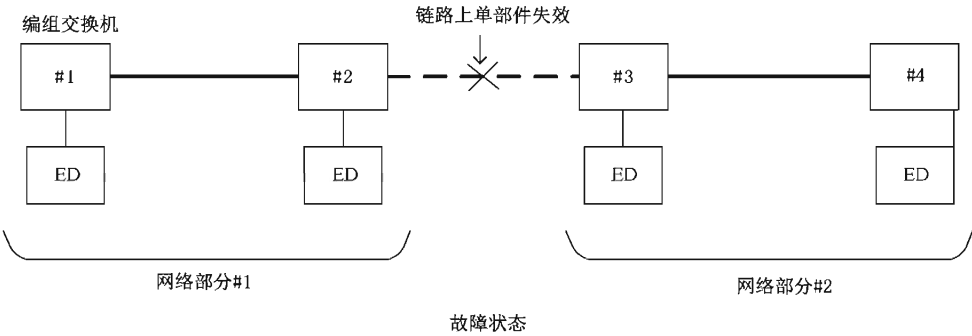


图 A.3 线形拓扑链路单网络部件失效示例

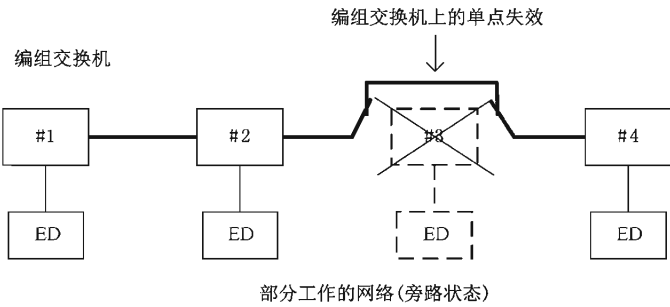


图 A.4 线形拓扑有源部件单网络部件失效示例

A.2.3 并行网络失效场景示例

有源部件间链路单网络部件失效不会导致网络故障,参见图 A.5。

在单一有源部件失效时,具有冗余链路到多个有源设备(编组交换机)的双归属终端设备能继续通信;具有冗余链路的场景参见图 A.6。

注:带旁路功能的并行网络可容忍大多数双网络部件失效。

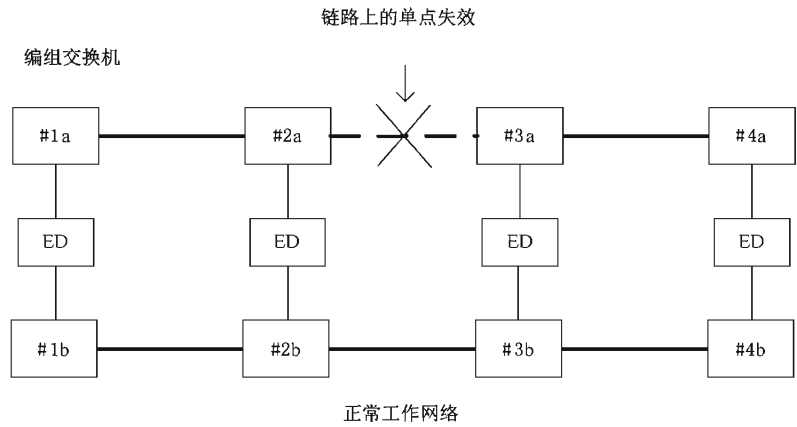


图 A.5 并行网络链路单网络部件失效示例

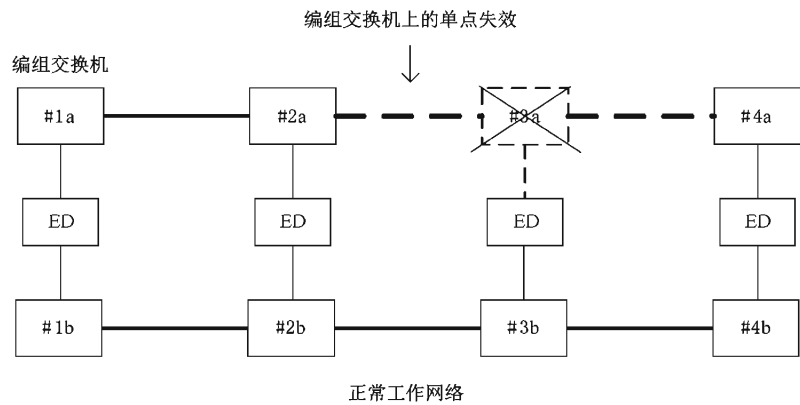


图 A.6 并行网络有源部件单网络部件失效示例

#### A.2.4 环形网络失效场景示例

有源部件间链路单网络部件失效不会导致网络故障,参见图 A.7。

有源部件单网络部件失效可导致网络功能减少,参见图 A.8。但是,具有冗余链路到多个有源设备(编组交换机)的双归属终端设备能继续通信;具有冗余链路的场景参见图 A.9。

注:带旁路功能的环形拓扑可容忍大多数双网络部件失效。

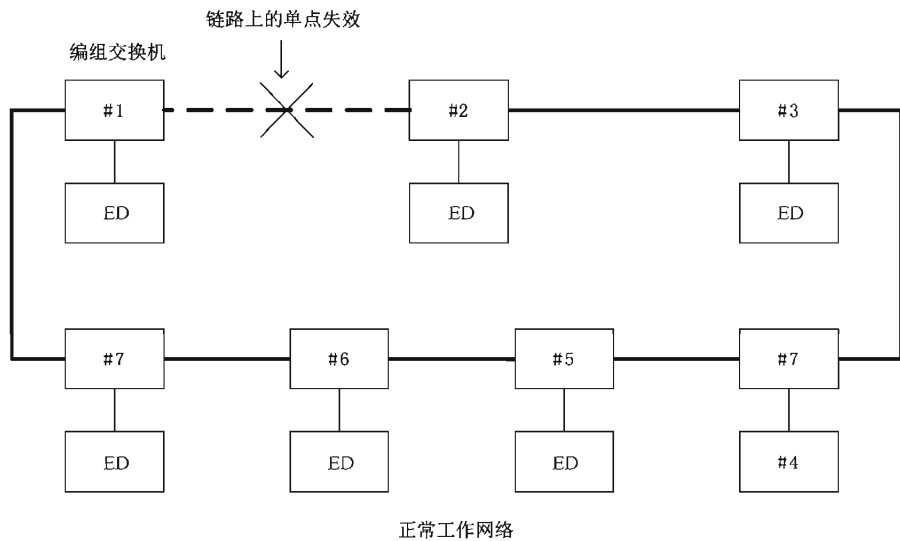


图 A.7 环形拓扑链路单网络部件失效示例



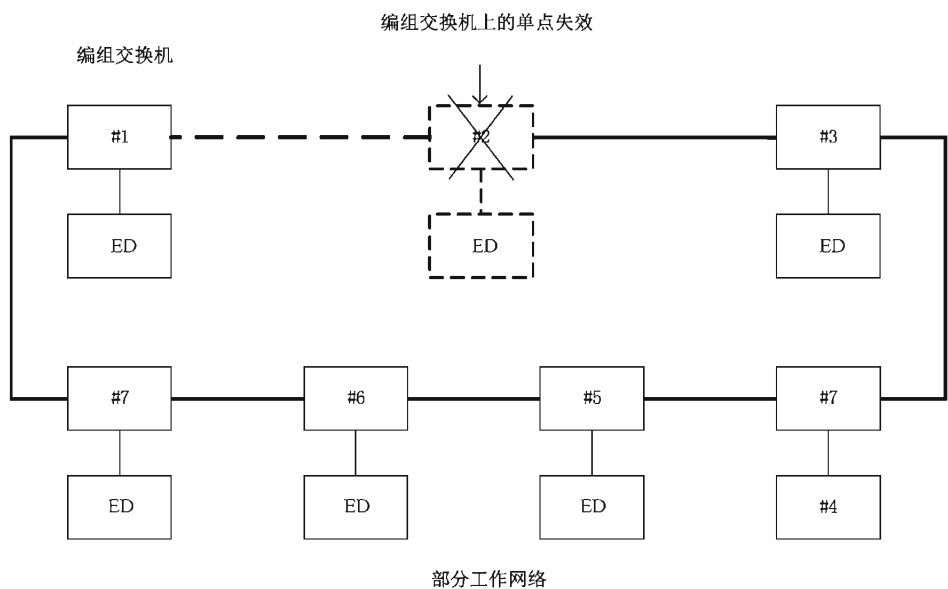


图 A.8 环形拓扑有源部件单网络部件失效示例

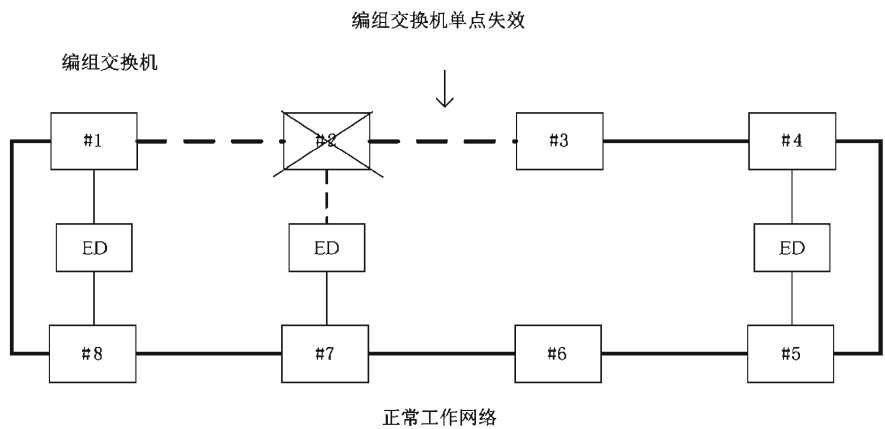


图 A.9 环形拓扑有源部件单网络部件失效示例(双归属终端设备)

A.2.5 梯形网络失效场景示例

链路上的单个网络部件失效不会导致网络整体功能故障,如图 A.10 所示。

在单一有源部件失效时,具有冗余链路到多个有源设备(编组交换机)的双归属终端设备能继续通信;具有冗余链路的场景参见图 A.11。

当在不同位置的链路上发生双网络部件失效时,如果失效不是在互为冗余的部件上同时发生,则网络维持完全功能,参见图 A.12。

当有源部件发生双网络部件失效时,网络是否维持完全功能取决于失效位置。在图 A.13 所示失效场景中,网络处于故障状态,但是如果具有旁路功能则网络可保持部分功能。

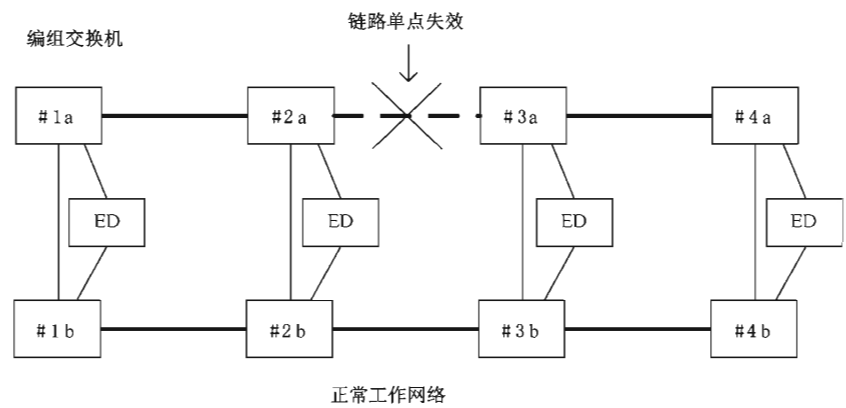


图 A.10 梯形拓扑链路单网络部件失效示例

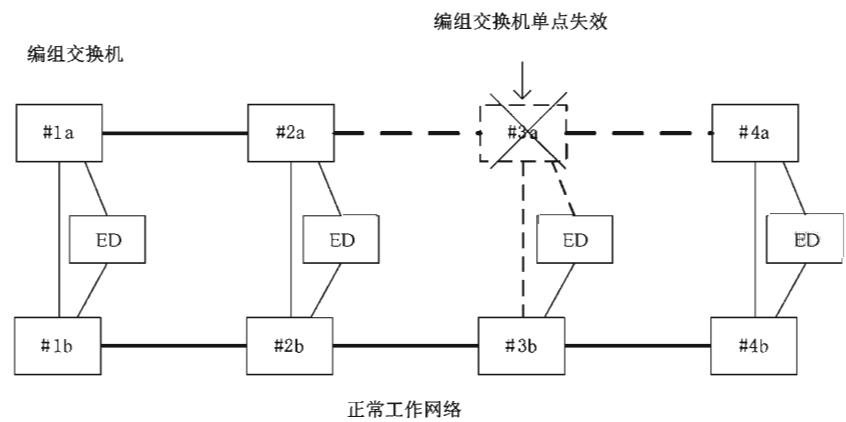


图 A.11 梯形拓扑有源部件单网络部件失效示例

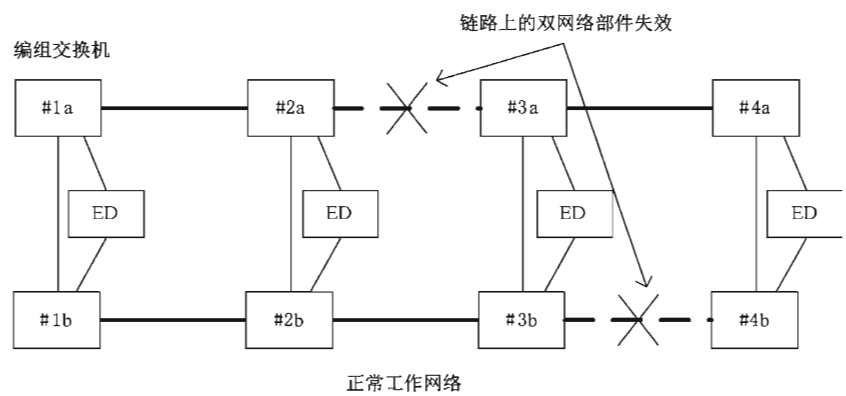


图 A.12 梯形拓扑链路双网络部件失效示例

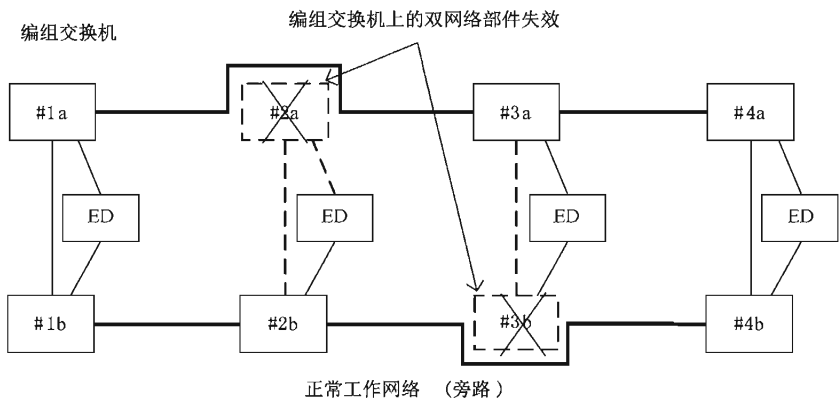


图 A.13 梯形拓扑有源部件双网络部件失效示例

A.3 ECN 架构的冗余等级

如表 A.1 所示,存在三级冗余。支持指定冗余等级的 ECN 架构示例参见图 A.14。

表 A.1 ECN 架构冗余级别

冗余级别	描述	
	失效部件	失效影响
1 级	无冗余	
2 级	网络中无单点失效,但失效时一些功能不工作	
	编组交换机失效	网络可恢复,但连接到失效编组交换机的终端设备不能与其他终端设备通信
	编组交换机间链路失效	网络可恢复
	编组交换机与终端设备间链路失效	与失效线路连接的终端设备不能与其他终端设备通信
3 级	无单点失效,且所有功能都可工作。尽可能多地可容忍双网络部件失效	
	编组交换机失效	网络可恢复,连接到失效编组交换机的终端设备仍可继续通信
	编组交换机间链路失效	网络可恢复
	编组交换机与终端设备间链路失效	与失效链路连接的终端设备可继续通信

注 1: 终端设备失效和终端设备自身冗余不属于本部分范畴。

注 2: 链路失效包括线缆失效、连接器失效和链路两端以太网接口(端口)失效。

注 3: 编组交换机失效是交换机内核失效,不含端口失效。失效率取决于编组交换机软/硬件复杂度。

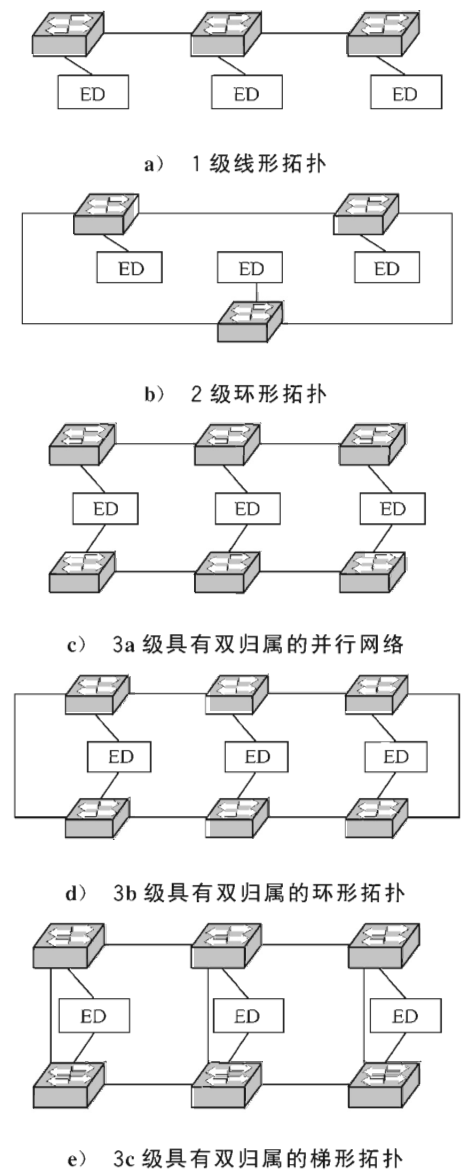


图 A.14 根据冗余等级分类的 ECN 架构示例

A.4 冗余等级的可靠性分析

本条分析了具有指定冗余等级的 ECN 的可靠性。

本条分析了以下三类可靠性,参见表 A.2:

- a) 总失效率;
- b) 网络自身 MTBF(失效时网络被分割),该分析中不包含编组交换机与终端设备间链路失效;
- c) 终端设备间通信 MTBF(失效时终端设备间不能通信),该分析中包含编组交换机与终端设备间链路失效。

出于简化目的,假设如下:

- a) 不同冗余等级的  $\lambda_s$  值可不同,但使用相同标签  $\lambda_s$ ;
- b) 为计算终端设备间通信的 MTBF,每一个编组交换机仅对一个终端设备。

表 A.2 不同冗余等级的可靠性

冗余等级	总失效率	网络 MTBF	终端设备间通信 MTBF
1 级	$\sim N(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)$	$\sim 1/N(\lambda_S + \lambda_T)$	$\sim 1/N(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)$
2 级	$\sim N(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)$	$\sim \mu/[N^2(\lambda_S + \lambda_T)^2]$	$\sim 1/N(\lambda_S + \lambda_B)$
3a 级、3b 级	$\sim 2N(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)$	$\sim \mu/[2N^2(\lambda_S + \lambda_T)^2]$	$\sim \mu/[2N^2(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)^2]$
3c 级	$\sim 2N(\lambda_S + 3\lambda_T/2 + \lambda_B)$	$\sim \mu/2N(3\lambda_S^2 + 4\lambda_S\lambda_T + \lambda_T^2)$	$\sim \mu/2N(3\lambda_S^2 + 4\lambda_S\lambda_T + 2\lambda_S\lambda_B + \lambda_T^2 + \lambda_B^2)$
式中： $N$ ——编组交换机数或冗余用编组交换机对数； $\lambda_S$ ——编组交换机(内核)失效率； $\lambda_T$ ——编组交换机间链路失效率； $\lambda_B$ ——编组交换机与终端设备间链路失效率； $\mu$ ——恢复速率。			

注 1：使用 IEC 62439 中的失效模型和公式计算。  
注 2：为简化计算，公式中用  $N$  代替  $N-1$ ，这在数学上并不精确，但 3a 级和 3b 级二者几乎相同。

3 级冗余的可靠性高于 1 级冗余和 2 级冗余，但是当存在共因失效(CCF)时可靠性会降低。有多种方法建模共因失效。表 A.3 显示了当使用  $\beta$  因子方法时 3 级冗余的可靠性。根据 IEC 61508， $\beta$  因子典型值为 0.5%~10%。

表 A.3 考虑共因失效时的可靠性

冗余等级	网络 MTBF	终端设备间通信 MTBF
3a 级、3b 级	$\sim \mu/[\mu N\beta(\lambda_S + \lambda_T) + 2N^2(\lambda_S + \lambda_T)^2]$	$\sim \mu/[\mu N\beta(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B) + 2N^2(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B)^2]$
3c 级	$\sim \mu/[\mu N\beta(\lambda_S + \lambda_T) + 2N(3\lambda_S^2 + 4\lambda_S\lambda_T + \lambda_T^2)]$	$\sim \mu/[\mu N\beta(\lambda_S + \lambda_T + \lambda_B) + 2N(3\lambda_S^2 + 4\lambda_S\lambda_T + 2\lambda_S\lambda_B + \lambda_T^2 + \lambda_B^2)]$

注 3：仅考虑冗余编组交换机、编组交换机与终端设备间链路和编组交换机间链路上的共因失效。 $\beta$  因子值依赖于部件，但出于简化考虑使用相同因子。

表 A.5 显示了使用表 A.4 中给定参数计算时 ECN 架构的可靠性和可用性示例。表 A.5 中值显示了 ECN 架构 3 级冗余的可靠性和可用性高于 1 级冗余和 2 级冗余。考虑共因失效，3a、3b 和 3c 级冗余因都基于双归属架构而提供近似相同的可靠性和可用性，但是，由于冗余网络中存在多个可替换路径，3c 级冗余的可靠性和可用性略高于 3a 级冗余和 3b 级冗余。

表 A.4 用于可靠性和可用性计算的参数

参数	值	备注
$N$ ：编组交换机数或编组交换机对数	10	
$\lambda_S$ ：编组交换机(内核)失效率	$5.00 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$	MTTF: 200 000 h
$\lambda_T$ ：编组交换机间链路失效率	$3.33 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$	MTTF: 3 000 000 h
$\lambda_B$ ：编组交换机与终端设备间链路失效率	$3.33 \times 10^{-7} \text{ h}^{-1}$	MTTF: 3 000 000 h

表 A.4 (续)

参数	值	备注
$\mu$ :恢复速率	$5.00 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$	平均停机时间:20 h
$\beta$ : $\beta$ 因子	0.01	失效的 1%是冗余部件共有的

表 A.5 可靠性和可用性示例值

冗余等级	总失效率/ $\text{h}^{-1}$	网络 MTBF/h	终端设备间通信 MTBF/h	终端设备间通信可用性 (不可用性)
1 级	$5.67 \times 10^{-5}$	$1.88 \times 10^4$	$1.76 \times 10^4$	0.998 9( $1.13 \times 10^{-3}$ )
2 级	$5.67 \times 10^{-5}$	$1.76 \times 10^7$	$1.88 \times 10^4$	0.998 9( $1.07 \times 10^{-3}$ )
3a/3b 级,无 CCF	$1.13 \times 10^{-4}$	$8.79 \times 10^6$	$7.79 \times 10^6$	0.999 997( $2.57 \times 10^{-6}$ )
3c 级,无 CCF	$1.17 \times 10^{-4}$	$3.06 \times 10^7$	$2.93 \times 10^7$	0.999 999 3( $6.82 \times 10^{-7}$ )
3a/3b 级,有 CCF	$1.13 \times 10^{-4}$	$1.55 \times 10^6$	$1.44 \times 10^6$	0.999 986( $1.39 \times 10^{-5}$ )
3c 级,有 CCF	$1.17 \times 10^{-4}$	$1.77 \times 10^6$	$1.66 \times 10^6$	0.999 988( $1.20 \times 10^{-5}$ )

A.5 ED 冗余

在不考虑 ED 可靠性时 ECN 本身是一个可靠的网络。尽管与编组交换机相比,ED 具有同阶的 MTBF 重要性,例如每个 ED 为 200 000 h。但是终端设备并不完全可靠,因此,在计入 ED 后网络的全局可靠性/可用性会减低。本条显示了 ED 和冗余 ED 对全局可靠性的影响。

表 A.6 显示了 ED 冗余对所有级别架构的影响。表 A.7 显示了 ED 冗余对使用比率的 MTBF 的影响,其中比率 1 对应于 9 404 h 的 MTBF。表 A.6 和表 A.7 中的值是使用表 A.4 中的值计算得到的。

当 ED 冗余时,表 A.6 和表 A.7 中给定的值显示与冗余架构效果相比可靠性极大提升。例如,具有冗余终端设备的双归属架构(表 A.6 中 3 级)的 MTBF 比无 ED 冗余的 MTBF 大 40 倍,这超过了无 ED 冗余从 1 级到 3 级提升的 MTBF。

表 A.6 有无 ED 冗余的可靠性比较

冗余等级	无 ED 冗余 MTBF/h	有 ED 冗余 MTBF/h
1 级	9 404	19 785
2 级	9 677	19 785
3a/3b 级	19 696	857 345
3c 级	19 774	931 641

表 A.7 有无 ED 冗余的 MTBF 比率比较(比率 1 对应表 A.6 中 9 404 h)

冗余等级	无 ED 冗余 MTBF/1 级无 ED 冗余 MTBF	有 ED 冗余 MTBF/无 ED 冗余 MTBF
1 级	1	2.1
2 级	1	2
3a/3b 级	2.1	43.5
3c 级	2.1	47.1

## 附 录 B

(资料性附录)

### 轨道交通用网络地址转换(R-NAT)

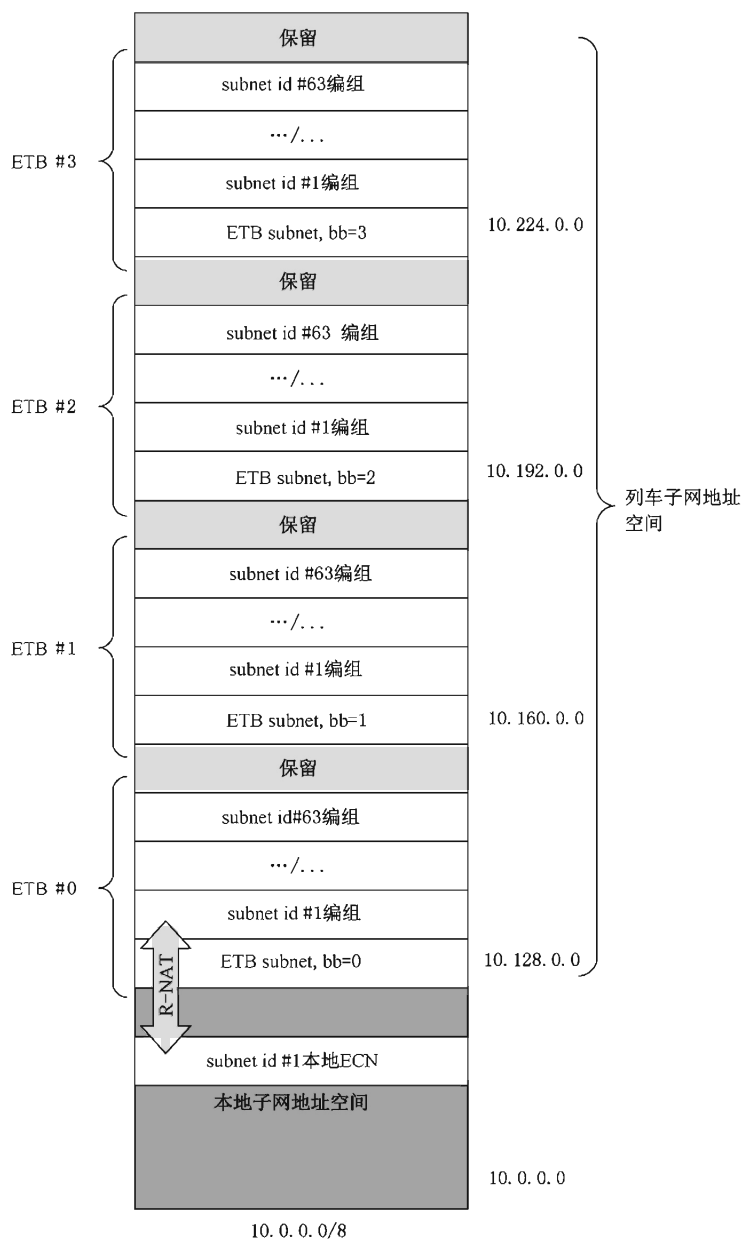
#### B.1 概述

R-NAT 是一种用于 ETB 与 ECN 之间网络地址转换的算法。该算法使用列车网地址和编组网地址规则,简化了地址转换的管理。

#### B.2 本地编组子网 IP 地址

当使用 R-NAT 时,每一个终端设备应关联一个本地 ECN 子网 IP 地址。该本地 ECN 子网(以下简称本地)地址属于子网范围 10.0/9,例如 10.0/18。IP 映射示例参见图 B.1。





注：列车 IP 范围的阴影部分用于 R-NAT。

图 B.1 ECN 本地 IP 范围示例

B.3 TBN R-NAT

如果终端设备仅拥有一个静态 IP 源地址，则终端设备间列车级通信需要在 ECN/ETB IP 路由器上进行 IP 地址的网络地址转换。该网络地址转换通常应符合 IETF RFC 3022 中定义的规则，但由于其专用于 ECN/ETB 路由所以称作“轨道交通用网络地址转换(R-NAT)”。

当 IP 包在 ECN 与 ETB 之间路由时，应适用以下地址转换规则：

- a) 当从 ECN 到 ETB 路由时，应从 ECN 地址级向 ETB 地址级转换静态 IP 源地址，即：
  - 1) ETB 级地址空间适用于 IP 源地址；

- 2) 源编组网的编组网标识符应插入到 IP 源地址中。
- b) 当从 ETB 到 ECN 路由时,应从 ETB 地址级向 ECN 地址级转换动态 IP 目的地址,即:
  - 1) ECN 级地址空间适用于 IP 目的地址;
  - 2) IP 目的地址中的编组网标识符应移除(以“0”代替)。

轨道交通网络地址转换示例参见图 B.2。图中三个 TBN 在列车初运行后分别获得 05、06 和 07 的 TBN 地址。连接到 TBN05 的终端设备 53 向连接到 TBN07 的终端设备 21 发送一个 IP 包。TBN05 将 IP 源地址从 10.0.0.53(ECN 地址级)转换到 10.129.64.53(ETB 地址级)。之后 TBN07 将 IP 目的地址从 10.129.192.21(ETB 地址级)转换到 10.0.0.21(ECN 地址级)。

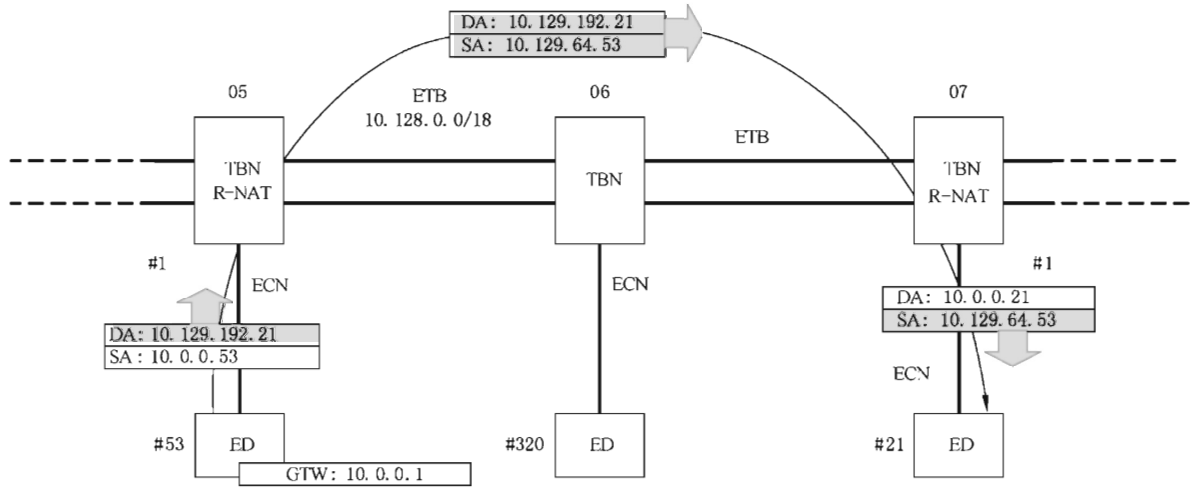


图 B.2 轨道交通网络地址转换(R-NAT)示例

注：在 IP 包源地址转换和目的地址转换时可在 IP 路由器中执行 R-NAT。

B.4 TBN 之间的互操作性问题

由于支持 R-NAT 的 TBN 与不支持 NAT/R-NAT 的 TBN 都符合通用 IP 映射定义,因此它们可互操作。图 B.3 和图 B.4 给出了示例。

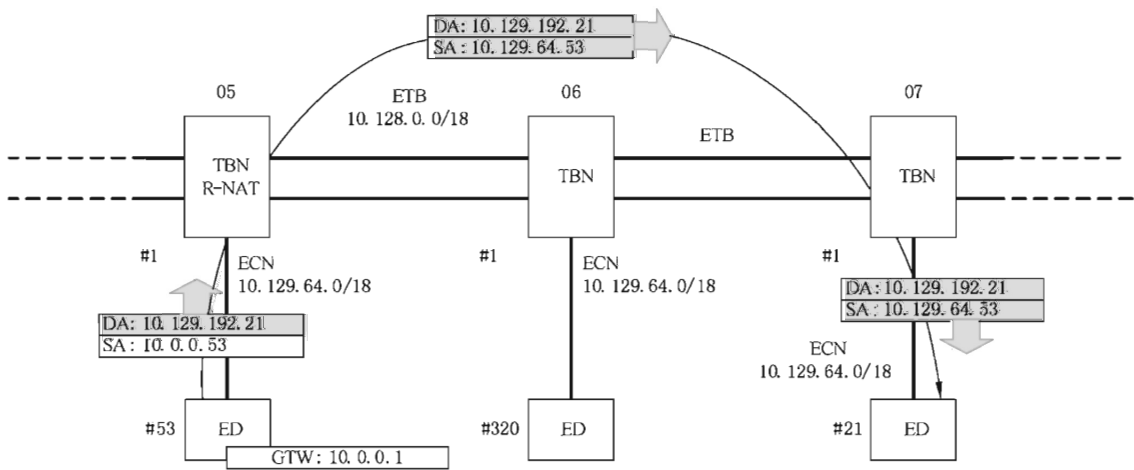


图 B.3 从支持 R-NAT 的 TBN 到不支持 NAT/R-NAT 的 TBN

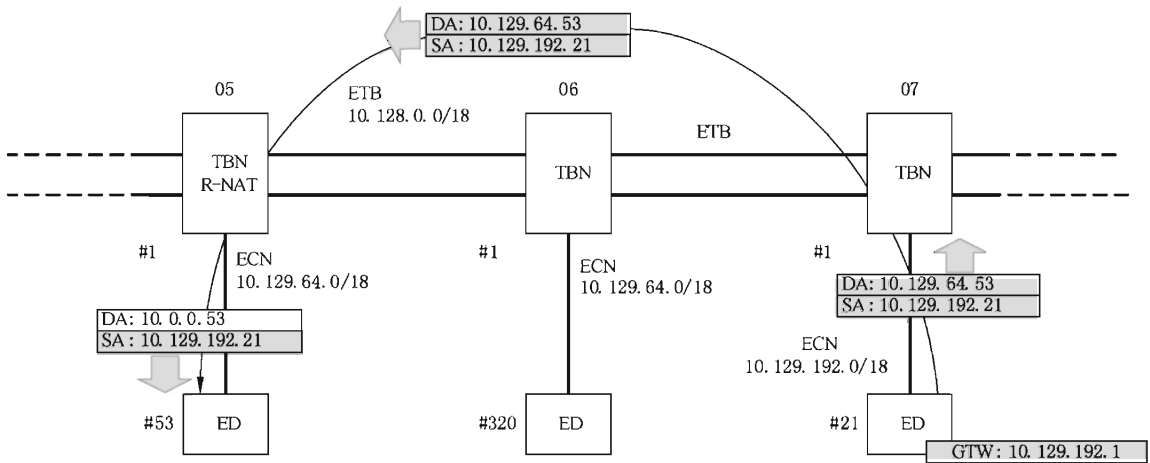


图 B.4 从不支持 NAT/R-NAT 的 TBN 到支持 R-NAT 的 TBN

上述两种场景中,在 ETB 上 IP 地址总是在列车 IP 映射中。本地 IP 地址(如已定义)不会用作离开该 ECN(访问邻 ECN 中终端设备)的目的地址。

附录 C  
(规范性附录)  
带信号放大的收发器协议定义

C.1 概述

本附录定义了可选的带信号放大的收发器,该收发器可联挂在 10BASE-T MAU 或 100BASE-TX PMD 外。

为增强在车辆内和使用联挂器连接车辆的介质上传输的信号的噪声抗扰度,可放大传输信号使其电压高于正常电压。

注:用于带信号放大的收发器的规范不兼容 IEEE 802.3。

根据应用有以下两个传输比特率的可选项:

- a) A 类:基于 IEEE 802.3 10BASE-T 的带信号放大的收发器;
- b) B 类:基于 IEEE 802.3 100BASE-TX 的带信号放大的收发器。

C.2 基于 IEEE 802.3 10BASE-T 的带信号放大的收发器(A 类)

C.2.1 概述

本章定义了基于 IEEE 802.3 10BASE-T 的带信号放大的收发器。

未在本章定义项应与 IEEE 802.3 10BASE-T 兼容。

C.2.2 收发器单元

收发器单元框图见图 C.1。IEEE 802.3 10BASE-T MAU 输出的差分传输数据信号 TD+ 和 TD- 在放大器中提高电平。电平调节器是将接收到的信号 RDA+ 和 RDA- 降低到可接收信号电平范围的电路,即使这些信号是从邻近收发器单元发出的。

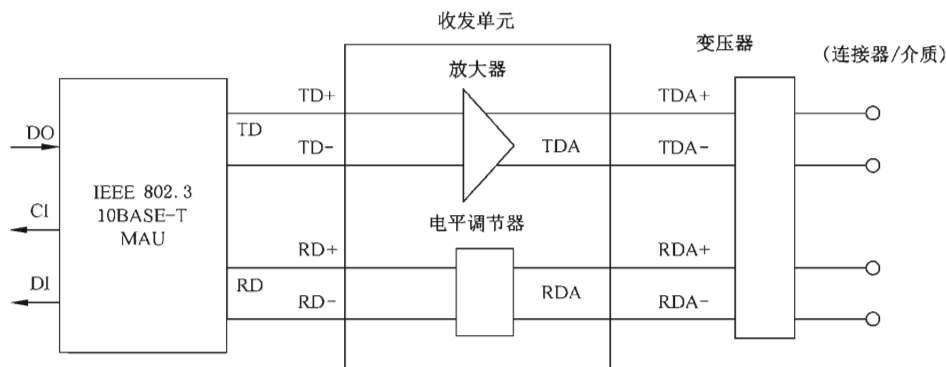


图 C.1 10BASE-T MAU 用收发器单元框图

C.2.3 发送信号特性

发送信号特性应符合以下描述:

- a) 对于发送差分波形,如果图 C.2 所示电路使用带 100 Ω 阻性负载的图 C.3 所示双绞线模型,则其定义的输出电压信号  $V_O$  应满足容差±10 %的图 C.4 和表 C.1 所示模板。双绞线等效电路规范应符合 IEEE 802.3 的 14.3.1.2(10BASE-T)。
- b) TP\_IDL 信号应满足图 C.6 所示负载下图 C.5 所示条件。其中,BT 是时隙周期,对于 10BASE-T 是 100 ns。
- c) 当使用链路脉冲时,应满足图 C.7 所示条件。当不使用链路脉冲可确认连接状态时,该项可忽略,其中 BT 与上述描述相同。

注: 图 C.2~图 C.9 的模板参见 IEEE 802.3 第 14 章(10BASE-T)。

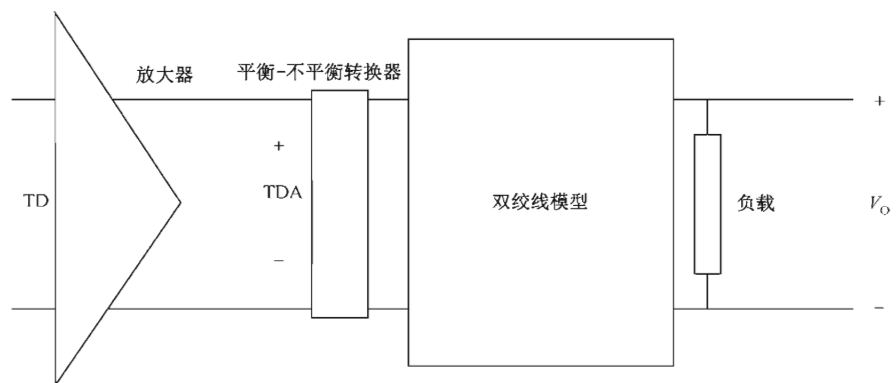
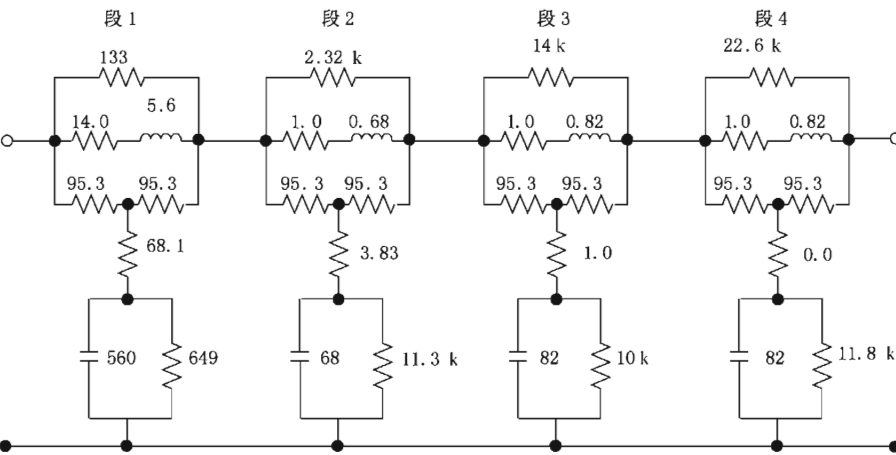
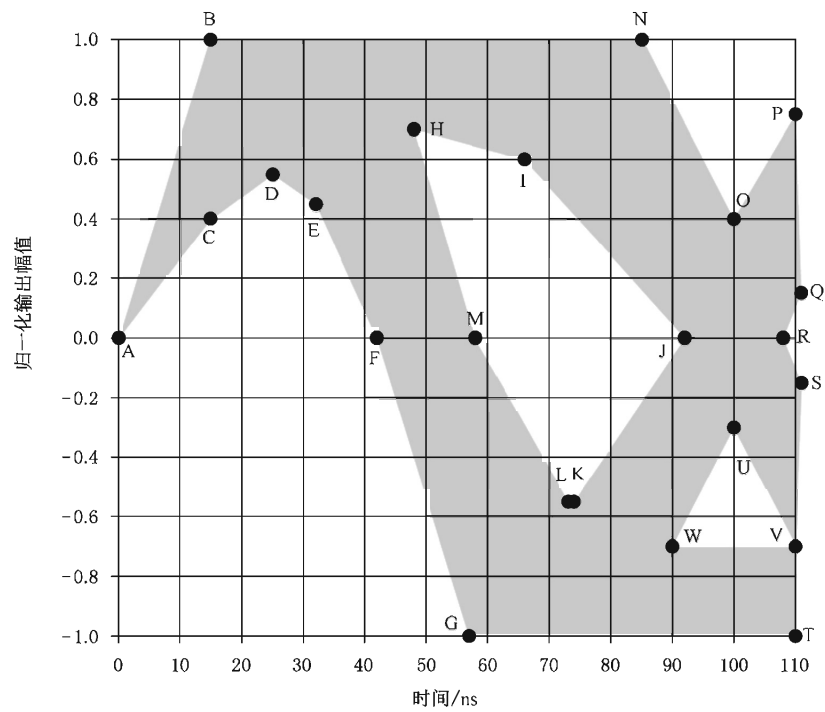


图 C.2 差分输出电压测试



说明:  
电阻单位为欧姆( $\Omega$ );  
电容单位为皮法( $\mu\text{F}$ );  
电感单位为微亨( $\mu\text{H}$ )。  
注: 布局 and 寄生效应不超过  $R$ 、 $C$  和  $L$  容差值。

图 C.3 双绞线模型



注：输出幅值 1.0 对应于 3.636 V。

图 C.4 放大电压模板

表 C.1 输出电压模板表

参考点	时间/ns	输出幅值
A	0	0
B	15	1.0
C	15	0.4
D	25	0.55
E	32	0.45
F	42	0
G	57	−1.0
H	48	0.7
I	67	0.6
J	92	0
K	74	−0.55
L	73	−0.55
M	58	0

表 C.1 (续)

参考点	时间/ns	输出幅值
N	85	1.0
O	100	0.4
P	110	0.75
Q	111	0.15
R	108	0
S	111	−0.15
T	110	−1.0
U	100	−0.3
V	110	−0.7
W	90	−0.7

注：输出幅值已归一化,值 1.0 对应 3.636 V。

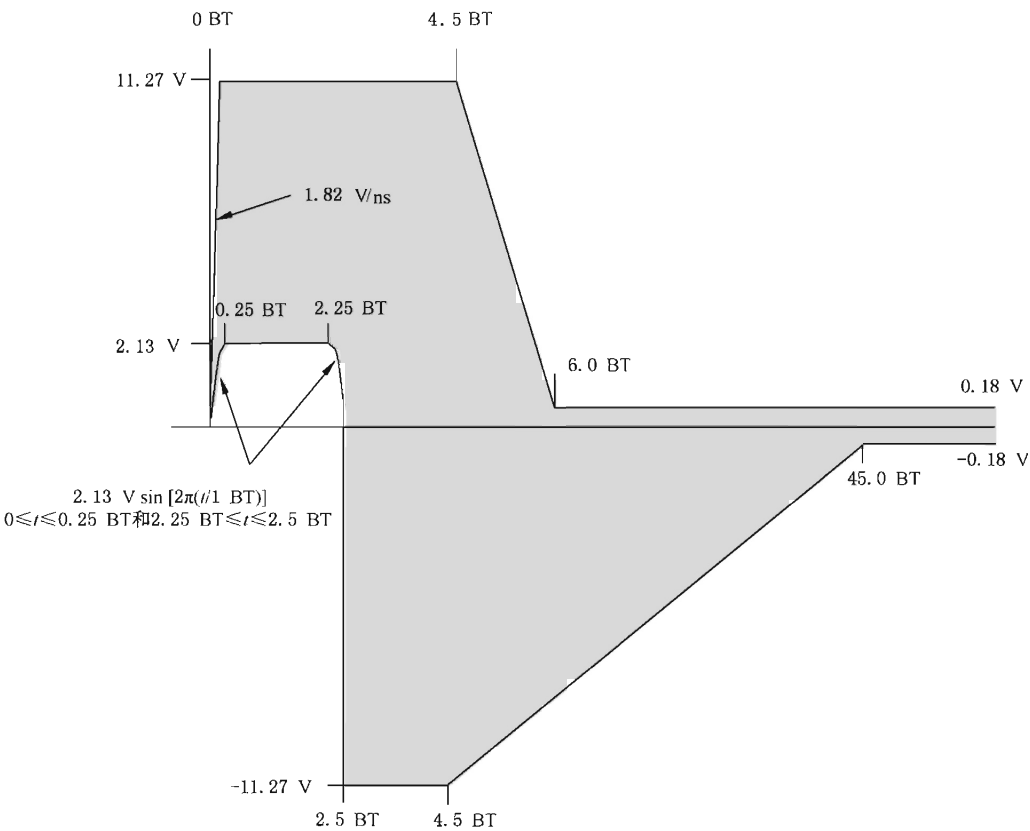
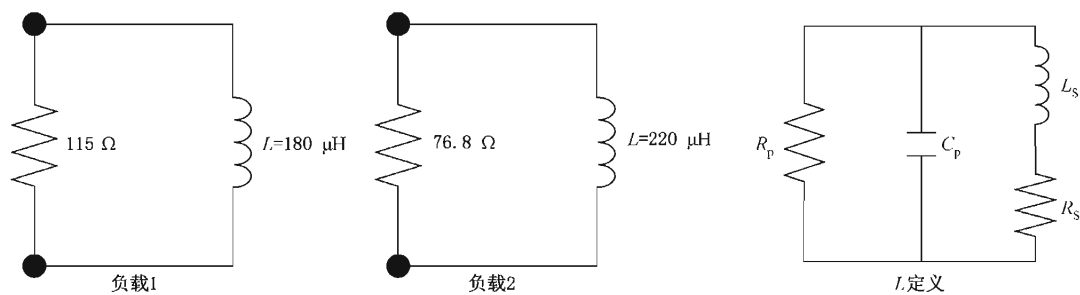


图 C.5 TP\_IDL 起始用放大的发送器波形



说明：

$L_s = L(1 \pm 1\%)$ ;

$C_p = 12(1 \pm 20\%) \text{ pF}$ ;

$R_p \geq 2 \text{ k}\Omega$ ;

$R_s \leq 0.5 \text{ }\Omega$ 。

注：所有参数在 250 kHz~6 MHz 频率范围上定义。

图 C.6 TP\_IDL 起始测试负载

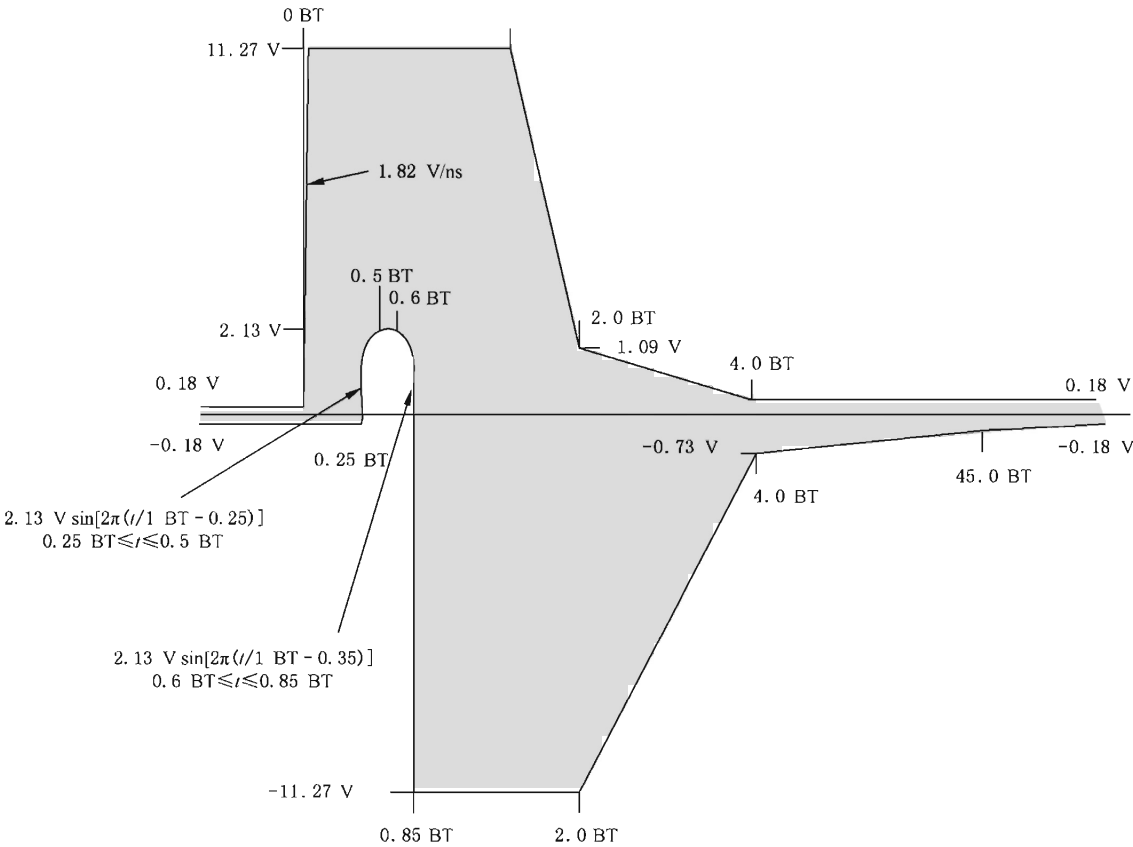
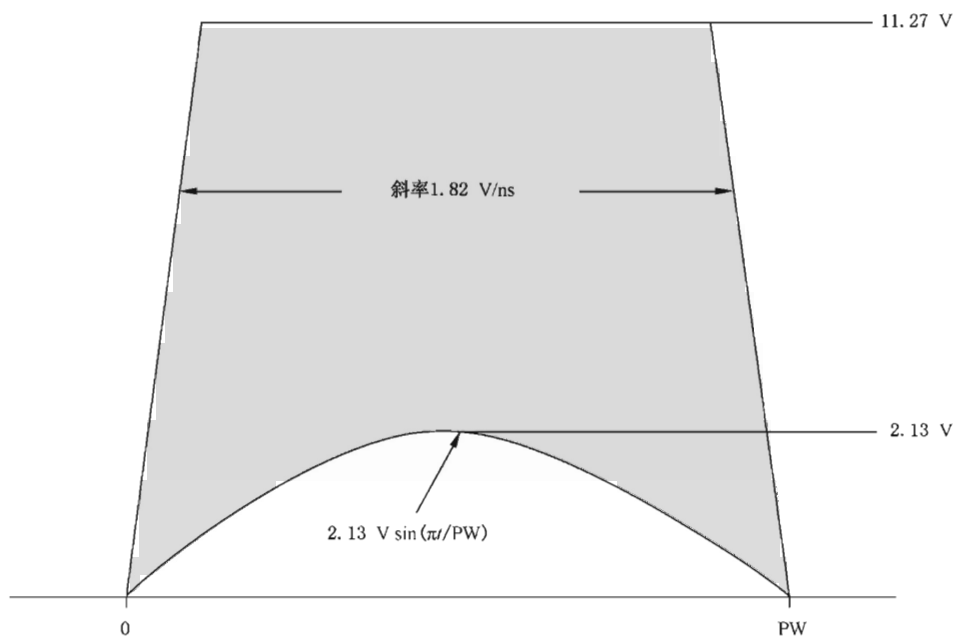


图 C.7 链路测试脉冲用放大发送器波形

C.2.4 接收信号特性

接收波形应满足图 C.8 和图 C.9 所示模板条件。



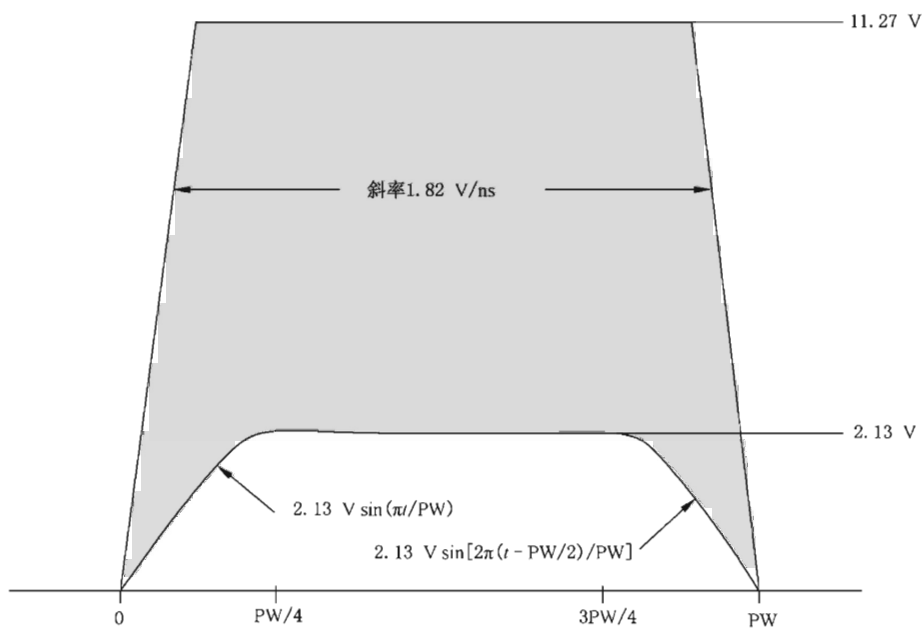


说明:

PW——观测到的脉冲宽度;

$50 - 2 \times \text{jitter} \leq \text{PW} \leq 50 + 2 \times \text{jitter}$ 。

图 C.8 放大接收器差分输入电压——窄脉冲



说明:

PW——观测到的脉冲宽度;

$100 - 2 \times \text{jitter} \leq \text{PW} \leq 100 + 2 \times \text{jitter}$ 。

图 C.9 放大接收器差分输入电压——宽脉冲

C.3 基于 IEEE 802.3 100BASE-TX 的带信号放大的收发器(B类)

C.3.1 概述

本章定义了基于 IEEE 802.3 100BASE-TX 的带信号放大的收发器。  
未在本章定义的项目应与 IEEE 802.3 100BASE-TX 兼容。

C.3.2 收发器单元

收发器单元框图如图 C.10 所示。IEEE 802.3 100BASE-TX PMD 输出的差分传输数据信号 Transmit+ 和 Transmit- 在放大器电路中提高电平,变换成 TDA+ 和 TDA- 再输入到变压器。电平调节器是将接收到的信号 RDA+ 和 RDA- 降低到 PMD 可接收信号电平范围的电路,即使这些信号是从邻近收发器单元发出的。

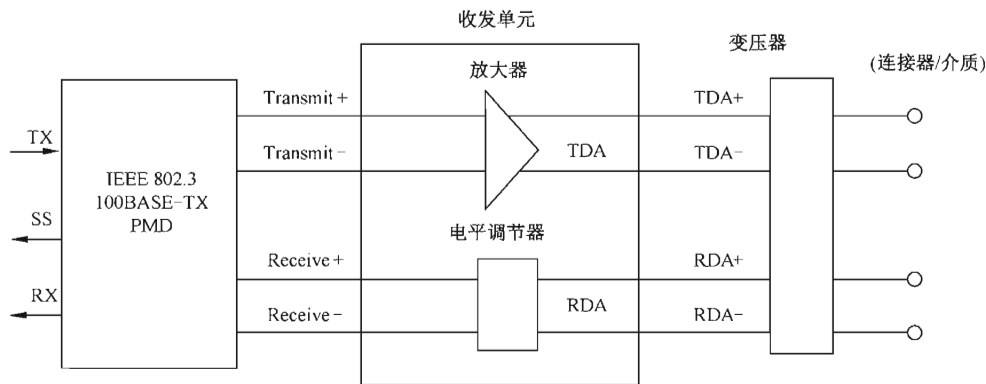


图 C.10 收发器单元框图

C.3.3 发送信号特性

发送信号特性除以下情况外,应符合 ANSI X3.263:1995 第 9 章要求:

- a) 不应使用 ANSI X3.263:1995 的 9.1.1 中双绞线有源输出接口;  
注:在 ANSI X3.263:1995 的 9.1.1 中定义了特性阻抗为 150 Ω 的 STP 有源输出接口。
- b) 测试负载应符合 ANSI X3.263:1995 的 9.1.2 中非屏蔽双绞线有源输出接口的描述;
- c) 差分输出电压  $V_{out}$  应满足:  $3\ 800\text{ mV} \leq V_{out} \leq 4\ 200\text{ mV}$ ,以替代 UTP 差分输出电压。

对于双绞线有源输出接口,应使用差分信号零峰值特性并符合表 C.2 中值,以替代差分信号 UTP 和差分信号 STP 零峰值特性。

表 C.2 双绞线有源输出接口

特性	最小值	最大值	单位
差分信号 UTP 零峰值	未使用	未使用	mVpk
差分信号 STP 零峰值	未使用	未使用	mVpk
差分信号零峰值	3 800	4 200	mVpk

### C.3.4 接收信号特性

接收信号特性除以下情况外,应符合 ANSI X3.263:1995 的 10.1:

- 对每一个峰峰值大于 4 000 mV 的有效信号 VSDA,“检测到信号(Signal\_detect)”应有效。在存在低密度变换的有效信号时,“Signal\_detect”应维持有效。
- 当接收信号峰峰值 VSDD 小于 800 mV 时,“Signal\_detect”应无效。

这些要求的示例见图 C.11。

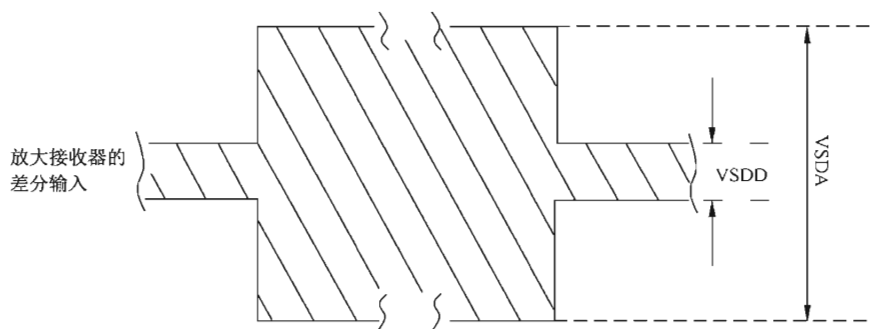


图 C.11 Signal\_detect 有效门限

注: 图 C.11 模板参见 ANSI X3.263:1995 第 10 章。

**附 录 D**  
**(资料性附录)**  
**梯形拓扑协议定义**

## D.1 概述

本附录定义了列车应用通信中提供更高鲁棒性和可用性以最小化妨碍列车运行风险的梯形拓扑协议。

本附录中定义的梯形拓扑旨在：

- a) 在单网络部件失效时继续 ECN 上的通信；
- b) 在尽可能多的除共因失效外双网络部件失效时继续 ECN 上的通信；
- c) 如果可通过回避失效点在适当时间内恢复失效，则网络失效对终端设备上列车应用透明。

为实现上述目的，该梯形拓扑适用下列设计思想：

- a) 两条主干链路的子网互为冗余；
- b) 冗余编组交换机间的本地链路；
- c) 依据应用数据同时在两个子网或其中一个子网上传输数据帧；
- d) 额外用于链路层协议中管理失效和恢复的专属命令帧；
- e) 包含用于恢复管理信息的冗余管理协议。

除控制梯形拓扑冗余所需的协议外，编组交换机接口协议应符合本部分通用部分。

注：该梯形拓扑协议包含不符合 IEEE 802.1D 或 IEEE 802.3 的部分，这些例外在本附录中以注形式声明。

编组交换机终端设备接口协议应符合本部分通用部分。

本附录中，术语“编组交换机”以“CNN”或“编组网节点”代替。

## D.2 编组网节点架构

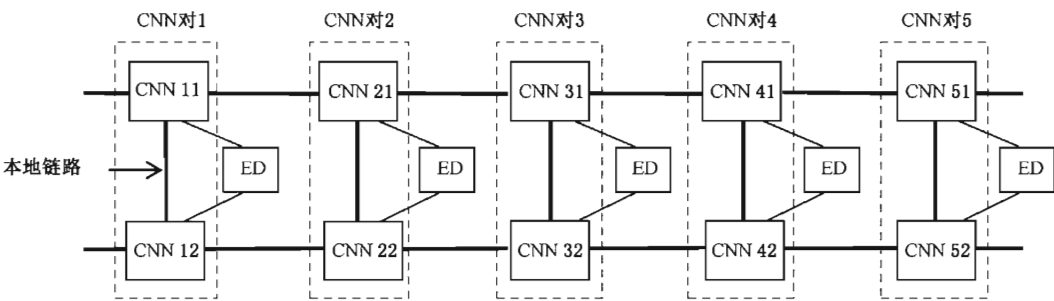
### D.2.1 概述

本章定义了用于梯形拓扑中 CNN(编组网节点)的协议。

### D.2.2 梯形拓扑概念

梯形拓扑概念如图 D.1 所示，其中在每个子网(图中标识为子网 1 和子网 2)上 CNN 串行连接到主干链路，且在网络的另一侧 CNN 之间使用本地链路互连形成各自 CNN 对。

终端设备通常有两条链路，称之为双归属，参见 4.5.4。



说明：  
CNN —— 编组网络节点；  
ED —— 终端设备。

图 D.1 梯形拓扑概念

D.2.3 梯形拓扑配置

梯形拓扑配置示例参见图 D.2,其中在每个子网中有三个 CNN。简化起见,图中在 CNN 内仅表示了用于连接的相关部分。

在图 D.2 每个子网中,主干链路连接 CNN 的 TPD 和 TPU,但末端 CNN 外部的 TPU 或 TPD 未连接。

在本地链路上,对于 PD 和 CNN 管理数据,LPT(自身子网用本地端口)专用于数据帧的发送,LPR (另一子网用本地端口)用于数据帧接收。对于其他类型数据,LPT 和 LPR 均用作子网间双向通信通道。子网 1CNN 的 LPT 连接到子网 2CNN 的 LPR,另一本地链路则相反。

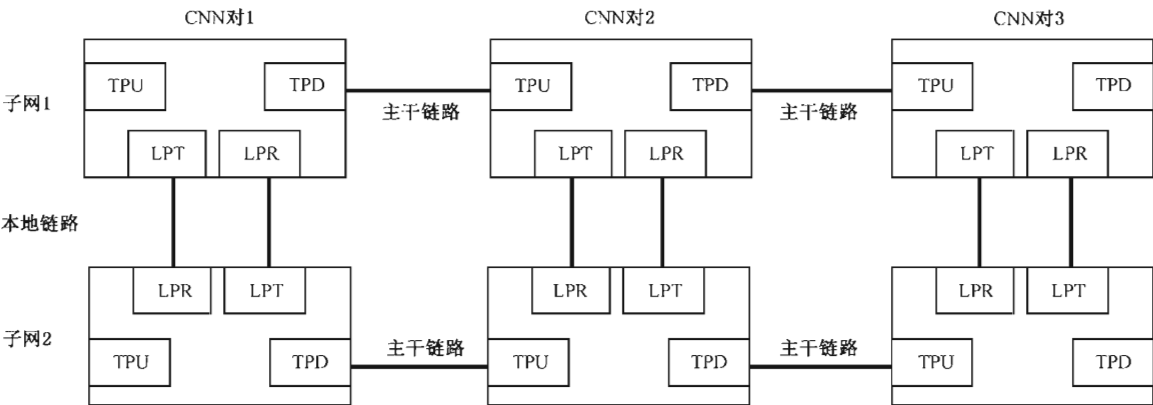


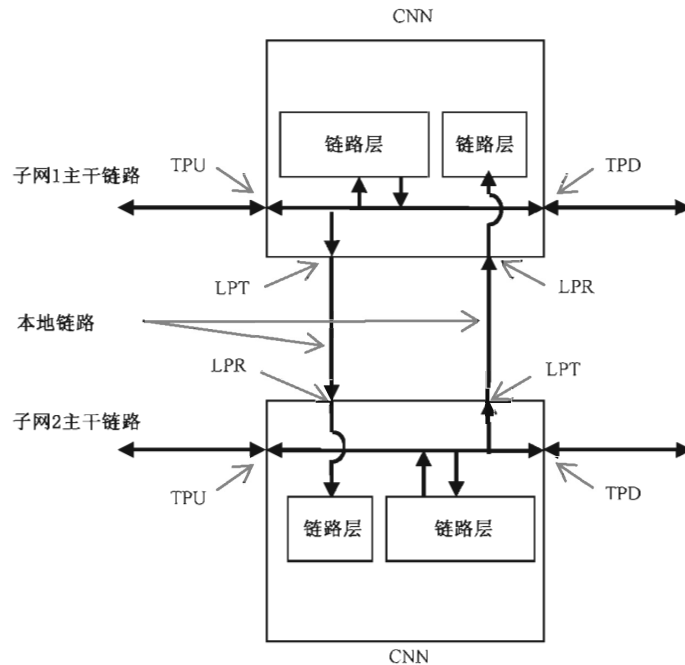
图 D.2 梯形拓扑配置

对于 PD 和 CNN 管理数据,冗余 CNN 中数据帧基本流参见图 D.3。

在一个主干端口(TPD 或 TPU)处接收到的帧同时传递给该 CNN 链路层、另一主干端口(TPD 或 TPU)和 LPT。

反之,来自该 CNN 链路层的数据帧同时在主干链路和 LPT 上发送。

另一子网 LPT 发送的数据帧通过 LPR 由该 CNN 另一链路层接收。



注：物理层用指示数据帧方向的箭头代替。

图 D.3 梯形拓扑中主干链路和本地链路上数据帧基本流

#### D.2.4 编组网节点功能结构

CNN 功能结构参见图 D.4,其由交换部分、实时 MAC 部分和梯形拓扑管理部分组成。

交换功能应符合本部分中定义的编组交换机规定。

实时 MAC 通过令牌传递方式执行网络控制以避免 CNN 间多访问流量拥塞,其中令牌是立即向网络发送其数据帧的权限。

注 1: 实时 MAC 协议在 D.3.2.5 中定义。实时 MAC 功能不符合 IEEE 802.1D。

梯形拓扑管理部分包含 CNN 管理、上层协议栈、MAC 子层和物理层。CNN 管理通过使用专用于失效检测和恢复的命令帧执行冗余控制和实时 MAC。

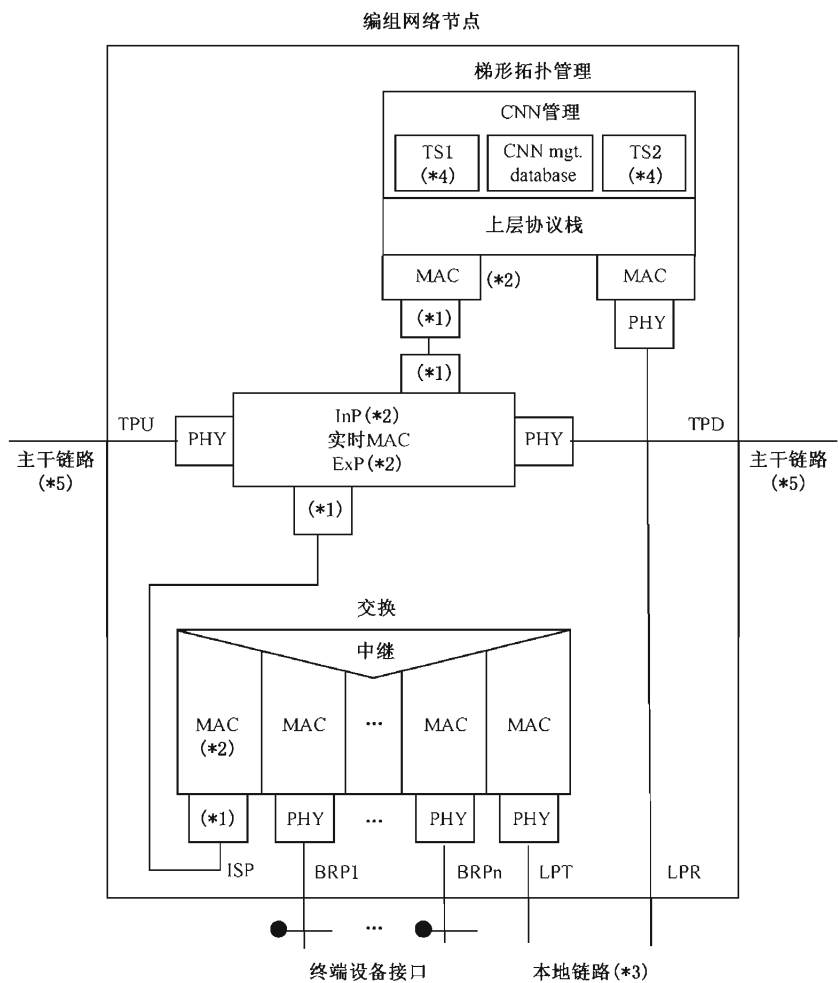
注 2: CNN 管理协议在 D.4 中定义。

图 D.4 中的 TPU 和 TPD 确定令牌流方向。TPU 应与前一 CNN 的 TPD 相连,TPD 应与后一 CNN 的 TPU 相连,这样 CNN 中令牌总是在 TPU 处接收而在 TPD 处发送。

当某个 CNN 发起数据帧时,其在主干链路上经由 TPU 向前一 CNN 且经由 TPD 向后一 CNN 同时发送数据帧。

反之,当 CNN 在 TPU 或 TPD 处接收到数据帧时,实时 MAC 检查 MAC 帧头。如果该帧是一个专属命令帧则在实时 MAC 内处理该帧。随后,在主干链路上发布另一专属命令帧。

如果接收到的帧不是专属命令帧,则该帧经由与接收主干端口相对的主干端口传递给下一 CNN,并经由交换机向外部终端设备和经由内部接口向 CNN 管理同时发布。



说明：

TS1 ——己方子网通信存储器(Traffic store for the own sub-network)；

TS2 ——它方子网通信存储器(Traffic store for the other sub-network)；

InP ——内部端口(Internal port)；

ExP ——外部端口(External port)；

BRP1-*n* ——分支端口 1-*n*(Branch port 1 to *n*)；

ISP ——内部交换端口(Internal Switch port)。

注 1：对于内部接口,可使用 IEEE 802.3 第 22 章定义的 MII(介质无关接口)或 PHY。

注 2：在 InP 和 ExP 的 MAC 之间接口上支持流量控制,该流量控制定义为 IEEE 802.3 中 MAC 控制 PAUSE 操作。

注 3：本地链路用于梯形拓扑中冗余 CNN 间通信。

注 4：通信存储器是用于 PD 的缓存,其由周期传输刷新,且长度和地址空间对网络中所有通信存储器公用。

注 5：用于 CNN 掉电或失效情况的可选的主干链路旁路中继未在图中例示。

图 D.4 编组网节点功能结构

D.2.5 PD 用通信存储器

梯形拓扑中通信存储器的概念与 GB/T 28029.2 中定义的 WTB 通信存储器相似,但过程数据集地址和长度随应用变化。

通信存储器概念参见图 D.5 具有 3 个 CNN 的网络中的通信存储器示例。CNN 1 中通信存储器的数据集 A 在网络上发布,该数据集被其他 CNN(即 CNN2 和 CNN3)订阅。同样,CNN 2 中通信存储器

的数据集 B 和 CNN 3 中通信存储器的数据集 C 也在网络上发布。

偏移地址规定了在通信存储器地址空间中该数据集的起始地址。数据集的一个发布者和多个订阅者在两个子网上相同配置。通信存储器中数据集在一定周期内被刷新成相同的内容。

通信存储器地址空间长度应在网络中相同,默认值宜为 64 kB。应在 CNN 和终端设备上为子网 1 和子网 2 实现两套通信存储器。

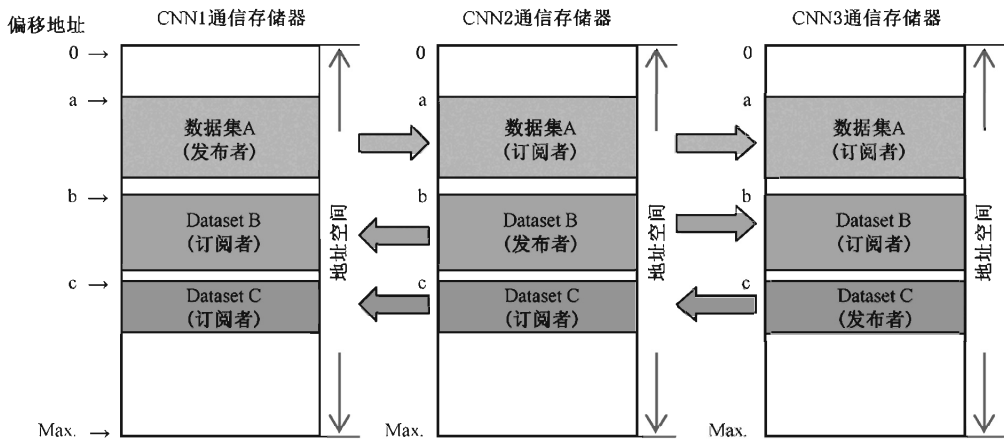


图 D.5 梯形拓扑中通信存储器概念

## D.2.6 梯形拓扑中的冗余

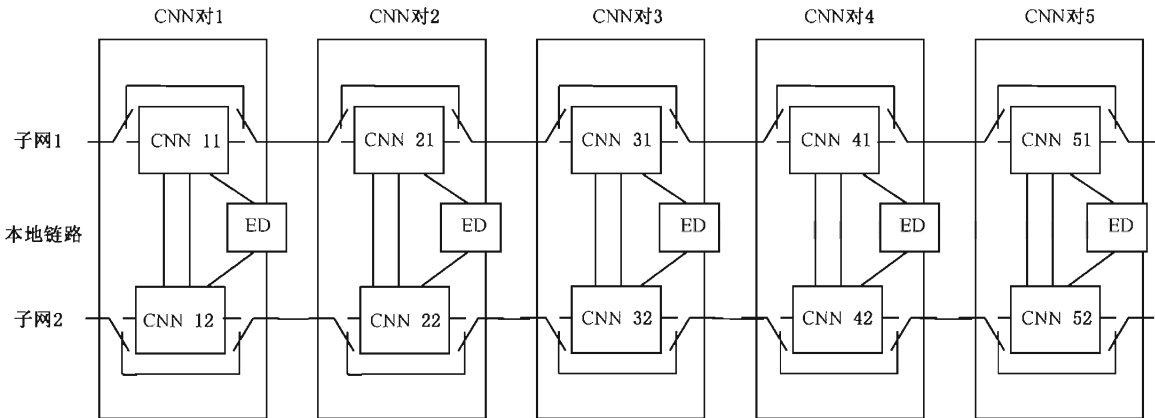
### D.2.6.1 概述

本条描述了梯形拓扑中使用专属主干链路和专属本地链路作为冗余路由的冗余行为。

注：状态机正式描述参见 D.4.9。

### D.2.6.2 梯形拓扑中冗余原理

梯形拓扑配置示例参见图 D.6。CNN 通过主干链路与其邻接 CNN 连接,并通过本地链路与另一侧子网的结对 CNN 连接以形成 CNN 对。图中举例说明了旁路中继器,尽管旁路中继器可选联挂到 CNN 上。



注：两个末端 CNN 的旁路中继器不必实现,但出于一致目的在图中画出。

图 D.6 梯形拓扑配置示例



梯形拓扑中冗余原理如下：

- a) 源自终端设备的所有过程数据帧向两个子网或同时通过 CNN 对向两个子网的主干链路发送,其中数据相同且数据帧可被两个子网中所有其他 CNN 上的终端设备接收。
- b) 当在链路或一个子网 CNN 上发生导致数据帧丢失的失效时,另一 CNN 通过本地链路“绕道”方式代替失效 CNN 负责数据帧的传输。这称作替代传输。
- c) 替代传输仅适用于 PD。另一方面,在失效发生时,偶发给一个子网的消息数据应使用路由协议 RFC 2328 中定义的、带 RFC 1793 和 RFC 4136 扩展的 OSPFv2(开放最短路径优先)“绕道”。

D.2.6.3 替代传输

替代传输是备份系统,其中被失效分割的子网 CNN 的数据传输由另一子网 CNN 替代以使得即使在失效已发生后仍如失效未发生时一样继续数据传输。

通过替代传输,在冗余子网上单网络部件失效和除共因失效外的双网络部件失效发生时,以双归属连接到 CNN 对的终端设备不需要关心失效,也不需要切换接口到另一侧以接收数据。

在替代传输机制中,为避免 CNN 不能从失效发布者 CNN 接收 PD,由于失效发布者 CNN 的结对 CNN 正常发送具有相同内容的数据,该数据可通过以使用结对 CNN 的数据作为替代方案被其他 CNN 重传。

在本地链路上,LPR 处接收到的数据被存储以更新 LPR 通信存储器内容,然后当执行替代传输时该数据被取出以向子网发送。

应在下列事件中启动替代传输：

- a) 当 CNN 通过周期检查主干链路状态方式检测到邻接 CNN 间主干链路失效时；
- b) 当 CNN 检测到上游一个或多个 CNN 被旁路时；
- c) 当 CNN 从另一 CNN 接收到包含在 CNN 管理信息中的请求时。

在上述场景中,CNN 通过从 LPR 专用通信存储器读取数据方式发送从另一侧子网 CNN 接收到的数据,以及发送自身数据。

注：梯形拓扑替代传输正式描述见 D.4.8 中的表 D.45 和表 D.46。梯形拓扑替代传输失效场景见 D.5。

D.2.7 梯形拓扑用配置参数

D.2.7.1 概述

本条描述了用于梯形拓扑的配置参数。

D.2.7.2 CNN 用配置参数

在梯形拓扑中,应为具有不同子网标识的各个终端设备分配不同的独立 IP 地址,该终端设备联挂到子网 1 和子网 2 的单独子网 CNN。

注：IP 地址分配参见 D.3.3。

表 D.1 显示了用于梯形拓扑子网 1 CNN 的配置参数,表 D.2 显示了用于梯形拓扑子网 2 CNN 的配置参数。

表 D.1 子网 1 CNN 配置参数

参数	类型	描述
IndividualIpAddressIedS1	UNSIGNED32	用于子网 1 CNN 中 CNN 管理的独立 IP 地址
IndividualIpAddressLprS1	UNSIGNED32	用于子网 1 CNN 中另一子网用本地端口的独立 IP 地址

表 D.2 子网 2 CNN 配置参数

参数	类型	描述
IndividualIpAddressIedS2	UNSIGNED32	用于子网 2 CNN 中 CNN 管理的独立 IP 地址
IndividualIpAddressLprS2	UNSIGNED32	用于子网 2 CNN 中另一子网用本地端口的独立 IP 地址

D.2.7.3 替代传输用配置参数

用于 PD 替代传输的配置参数参见图 D.3。当替代传输功能适用于梯形拓扑时,项的编号及其内容应在子网所有 CNN 中相同。

注:替代传输功能参见 D.2.6.3。

表 D.3 PD 替代传输配置参数

参数	类型	描述
ConfigurationSubsCnnK	Type_Configuration_Substitute	用于 CNN k 替代传输的配置数据
ConfigurationSubsCnnL	Type_Configuration_Substitute	用于 CNN l 替代传输的配置数据
ConfigurationSubsCnnM	Type_Configuration_Substitute	用于 CNN m 替代传输的配置数据
.....	.....	.....
注:k、l、m 等指被替代传输的 CNN 编号。		

数据结构 Type\_Configuration\_Substitute 应包含表 D.4 所列元素。

表 D.4 数据结构 Type\_Configuration\_Substitute

参数	类型	描述
OffsetPdSubs1	UNSIGNED16	用于替代传输的生产者包 1PD 偏移地址
SizePdSubs1	UNSIGNED12	用于替代传输的生产者包 1PD 长度:0~1 464
OffsetPdSubs2	UNSIGNED16	用于替代传输的生产者包 2PD 偏移地址
SizePdSubs2	UNSIGNED12	用于替代传输的生产者包 2PD 长度:0~1 464

D.2.8 主干链路用信号连接

D.2.8.1 概述

为减少车辆重量和布线成本,期望减少线缆和连接器引脚的数量,尤其是通过在既有车辆间使用传统电联挂器的方式将 ECN 适用到既有车辆时。通过链路层实时 MAC 操作,不会在链路上出现信号同时收发,因此在采用为更高鲁棒性而带信号放大收发器的 10 Mbps 传输比特率的物理层时,可通过本部分定义的全双工操作使用一条双绞线代替两条双绞线。

注:使用单一双绞线的通信和带信号放大的收发器不符合 IEEE 802.3。

D.2.8.2 单一双绞线连接

附录 C 中定义的发收器单元采用单一双绞线时的框图参见图 D.7。来自 IEEE 802.3 10BASE-T MAU 的差分传输数据信号 TD+和 TD-在放大器中提高电平,变换成 TDRD+和 TDRD-再输入到

变压器。发送信号和接收信号在放大器的输出点处复用,其也是电平调节器的输入。

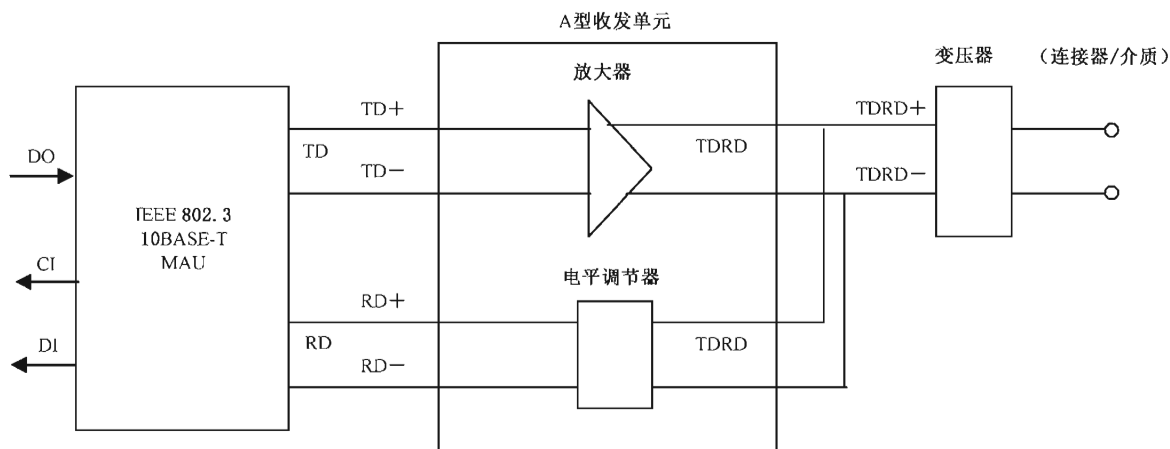


图 D.7 用于单一双绞线连接的收发器框图

两个收发器之间的单一双绞线信号连接如表 D.5 所示。单一屏蔽双绞线连接参见图 D.8。

表 D.5 收发器间信号连接(单一双绞线)

信号名	符号	信号方向	符号	信号名
发送/接收	TDRD (+)		TDRD (+)	发送/接收
	TDRD (-)		TDRD (-)	

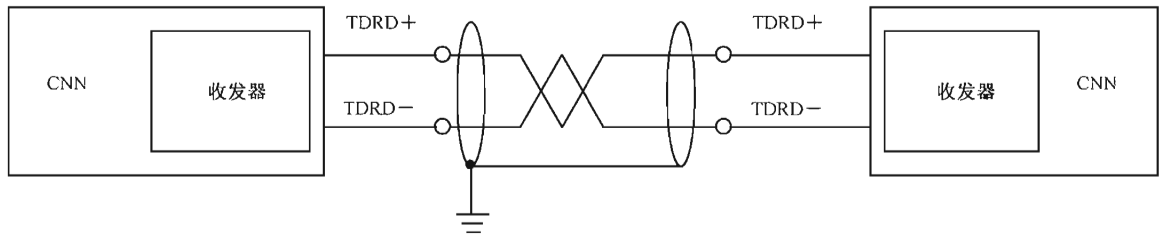


图 D.8 用于单一双绞线的线缆连接

D.2.9 本地链路连接

对于梯形拓扑本地链路端口,应使用 M12 D 型连接器。  
该连接器及引脚定义符合 4.9.4.3。  
注: 当 CNN 对在同一个单元中实现时,可使用任意类型的连接器,例如通过背板连接,这种连接器不属于本部分范畴。

D.3 链路层

D.3.1 概述

本章定义了用于梯形拓扑的 CNN 链路层。  
为实现梯形拓扑,CNN 间专用主干链路和本部分定义的编组交换机 MAC 功能采用实时 MAC(除本部分定义的编组交换机 MAC 功能外,CNN 间专用主干链路采用实时 MAC)。  
注: 实时 MAC 协议不符合 IEEE 802.1D。

D.3.2 介质访问控制

D.3.2.1 概述

本条定义了实时 MAC 协议,该协议执行实时控制以保证具有较短周期的确定性。  
用于实时 MAC 的命令帧也用于梯形拓扑失效检测和恢复。  
通过本条定义的实时 MAC 协议,在主干链路上执行交替传输,因为实时 MAC 协议控制业务量使得某一时刻仅一个 CNN 能在子网上发送帧。  
应在实时 MAC InP 和 Exp 接口处支持按 IEEE 802.3 MAC 控制 PAUSE 操作定义的流量控制,如图 D.4 所示。未在本条定义项应与 IEEE 802.3 第 2 章(介质访问控制服务规范)一致。

D.3.2.2 CNN 编号

D.3.2.2.1 概述

每个 CNN 分配以一个独立的 CNN 编号,该编号指示该 CNN 在网络中的顺序。CNN 编号格式见表 D.6。

表 D.6 CNN 编号

参数	类型	描述
CnnNumber	UNSIGNED5	CNN 编号,由应用初始设置,在操作中不会改变。取值范围:1~31

D.3.2.2.2 CNN 编号分配

每个 CNN 的 CNN 编号应由应用初始设置,应从一个末端 CNN 到另一末端 CNN 逐个递增 1。不准许以不连续、不规律或有重复的顺序分配 CNN 编号。  
分配以最小编号的末端 CNN 命名为最上游 CNN,另一末端 CNN 命名为最下游 CNN。从最上游 CNN 到最下游 CNN 的方向命名为下行方向,相反方向命名为上行方向。  
在图 D.9 的梯形拓扑中,子网 1 编号从一个末端 CNN 处的最小编号 1 开始,按下行方向逐个递增到另一末端 CNN;子网 2 编号应分配以结对 CNN 相同的编号。

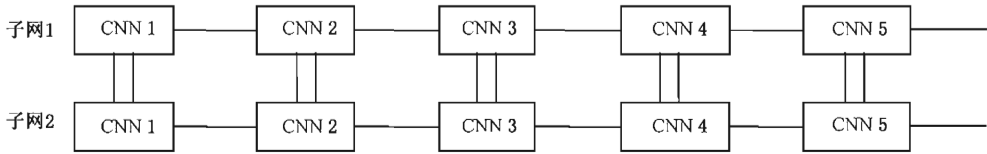


图 D.9 梯形拓扑 CNN 编号分配示例

D.3.2.3 命令帧定义

D.3.2.3.1 概述

本条定义了五类适用于数据链路协议的实时 MAC 专用命令帧。这些命令帧每次仅在两个相邻 CNN 间适用。即这些命令帧不立即传递到下一 CNN,而是接收、解析,然后在需要时重新发送到下一 CNN,具体如下所示:

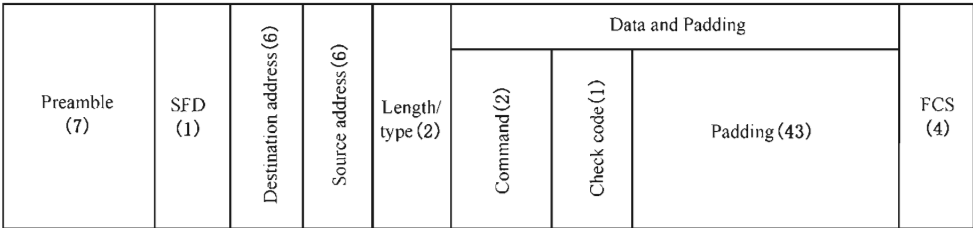
a) 复位(Reset)命令:从最上游 CNN 向下游 CNN 发布,以同步周期发送的起始。当下一 CNN 从上游 CNN 接收复位命令时,该 CNN 变成不具有令牌的初始状态,并再向下一下游 CNN 重

发复位命令,以此类推。

- b) 令牌(Token)命令:适用于向下一 CNN 传递发送权。已从上游 CNN 接收到令牌命令的 CNN 被允许向子网发送其自身数据帧。在发送数据帧后,该 CNN 向下一下游 CNN 发送令牌命令。
- c) 返回(Return)命令:从最下游 CNN 按上行方向发布,以返回发送权到最上游 CNN。当中间 CNN 从其下游 CNN 接收到返回命令时,该 CNN 向其上游 CNN 重复发送该命令。
- d) 链路(Link)命令:适用于在最下游 CNN 处加入一个新的 CNN 到子网中。如果新的 CNN 请求进入子网,则其针对链路命令回送链路确认命令。
- e) 链路确认(Link-Ack)命令:是对用于加入子网的链路命令的响应。最初,一个孤立的 CNN 等待上游 CNN 的链路命令。当接收到链路命令时,该 CNN 向其上游 CNN 发送链路确认命令。

D.3.2.3.2 命令帧格式

以最小长度的数据链路帧形式构成的命令帧格式参见图 D.10。



注：图中括号内的数字表示以八位位组计的字段长度。

图 D.10 命令帧格式

注 1：在本条后续内容中,字段中的八位位组从左到右发送。

数据链路帧中各字段的含义如下所示：

- a) 目的地址字段:应分配以特定的多播组地址,指定值参见表 D.7。

表 D.7 目的地址字段内容

字段	以 16 进制数表示的八位位组
目的地址	01 80 C2 00 00 01

注 2：该地址基于用于 IEEE 802.3 附录 31B MAC 控制 PAUSE 操作的全球分配多播地址。

- b) 源地址字段:应分配以特定的地址,指定值参见表 D.8。

表 D.8 源地址字段内容

字段	以 16 进制数表示的八位位组
源地址	00 00 00 00 00 00

注 3：该操作中链路层不解析源地址字段。

- c) 长度/类型字段:应分配以特定的值,指定值参见表 D.9。

表 D.9 长度/类型字段内容

字段	以 16 进制数表示的八位位组
长度/类型	22 DF

注 4：IEEE 为该类型以太网帧分配以太网类型编号。

- d) 命令和校验码字段:命令字段的两个八位位组适用于数据链路协议,校验码字段的一个八位位组用于使命令可信。校验码算法为从目的地址字段第一个八位位组的数值到命令字段最后一个八位位组的数值求和,然后对和值求补码。命令字段和校验码字段应分别参见表 D.10 中规定的数值设置。

表 D.10 命令字段和校验码字段内容

命令帧	字段	以 16 进制数表示的八位位组	备注
复位命令	命令	80 nn	nn 默认值为‘00’h,其他值保留
	校验码	kk	见注 2
令牌命令	命令	10 nn	见注 1
	校验码	kk	见注 2
返回命令	命令	20 00	
	校验码	0C	
链路命令	命令	08 nn	见注 1
	校验码	kk	见注 2
链路确认命令	命令	04 nn	见注 1
	校验码	kk	见注 2
注 1: nn 为发送命令的 CNN 的 CNN 编号。 注 2: kk 为根据计算结果变化的值。			

- e) 填充字段:应以表 D.11 中给定的特定值设置填充字段 43 个八位位组。

表 D.11 填充字段内容

字段	以 16 进制数表示的八位位组
填充	00 ..... 00(43 个八位位组全 00)

- f) FCS 字段:FCS 字段的四个八位位组应基于 IEEE 802.3 第 3 章(介质访问控制帧结构)。

D.3.2.4 网络重配置

D.3.2.4.1 概述

本条描述了用于网络重配置的链路建立。

在本条中,术语“已确认链路”指由使用链路命令帧和链路确认命令帧握手的链路而不仅仅是物理链路。

D.3.2.4.2 初始配置

在网络建立时,应适用下列初始配置规则:

- a) CNN 两个主干端口预先配置为一个用于上行链路端口、一个用于下行链路端口。相邻 CNN 间物理连接相应确定。
- b) 相邻两个 CNN 使用一个 CNN 下行链路端口和另一个 CNN 上行链路端口之间的主干链路连接。

- c) 在网络中分配以最小 CNN 编号的末端 CNN 上,上行链路端口应设置为强制链路断开模式,下行链路端口不设置为此模式。
- d) 在网络中分配以最大 CNN 编号的末端 CNN 上,下行链路端口应设置为强制链路断开模式,上行链路端口不设置为此模式。
- e) 在中间 CNN 处,上行链路端口和下行链路端口均不应设置为强制链路断开模式。

在上行链路端口设置为强制链路断开模式的 CNN 处,禁止在上行链路端口发送数据帧,除了响应在该端口处接收到的链路命令帧的链路确认命令帧外。另一方面,在下行链路端口设置为强制链路断开模式的 CNN 处,禁止在下行链路端口发送数据帧,除了每 20 ms 发送一次的链路命令帧外。

#### D.3.2.4.3 链路建立顺序

##### D.3.2.4.3.1 主干链路

两个 CNN 间已确认链路的建立如图 D.11 所示。

在图 D.11 中,上游 CNN(CNN J)在上电后通过其下行链路端口向下游 CNN(CNN K)的上行链路端口发送链路命令帧,重复该过程直到链路命令帧发送方接收到下一 CNN 的链路确认命令帧。

另一方面,下游 CNN(CNN K)在上电后接收到链路命令帧时,通过其上行链路端口向上游 CNN(CNN J)发送链路确认命令帧。

该握手过程导致在这两个 CNN 间建立已确认链路。

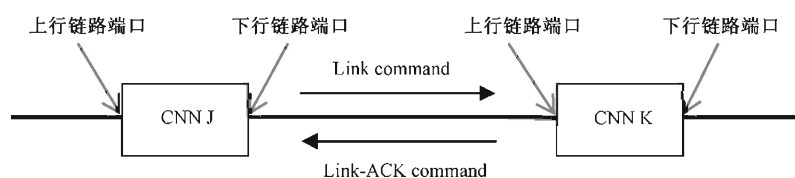


图 D.11 两个 CNN 之间链路建立

子网中每条两个相邻 CNN 间主干链路分别执行上述过程。最终在子网所有主干端口处建立已确认链路。

如果在主干链路上未正常接收到链路命令帧或链路确认命令帧,则在主干链路上不建立已确认链路。此时,已确认链路在分段的连续节点范围内建立。

梯形拓扑中,在两个子网上独立执行已确认链路建立过程,参见图 D.12。在每个子网建立所有 CNN 间已确认链路后,网络在各自子网两个末端 CNN 间的范围内形成一个广播域。

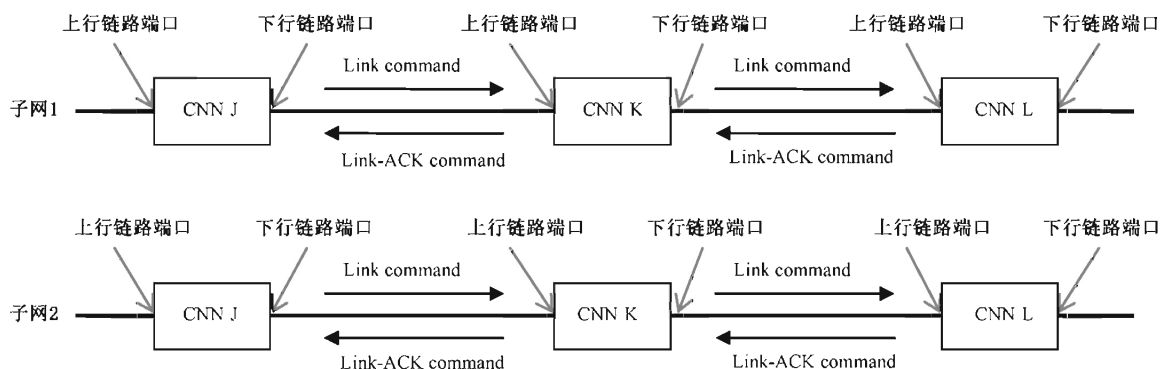


图 D.12 梯形拓扑中链路建立

D.3.2.4.3.2 本地链路

结对的冗余 CNN 彼此以两条全双工链路连接,参见图 D.13。应在这两条本地链路上分别建立正常的物理层链路(非已确认链路)。

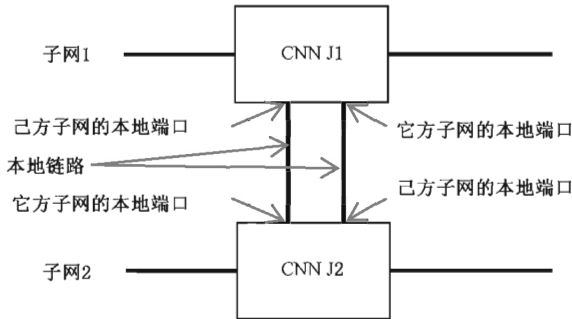


图 D.13 冗余 CNN 间本地链路

D.3.2.4.4 CNN 模式确定

如果 CNN 在其上行链路端口未接收到链路命令帧,则该 CNN 进入最上游 CNN 模式。相反,如果 CNN 在其下行链路端口未接收到链路确认命令帧,则该 CNN 进入最下游 CNN 模式。

在其上行链路端口和下行链路端口处均已建立已确认链路的 CNN 进入中间 CNN 模式。当 CNN 无已建立的主干端口链路,则进入孤立 CNN 模式,参见图 D.14。

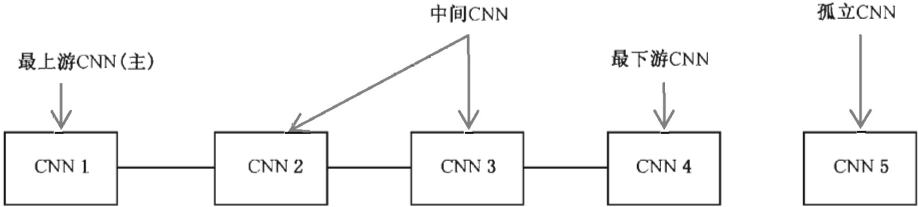


图 D.14 CNN 模式示例

在孤立 CNN 模式中,CNN 处于离线状态,其中该 CNN 在上行链路端口处等待链路命令帧,并在下行链路端口处每 2 ms 发送一个链路命令帧直到接收到链路确认命令帧。

在梯形拓扑两个子网上,CNN 模式以相同方式决定。该决定由各 CNN 分别做出,参见表 D.12。最上游 CNN 也成为网络主。

梯形拓扑物理初始时,结对的两个 CNN 模式宜相同。

表 D.12 梯形拓扑中 CNN 的 CNN 模式

子网	CNN 模式	在上行链路端口处建立的 已确认链路	在下行链路端口处建立的 已确认链路	备注
子网 1	最上游 CNN(主)	否(强制链路断开)	是	预先配置
	最下游 CNN	是	否(强制链路断开)	预先配置
	中间 CNN	是	是	
	孤立 CNN	否	否	



表 D.12 (续)

子网	CNN 模式	在上行链路端口处建立的 已确认链路	在下行链路端口处建立的 已确认链路	备注
子网 2	最上游 CNN(主)	否(强制链路断开)	是	预先配置
	最下游 CNN	是	否(强制链路断开)	预先配置
	中间 CNN	是	是	
	孤立 CNN	否	否	

D.3.2.4.5 链路建立结束

在其下行链路主干端口处完成链路建立过程、基于先到先服务原则成为主 CNN 向下游 CNN 发送复位命令帧以启动周期发送。

尽管早先发送过复位命令,但当在其上行链路端口处接收到命令帧时,该 CNN 将其自身模式从最上游 CNN 模式变成中间 CNN 模式。最后,实际最上游 CNN 成为在子网上以令牌传递启动周期传送的主。在梯形拓扑两个子网上独立执行周期传送。

与令牌相关的网络配置状态机参见 D.3.2.5。

D.3.2.5 实时 MAC 协议

D.3.2.5.1 实时 MAC 结构

D.3.2.5.1.1 概述

图 D.15 中,链路层内部的方框表示组成 MAC 子层的实时 MAC 功能块。带箭头的实线表示在方框之间传递的原语方向。原语名在箭头附近标示。

介质控制机(ACM)负责网络介质访问控制。在建立已确认链路后,ACM 控制令牌传递和将在一个主干端口处接收到帧向另一个主干端口重发。

主干端口控制机(TPCM)控制主干端口已确认链路。TPCM 向其下行链路端口发送链路命令帧,在接收到链路确认命令帧后在与下游 CNN 间建立已确认链路。当在上行链路端口处接收到链路命令帧时,TPCM 在上行链路端口处回送链路确认命令帧以在与上游 CNN 间建立已确认链路。

发送、接收和重发控制(TRRC)在适当的主干端口处以从 ACM 到 TRRC 的请求数据发布物理层数据请求原语。在主干端口处接收到的该原语反序列化,并以相应原语发送给 ACM、TPCM 和另一主干端口。

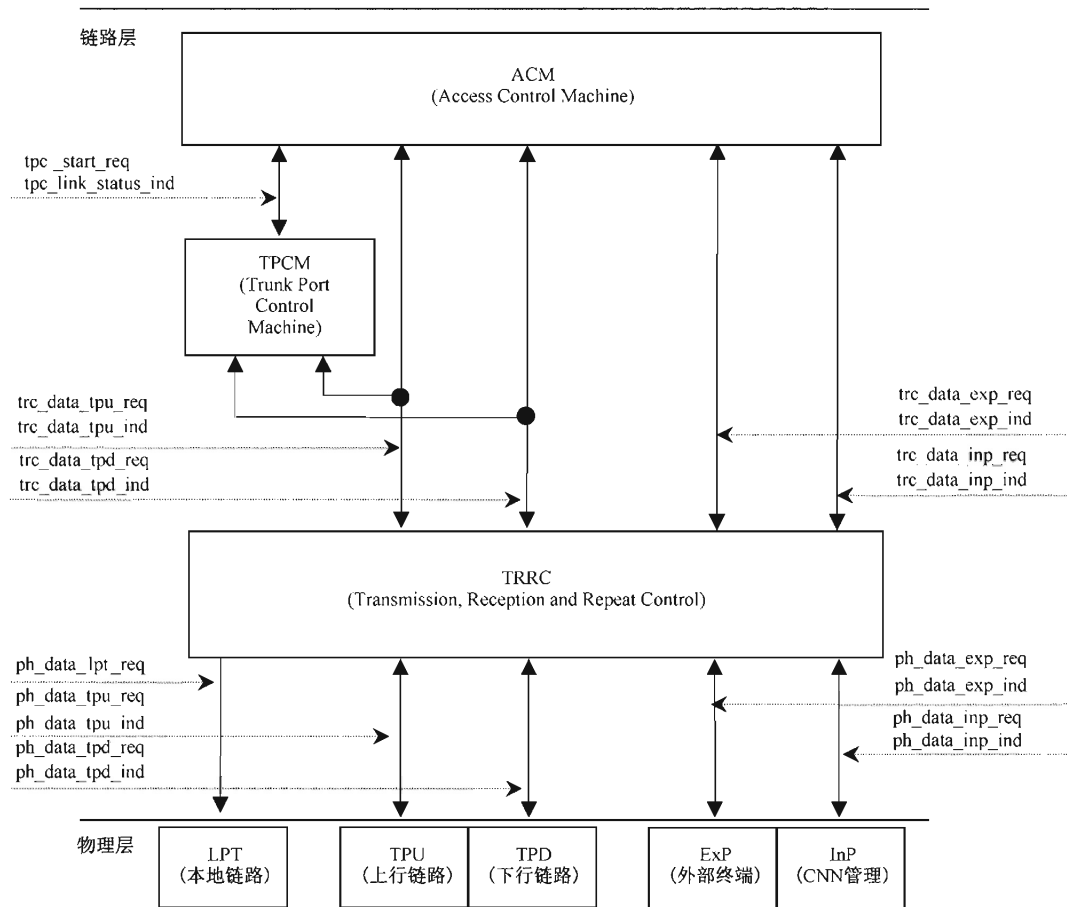


图 D.15 实时 MAC 子层结构和原语

D.3.2.5.1.2 原语

原语为各状态机提供服务。  
IEEE 802.3 第 6 章中定义的物理层原语也用于本部分,参见表 D.13。

表 D.13 物理层原语

原语名	描述
ph_data_tpu_req()	去往 TPU 端口的请求原语,对应于 PLS_DATA.request 原语
ph_data_tpu_ind()	来自 TPU 端口的指示原语,对应于 PLS_DATA.indication 原语
ph_data_tpd_req()	去往 TPD 端口的请求原语,对应于 PLS_DATA.request 原语
ph_data_tpd_ind()	来自 TPD 端口的指示原语,对应于 PLS_DATA.indication 原语
ph_data_inp_req()	去往 InP 端口的请求原语,对应于 PLS_DATA.request 原语
ph_data_inp_ind()	来自 InP 端口的指示原语,对应于 PLS_DATA.indication 原语
ph_data_exp_req()	去往 ExP 端口的请求原语,对应于 PLS_DATA.request 原语
ph_data_exp_ind()	来自 ExP 端口的指示原语,对应于 PLS_DATA.indication 原语
ph_data_lpt_req()	去往 LPT 端口的请求原语,对应于 PLS_DATA.request 原语

D.3.2.5.1.3 变量和参数

实时 MAC 协议描述中使用的变量和参数参见表 D.14, 帧名参见表 D.15。

表 D.14 用于实时 MAC 协议的变量和参数

变量和参数	描述
CnnMode	拓扑中确定的 CNN 模式之一:最上游模式、最下游模式、中间模式或孤立模式
forceOffTPU	当上行链路主干端口处于强制链路断开状态时为 True, 否则为 False(见注)
forceOffTPD	当下行链路主干端口处于强制链路断开状态时为 True, 否则为 False(见注)
ENInp	当 CNN 持有令牌且 TTRT2 未期满时, 来自内部端口的可接受帧数
ENExp	当 CNN 持有令牌且 TTRT2 未期满时, 来自外部端口的可接受帧数
frame	使用原语传送的帧, 特定值列于表 D.15
linkTPU	当在与上游 CNN 间使用链路命令和链路确认命令对建立主干端口链路时为 True, 否则为 False
linkTPD	当在与下游 CNN 间使用链路命令和链路确认命令对建立主干端口链路时为 True, 否则为 False
receivingTPU	当 linkTPU 为 True 且接收到复位命令或令牌命令时为 True, 当 linkTPU 变为 True 后启动的 TNORU 定时器期满时为 False
receivingTPD	当 linkTPD 为 True 且接收到返回命令时为 True, 当 linkTPD 变为 True 后启动的 TNORD 定时器期满时为 False
VTL1	周期定时器设置值:最下游 CNN 模式和孤立模式的默认值 2 ms
VTL2	用于在接收到链路命令帧后延时发送链路确认命令帧的 TL2 定时器设置值。默认值 0.5 ms
VTLT	用于监视重配置的 TLT 定时器设置值;默认值 15 ms
VTNORU	用于监视上行链路主干端口处接收状态的 TNORU 定时器设置值。默认值为 2 倍的 VTLT
VTNORD	用于监视下行链路主干端口处接收状态的 TNORD 定时器设置值。默认值为 2 倍的 VTLT
VTTRT1	TTRT1 定时器设置值。默认值 8 ms
VTTRT2	TTRT2 定时器设置值。默认值 9 ms
VTREQ	用于在该端口发送 PAUSE0 帧后监视帧发送请求的时间值。默认值 50 $\mu$ s
PortDirection	当 TPU 对应原语 trc_data_tpu_req 和 trc_data_tpu_ind、且 TPD 对应原语 trc_data_tpd_req 和 trc_data_tpd_ind 时为 True; 当 TPU 对应原语 trc_data_tpd_req 和 trc_data_tpd_ind、且 TPD 对应原语 trc_data_tpu_req 和 trc_data_tpu_ind 时为 False
在强制链路断开状态中, 在主干端口接收到的数据帧不准许传递到下一 CNN 或终端设备。	

表 D.15 帧名

帧名	描述
LINK	链路命令帧
LINKACK	链路确认命令帧
PAUSE0	暂停时间为 0 的 PAUSE 帧(见注)

表 D.15 (续)

帧名	描述
PAUSEX	暂停时间为 x 的 PAUSE 帧;默认为 2 倍 TLT(见注)
RESET	复位命令帧
TOKEN	令牌命令帧
RETURN	返回命令帧
注: PAUSE0 和 PAUSEX 帧操作与 IEEE 802.3 中 MAC 控制 PAUSE 操作一致。	

## D.3.2.5.1.4 定时器

实时 MAC 协议描述中使用的定时器参见表 D.16。

表 D.16 用于实时 MAC 协议的定时器

定时器	描述
TL1	试图建立主干端口链路接收周期或超时的时间值
TL2	接收到链路命令帧后发送链路确认命令帧的延时
TLT	用于返回命令帧接收的超时限制定时器,其应大于 $T_{TTRT2}$
TNORU	在 TPU 处未检测到信号接收的定时器
TNORD	在 TPD 处未检测到信号接收的定时器
TTRT1	目标令牌寻回定时器 1:在发送/接收复位命令帧时启动,当期满时,持有令牌的 CNN 向下一 CNN 重发令牌,如果是最下游 CNN 则发送返回命令帧,允许为内部端口发送数据帧而禁止为外部端口发送数据帧。 $(T_{TTRT1} \leq T_{TTRT2})$
TTRT2	目标令牌寻回定时器 2:在发送/接收复位命令帧时启动,当期满时,持有令牌的 CNN 应立即向下一 CNN 发送令牌,如果是最下游 CNN 则发送返回命令帧,允许为内部端口和外部端口发送数据帧。 $(T_{TTRT1} \leq T_{TTRT2})$
TREQ	未检测到在发送 PAUSE0 帧后允许发送的端口请求的数据帧的定时器

## D.3.2.5.1.5 过程

实时 MAC 协议公用的过程参见表 D.17。

表 D.17 用于实时 MAC 协议的过程

过程	描述
delay(timer)	以(timer)中指定的定时器延时
detectCNNLocation	根据预置 CNN 模式确定主干端口的初始状态。对于最上游 CNN 模式,上行链路端口断开、下行链路端口打开。对于最下游 CNN 模式,上行链路端口打开、下行链路端口断开。对于中间 CNN 模式,上行链路端口和下行链路端口均打开

表 D.17 (续)

过程	描述
initReconfiguration	执行下列重配置必需的初始化操作： a) 设置 linkTPD 为 False； b) 向内部端口和外部端口发送暂停时间为 $T_{\text{PAUSE}}$ 的 PAUSE 帧。 $T_{\text{PAUSE}}$ 应大于 $T_{\text{CYCLE}}$ ，默认值为 3 倍 $T_{\text{CYCLE}}$
startTimer(timer)	启动(timer)中指定的定时器。如果指定的定时器正在工作,则复位并重启该定时器
stopTimer(timer)	停止(timer)中指定的定时器

## D.3.2.5.1.6 事件

实时 MAC 协议公用的事件参见表 D.18。

表 D.18 用于实时 MAC 协议的事件

事件	描述
请求原语	已发布请求
指示原语	数据或状态指示
expiredTimer(timer)	startTimer 过程启动的定时器期满

## D.3.2.5.2 TRRC 操作

## D.3.2.5.2.1 TRRC 原语

为 TRRC 操作定义的原语参见表 D.19。

表 D.19 TRRC 原语

原语名	含义
trc_data_tpu_req(frame)	去往 TPU 的请求原语
trc_data_tpu_ind(frame)	来自 TPU 的指示原语
trc_data_tpd_req(frame)	去往 TPD 的请求原语
trc_data_tpd_ind(frame)	来自 TPD 的指示原语
trc_data_inp_req(frame)	去往 InP 端口的请求原语
trc_data_inp_ind(frame)	来自 InP 端口的指示原语
trc_data_exp_req(frame)	去往 ExP 端口的请求原语
trc_data_exp_ind(frame)	来自 ExP 端口的指示原语

## D.3.2.5.2.2 TRRC 请求原语和操作

接受请求原语时 TRRC 操作定义参见表 D.20。

在 TRRC 接受 ACM 或 TPCM 发布的请求原语后,TRRC 将接收到的数据打包入帧中、按 IEEE

802.3 定义序列化数据、并发布与 TRRC 请求原语相对应的物理层请求原语。

表 D.20 接受请求原语时 TRRC 操作

接受的请求原语	TRRC 操作
trc_data_tpu_req	将接收到的数据打包入帧中、序列化数据、并发布 ph_data_tpu_req 原语
trc_data_tpd_req	将接收到的数据打包入帧中、序列化数据、并发布 ph_data_tpd_req 原语
trc_data_inp_req	将接收到的数据打包入帧中、序列化数据、并发布 ph_data_inp_req 原语
trc_data_exp_req	将接收到的数据打包入帧中、序列化数据、并发布 ph_data_exp_req 原语

#### D.3.2.5.2.3 物理层指示原语和 TRRC 操作

TRRC 使用物理层指示原语将在 IEEE 802.3 帧格式的数据帧从 TPU、TPD、InP 或 ExP 等端口处接收到的信号分离,并从 TRRC 向 TPCM 和 ACM 发布相应物理层指示原语。

当接收帧的目的地址与 MAC 控制帧目的地址不匹配时,TRRC 向所有其他端口转发该帧。

接受物理层指示原语时 TRRC 操作参见表 D.21。

表 D.21 接受物理层指示原语时 TRRC 操作

接受的物理层指示原语	TRRC 操作
ph_data_tpu_ind	IF 目的地址(DA)与实时 MAC 控制帧目的地址不匹配 THEN 向 LPT、TPD、InP、ExP 所有其他端口转发该目的地址和其后的信号; ENDIF 从接收信号中分离帧,并发布 trc_data_tpu_ind 和 trc_data_tpd_ind 原语;
ph_data_tpd_ind	IF 目的地址(DA)与实时 MAC 控制帧目的地址不匹配 THEN 向 LPT、TPD、InP、ExP 所有其他端口转发该目的地址和其后的信号; ENDIF 从接收信号中分离帧,并发布 trc_data_tpd_ind 和 trc_data_tpd_ind 原语;
ph_data_inp_ind	IF 目的地址(DA)与实时 MAC 控制帧目的地址不匹配 THEN 向 LPT、TPD、InP、ExP 所有其他端口转发该目的地址和其后的信号; ENDIF 从接收信号中分离帧,并发布 trc_data_inp_ind 原语;
ph_data_exp_ind	IF 目的地址(DA)与实时 MAC 控制帧目的地址不匹配 THEN 向 LPT、TPD、InP、ExP 所有其他端口转发该目的地址和其后的信号; ENDIF 从接收信号中分离帧,并发布 trc_data_exp_ind 原语;



D.3.2.5.3 TPCM 操作

D.3.2.5.3.1 TPCM 状态机

图 D.16 显示了 TPCM 协议状态机。表 D.22 显示了 TPCM 状态转换表。TPCM 状态机中的过程列于表 D.23。

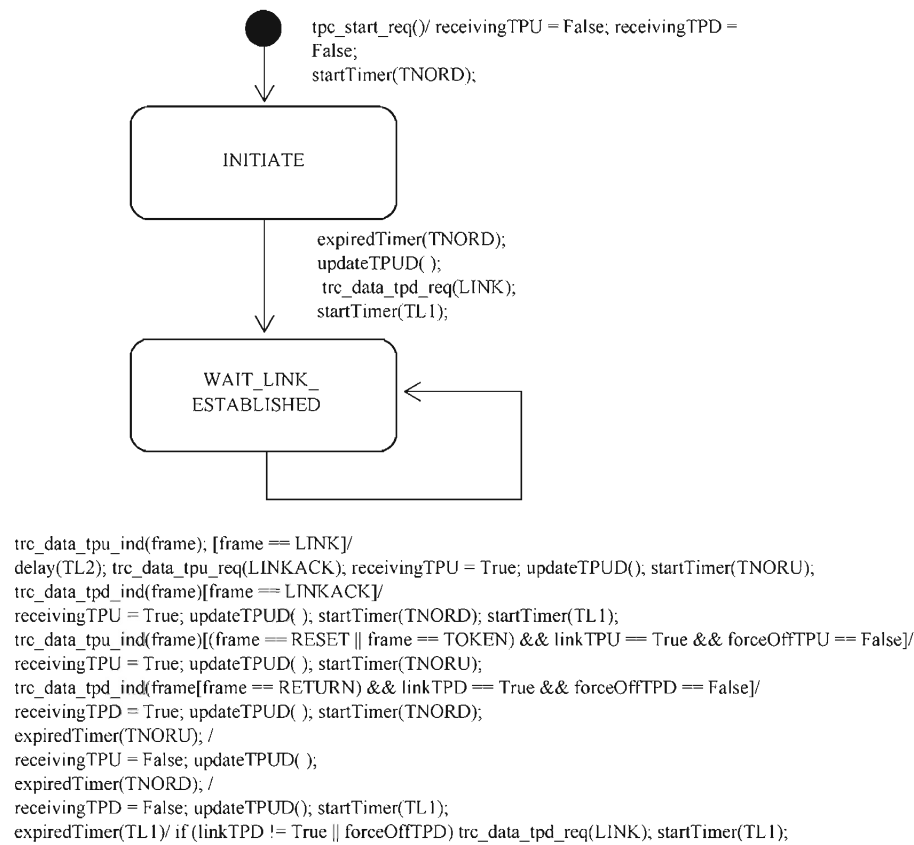


图 D.16 TPCM 状态机

表 D.22 TPCM 状态转换表

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
起始状态 (initial state)	tpc_start_req()	// 启动状态机, 初始化变量并启动 TNORD 定时器 receivingTPU= False; receivingTPD= False; startTimer(TNORD);	INITIATE
启动(INITIATE)	expiredTimer(TNORD);	// TNORD 定时器期满, 指示链路状态并 发送第一个链路命令 updateTPUD(); trc_data_tpd_req(LINK); startTimer(TL1);	WAIT_LINK_ ESTABLISHED



表 D.22 (续)

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
等待链路建立 (WAIT_LINK_ESTABLISHED)	trc_data_tpu_ind(frame) [frame == LINK]	// 从 TPU 接收链路命令 delay(TL2); trc_data_tpu_req(LINKACK); receivingTPD = True; updateTPUD(); startTimer(TNORU);	WAIT_LINK_ESTABLISHED
	trc_data_tpd_ind(frame) [frame == LINKACK]	//从 TPD 接收链路确认命令 receivingTPD = True updateTPUD(); startTimer(TNORD); stopTimer(TL1);	
	trc_data_tpu_ind(frame); [(frame == RESET    frame == TOKEN) && linkTPU == True && forceOffTPU == False]	// 从 TPU 接收复位/令牌命令 receivingTPU = True; updateTPUD(); startTimer(TNORU);	
	trc_data_tpd_ind(frame); [frame == RETURN && linkTPD == True && forceOffTPD == False]	//从 TPD 接收返回命令 receivingTPD = True; updateTPUD(); startTimer(TNORD);	
	expiredTimer(TNORU);	// TNORU 定时器期满,改变链路状态 receivingTPU = False; updateTPUD();	
	expiredTimer(TNORD);	// TNORD 定时器期满,改变链路状态 receivingTPD = False; updateTPUD(); startTimer(TL1);	
	expiredTimer(TL1)	// 链路建立定时器期满 if (linkTPD != True) { trc_data_tpd_req(LINK); } startTimer(TL1);	

表 D.23 TPCM 状态机中的过程

过程	描述
updateTPUD()	// 检测到变化时更新 TPU 和 TPD 链路建立状态,发布原语 tpc_link_status_ind if (receivingTPU != linkTPU    receivingTPD != linkTPD) { linkTPU = receivingTPU; linkTPD = receivingTPD; tpc_link_status_ind(linkTPU, linkTPD); }

D.3.2.5.3.2 TPCM 原语

TPCM 原语参见表 D.24。

表 D.24 TPCM 原语

原语名	含义
tpc_start_req()	启动 TLC 状态机
tpc_link_status_ind(stsTPU,stsTPD)	主干端口状态指示 ——stsTPU:上行链路主干端口状态; ——stsTPD:下行链路主干端口状态

D.3.2.5.4 ACM 操作

D.3.2.5.4.1 ACM 状态机

图 D.17 显示了 ACM 状态机,图 D.18 显示了 USE\_TOKEN 状态机。表 D.25 显示了 ACM 状态转换表,表 D.26 显示了 USE\_TOKEN 状态转换表。

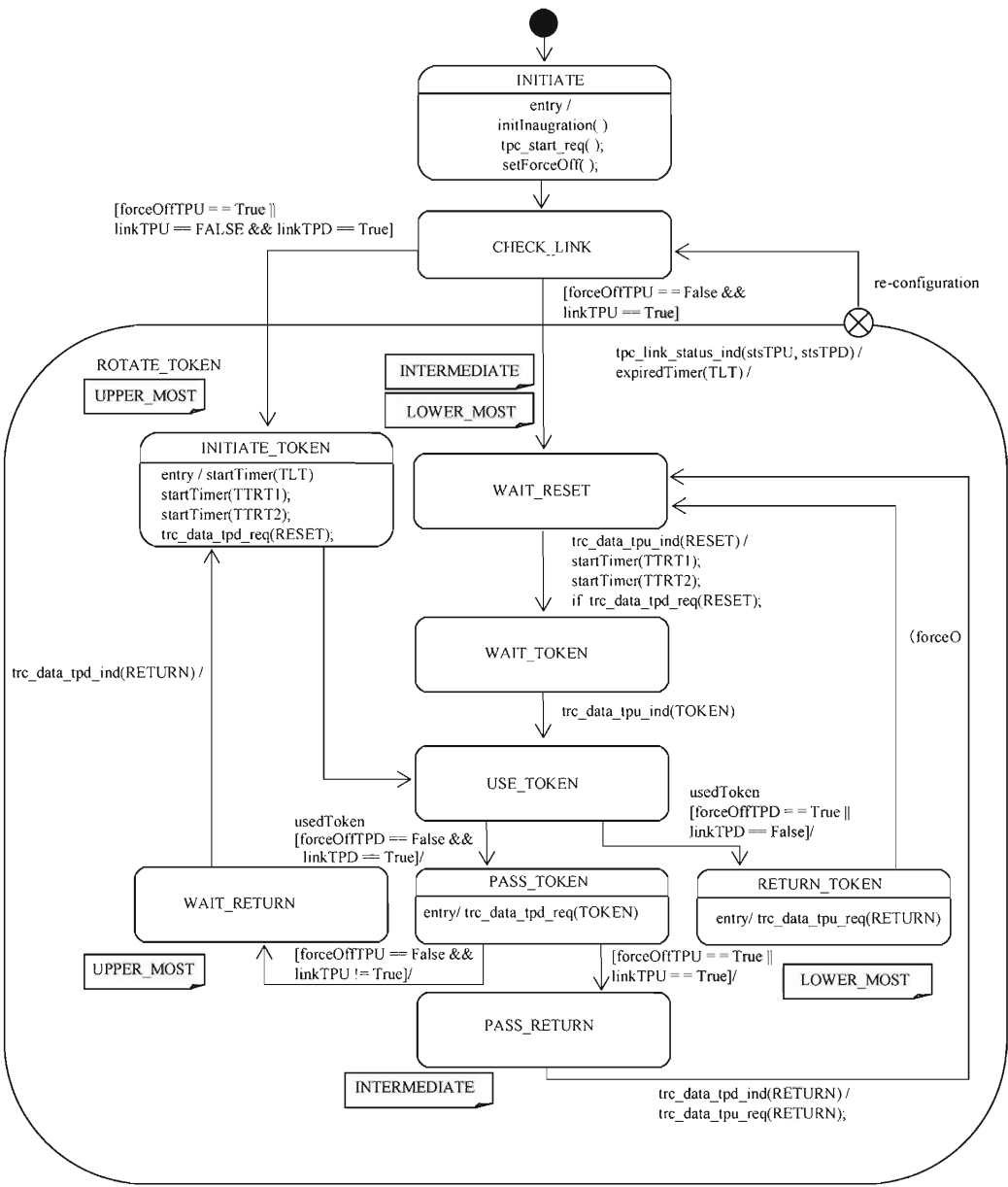


图 D.17 ACM 状态机

表 D.25 ACM 状态转换表

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
启动(INITIATE)	entry	// 启动初始化 initReconfiguration(); tpc_start_req(); setForceOff();	CHECK_LINK
检查链路(CHECK_LINK)	[forceOffTPU == True    linkTPU == False && linkTPD == True]	—	INITIATE_TOKEN
	[forceOffTPU == False && linkTPD == True]	—	WAIT_RESET
启动令牌(INITIATE_TOKEN)	entry	// 在最上游 CNN 处启动令牌 循环 startTimer(TLT); startTimer(TTTRT1); startTimer(TTTRT2); trc_data_tpd_req(RESET);	USE_TOKEN
等待复位(WAIT_RESET)	trc_data_tpd_ind(RESET)	// 在中间 CNN 或最下游 CNN 处接收复位命令 startTimer(TTTRT1); startTimer(TTTRT2); // 如果已建立下行链路,重复复 位命令 if (forceOffTPD == False && linkTPD == True) { trc_data_tpd_req(RESET); }	WAIT_TOKEN
等待令牌(WAIT_TOKEN)	trc_data_tpu_ind(TOKEN)	// 接收令牌	USE_TOKEN
使用令牌(USE_TOKEN)	usedToken[forceOffTPD == False && linkTPD == True]	// 结束使用令牌,已建立下行 链路	PASS_TOKEN
	usedToken[forceOffTPD == True    linkTPD == False]	// 结束使用令牌,未建立下行 链路	RETURN_TOKEN
传递令牌(PASS_TOKEN)	entry[forceOffTPU == False && linkTPU == True]	// 向下发送令牌,重复返回命令 trc_data_tpd_req(TOKEN);	PASS_RETURN
	entry[forceOffTPU == True    linkTPU != True]	// 向下发送令牌,等待返回命令 trc_data_tpd_req(TOKEN);	WAIT_RETURN
返回令牌(RETURN_TOKEN)	entry	// 最下游 CNN 向上发送返回命令 trc_data_tpu_req(RETURN);	WAIT_RESET
传递返回(PASS_RETURN)	trc_data_tpd_ind(RETURN)	// 中间 CNN 在从下游 CNN 接 收到返回命令后向上转发 trc_data_tpu_req(RETURN);	WAIT_RESET

表 D.25 (续)

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
等待返回 (WAIT _ RETURN)	trc_data_tpd_int(RETURN)	// 最上游 CNN 接收到返回命令后重新启动令牌循环	INITIATE_TOKEN
除启动和检查链路状态外的其他状态	tpc_link_status_ind ( stsTPU, stsTPD)	// 产生网络重配置	CHECK_LINK
	expiredTimer(TLT);	// 产生网络重配置	

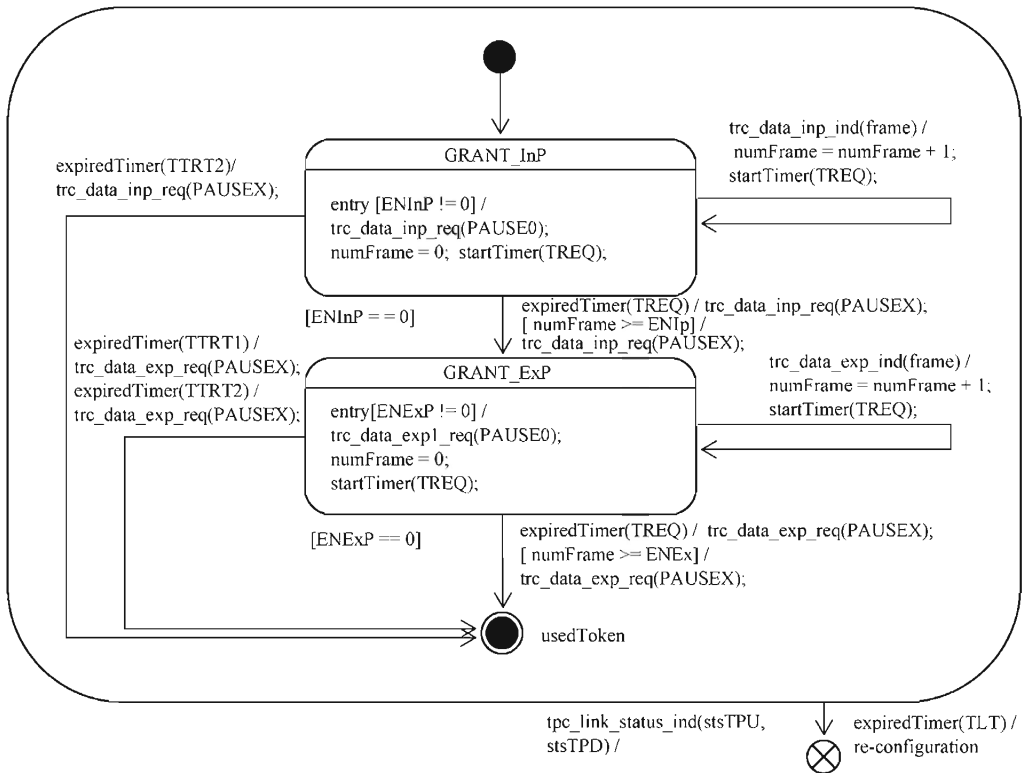


图 D.18 USE\_TOKEN 状态机

表 D.26 USE\_TOKEN 状态转换表

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
允许 InP (GRANT_InP)	entry[ENInP != 0]	// 允许从 InP 发送 trc_data_inp_req(PAUSE0); numFrame=0; startTimer(TREQ);	GRANT_InP
	entry[ENInP == 0]	// 不准许从 InP 发送	GRANT_Exp
	trc_data_inp_ind(frame);	// 接收到来自 InP 的帧 numFrame++; startTimer(TREQ);	GRANT_InP

表 D.26 (续)

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
允许 InP(GRANT_InP)	expiredTimer(TREQ);	// 因无帧从 InP 发送的暂停帧 trc_data_inp_req(PAUSEX);	GRANT_Exp
	numFrame >= ENIp;	// 因从 InP 发送的帧数达到限值的暂停帧 trc_data_inp_req(PAUSEX);	GRANT_Exp
	expired(TTRT2);	// 定时器 TTRT2 期满, 暂停来自 InP 的帧 trc_data_inp_req(PAUSEX);	最终状态(Final state)
允许 Exp(GRANT_Exp)	entry[ENExp != 0]	// 允许从 Exp 发送 trc_data_exp_req(PAUSE0); numFrame=0; startTimer(TREQ);	GRANT_Exp
	entry[ENExp == 0]	// 不准许从 Exp 发送	Final state
	trc_data_inp_ind(frame);	// 接收到来自 Exp 的帧 numFrame++; startTimer(TREQ);	GRANT_Exp
	expiredTimer(TREQ);	// 因无帧从 Exp 发送的暂停帧 trc_data_exp_req(PAUSEX);	Final state
	numFrame >= ENExp;	// 因从 Exp 发送的帧数达到限值的暂停帧 trc_data_exp_req(PAUSEX);	Final state
	expired(TTRT2);    expired(TTRT1);	// 定时器 TTR1 或 TTRT2 期满, 暂停来自 Exp 的帧 trc_data_exp_req(PAUSEX);	Final state
任意状态(Any state)	tpc_link_status_ind()	// 启动重配置	Final state
	expiredTimer(TLT)	// 启动重配置	

#### D.3.2.5.4.2 变量

ACM 使用表 D.27 中定义的本地变量。

表 D.27 用于 ACM 的变量

变量	描述
numFrame	CNN 持有令牌期间从内部端口或外部端口接收到的帧数

#### D.3.2.5.5 实时 MAC 配置

实时 MAC 配置参数在表 D.28 中定义。配置参数应由应用给定并通过 CNN 管理传递给实时 MAC。

表 D.28 实时 MAC 配置参数

参数	类型	含义
NetworkTopology	ENUM2	网络拓扑： ——[0]:线形； ——[1]:保留； ——[2]:梯形； ——[3]:不可用
ForceSetCnnMode	BOOLEAN1	强制设置 CNN 模式： ——FALSE:否； ——TRUE:是
ForcedCnnMode	ENUM2	当 ForceSetCnnMode 为 TRUE 时,设置 CNN 模式： ——[0]:孤立 CNN 模式； ——[1]:最上游 CNN 模式； ——[2]:最下游 CNN 模式； ——[3]:中间 CNN 模式
DisableTrunkTxx	ENUM2	禁止主干端口发送和接收： ——[0]:两个主干端口均不禁止； ——[1]:禁止下行链路端口； ——[2]:禁止上行链路端口； ——[3]:两个主干端口均禁止
DirectionSwitch	BOOLEAN1	切换主干端口方向： ——FALSE:设置上行链路端口至方向 1、下行链路端口至方向 2； ——TRUE:设置上行链路端口至方向 2、下行链路端口至方向 1
PermittedPacketCountInp	UNSIGNED4	令牌持有期间允许内部端口发送包数： ——[0]:不准许发送； ——[1~15]:允许发送包数
PermittedPacketCountExp	UNSIGNED4	令牌持有期间允许外部端口发送包数： ——[0]:不准许发送； ——[1~15]:允许发送包数
CnnNumber	UNSIGNED5	CNN 编号:[1~31]
TotalNumberOfCnns	UNSIGNED6	CNN 总数:[1~31]
TransmissionLinkSubnetworkId	ENUM1	该 CNN 所在主干链路子网标识： ——[0]:子网 1； ——[1]:子网 2
DataSizeProducerPacket1	UNSIGNED10	生产者包 1(N-1)数据长度:[0~1 023]
DataSizeProducerPacket2	UNSIGNED10	生产者包 2(N-1)数据长度:[0~1 023]
DataSizeCnnManagement	UNSIGNED10	CNN 管理(N-1)数据长度:[0~1 023]

表 D.28 (续)

参数	类型	含义
SubstituteTransmission	BOOLEAN1	使能替代传输： ——FALSE:否； ——TRUE:是
PermittedPacketCountSubs	UNSIGNED4	允许替代传输包数:[1~15] 允许内部端口包数变为:[PermittedPacketCountInp]+[Permitted-PacketCountSubs]
EnableTargetTokenRotation-Time1	BOOLEAN1	使能目标令牌循环时间 1(TTRT1): ——FALSE:否； ——TRUE:是
TargetTokenRotationTime1	UNSIGNED7	目标令牌循环时间 1(TTRT1): ——为保持令牌循环时间,当 TTRT1 期满时,除内部端口数据帧外限制发送； ——[1~127]:以 0.1 ms 为单位的时间值
EnableTargetTokenRotation-Time2	BOOLEAN1	使能目标令牌循环时间 2(TTRT2): ——FALSE:否； ——TRUE:是
TargetTokenRotationTime2	UNSIGNED7	目标令牌循环时间 2(TTRT2): ——为保持令牌循环时间,当 TTRT2 期满时,除令牌命令帧外限制发送； ——[1~127]:以 0.1 ms 为单位的时间值； ——TTRT2>TTRT1

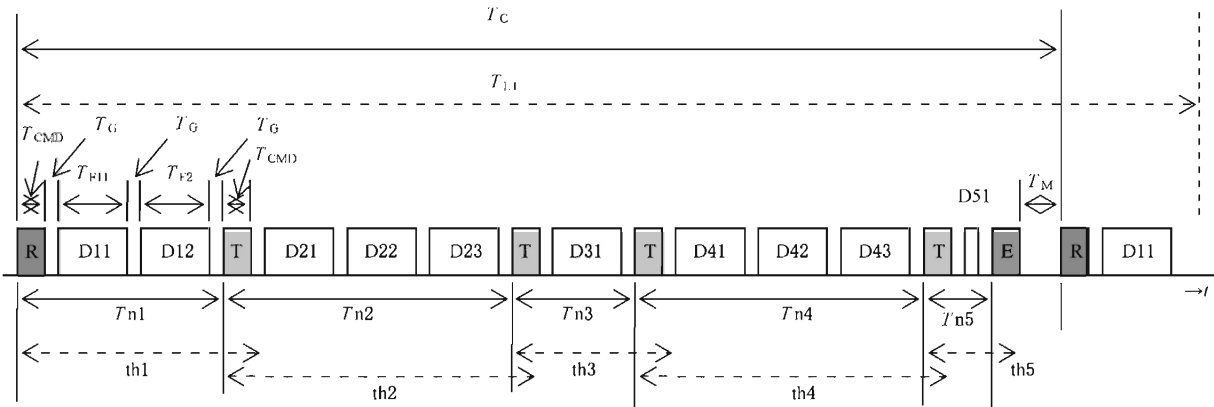
#### D.3.2.5.6 实时控制

在梯形拓扑的每个子网中,CNN 在持有令牌时能向子网发送其数据帧,且令牌在所有 CNN 间依次循环。

如图 D.19 给出了具有五个 CNN 的子网发送顺序的示例,解释如下。发送顺序的时间元素在表 D.29 中描述。

首先,最上游 CNN(即 CNN 1)在子网上发布复位命令,随后发送两个数据帧及之后的令牌命令。下一下游 CNN(即 CNN 2)发送三个数据帧及之后的令牌命令。CNN 3 发送一个数据帧及之后的令牌命令。CNN 4 发送三个数据帧及之后的令牌命令。最后,最下游 CNN(即 CNN 5)发送一个数据帧及返回命令。

在从接收到返回命令起周期结束空白时间( $T_M$ )后,CNN 1 发布用于下一周期的复位命令。当未在限定时间( $T_{LT}$ )内接收到返回命令时,CNN 1 强制发布复位命令。



说明：  
R ——复位命令帧；  
T ——令牌命令帧；  
E ——返回命令帧；  
 $D_{ij}$  ——CNN  $i$  的第  $j$  个数据帧。

图 D.19 发送顺序示例

表 D.29 发送顺序时间元素

时间元素	描述
$T_c$	循环周期时间,每次循环均变化
$T_{c\_MAX}$	最大循环周期时间,可计算得到
$T_{l,t}$	返回超时限制时间,为等待回送返回命令的预定义时间
$T_{cmd}$	命令帧时间,由命令帧长度确定
$T_g$	帧间间隙时间,IEEE 802.3 定义了最小值,且取决于实现
$T_{Fi}$	数据帧时间,随应用数据长度变化
$T_M$	周期结束空白时间,由配置预定义,包含所有 CNN 转发延时和所有 CNN 间链路延时
$T_{ni}$	CNN $i$ 数据发送时间,随应用数据量变化
$th_i$	CNN $i$ 最大令牌持有时间,由应用为每个 CNN 预定义

D.3.2.5.7 数据类型服务参数

使用实时 MAC 的 CNN 数据类型服务参数在表 D.30 中描述。其中,为保障确定性响应,最大循环周期时间可使用  $T_{c\_MAX}$  的等式计算。



表 D.30 数据类型服务参数

数据类型	参数	值	备注
PD	循环周期	$T_{C\_MAX} = T_{CMD} \times N + T_G(N + F) + \sum_{i=1}^F T_{Fi} + T_M$ $T_{Fi} = (L_{Hi} + L_{Di}) \times 8 / BR$ <p>式中：</p> <p><math>T_{C\_MAX}</math> ——最大循环周期时间；</p> <p><math>T_{CMD}</math> ——命令帧时间(72×8/BR)；</p> <p><math>N</math> ——网络中 CNN 数；</p> <p><math>T_G</math> ——帧间间隙,含流量控制帧时间；</p> <p><math>F</math> ——网络上发送的数据帧数；</p> <p><math>T_{Fi}</math> ——数据帧 <math>i</math> 发送时间；</p> <p><math>L_{Hi}</math> ——以八位位组计的数据帧 <math>i</math> 前导码、MAC 帧头、IP 和 UDP/TCP 长度；</p> <p><math>L_{Di}</math> ——以八位位组计的数据帧 <math>i</math> 服务数据长度；</p> <p><math>BR</math> ——位速率(10 Mbps 或 100 Mbps)；</p> <p><math>T_M</math> ——周期结束空白时间</p>	<p>一般,当 PD 服务数据长度如下时,16 个 CNN 的 <math>T_{C\_MAX}</math> 小于 10 ms:</p> <p>——128 个八位位组/CNN(10 Mbps)；</p> <p>——1 280 个八位位组/CNN(100 Mbps)</p>
	延时	$T_X + T_{BL} \times N + \sum_{i=1}^{N-1} LL_i + T_{cj} + T_X$ <p>式中：</p> <p><math>N</math> ——发送终端设备和目的终端设备之间 CNN 数；</p> <p><math>T_X</math> ——帧发送时间,取决于帧长度；</p> <p><math>T_{BL}</math> ——经过一个 CNN 的延时;128 个位时间；</p> <p><math>LL_i</math> ——从发送终端设备计起第 <math>i</math> 个 CNN 与第 <math>(i+1)</math> 个 CNN 间链路延时加上发送终端设备和 CNN 间延时和 CNN 与目的终端设备间延时；</p> <p><math>T_{cj}</math> ——由循环周期时间引起的抖动,0~<math>T_{C\_MAX}</math></p>	<p><math>N = 2 \sim 31</math></p> <p>位时间取决于传输速率,取值如下：</p> <p>——0.1 <math>\mu s</math>(10 Mbps)；</p> <p>——0.01 <math>\mu s</math>(100 Mbps)</p>
	抖动	0~ $T_{C\_MAX}$	
消息数据	延时	(与 PD 相同)	
	抖动	(与 PD 相同)	
流数据	延时	(与 PD 相同)	
	抖动	(与 PD 相同)	
尽力而为数据	延时	(与 PD 相同)	
	抖动	(与 PD 相同)	
监视数据	延时	(与 PD 相同)	
	抖动	(与 PD 相同)	

D.3.2.5.8 带宽控制

为各 CNN 令牌持有期分配网络带宽,不包含循环周期空白时间,仅持有令牌的 CNN 能依次向网络发送其数据帧。

在 CNN 的令牌持有时间内,连接到该 CNN 的终端设备共享这段时间以发送其数据帧。

这由应用预配置的每个 CNN 最大允许帧数和目标令牌循环时间控制。

应依据 4.6 使用 CNN 交换功能支持 QoS。

D.3.3 IP 地址和 IP 地址管理

D.3.3.1 概述

用于 ECN 的 IP 地址通用格式在本部分定义。本条定义了梯形拓扑网络用 IP 地址主机字段。其他字段应符合本部分定义。

D.3.3.2 IP 地址分配

本网络中 IP 地址应符合以下格式：

00001010.xxxxxxxx.xxinnnnn.dddddddd/18

式中 IP 地址字段标记符在表 D.31 中描述。

表 D.31 IP 地址字段标记符

标记符	描述
[x]	(符合本部分 IP 地址规定)
[i]	ECN[0-1]内子网标识扩展(见注 1)
[n]	用于内部 CNN 端口的 CNN[1-31]默认编号(见注 2),或用于外部终端设备的[d]字段前 5 位扩展(见注 3)
[d]	a) 用于内部 CNN 端口的默认编号： ——[1]:子网 1 上 CNN 的 CNN 管理端口； ——[2]:子网 2 上 CNN 的 CNN 管理端口； ——[3]:子网 1 上到另一侧子网的本地链路端口； ——[4]:子网 2 上到另一侧子网的本地链路端口； ——[5-15]:保留。 b) 用于外部终端设备(见注 3)： ——[0]:未使用； ——[1-254]:外部终端设备的设备编号； ——[255]:未使用
注 1: 每个子网(子网 1 和子网 2)使用不同的子网标识。 注 2: CNN 编号本部分 D.3.2.2 中定义,且静态分配。 注 3: 外部终端设备 IP 地址可使用[n]和[d]动态分配,避免使用内部 CNN 端口默认值或全‘1’、全‘0’。	

D.4 编组网节点管理协议

D.4.1 概述

本章描述了梯形拓扑 CNN 管理协议。

D.4.2 CNN 管理架构

图 D.20 显示了 CNN 管理架构。

CNN 管理使用该 CNN 上行链路状态、下行链路状态和本地链路状态周期更新 CNN 管理数据库，并使用多播通信将链路状态作为 CNN 管理信息向其他 CNN 发送。

当 CNN 从另一 CNN 接收到 CNN 管理信息时，该 CNN 管理使用对应于源 CNN 的链路状态更新 CNN 管理数据库。

通过执行上述周期的以及在链路状态每次变化时的更新过程，每个 CNN 可识别所有 CNN 链路状态和网络上所有 CNN 健康情况。

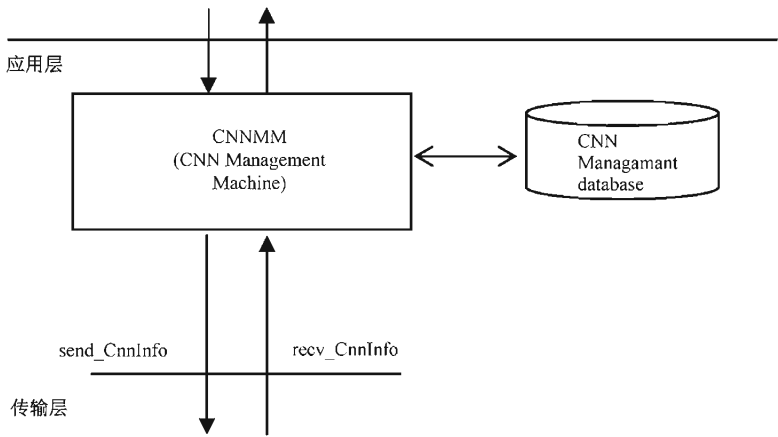


图 D.20 CNN 管理架构

D.4.3 个体 CNN 管理信息

在子网上启动周期发送后，每个 CNN 应通过周期发送机制使用 CNN 管理协议向子网发送其个体 CNN 管理信息，使得所有 CNN 可获取所有其他 CNN 的个体 CNN 管理信息。

个体 CNN 管理信息包含在 UDP 包的服务数据单元中。具有与 PD 相同优先级的个体 CNN 管理信息的发送频率宜限制为小于 PD 发送频率，为实时控制数据保留带宽。

个体 CNN 管理信息的数据格式如表 D.32 所示，其参数描述在表 D.33、表 D.34、表 D.35 及表 D.36 中列出。

表 D.32 个体 CNN 管理信息格式

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	数据类型版本 (CateVer)															
2	服务数据长度 (ServiceDataSize)															
4	保留 (reserved)															
6	保留 (reserved)								空 (NULL)				CNN 连接状态 (ConnectionSts)			
8	空 (NULL)				CNN 状态 (CnnSts)				空 (NULL)							
10	旁路 CNN 检测 (BypassedCnnDetect)															
14	CNN 替代传输 (SubsCnnExec)															

表 D.32 (续)

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
18	空(NULL)				另一子网 CNN 连接状态 (ConnectionStsOth) <sup>a</sup>				空(NULL)				另一子网 CNN 状态 (CnnStsOth)			
20	另一子网旁路 CNN 检测(BypassedCnnDetectOth) <sup>a</sup>															
24	另一子网 CNN 替代传输(SubsCnnExecOth) <sup>a</sup>															
28	另一子网 CNN 健康计数(CnnHltyCountOth) <sup>a</sup>								空(NULL)							
30	另一子网 CNN IP 地址第三个八位位组 (CnnIpAddr3Oth) <sup>a</sup>								另一子网 CNN IP 地址第四个八位位组 (CnnIpAddr4Oth) <sup>a</sup>							
32	保留(reserved)								强制链路断开状态(ForcLinkOffSts)							
34	上/下游头(UpDwHead)								保留(reserved)							
36	保留(reserved)(96 个八位位组)															
132	CNN 健康计数(CnnHealthyCount)								空(NULL)							
134	CNN 编号(CnnNr)															
136	替代传输请求标志 1(SubsReqFlag1)								替代传输目的 CNN 编号 1(SubsDstCnnNr1)							
138	替代传输源 CNN 编号 1(SubsSrcCnnNr1)								保留(reserved)							
140	执行替代传输 CNN 编号 1(SubsCnnExecNr1)															
144	替代传输请求标志 2(SubsReqFlag2)								替代传输目的 CNN 编号 2(SubsDstCnnNr2)							
146	替代传输源 CNN 编号 2(SubsSrcCnnNr2)								保留(reserved)							
148	执行替代传输 CNN 编号 2(SubsCnnExecNr2)															
152	保留(reserved)								空(NULL)							
154	保留(reserved)(48 个八位位组)															
200																
	<sup>a</sup> 具有后缀名“Oth”的参数用于梯形拓扑。如果网络不是梯形拓扑,则这些参数字段保留。															

表 D.33 个体 CNN 管理信息参数描述

参数	类型	描述
CateVer	UNSIGNED16	发送数据的类型和版本: ——高八位位组指示 CNN 管理信息:‘10’H; ——低八位位组指示格式版本,起始值‘00’H
ServiceDataSize	UNSIGNED16	服务数据长度
ConnectionSts	Type_Connection_Status	CNN 连接状态
CnnSts	UNSIGNED4	CNN 状态: ——‘0100’B:离线; ——‘0010’B:备用; ——‘0001’B:在线; ——其他:不可用

表 D.33 (续)

参数	类型	描述
BypassedCnnDetect	Type_CNN_Flags	旁路 CNN 检测标志,对每一项: ——‘1’:检测到; ——‘0’:未检测到
SubsCnnExec	Type_CNN_Flags	其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 标志: ——‘1’:有; ——‘0’:无
ConnectionStsOth	BITSET4	梯形拓扑另一子网 CNN 连接状态: ——cn_u_oth(0):上行链路端口(‘0’:正常,‘1’:异常); ——cn_d_oth(1):下行链路端口(‘0’:正常,‘1’:异常); ——cn_l_oth(2):另一子网本地端口(‘0’:正常,‘1’:异常); ——reserved(3):不可用
CnnStsOth	UNSIGNED4	梯形拓扑另一子网 CNN 的 CNN 状态: ——‘0100’B:离线; ——‘0010’B:备用; ——‘0001’B:在线; ——其他:不可用
BypassedCnnDetectOth	Type_CNN_Flags	梯形拓扑另一子网检测到旁路的 CNN 标志: ——第 1 个 16 位:CNN15(MSB)~CNN1(‘1’:检测到,‘0’:未检测到); ——第 2 个 16 位:CNN31~CNN16(LSB)(‘1’:检测到,‘0’:未检测到)
SubsCnnExecOth	Type_CNN_Flags	梯形拓扑另一子网其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 标志: ——‘1’:有; ——‘0’:无
CnnHltyCountOth	UNSIGNED8	梯形拓扑另一子网 CNN 的 CNN 健康计数(模 256)
CnnIpAddrOth	Type_lp_Addr_3_4	梯形拓扑另一子网 CNN 的 IP 地址第 3、4 个八位位组
ForcLinkOffSts	BITSET8	CNN 强制链路断开状态: ——未使用(0)~(5):空; ——ulp_f_off(6):上行链路断开强制链路断开(‘1’:强制断开,‘0’:未强制断开); ——dlp_f_off(7):下行链路断开强制链路断开(‘1’:强制断开,‘0’:未强制断开)
UpDwHead	UNSIGNED8	CNN 位置上行/下行头: ——0:中间; ——1:最上游; ——2:最下游; ——3~255:不可用

表 D.33 (续)

参数	类型	描述
CnnHltyCount	UNSIGNED8	CNN 健康计数(模 256)
CnnNr	UNSIGNED8	CNN 编号： ——1~31:有效； ——0、32~255:不可用
SubsCnnFlag	UNSIGNED8	替代传输请求标志： ——0:无请求； ——1:已请求； ——2~255:不可用
SubsDstCnnNr	UNSIGNED8	替代传输目的 CNN 编号： ——1~31:有效； ——0、32~255:不可用
SubsSrcCnnNr	UNSIGNED8	替代传输源 CNN 编号： ——1~31:有效； ——0、32~255:不可用
SubsCnnExecNr	Type_CNN_Flags	请求 CNN 中的其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 标志： ——‘1’:有； ——‘0’:无
注：CNN IP 地址即用于 CNN 管理的默认 IP 地址。		

表 D.34 Type\_Connection\_Status

类型名	类型	描述
Type_Connection_Status	UNSIGNED4	CNN 端口连接状态： ——cn_u(0):上行链路端口(‘0’:正常,‘1’:异常)； ——cn_d(1):下行链路端口(‘0’:正常,‘1’:异常)； ——cn_l(2):另一子网本地端口(‘0’:正常,‘1’:异常)； ——reserved(3):不可用

表 D.35 Type\_CNN\_Flags

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	—
2	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
注 1：每一项的数值代表相应 CNN 编号。																
注 2：‘—’标识“未使用”。																

表 D.36 Type\_Ip\_Addr\_3\_4

类型名	类型	描述
ip_ad_3_4	UNSIGNED16	CNN IP 地址第 3 和第 4 个八位位组(最低有效 2 个八位位组)

#### D.4.4 CNN 管理数据库

在个体 CNN 管理信息经历超过一个循环周期时间后,每个 CNN 应使用从其他 CNN 接收到的个体 CNN 管理信息计算自身 CNN 管理数据库。网络上所有 CNN 具有相同的数据库内容。

在 CNN 管理数据库中标志参数由所有个体 CNN 管理信息中同一部分的逻辑或操作计算生成。数值参数则为所有 CNN 打包成一个参数。

CNN 管理数据库参数见表 D.37、表 D.38、表 D.39 及表 D.40。

表 D.37 CNN 管理数据库参数

参数	类型	描述
BypassedCnnDetectAll1	Type_CNN_Flags	子网 1 所有 CNN 的旁路 CNN 检测标志,每一项: ——‘1’:检测到; ——‘0’:未检测到
BypassedCnnDetectAll2 <sup>a</sup>	Type_CNN_Flags	子网 2 所有 CNN 的旁路 CNN 检测标志,每一项: ——‘1’:检测到; ——‘0’:未检测到
SubsCnnExecAll1	Type_CNN_Flags	子网 1 其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 标志: ——‘1’:有; ——‘0’:无
SubsCnnExecAll2 <sup>a</sup>	Type_CNN_Flags	子网 2 其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 标志: ——‘1’:有; ——‘0’:无
ConnectionStsAll1	Type_Connection_Status_All	子网 1 所有 CNN 主干链路和本地链路连接状态标志
ConnectionStsAll2 <sup>a</sup>	Type_Connection_Status_All	子网 2 所有 CNN 主干链路和本地链路连接状态标志
IpAddrAll1	Type_Ip_Addr_3_4_All	子网 1 所有 CNN 各 IP 地址
IpAddrAll2 <sup>a</sup>	Type_Ip_Addr_3_4_All	子网 2 所有 CNN 各 IP 地址
OnlStsAll1	Type_CNN_Flags	子网 1 所有 CNN 在线状态标志: ——‘1’:在线; ——‘0’:不在线
OnlStsAll2 <sup>a</sup>	Type_CNN_Flags	子网 2 所有 CNN 在线状态标志: ——‘1’:在线; ——‘0’:不在线
StbyStsAll1	Type_CNN_Flags	子网 1 所有 CNN 备用状态标志: ——‘1’:备用; ——‘0’:非备用

表 D.37 (续)

参数	类型	描述
StbyStsAll2 <sup>a</sup>	Type_CNN_Flags	子网 2 所有 CNN 备用状态标志： ——‘1’：备用； ——‘0’：非备用
HltyCountAll1	Type_Healthy_Count_All	子网 1 所有 CNN 健康计数
HltyCountAll2 <sup>a</sup>	Type_Healthy_Count_All	子网 2 所有 CNN 健康计数
<sup>a</sup> 如果物理拓扑不是梯形拓扑，则不使用子网 2 参数。		

表 D.38 Type\_Connection\_Status\_All

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	ARRAY [32] Type_Connection_Status_All															
0	CNN 3				CNN 2				CNN 1				未使用			
2	CNN 7				CNN 6				CNN 5				CNN 4			
	...				...				...				...			
14	CNN 31				CNN 30				CNN 29				CNN 28			
	注：如果相应 CNN 不存在，则该项为空。															

表 D.39 Type\_Ip\_Addr\_3\_4\_All

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	ARRAY [32] Type_Ip_Addr_3_4															
0	未使用															
0	CNN 1															
	...															
62	CNN 31															
注：如果相应 CNN 不存在，则该项为空。																

表 D.40 Type\_Healthy\_Count\_All

位→	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	ARRAY [32] UNSIGNED8															
0	CNN 1									未使用						
2	CNN 3									CNN 2						
	...															
30	CNN 31									CNN 30						
注：如果相应 CNN 不存在，则该项为空。																



#### D.4.5 CNN 管理协议原语

CNN 管理使用表 D.41 所列原语与底层协议交互。

表 D.41 用于 CNN 管理的到底层协议的原语

原语	描述
send_CnnInfo	向传输层发送 CNN 管理信息
recv_CnnInfo	从传输层接收 CNN 管理信息

#### D.4.6 CNN 管理协议参数

CNN 管理参数如表 D.42 所列,用于 D.4.8。

表 D.42 CNN 管理参数

参数	类型	描述
Topology	ENUM2	网络拓扑: ——LINEAR(线形拓扑); ——LADDER(梯形拓扑)
CnnMode	ENUM2	CNN 模式: ——UpperMost(最上游 CNN 模式); ——LowerMost(最下游 CNN 模式); ——InterMediate(中间 CNN 模式); ——Standalone(孤立 CNN 模式)
MyCnn	UNSIGNED5	该 CNN 的自身 CNN 编号:1~31
MaxCnn	UNSIGNED5	网络最大 CNN 编号
TokenCnn	UNSIGNED5	包含在从上游 CNN 接收到的令牌命令帧中的 CNN 编号
StatTpu	ENUM1	上行链路主干端口状态: ——Normal:当端口链路接通状态(linkTPU == True)持续超过定时器 TRTPU 限制时; ——Failure:当端口链路断开状态(linkTPU == False)持续超过定时器 TFTPu 限制时
StatTpd	ENUM1	下行链路主干端口状态: ——Normal:当端口链路接通状态(linkTPD == True)持续时间超过定时器 TRTPD 限制时; ——Failure:当端口链路断开状态(linkTPD == False)持续时间超过定时器 TFTPd 限制时
StatLpr	ENUM1	另一子网用本地端口状态: ——Normal:当端口链路接通状态持续时间超过定时器 TRLPR 限制时; ——Failure:当本地链路断开状态持续时间超过定时器 TFLPR 限制时

表 D.42（续）

参数	类型	描述
ForceOffTpu	BOOLEAN1	TPU 强制断开状态： ——True:强制断开； ——False:未强制断开
ForceOffTpd	BOOLEAN1	TPD 强制断开状态： ——True:强制断开； ——False:未强制断开
SubsCnnFlags	Type_CNN_Flags	该 CNN 替代的 CNN 标志,1 位对应一个 CNN： ——‘1’:被该 CNN 替代； ——‘0’:未被该 CNN 替代
TempSubsCnnFlags	Type_CNN_Flags	该 CNN 替代的 CNN 临时标志,临时存储以后续在 subusXmit() 过程中发送。 TempSubsCnnFlags 与 SubsCnnFlags 具有相同的内容和格式

D.4.7 CNN 管理协议定时器

CNN 管理定时器参见表 D.43。

表 D.43 CNN 管理定时器

定时器	描述
TNMS	用于周期发送 CNN 管理信息的定时器,默认值 100 ms
TFTPU	用于期满时主干端口上行链路失效的定时器,默认值 30 ms
TRTPU	用于期满时主干端口上行链路恢复的定时器,默认值 0 ms
TFTPD	用于期满时主干端口下行链路失效的定时器,默认值 30 ms
TRTPD	用于期满时主干端口上行链路恢复的定时器,默认值 0 ms
TFLPR	用于期满时另一子网本地端口失效的定时器,默认值 30 ms
TRLPR	用于期满时另一子网本地端口恢复的定时器,默认值 0 ms

D.4.8 CNN 管理协议过程

D.4.8.1 过程和函数

CNN 管理过程如表 D.44 所列,相关函数在表 D.45 和表 D.46 中描述。

表 D.44 CNN 管理过程

过程	描述
initNDB()	初始化 CNN 管理数据库。清除所有数据至 0
buildCnnInfo(frame)	为该 CNN 构建拟发送的 CNN 管理信息帧。帧格式见表 D.32
sourceCnn(frame)	从(frame)指定的帧中提取 CNN 编号

表 D.44 (续)

过程	描述
startTimer(timer)	启动(timer)指定的定时器。如果已启动,则该定时器复位重启
updateNDB(cnn,value1,...)	更新该 CNN 的 CNN 管理数据库由(cnn)指定的 CNN 区域中枚举的变量值
updateMyNDB(value1,...)	更新该 CNN 的 CNN 管理数据库 MyCnn 区域中枚举的变量值
genSubsXRqBNStat()	生成替代传输请求帧信息 SubsReqFlag1、SubsDstCnnNr1、SubsCnnExecNr1 和 SubsSrcCnnNr1。 表 D.45 显示了具有通过检测 CNN 旁路生成该帧的相关活动的替代传输函数。 见注
genSubsXRqTPStat (statTPU,statTPD)	根据该 CNN 主干端口状态生成替代传输请求帧信息 SubsReqFlag2、SubsDstCnnNr2、SubsCnnExecNr2 和 SubsSrcCnnNr2。 表 D.46 显示了使用检测主干端口失效时相关活动生成该请求帧的函数。 见注
subsXmit()	subsXmit()发现因旁路或链路失效而应由该 CNN 通过计算从 CNN 1 到 MaxCnn 的个体 CNN 管理信息中数据、并执行 PD 周期传输替代传输的 CNN。 subsXmit()也发现因不再需要该 CNN 替代而应停止替代传输的 CNN。 使用应用层 PD 服务的 PD 替代传输的起始或终止按下列步骤执行: a) 对于旁路 CNN,通过计算从 CNN 1 到 MaxCnn 的所有个体 CNN 管理信息中 SubsReqFlag1 == “1”且 SubsDstCnnNr1 == MyCnn 的所有 SubsCnnExecNr1 的逻辑或发现拟替代的 CNN; b) 对于链路失效,通过计算从 CNN 1 到 MaxCnn 的所有个体 CNN 管理信息中 SubsReqFlag2 == “1”且 SubsDstCnnNr2 == MyCnn 的所有 SubsCnnExecNr2 的逻辑或发现拟替代的 CNN; c) 由于上述 SubsCnnExecNr1 和 SubsCnnExecNr2 逻辑或均为“1”的 CNN 应由该 CNN 替代,通过使用通信存储器中的数据为另一侧子网请求周期发送 CNN 的 PD。本步骤中结果存储为 TempSubsCnnFlags; d) 计算 TempSubsCnnFlags、步骤 c)结果和 SubsCnnFlags 的异或,在计算该结果和 SubsCnnFlags 的逻辑与。由于该结果中相应位为“1”表示先前替代 CNN,应在此时停止替代传输; e) 请求停止发送起始生产者终端设备所属 CNN 的 PD。为在下一次调用时检测到停止该 CNN 替代传输的条件,保存 TempSubsCnnFlags、步骤 c)结果为新的 SubsCnnFlags
注: 执行替代传输的 CNN 命名为替代 CNN,而其他 CNN 为其执行替代传输的 CNN 命名为被替代 CNN。	

表 D.45 通过检测旁路 CNN 的替代传输函数

函数名	操作
genSubsXRqBNStat()	// 计算 TokenCnn 和 MyCnn 的差 // 如果差大于 1,则由于先前 CNN 被旁路,在该 CNN 的个体 CNN 管理信息中生成替代传输信息 SubsReqFlag1、SubsDstCnnNr1、SubsSrcCnnNr1 和 SubsCnnExecNr1 // 如果差等于 1,则由于无 CNN 被旁路,清除替代传输信息至 0 prevSubsDstCnnNr1=SubsDstCnnNr1;

表 D.45 (续)

函数名	操作
genSubsXRqBNStat()	<pre> prevSubsCnnExecNr1 = SubsCnnExecNr1; if ((MyCnn-TokenCnn)&gt;1) { // 在上行方向检测到一个或多个旁路 CNN if (isOthCnnTPD(myCnn-1) == Normal) { if (isOthCnnHealty(MyCnn,MaxCnn)) { SubsDstCnnNr1 = getMinCnnHealtyOthCnn(MyCnn,MaxCnn); SubsCnnExecNr1 = setBits(TokenCnn+1,MyCnn-1); } else if (isOthCnnHealty(1,TokenCnn)) { SubsDstCnnNr1 = getMaxCnnHealtyOthCnn(1,TokenCnn); SubsCnnExecNr1 = setBits(TokenCnn+1,MyCnn-1); } else { SubsDstCnnNr1 = 0; SubsCnnExecNr1 = 0; } else if (isOthCnnTPU(TokenCnn+1) == Normal) { if (isOthCnnHealty(1,TokenCnn)) { SubsDstCnnNr1 = getMaxCnnHealtyOthCnn(1,TokenCnn); SubsCnnExecNr1 = setBits(TokenCnn+1,MyCnn-1); } else { SubsDstCnnNr1 = 0; SubsCnnExecNr1 = 0; } } else { SubsDstCnnNr1 = 0; SubsCnnExecNr1 = 0; } } else { SubsDstCnnNr1 = 0; SubsCnnExecNr1 = 0; } } else { SubsDstCnnNr1 = 0; SubsCnnExecNr1 = 0; } } if (SubsDstCnnNr1 != 0) { SubsReqFlag1 = 1; SubsSrcCnnNr1 = MyCnn; } else { SubsReqFlag1 = 0; SubsSrcCnnNr1 = 0; } } if (prevSubsDstNr1 != SubsDstNr1    prevSubsCnnExecNr1 != SubsCnnExecNr1) return TRUE; return FALSE; </pre>
isOthCnnTPD(n)	<p>返回由(n)指定的、在另一侧子网结对的 CNN 下行链路状态：</p> <p>——Normal state: 当该 CNN 正常或返回最下游 CNN 强制状态时；</p> <p>——Failure state: 当该 CNN 失效时</p>

表 D.45 (续)

函数名	操作
isOthCnnTPU(n)	返回由(n)指定的、在另一侧子网结对的 CNN 上行链路状态： ——Normal state: 当该 CNN 正常或返回最下游 CNN 强制状态时； ——Failure state: 当该 CNN 失效时
isOthCnnHealthy(n1, n2)	如果同一子网从 n1 到 n2 指定的 CNN 本地端口正常且另一子网对应 CNN 健康, 则返回正常状态(normal state), 否则返回失效状态(failure state)
getMinCnnHealthyOthCnn(n1, n2)	如果同一子网从 n1 到 n2 指定的 CNN 本地端口正常且另一子网对应 CNN 健康, 则返回最小 CNN 编号
getMaxCnnHealthyOthCnn(n1, n2)	如果同一子网从 n1 到 n2 指定的 CNN 本地端口正常且另一子网对应 CNN 健康, 则返回最大 CNN 编号
setBits(n1, n2);	从 $2^{(n1)}$ 位到 $2^{(n2)}$ 位置“1”

表 D.46 通过检测链路失效的替代传输函数

函数名	操作
genSubsXRqTPStat(statTPU, statTPD)	<pre> // 根据 CNN 的个体 CNN 管理信息中 TPU 和 TPD 主干端口状态生成替代传输请求帧信息 // SubsReqFlag2、SubsDstCnnNr2、SubsCnnExecNr2 和 SubsSrcCnnNr2 if ((StatTpu == Failure) &amp;&amp; (StatTpd == Normal)) {     // 上行链路主干端口失效时     if (isOthCnnHealty(MyCnn, MaxCnn)) {         SubsDstCnnNr2 = getMinCnnHealthyOthCnn(MyCnn, MaxCnn);         SubsCnnExecNr2 = setBits(1, MyCnn - 1);     } else         SubsDstCnnNr2 = 0; } else if ((StatTpu == Normal) &amp;&amp; (StatTpd == Failure)) {     // 下行链路主干端口失效时     if (isOthCnnHealthy(1, MyCnn - 1)) {         SubsDstCnnNr2 = getMaxCnnHealthyOthCnn(1, MyCnn - 1);         SubsCnnExecNr2 = setBits(MyCnn + 1, MaxCnn);     } else         SubsDstCnnNr2 = 0; } else     SubsDstCnnNr2 = 0; if (SubsDstCnnNr2 != 0) {     SubsReqFlag2 = 1;     SubsSrcCnnNr2 = MyCnn; } else     SubsReqFlag2 = 0; SubsSrcCnnNr2 = 0; </pre>

D.4.8.2 事件

CNN 管理事件如表 D.47 所列。

表 D.47 CNN 管理事件

事件	描述
复位或上电 (Reset or Power ON)	硬件复位或上电
receivedToken(Cnn)	接收带有发送令牌 CNN 编号的令牌
changeTPUD(statTPU, statTPD)	上行链路/下行链路主干端口状态发生变化,该变化指示失效或正常
changeLPR(statLPR)	另一子网本地端口状态发生变化,该变化指示失效或正常
expiredTimer(timer)	期满由 startTimer 启动的定时器

D.4.9 CNN 管理机操作

图 D.21 显示了 CNN 管理机的状态机,状态转换表在表 D.48 中描述。

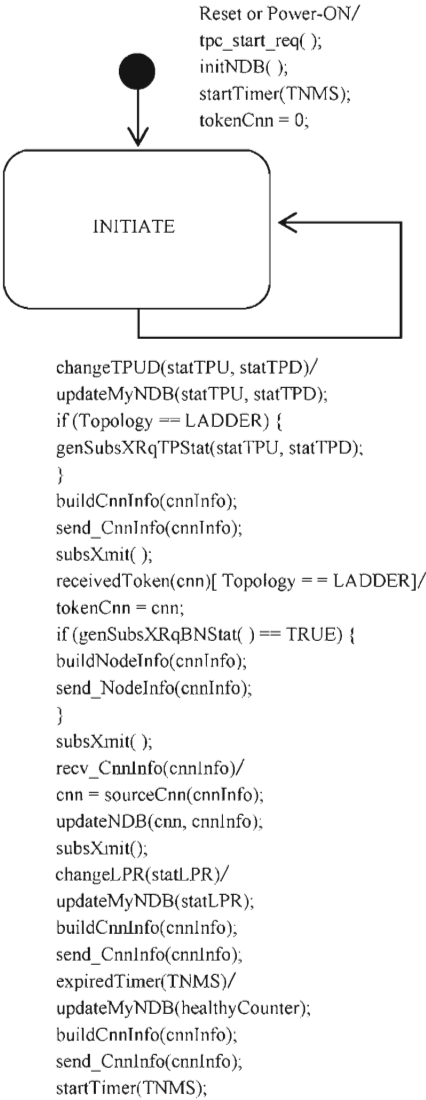


图 D.21 CNNMM 状态机

表 D.48 CNNMM 状态转换表

当前状态	事件[条件]	动作	下一状态
起始状态 (Initial state)	复位或上电	// 复位或上电 tpc_start_req(); initNDB(); startTimer(TNMS); tokenCnn=0;	INITIATE
启动(INITIATE)	changeTPUD(statTPU, statTPD)	// 主干端口链路状态改变 updateMyNDB(statTPU,statTPD); if (topology==LADDER) { genSubsXRqTPStat(statTPU,statTPD); } buildCnnInfo(cnnInfo); send_CnnInfo(cnnInfo); subsXmit();	INITIATE
	receivedToken(Cnn)[ Topology==LADDER]	// 接收令牌 tokenCnn=cnn; if (genSubsXRqBNStat()==TRUE) { buildCnnInfo(cnnInfo); send_CnnInfo(cnnInfo); } subsXmit();	INITIATE
	recv_CnnInfo(CnnInfo)	// 接收其他 CNN 的个体 CNN 管理信息 cnn=sourceCnn(cnnInfo); updateNDB(cnn,cnnInfo); subsXmit();	INITIATE
	changeLPR(statLPR)	// 另一子网用本地端口链路状态改变 updateMyNDB(statLPR); buildCnnInfo(cnnInfo); send_CnnInfo(cnnInfo);	INITIATE
	expiredTimer(TNMS)	// TNMS 定时器期满以周期发送个体 CNN 管理信息 updateMyNDB(healthyCounter); buildCnnInfo(cnnInfo); send_CnnInfo(cnnInfo); startTimer(TNMS);	INITIATE

## D.4.10 CNN 管理协议端口号分配

为实现可互操作数据通信,宜默认使用表 D.49 所列 CNN 管理协议传输层端口分配,该端口分配不应与 PD、消息数据或其他应用协议端口号重复。

表 D.49 CNN 管理协议默认端口编号

协议	目的端口	源端口
CNN 管理数据(UDP)	49154	49154
注：允许为项目特定目的使用不同端口号。		

D.5 梯形拓扑失效场景

D.5.1 概述

本章描述了梯形拓扑中各种失效场景，其中 PD 传输路径重配置由替代传输功能执行。

D.5.2 失效场景

后续各失效场景以梯形拓扑五对 CNN 子网例示。

本条各图示例中假定了梯形拓扑五对 CNN 子网。为简化起见，未显示所有以双归属连接到成对 CNN 的终端设备。粗箭头表示在子网 1 上传送的数据帧，细箭头表示在子网 2 上传送的数据帧。阴影框指示的 CNN 即执行替代传输的 CNN。CNN 编号不是实际编号，而是抽象用于说明。

具体示例如下：

a) 正常操作；

图 D.22 中，从连挂的终端设备发出的数据同时向子网 1 和子网 2 发送，且也通过每一个 CNN 本地链路互相向另一侧子网的 CNN 分发。

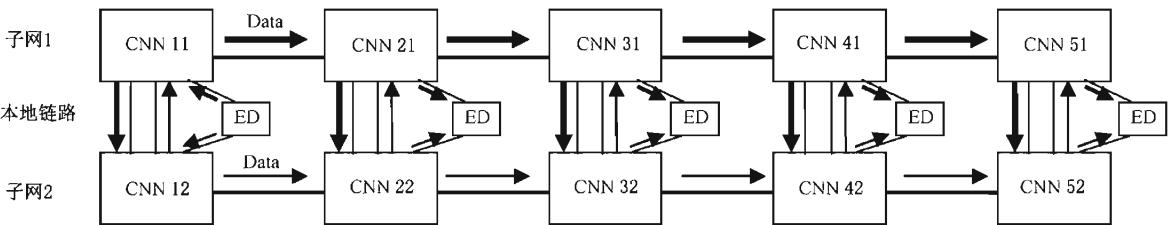


图 D.22 梯形拓扑传输路径正常配置

b) 子网单链路失效；

图 D.23 中，当子网 1 一条链路失效时，CNN 41 经由与 CNN 42 间的本地链路使用从 CNN 12、CNN 22、CNN 32 接收到的数据，并向子网 1 无失效部分重发该数据。该数据宜与分别从 CNN 11、CNN 21、CNN 31 接收到的数据相同。

另一方面，CNN 31 经由与 CNN 32 间的本地链路使用从 CNN 42、CNN 52 接收到的数据，并向子网 1 无失效部分重发该数据。该数据宜与分别从 CNN 41、CNN 51 接收到的数据相同。

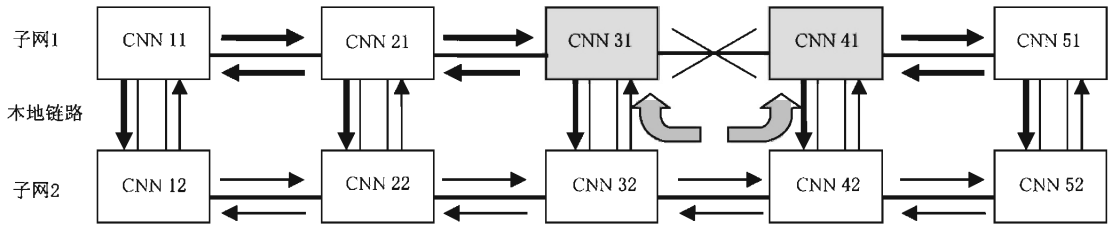


图 D.23 子网单链路失效时传输路径重配置



c) 子网单 CNN 失效；

图 D.24 中,当子网 1 一个 CNN 失效时,该 CNN 链路被中继电路旁路。CNN 32 作为失效的 CNN 31 的备用 CNN 工作。

CNN 41 经由与 CNN 42 间本地链路使用从 CNN 32 接收到的数据,并作为替代传输向子网 1 重发该数据。该数据应与从 CNN 31 接收到的数据相同。

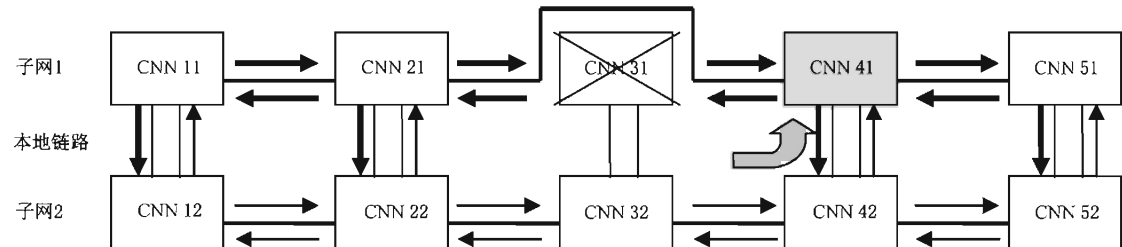


图 D.24 子网单 CNN 失效时传输路径重配置

d) 一个子网双链路失效；

图 D.25 中,当子网 1 两个不同链路失效时：

- CNN 21 执行 CNN 31、CNN 41 和 CNN 51 的替代传输；
- CNN 31 执行 CNN 11 和 CNN 21 的替代传输；
- CNN 41 执行 CNN 51 的替代传输；
- CNN 51 执行 CNN 11、CNN 21、CNN 31 和 CNN 41 的替代传输。

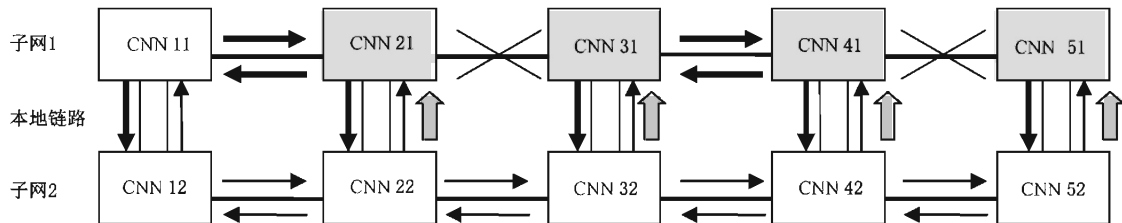


图 D.25 一个子网双链路失效时传输路径重配置

e) 两个子网各一链路失效；

图 D.26 中,当子网 1 和子网 2 各一链路失效时：

- CNN 21 执行 CNN 31、CNN 41 和 CNN 51 的替代传输；
- CNN 31 执行 CNN 11 和 CNN 21 的替代传输；
- CNN 32 执行 CNN 42 和 CNN 52 的替代传输；
- CNN 42 执行 CNN 12、CNN 22 和 CNN 32 的替代传输。

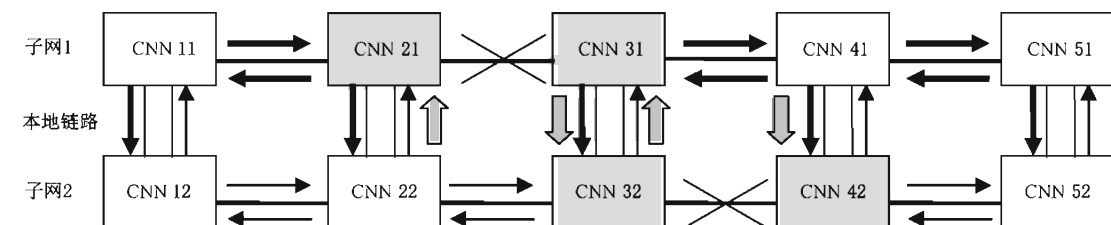


图 D.26 两个子网各一链路失效时传输路径重配置

f) 两个子网各一 CNN 失效；

图 D.27 中,当子网 1 一个 CNN 失效且子网 2 另一 CNN 失效时：

- CNN 31 使用 CNN 22 的数据在子网 1 中执行 CNN 21 的替代传输；
- CNN 52 使用 CNN 41 的数据在子网 2 中执行 CNN 42 的替代传输。

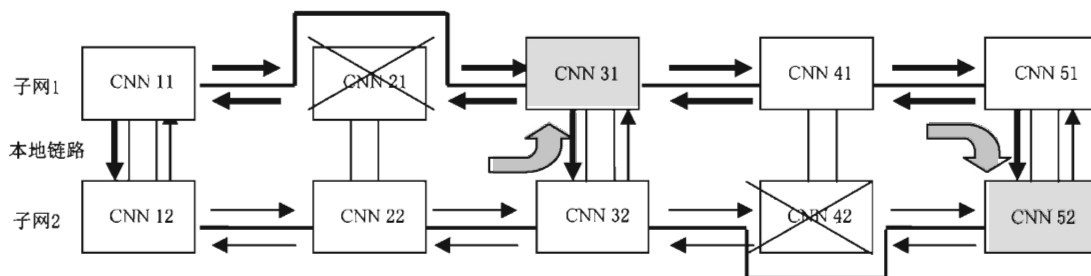


图 D.27 两个子网各一 CNN 失效时传输路径重配置

g) 两个子网一个 CNN 失效且另一链路失效；

图 D.28 中,当子网 1 一个 CNN 失效且子网 2 一条链路失效时：

- CNN 31 使用 CNN 22 的数据在子网 1 中执行 CNN 21 的替代传输；
- CNN 32 使用 CNN 41 和 CNN 51 的数据在子网 2 中执行 CNN 42 和 CNN 52 的替代传输；
- CNN 42 使用 CNN 11、CNN 22 和 CNN 31 的数据在子网 2 中执行 CNN 12、CNN 22 和 CNN 32 的替代传输。

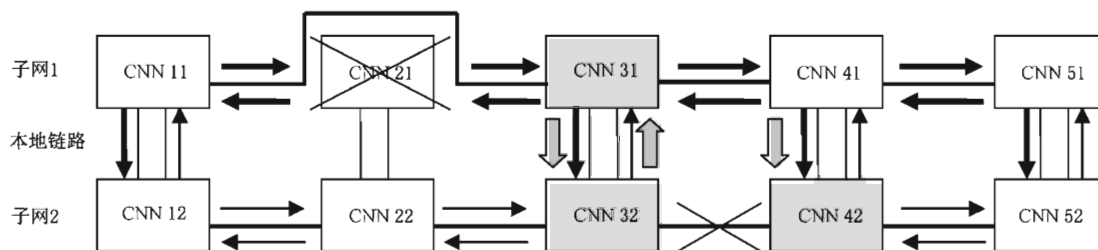


图 D.28 两个子网一个 CNN 失效且另一链路失效时传输路径重配置

h) 两个子网一个 CNN 失效且另一链路失效。

图 D.29 中,当子网 1 一条链路失效且子网 2 一个 CNN 失效时：

- CNN 32 使用 CNN 21 的数据在子网 2 中执行 CNN 22 的替代传输；
- CNN 41 使用 CNN 52 的数据在子网 1 中执行 CNN 51 的替代传输；
- CNN 51 使用 CNN 12、CNN 21、CNN 32 和 CNN 42 的数据在子网 1 中执行 CNN 11、CNN 21、CNN 31 和 CNN 41 的替代传输。

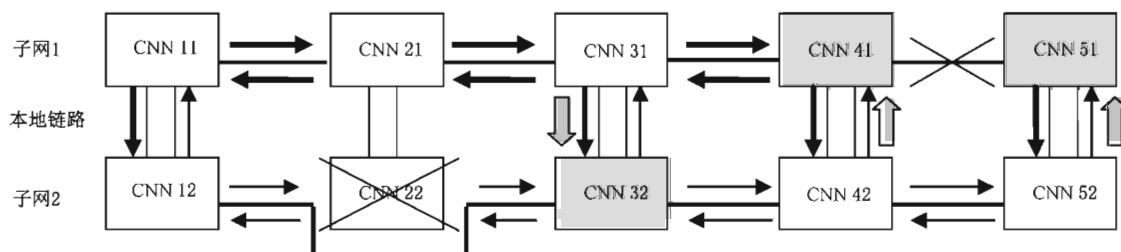


图 D.29 两个子网一条链路失效且另一 CNN 失效时传输路径重配置

### D.5.3 网络恢复

在链路或 CNN 失效恢复时,当失效点两侧 CNN 找到正常工况点时,这些 CNN 从失效点移除绕道路径,然后在两个子网上重新启动正常工况。

## 参 考 文 献

- [1] IETF RFC 854 TELNET Protocol specification
  - [2] IETF RFC 959 File Transfer Protocol(FTP)
  - [3] IETF RFC 1034 Domain Names—Concepts and Facilities
  - [4] IETF RFC 1035 Domain Names—Implementation and Specification
  - [5] IETF RFC 1112 Host Extensions for IP Multicasting
  - [6] IETF RFC 1122 Requirements for Internet Hosts—Communication Layers
  - [7] IETF RFC 1166 Internet Numbers
  - [8] IETF RFC 1213 Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets;MIB-II
  - [9] IETF RFC 1305 Network Time Protocol(Version 3) Specification,Implementation and Analysis
  - [10] IETF RFC 1350 THE TFTP Protocol (REVISION 2)
  - [11] IETF RFC 1361 Simple Network Time Protocol (SNTP)
  - [12] IETF RFC 1901 Introduction to Community-based SNMPv2
  - [13] IETF RFC 1905 Protocol Operations for Version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)
  - [14] IETF RFC 1906 Transport Mappings for Version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)
  - [15] IETF RFC 2131 Dynamic Host Configuration Protocol
  - [16] IETF RFC 2132 DHCP Options and BOOTP Vendor Extensions
  - [17] IETF RFC 2474 Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers
  - [18] IETF RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices
  - [19] IETF RFC 2616 Hypertext Transfer Protocol—HTTP/1.1
  - [20] IETF RFC 3046 DHCP Relay Agent Information Option
  - [21] IETF RFC 3768 Virtual Router Redundancy Protocol(VRRP)
  - [22] IETF RFC 4251 The Secure Shell(SSH) Protocol Architecture
-