

**课程 SS 0501**

**SDH原理**

## 出版说明

您好，欢迎阅读本课程！随着华为技术有限公司的不断发展，其通信产品的应用也越来越广泛。作为华为公司产品之一的SDH光传输产品——OptiX 系列155、622、2.5G、10G等产品已经被越来越多地用来组建各级传输网络。

您是我们尊敬的客户，如果准备学习我公司的OptiX 系列光传输产品，那么本课程SDH原理正好适合于您。通过学习这部分的内容，使您对SDH建立起一个整体的概念，为以后深入学习SDH设备奠定基础。

## 读者对象

本课程主要是为OptiX 系列传输设备的维护人员编写的，此课程的读者在学习之前应具备如下条件：

基本的通信理论基础，如PCM、PDH相关知识；


基本的光纤通信理论；

想通过本次学习为以后的维护工作打下坚实的基础，尽管预料到本次学习会比较艰辛，但相信您已下定了决心。

## 如何阅读本课程

本课程是理论课程，当然要求您认真地按本课程的讲述次序循序渐进地将内容学完，力求弄懂、吃透。因为这些是您以后维护设备，以及更进一步提高自己维护水平的基础。还有，SDH原理讲述的内容较多、较零乱，在阅读时要尽量将其系统化。同时，只要求您弄懂理论，没有必要死记硬背，关键是理解。

课程中的每一部分都有一些生动有趣的图标，正确充分地用好这些图标，会使您的学习变得轻松有趣而又事半功倍，何乐而不为呢？

 目标：

该图标表示这部分内容是您在相应节的学习目标。



注意：

该图标表示若不按照指示操作，可能会无意义或是达不到设定的操作目标。

 技术细节:

该图标表示这部分内容为技术细节，属于比较专业的东西。如果您不想了解得那么深入，可以跳过它们。

 诀窍:

该图标表示这部分内容是小技巧，您利用它们可以方便操作或节省时间。

 警告:

当心，您应当尽量避免发生此类问题，否则后果严重！

? 想一想:

注意，问题出现了，这需要您来回答。不过答不上来不要紧，可以看答案。本来嘛，这又不是考试。

好了，引言写到这里差不多该结束了，我们马上开始下一步的学习，一同将本课程学完。理论课的学习是比较枯燥，但要有畏难情绪，相信通过努力，您一定会弄懂SDH的原理，貌似艰深的理论，到时对您来说也不过如此罢了。

# 课程说明

## 课程简介

本课程本着深入浅出的原则，以平实的语言讲述SDH的基本概念，以此作为学习后续课程以及日后在维护工作中不断提高的基础。对于更深入的理论一般不涉及。通过大量的事例，力求使抽象的理论具体化、形象化，减少学习的枯燥感，激发你的学习兴趣。

本课程的内容包括：**SDH概述**、**SDH信号帧结构及复用步骤**、**开销和指针**、**逻辑设备的组成**、**SDH网络结构和网络保护机理**、**光接口类型参数**、**定时与同步**、**传输性能**。

## 课程结构

本课程分八节，它们按一定的顺序组成一个有机的整体。在阅读时，希望你能按顺序依次阅读。

### 第一节 SDH概述

通过本节的学习，你会对SDH概念建立一个整体的轮廓，了解SDH为什么会产生，以及SDH究竟是什么东西。

### 第二节 SDH信号的帧结构和复用步骤

讲述SDH信号帧的组成和帧中各部分所起的大致作用，以及PDH信号和SDH低阶信号是怎样复用进SDH高级别信号中的。

### 第三节 开销和指针

讲述了SDH体制的监控功能层层细化的实现——段开销、通道开销，以及确保SDH从高速信号中直接下低速信号的功能实现——指针的工作机理。

### 第四节 SDH设备的逻辑组成

讲述了组成SDH设备的各个功能块的功能，及各个功能块所监测的告警、性能事件和监测机理。设备的告警流程图、SDH传输网的常见网元类型及其功能。

### 第五节 SDH网络结构和网络保护机理

讲述SDH网络几种基本的拓扑结构的特点和适用范围，讲述常见几种自愈环的保护机理和适用范围，讲述几种复杂网络拓扑形式。

### 第六节 光接口类型和参数

讲述SDH系统的常用光接口类型及描述光接口的常用参数的概念。

### 第七节 定时与同步

讲述数字网的几种基本的同步方式，SDH传输网所使用的同步方式及其特点。

### 第八节 传输性能

讲述衡量SDH网传输质量的误码、抖动主要参数的概念。

## 课程目标

通过本课程的学习，你应掌握：

SDH的产生技术背景和PDH相对比有什么特点；

SDH信号帧的组成以及常见PDH信号复用进SDH帧的步骤；

SDH监控的实现——开销、以及指针定位的机理；

SDH设备的功能块组成和告警维护信号的产生机理及流程图；

常见SDH网络的特点和常用自愈网络的工作机理及特点；

光接口的主要参数；

SDH网基本的同步方式及工作机理；

衡量传输性能的主要参数。

## 参考资料

《光同步传输网技术》

北京邮电大学

## 目 录

出版说明 .....	i
读者对象 .....	i
如何阅读本课程 .....	i
课程说明 .....	iii
课程简介 .....	iii
课程结构 .....	iii
课程目标 .....	iv
参考资料 .....	v
第一节 SDH概述 .....	1
1.1 SDH产生的技术背景——为什么会产生SDH传输体制 .....	1
1.2 与PDH相比SDH有哪些优势 .....	4
1.3 SDH的缺陷所在 .....	9
小结 .....	11
习题 .....	11
第二节 SDH信号的帧结构和复用步骤 .....	12
2.1 SDH信号——STM-N的帧结构 .....	12
2.2 SDH的复用结构和步骤 .....	16
2.2.1 140Mbit/s复用进STM-N信号 .....	18
2.2.2 34Mbit/s复用进STM-N信号 .....	23
2.2.3 2Mbit/s复用进STM-N信号 .....	24
2.3 映射、定位和复用的概念 .....	28
小结 .....	33
习题 .....	33
第三节 开销和指针 .....	34
3.1 开销 .....	34
3.1.1 段开销 .....	34
3.1.2 通道开销 .....	41
3.2 指针 .....	46
3.2.1 管理单元指针（AU-PTR） .....	47
3.2.2 支路单元指针（TU-PTR） .....	50
小结 .....	52
习题 .....	52

<b>第四节 SDH设备的逻辑组成</b>	53
4.1 SDH网络的常见网元	53
4.2 SDH设备的逻辑功能块	56
小结	77
习题	77
<b>第五节 SDH网络结构和网络保护机理</b>	78
5.1 基本的网络拓扑结构	78
5.2 链网和自愈环	80
5.2.1 链形网	81
5.2.2 环网——自愈环	82
5.3 复杂网络的拓扑结构及特点	94
5.4 SDH网络的整体层次结构	98
5.5 PDH向SDH过渡的策略	100
小结	102
习题	102
<b>第六节 光接口类型和参数</b>	104
6.1 光纤的种类	104
6.2 光接口类型	105
6.3 光接口参数	106
6.3.1 光线路码型	106
6.3.2 S点参数——光发送机参数	107
6.3.3 R点参数——光接收机参数	108
小结	110
习题	110
<b>第七节 定时与同步</b>	111
7.1 同步方式	111
7.2 主从同步网中从时钟的工作模式	113
7.3 SDH的引入对网同步的要求	113
7.4 SDH网的同步方式	114
7.4.1 SDH网同步原则	114
7.4.2 SDH网元时钟源的种类	115
7.4.3 SDH网络常见的定时方式	115
7.5 S1字节和SDH网络时钟保护倒换原理	119
小结	124
习题	124

第八节 传输性能 .....	125
8.1 误码性能 .....	125
8.1.1 误码的产生和分布 .....	125
8.1.2 误码性能的度量 .....	126
8.1.3 数字段相关的误码指标 .....	127
8.1.4 误码减少策略 .....	127
8.2 可用性参数 .....	128
8.3 抖动漂移性能 .....	128
8.3.1 抖动和漂移的产生机理 .....	129
8.3.2 抖动性能规范 .....	129
8.3.3 抖动减少的策略 .....	131
小结 .....	132
习题 .....	132
习题答案 .....	133
专用词汇及缩略语 .....	135

## 前 言

您好，欢迎阅读本课程！随着华为技术有限公司的不断发展，其通信产品的应用也越来越广泛。作为华为公司产品之一的SDH光传输产品——OptiX 系列155、622、2.5G、10G等产品已经被越来越多地用来组建各级传输网络。

您是我们尊敬的客户，如果准备学习我公司的OptiX 系列光传输产品，那么本课程SDH原理正好适合于您。通过学习这部分的内容，使您对SDH建立起一个整体的概念，为以后深入学习SDH设备奠定基础。

### 读者对象

本课程主要是为OptiX 系列传输设备的维护人员编写的，此课程的读者在学习之前应具备如下条件：

基本的通信理论基础，如PCM、PDH相关知识；


基本的光纤通信理论；

想通过本次学习为以后的维护工作打下坚实的基础，尽管预料到本次学习会比较艰辛，但相信您已下定了决心。

### 如何阅读本课程

本课程是理论课程，当然要求您认真地按本课程的讲述次序循序渐进地将内容学完，力求弄懂、吃透。因为这些是您以后维护设备，以及更进一步提高自己维护水平的基础。还有，SDH原理讲述的内容较多、较零乱，在阅读时要尽量将其系统化。同时，只要求您弄懂理论，没有必要死记硬背，关键是理解。

课程中的每一部分都有一些生动有趣的图标，正确充分地用好这些图标，会使您的学习变得轻松有趣而又事半功倍，何乐而不为呢？

 目标：

该图标表示这部分内容是您在相应节的学习目标。



注意：

该图标表示若不按照指示操作，可能会无意义或是达不到设定的操作目标。

 技术细节:

该图标表示这部分内容为技术细节，属于比较专业的东西。如果您不想了解得那么深入，可以跳过它们。

 诀窍:

该图标表示这部分内容是小技巧，您利用它们可以方便操作或节省时间。

 警告:

当心，您应当尽量避免发生此类问题，否则后果严重！

? 想一想:

注意，问题出现了，这需要您来回答。不过答不上来不要紧，可以看答案。本来嘛，这又不是考试。

好了，引言写到这里差不多该结束了，我们马上开始下一步的学习，一同将本课程学完。理论课的学习是比较枯燥，但要有畏难情绪，相信通过努力，您一定会弄懂SDH的原理，貌似艰深的理论，到时对您来说也不过如此罢了。

# 课程说明

## 课程简介

本课程本着深入浅出的原则，以平实的语言讲述SDH的基本概念，以此作为学习后续课程以及日后在维护工作中不断提高的基础。对于更深入的理论一般不涉及。通过大量的事例，力求使抽象的理论具体化、形象化，减少学习的枯燥感，激发你的学习兴趣。

本课程的内容包括：**SDH概述**、**SDH信号帧结构及复用步骤**、**开销和指针**、**逻辑设备的组成**、**SDH网络结构和网络保护机理**、**光接口类型参数**、**定时与同步**、**传输性能**。

## 课程结构

本课程分八节，它们按一定的顺序组成一个有机的整体。在阅读时，希望你能按顺序依次阅读。

### 第一节 SDH概述

通过本节的学习，你会对SDH概念建立一个整体的轮廓，了解SDH为什么会产生，以及SDH究竟是什么东西。

### 第二节 SDH信号的帧结构和复用步骤

讲述SDH信号帧的组成和帧中各部分所起的大致作用，以及PDH信号和SDH低阶信号是怎样复用进SDH高级别信号中的。

### 第三节 开销和指针

讲述了SDH体制的监控功能层层细化的实现——段开销、通道开销，以及确保SDH从高速信号中直接下低速信号的功能实现——指针的工作机理。

### 第四节 SDH设备的逻辑组成

讲述了组成SDH设备的各个功能块的功能，及各个功能块所监测的告警、性能事件和监测机理。设备的告警流程图、SDH传输网的常见网元类型及其功能。

### 第五节 SDH网络结构和网络保护机理

讲述SDH网络几种基本的拓扑结构的特点和适用范围，讲述常见几种自愈环的保护机理和适用范围，讲述几种复杂网络拓扑形式。

### 第六节 光接口类型和参数

讲述SDH系统的常用光接口类型及描述光接口的常用参数的概念。

### 第七节 定时与同步

讲述数字网的几种基本的同步方式，SDH传输网所使用的同步方式及其特点。

### 第八节 传输性能

讲述衡量SDH网传输质量的误码、抖动主要参数的概念。

## 课程目标

通过本课程的学习，你应掌握：

SDH的产生技术背景和PDH相对比有什么特点；

SDH信号帧的组成以及常见PDH信号复用进SDH帧的步骤；

SDH监控的实现——开销、以及指针定位的机理；

SDH设备的功能块组成和告警维护信号的产生机理及流程图；

常见SDH网络的特点和常用自愈网络的工作机理及特点；

光接口的主要参数；

SDH网基本的同步方式及工作机理；

衡量传输性能的主要参数。

## 参考资料

《光同步传输网技术》

北京邮电大学

## 第一节 SDH概述

---

目标：

了解SDH的产生背景——为什么会产生SDH传输体制。

了解SDH体制的优点和不足。

建立有关SDH的整体概念为以后更深入的学习打下基础。

---

### 1.1 SDH产生的技术背景——为什么会产生SDH传输体制

在讲SDH传输体制之前，我们首先要搞清楚SDH到底是什么。那么SDH是什么呢？SDH全称叫做同步数字传输体制，由此可见SDH是一种传输的体制（协议），就象PDH——准同步数字传输体制一样，SDH这种传输体制规范了数字信号的帧结构、复用方式、传输速率等级，接口码型等特性。

那么SDH产生的技术背景是什么呢？

我们知道当今社会是信息社会，高度发达的信息社会要求通信网能提供多种多样的电信业务，通过通信网传输、交换、处理的信息量将不断增大，这就要求现代化的通信网向数字化、综合化、智能化和个人化方向发展。

传输系统是通信网的重要组成部分，传输系统的好坏直接制约着通信网的发展。当前世界各国大力发展的信息高速公路，其中一个重点就是组建大容量的传输光纤网络，不断提高传输线路上的信号速率，扩宽传输频带，就好比一条不断扩展的能容纳大量车流的高速公路。同时用户希望传输网能有世界范围的接口标准，能实现我们这个地球村中的每一个用户能随时随地便捷地通信。

目前传统的由PDH传输体制组建的传输网，由于其复用的方式很明显的不能满足信号大容量传输的要求，另外PDH体制的地区性规范也使网络互连增加了难度，由此看出在通信网向大容量、标准化发展的今天，PDH的传输体制已经愈来愈成为现代通信网的瓶颈，制约了传输网向更高的速率发展。

传统的PDH传输体制的缺陷体现在以下几个方面：

## 1. 接口方面

1) 只有地区性的电接口规范，不存在世界性标准。现有的PDH数字信号序列有三种信号速率等级：欧洲系列、北美系列和日本系列。各种信号系列的电接口速率等级以及信号的帧结构、复用方式均不相同，这种局面造成了国际互通的困难，不适应当前随时随地便捷通信的发展趋势。三种信号系列的电接口速率等级如图1-1所示。

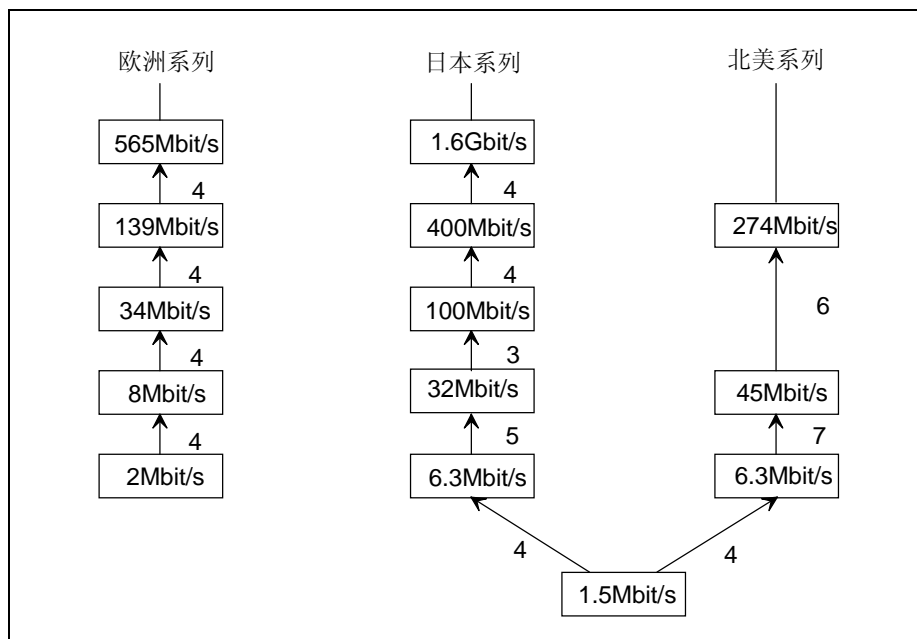


图1-1 电接口速率等级图

2) 没有世界性标准的光接口规范。为了完成设备对光路上的传输性能进行监控，各厂家各自采用自行开发的线路码型。典型的例子是mBnB码。其中mB为信息码，nB是冗余码，冗余码的作用是实现设备对线路传输性能的监控功能。由于冗余码的接入使同一速率等级上光接口的信号速率大于电接口的标准信号速率，不仅增加了发光器的光功率代价，而且由于各厂家在进行线路编码时，为完成不同的线路监控功能，在信息码后加上不同的冗余码，导致不同厂家同一速率等级的光接口码型和速率也不一样，致使不同厂家的设备无法实现横向兼容。这样在同一传输路线两端必须采用同一厂家的设备，给组网、管理及网络互通带来困难。

## 2. 复用方式

现在的PDH体制中，只有1.5Mbit/s和2Mbit/s速率的信号（包括日本系列6.3Mbit/s速率的信号）是同步的，其他速率的信号都是异步的，需要通过码

速的调整来匹配和容纳时钟的差异。由于PDH采用异步复用方式，那么就导致当低速信号复用到高速信号时，其在高速信号的帧结构中的位置没规律性和固定性。也就是说在高速信号中不能确认低速信号的位置，而这一点正是能否从高速信号中直接分/插出低速信号的关键所在。正如你在一堆人中寻找一个没见过的人时，若这一堆人排成整齐的队列，那么你只要知道所要找的人站在这堆人中的第几排和第几列，就可以将他找了出来。若这一堆人杂乱无章的站在一起，若要找到你想找的人，就只能一个一个的按照片去寻找了。

既然PDH采用异步复用方式，那么从PDH的高速信号中就不能直接的分/插出低速信号，例如：不能从140Mbit/s的信号中直接分/插出2Mbit/s的信号。这就会引起两个问题：

1) 从高速信号中分/插出低速信号要一级一级的进行。例如从140Mbit/s的信号中分/插出2Mbit/s低速信号要经过如下过程。如图1-2所示。

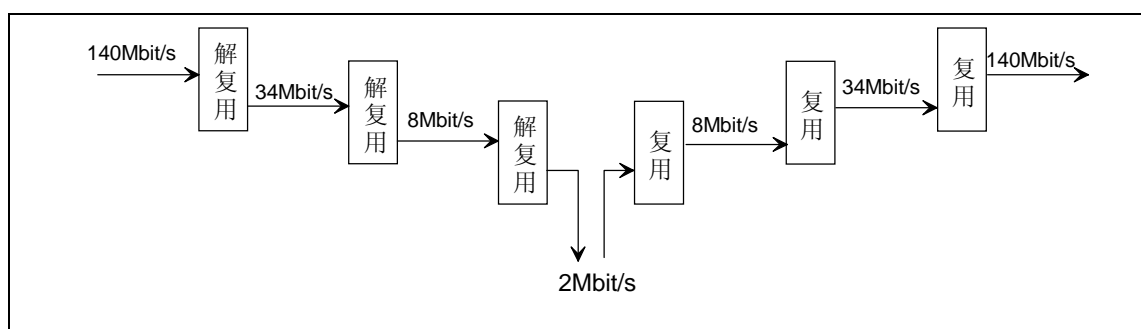


图1-2 从140Mbit/s信号分/插出2Mbit/s信号示意图

从图中看出，在将140Mbit/s信号分/插出2Mbit/s信号过程中，使用了大量的“背靠背”设备。通过三级解复用设备从140Mbit/s的信号中分出2Mbit/s低速信号；再通过三级复用设备将2Mbit/s的低速信号复用到140Mbit/s信号中。一个140Mbit/s信号可复用进64个2Mbit/s信号，若在此处仅仅从140Mbit/s信号中上下一个2Mbit/s的信号，也需要全套的三级复用和解复用设备。这样不仅增加了设备的体积、成本、功耗，还增加了设备的复杂性，降低了设备的可靠性。

2) 由于低速信号分/插到高速信号要通过层层的多复用和解复用过程，这样就会使信号在复用/解复用过程中产生的损伤加大，使传输性能劣化，在大容量传输时，此种缺点是不能容忍的。这也就是为什么PDH体制传输信号的速率没有更进一步提高的原因。

### 3. 运行维护方面

PDH信号的帧结构里用于运行维护工作（OAM）的开销字节不多，这也就是为什么在设备进行光路上的线路编码时，要通过增加冗余编码来完成线路

性能监控功能。由于PDH信号运行维护工作的开销字节少，这对完成传输网的分层管理、性能监控、业务的实时调度、传输带宽的控制、告警的分析定位是很不利的。

#### 4. 没有统一的网管接口

由于没有统一的网管接口，这就使你买一套某厂家的设备，就需买一套该厂家的网管系统。容易形成网络的七国八制的局面，不利于形成统一的电信管理网。

由于以上这种种缺陷，使PDH传输体制越来越不适应传输网的发展，于是美国贝尔通信研究所首先提出了用一整套分等级的标准数字传递结构组成的同步网络（SONET）体制，CCITT于1988年接受了SONET概念，并重命名为同步数字体系（SDH），使其成为不仅适用于光纤传输，也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。本课程主要讲述SDH体制在光纤传输网上的应用。

---

？ 想一想：

你也许在资料中看过SDH信号能直接从高速信号中下低速信号，例如直接从622Mbit/s信号中下2M信号，为什么？这种特性跟SDH所特有的同步复用方式有关，既然是同步复用方式，那么低速信号在高速信号帧中的位置是可预见，于是从高速信号中直接下低速信号就变成了一件很容易的事了。

---

## 1.2 与PDH相比SDH有哪些优势

既然SDH传输体制是PDH传输体制进化而来的，因此它具有PDH体制所无可比拟的优点，它是不同于PDH体制的全新一代传输体制，与PDH相比在技术体制上进行了根本的变革。

首先，我们先谈一谈SDH的基本概念。SDH概念的核心是从统一的国家电信网和国际互通的高度来组建数字通信网，是构成综合业务数字网（ISDN），特别是宽带综合业务数字网（B-ISDN）的重要组成部分。那么怎样理解这个概念呢？因为与传统的PDH体制不同，按SDH组建的网是一个高度统一的、标准化的、智能化的网络，它采用全球统一的接口以实现设备多厂家环境的兼容，在全程全网范围实现高效的协调一致的管理和操作，实现灵活的组网与业务调度，实现网络自愈功能，提高网络资源利用率，由于维护功能的加强大大降低了设备的运行维护费用。

下面我们就SDH所具有的优势（可以算是SDH的特点吧），从几个方面进一步说明。注意与PDH体制相对比。

## 1. 接口方面

### 1) 电接口方面

接口的规范化与否是决定不同厂家的设备能否互连的关键。SDH体制对网络节点接口（NNI）作了统一的规范。规范的内容有数字信号速率等级、帧结构、复接方法、线路接口、监控管理等。于是这就使SDH设备容易实现多厂家互连，也就是说在同一传输线路上可以安装不同厂家的设备，体现了横向兼容性。

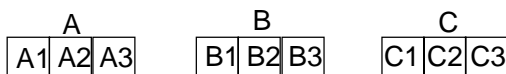
SDH体制有一套标准的信息结构等级，即有一套标准的速率等级。基本的信号传输结构等级是同步传输模块——STM-1，相应的速率是155Mbit/s。高等级的数字信号系列例如：622Mbit/s（STM-4）、2.5Gbit/s（STM-16）等，可通过将低速率等级的信息模块（例如STM-1）通过字节间插同步复接而成，复接的个数是4的倍数，例如：STM-4=4×STM-1，STM-16=4×STM-4。

---

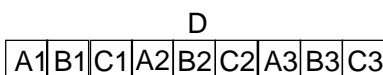
#### 技术细节：

什么是字节间插复用方式呢？

我们以一个例子来说明。有三个信号：帧结构各为每帧3个字节，若将这三



个信号通过字节间插复用方式复用成信号D，那D就应该是这样一种帧结构：帧中有9个字节，且这9个字节的排放次序如下图：



那么这样的复用方式就是字节间插复用方式。你明白了吗？

---

### 2) 光接口方面

线路接口（这里指光口）采用世界性统一标准规范，SDH信号的线路编码仅对信号进行扰码，不再进行冗余码的插入。想想看，为什么会这样？

扰码的标准是世界统一的，这样对端设备仅需通过标准的解码器就可与不同厂家SDH设备进行光口互连。扰码的目的是抑制线路码中的长连“0”和长连“1”，便于从线路信号中提取时钟信号。由于线路信号仅通过扰码，所

以SDH的线路信号速率与SDH电口标准信号速率相一致，这样就不会增加发端激光器的光功率代价。

## 2. 复用方式

由于低速SDH信号是以字节间插方式复用进高速SDH信号的帧结构中的，这样就使低速SDH信号在高速SDH信号的帧中的位置是固定的、有规律性的，也就是说是可预见的。这样就能从高速SDH信号例如2.5Gbit/s（STM-16）中直接分/插出低速SDH信号例如155Mbit/s（STM-1），这样就简化了信号的复接和分接，使SDH体制特别适合于高速大容量的光纤通信系统。

另外，由于采用了同步复用方式和灵活的映射结构，可将PDH低速支路信号（例如2Mbit/s）复用进SDH信号的帧中去（STM-N），这样使低速支路信号在STM-N帧中的位置也是可预见的，于是可以从STM-N信号中直接分/插出低速支路信号。注意此处不同于前面所说的从高速SDH信号中直接分插出低速SDH信号，此处是指从SDH信号中直接分/插出低速支路信号，例如2Mbit/s，34Mbit/s与140Mbit/s等低速信号。于是节省了大量的复接/分接设备（背靠背设备），增加了可靠性，减少了信号损伤、设备成本、功耗、复杂性等，使业务的上、下更加简便。

SDH的这种复用方式使数字交叉连接（DXC）功能更易于实现，使网络具有了很强的自愈功能，便于用户按需动态组网，实时灵活的业务调配。

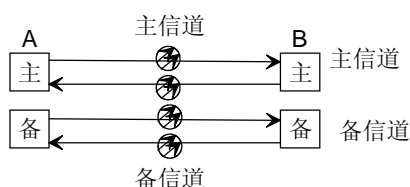
---

📖 技术细节:

什么是网络自愈功能?

网络自愈是指当业务信道损坏导致业务中断时, 网络会自动将业务切换到备用业务信道, 使业务能在较短的时间 (ITU-T规定为50ms以内) 得以恢复正常传输。注意这里仅是指业务得以恢复, 而发生故障的设备和发生故障的信道则还是要人去修复。

那么为达到网络自愈功能除了设备具有DXC功能 (完成将业务从主用信道切换到备用信道) 外, 还需要有冗余的信道 (备用信道), 冗余设备 (备用设备)。以下是一个具有自愈功能传输网的简单例子。



---

### 3. 运行维护方面

SDH信号的帧结构中安排了丰富的用于运行维护 (OAM) 功能的开销字节, 使网络的监控功能大大加强, 也就是说维护的自动化程度大大加强。PDH的信号中开销字节不多, 以致于在对线路进行性能监控时, 还要通过在线路编码时加入冗余比特来完成。以PCM30/32信号为例, 其帧结构中仅有TS0时隙和TS16时隙中的比特是用于OAM功能。

SDH信号丰富的开销占用整个帧所有比特的1/20, 大大加强了OAM功能。这样就使系统的维护费用大大降低, 而在通信设备的综合成本中, 维护费用占相当大的一部分, 于是SDH系统的综合成本要比PDH系统的综合成本低, 据估算仅为PDH系统的65.8%。

### 4. 兼容性

SDH有很强的兼容性, 这也就意味着当组建SDH传输网时, 原有的PDH传输网不会作废, 两种传输网可以共同存在。也就是说可以用SDH网传送PDH业务, 另外, 异步转移模式的信号 (ATM)、FDDI信号等其他体制的信号也可用SDH网来传输。

那么SDH传输网是怎样实现这种兼容性的呢? SDH网中用SDH信号的基本传输模块 (STM-1) 可以容纳PDH的三个数字信号系列和它的各种体制的数字信号系列——ATM、FDDI、DQDB等, 从而体现了SDH的前向兼容性和

后向兼容性，确保了PDH网向SDH网和SDH向ATM的顺利过渡。SDH是怎样容纳各种体制的信号呢？很简单，SDH把各种体制的低速信号在网络边界处（例如：SDH/PDH起点）复用进STM-1信号的帧结构中，在网络边界处（终点）再将它们拆分出来即可，这样就可以在SDH传输网上传输各种体制的数字信号了。

---

 诀窍：

在SDH网中，SDH的信号实际上起着运货车的功能，它将各种不同体制的信号（本课程主要是指PDH信号）象货物一样打成不同大小的（速率级别）包，然后装入货车（装入STM-N帧中），在SDH的主干道上（光纤上）传输。在收端从货车上卸下打成货包的货物（其它体制的信号），然后拆包封，恢复出原来体制的信号。这也就形象地说明了不同体制的低速信号复用进SDH信号（STM-N），在SDH网上传输和最后拆分出原体制信号的全过程。

---

## 1.3 SDH的缺陷所在

凡事有利就有弊，SDH的这些优点是以牺牲其他方面为代价的。

### 1. 频带利用率低

我们知道有效性和可靠性是一对矛盾，增加了有效性必将降低可靠性，增加可靠性也会相应的使有效性降低。例如，收音机的选择性增加，可选的电台就增多，这样就提高了选择性。但是由于这时通频带相应的会变窄，必然会使音质下降，也就是可靠性下降。相应的，SDH的一个很大的优势是系统的可靠性大大的增强了（运行维护的自动化程度高），这是由于在SDH的信号——STM-N帧中加入了大量的用于OAM功能的开销字节，这样必然会使在传输同样多有效信息的情况下，PDH信号所占用的频带（传输速率）要比SDH信号所占用的频带（传输速率）窄，即PDH信号所用的速率低。例如：SDH的STM-1信号可复用进63个2Mbit/s或3个34Mbit/s（相当于 $48 \times 2\text{Mbit/s}$ ）或1个140Mbit/s（相当于 $64 \times 2\text{Mbit/s}$ ）的PDH信号。只有当PDH信号是以140Mbit/s的信号复用进STM-1信号的帧时，STM-1信号才能容纳 $64 \times 2\text{Mbit/s}$ 的信息量，但此时它的信号速率是155Mbit/s，速率要高于PDH同样信息容量的E4信号（140Mbit/s），也就是说STM-1所占用的传输频带要大于PDH E4信号的传输频带（二者的信息容量是一样的）。

### 2. 指针调整机理复杂

SDH体制可从高速信号（例如STM-1）中直接下低速信号（例如2Mbit/s），省去了多级复用/解复用过程。而这种功能的实现是通过指针机理来完成的，指针的作用就是时刻指示低速信号的位置，以便在“拆包”时能正确地拆分出所需的低速信号，保证了SDH从高速信号中直接下低速信号的功能的实现。可以说指针是SDH的一大特色。

但是指针功能的实现增加了系统的复杂性。最重要的是使系统产生SDH的一种特有抖动——由指针调整引起的结合抖动。这种抖动多发于网络边界处（SDH/PDH），其频率低，幅度大，会导致低速信号在拆出后性能劣化，这种抖动的滤除会相当困难。

### 3. 软件的大量使用对系统安全性的影响

SDH的一大特点是OAM的自动化程度高，这也意味软件在系统中占用相当大的比重，这就使系统很容易受到计算机病毒的侵害，特别是在计算机病毒无处不在的今天。另外，在网络层上人为的错误操作、软件故障，对系统的影响也是致命的。这样系统的安全性就成了很重要的一个方面。

SDH体制是一种新生事物，尽管还有这样那样的缺陷，但它已在传输网的发展中，显露出了强大的生命力，传输网从PDH过渡到SDH已是一个必然的趋势。

---

? 想一想:

在这一节你学到了些什么?

1. SDH究竟是什么?
2. 为什么会出现SDH的传输体制?
3. 与PDH相对比SDH有什么优势?
4. SDH的局限性是什么?

是否已建立了SDH的整体概念?

---

## 小结

本节主要讲述了SDH体制产生的技术背景、SDH的特点，主要是建立SDH的整体概念。

## 习题

1. 为什么SDH体制适合大容量传输的情况？

## 第二节 SDH信号的帧结构和复用步骤

目标：

掌握STM-N信号的帧结构（以STM-1信号的帧结构为例）。

掌握STM-N信号帧中各部分结构所起的大致作用。

掌握2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s复用进STM-N信号的全过程。

掌握复用和映射的概念。

### 2.1 SDH信号——STM-N的帧结构

SDH信号需要什么样的帧结构呢？

STM-N信号帧结构的安排应尽可能使支路低速信号在一帧内均匀地、有规律的分布。为什么呢？因为这样便于实现支路的同步复用、交叉连接（DXC）、分/插和交换，说到底就为了方便的从高速信号中直接上/下低速支路信号。鉴于此，ITU-T规定了STM-N的帧是以字节（8bit）为单位的矩形块状帧结构，如图2-1所示。

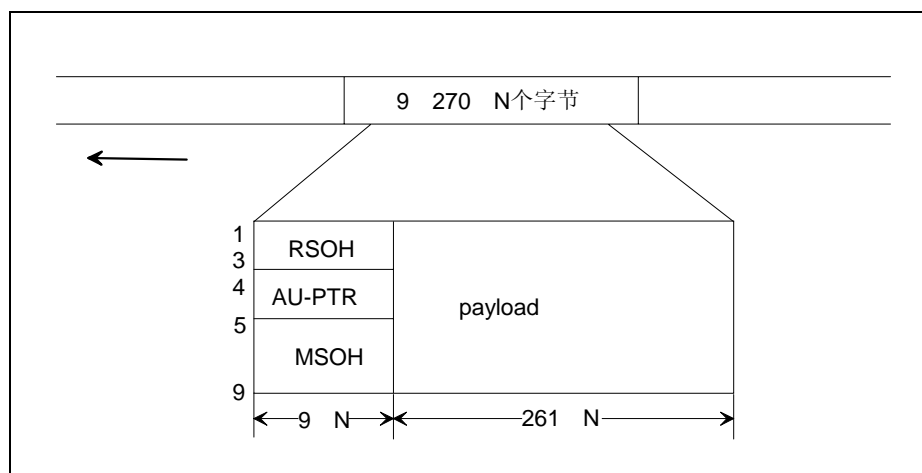


图2-1 STM-N 帧结构图

---

 诀窍:

块状帧是什么呢?

为了便于对信号进行分析,往往将信号的帧结构等效为块状帧结构,这不是SDH信号所特有的,PDH信号、ATM信号,分组交换的数据包,它们的帧结构都算是块状帧。例如,E1信号的帧是32个字节组成的1行×32列的块状帧,ATM信号是53个字节构成的块状帧。将信号的帧结构等效为块状,仅仅是为了分析的方便。

---

从上图看出STM-N的信号是9行×270×N列的帧结构。此处的N与STM-N的N相一致,取值范围:1, 4, 16, 64……。表示此信号由N个STM-1信号通过字节间插复用而成。由此可知,STM-1信号的帧结构是9行×270列的块状帧,由上图看出,当N个STM-1信号通过字节间插复用成STM-N信号时,仅仅是将STM-1信号的列按字节间插复用,行数恒定为9行。

我们知道,信号在线路上传输时是一个bit一个bit地进行传输的,那么这个块状帧是怎样在线路上进行传输的呢?总不会是将整个块都送上线路同时传输吧。当然不是这样传输,STM-N信号的传输也遵循按比特的传输方式,那么先传哪些比特后传哪些比特呢?SDH信号帧传输的原则是:帧结构中的字节(8bit)从左到右,从上到下一个字节一个字节(一个比特一个比特)的传输,传完一行再传下一行,传完一帧再传下一帧。

STM-N信号的帧频(也就是每秒传送的帧数)是多少呢?ITU-T规定对于任何级别的STM等级,帧频是8000帧/秒,也就是帧长或帧周期为恒定的125μs。8000帧/秒听起来很耳熟,对了,PDH的E1信号也是8000帧/秒。

在这里你要注意到的是对于任何STM级别帧频都是8000帧/秒,帧周期的恒定是SDH信号的一大特点。想想看PDH不同等级信号的帧周期是否恒定?由于帧周期的恒定使STM-N信号的速率有其规律性。例如STM-4的传输数速恒定的等于STM-1信号传输数速的4倍,STM-16恒定等于STM-4的4倍,等于STM-1的16倍。而PDH中的E2信号速率≠E1信号速率的4倍。SDH信号的这种规律性使高速SDH信号直接分/插出低速SDH信号成为可能,特别适用于大容量的传输情况。

---

? 想一想:

STM-N帧中单独一个字节位的比特传输速率是多少?

STM-N的帧频为8000帧/秒, 这就是说信号帧中某一特定字节每秒被传送8000次, 那么该字节的比特速率是 $8000 \times 8\text{bit} = 64\text{kbit/s}$ 。这个数字是不是也很眼熟, 64kbit/s是一路数字电话的传输速率。

---

从图中看出, STM-N的帧结构由3部分组成: 段开销, 包括再生段开销(RSOH)和复用段开销(MSOH); 管理单元指针(AU-PTR); 信息净负荷(payload)。下面我们讲述这三大部分的功能。

1) 信息净负荷(payload)是在STM-N帧结构中存放将由STM-N传送的各种信息码块的地方。信息净负荷区相当于STM-N这辆运货车的车箱, 车箱内装载的货物就是经过打包的低速信号——待运输的货物。为了实时监测货物(打包的低速信号)在传输过程中是否有损坏, 在将低速信号打包的过程中加入了监控开销字节——通道开销(POH)字节。POH作为净负荷的一部分与信息码块一起装载在STM-N这辆货车上在SDH网中传送, 它负责对打包的货物(低速信号)进行通道性能监视、管理和控制(有点儿类似于传感器)。

---

📖 技术细节:

何谓通道?

举例说明, STM-1信号可复用进 $63 \times 2\text{Mbit/s}$ 的信号, 那么换一种说法可将STM-1信号看成一条传输大道, 那么在这条大路上又分成了63条小路, 每条小路通过相应速率的低速信号, 那么每一条小路就相当于一个低速信号通道, 通道开销的作用就可以看成监控这些小路的传送状况了。这63个2M通道复合成了STM-1信号这条大路——此处可称为“段”了。现在你明白了吧, 所谓通道指相应的低速支路信号, POH的功能就是监测这些低速支路信号在由STM-N这辆货车承载, 在SDH网上运输时的性能。

这与将STM-N信号类比为货车, 将低速支路信号打包装入车中运输相一致。

---



注意:

信息净负荷并不等于有效负荷，因为信息净负荷中存放的是经过打包的低速信号，即在低速信号中加上了相应的POH。

---

2) 段开销 (SOH) 是为了保证信息净负荷正常灵活传送所必须附加的供网络运行、管理和维护 (OAM) 使用的字节。例如段开销可进行对STM-N这辆运货车中的所有货物在运输中是否有损坏进行监控，而POH的作用是当车上有货物损坏时，通过它来判定具体是哪一件货物出现损坏。也就是说SOH完成对货物整体的监控，POH是完成对某一件特定的货物进行监控，当然，SOH和POH还有一些管理功能。

段开销又分为再生段开销 (RSOH) 和复用段开销 (MSOH)，分别对相应的段层进行监控。我们讲过段其实也相当于一条大的传输通道，RSOH和MSOH的作用也就是对这一条大的传输通道进行监控。

那么，RSOH和MSOH的区别是什么呢？简单的讲二者的区别在于监管的范围不同。举个简单的例子，若光纤上传输的是2.5G信号，那么，RSOH监控的是STM-16整体的传输性能，而MSOH则是监控STM-16信号中每一个STM-1的性能情况。

---

#### 技术细节:

RSOH、MSOH、POH提供了对SDH信号的层层细化的监控功能。例如2.5G系统，RSOH监控的是整个STM-16的信号传输状态；MSOH监控的是STM-16中每一个STM-1信号的传输状态；POH则是监控每一个STM-1中每一个打包了的低速支路信号（例如2Mbit/s）的传输状态。这样通过开销的层层监管功能，使你可以方便地从宏观（整体）和微观（个体）的角度来监控信号的传输状态，便于分析、定位。

---

再生段开销在STM-N帧中的位置是第一到第三行的第一到第 $9 \times N$ 列，共 $3 \times 9 \times N$ 个字节；复用段开销在STM-N帧中的位置是第5到第9行的第一到第 $9 \times N$ 列，共 $5 \times 9 \times N$ 个字节。与PDH信号的帧结构相比较，段开销丰富是SDH信号帧结构的一个重要的特点。

#### 3) 管理单元指针 (AU-PTR)

管理单元指针位于STM-N帧中第4行的 $9 \times N$ 列，共 $9 \times N$ 个字节，AU-PTR起什么作用呢？我们讲过SDH能够从高速信号中直接分/插出低速支路信号（例如2Mbit/s），为什么会这样呢？这是因为低速支路信号在高速SDH信号帧中

的位置有预见性，也就是有规律性。预见性的实现就在于SDH帧结构中指针开销字节功能。AU-PTR是用来指示信息净负荷的第一个字节在STM-N帧内的准确位置的指示符，以便收端能根据这个位置指示符的值（指针值）正确分离信息净负荷。这句话怎样理解呢？若仓库中以堆为单位存放了很多货物，每堆货物中的各件货物（低速支路信号）的摆放是有规律性的（字节间插复用），那么若要定位仓库中某件货物的位置就只要知道这堆货物的具体位置就可以了，也就是说只要知道这堆货物的第一件货物放在哪儿，然后通过本堆货物摆放位置的规律性，就可以直接定位出本堆货物中任一件货物的准确位置，这样就可以直接从仓库中搬运（直接分/插）某一件特定货物（低速支路信号）。AU-PTR的作用就是指示这堆货物中第一件货物的位置。

其实指针有高、低阶之分，高阶指针是AU-PTR，低阶指针是TU-PTR（支路单元指针），TU-PTR的作用类似于AU-PTR，只不过所指示的货物堆更小一些而已。

## 2.2 SDH的复用结构和步骤

SDH的复用包括两种情况：一种是低阶的SDH信号复用成高阶SDH信号；另一种是低速支路信号（例如2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s）复用成SDH信号STM-N。

第一种情况在前面已有所提及，复用的方法主要通过字节间插复用方式来完成的，复用的个数是4合一，即 $4 \times \text{STM-1} \rightarrow \text{STM-4}$ ， $4 \times \text{STM-4} \rightarrow \text{STM-16}$ 。在复用过程中保持帧频不变（8000帧/秒），这就意味着高一级的STM-N信号是低一级的STM-N信号速率的4倍。在进行字节间插复用过程中，各帧的信息净负荷和指针字节按原值进行间插复用，而段开销则会有些取舍。在复用成的STM-N帧中，SOH并不是所有低阶SDH帧中的段开销间插复用而成，而是舍弃了一些低阶帧中的段开销，其具体的复用方法在下一节中讲述。

第二种情况用得最多的就是将PDH信号复用进STM-N信号中去。

传统的将低速信号复用成高速信号的方法有两种：

- 比特塞入法（又叫做码速调整法）

这种方法利用固定位置的比特塞入指示来显示塞入的比特是否载有信号数据，允许被复用的净负荷有较大的频率差异（异步复用），因为存在一个比特塞入和去塞入的过程（码速调整），而不能将支路信号直接接入高速复用信号或从高速信号中分出低速支路信号，也就是说不能直接从高速信号中上/下低速支路信号，要一级一级的进行，这也就是PDH的复用方式。

- 固定位置映射法

这种方法利用低速信号在高速信号中的特殊位置来携带低速同步信号，要求低速信号与高速信号同步，也就是说帧频相一致，可方便的从高速信号中直

接上/下低速支路信号，但当高速信号和低速信号间出现频差和相差（不同步）时，要用125 μs（8000帧/秒）缓存器来进行频率校正和相位对准，导致信号较大延时和滑动损伤。

从上面看出这两种复用方式都有一些缺陷，比特塞入法无法从高速信号中上/下低速支路信号；固定位置映射法引入的信号时延过大。

SDH网的兼容性要求SDH的复用方式既能满足异步复用（例如：将PDH信号复用进STM-N），又能满足同步复用（例如STM-1→STM-4），而且能方便地由高速STM-N信号分/插出低速信号，同时不造成较大的信号时延和滑动损伤，这就要求SDH需采用自己独特的一套复用步骤和复用结构。在这种复用结构中，通过指针调整定位技术来取代125 μs缓存器用以校正支路信号频差和实现相位对准，各种业务信号复用进STM-N帧的过程都要经历映射（相当于信号打包）、定位（相当于指针调整）、复用（相当于字节间插复用）三个步骤。

ITU-T规定了一整套完整的复用结构（也就是复用路线），通过这些路线可将PDH的3个系列的数字信号以多种方法复用成STM-N信号。ITU-T规定的复用路线如图2-2。

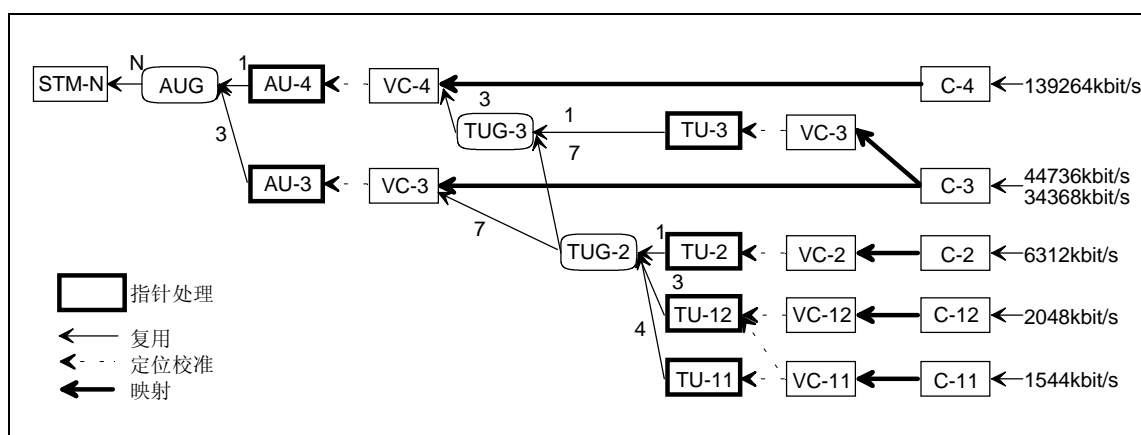


图2-2 G.709复用映射结构

从图2-2中可以看到此复用结构包括了一些基本的复用单元：C—容器、VC—虚容器、TU—支路单元、TUG—支路单元组、AU—管理单元、AUG—管理单元组，这些复用单元的下标表示与此复用单元相应的信号级别。在图中从一个有效负荷到STM-N的复用路线不是唯一的，有多条路线（也就是说有多种复用方法）。例如：2Mbit/s的信号有两条复用路线，也就是说可用两种方法复用成STM-N信号。不知你注意到没有，8Mbit/s的PDH信号是无法复用成STM-N信号的。

尽管一种信号复用成SDH的STM-N信号的路线有多种，但是对于一个国家或地区则必须使复用路线唯一化。我国的光同步传输网技术体制规定了以2Mbit/s信号为基础的PDH系列作为SDH的有效负荷，并选用AU-4的复用路线，其结构见图2-3所示。

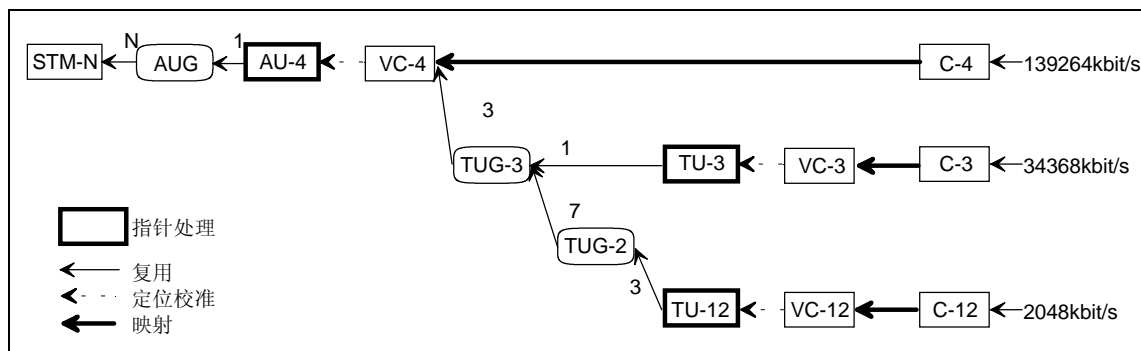


图2-3 我国的SDH基本复用映射结构

下面我们分别讲述2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s的PDH信号是如何复用进STM-N信号中的。

### 2.2.1 140Mbit/s复用进STM-N信号

1) 首先将140Mbit/s的PDH信号经过码速调整（比特塞入法）适配进C4，C4是用来装载140Mbit/s的PDH信号的标准信息结构。参与SDH复用的各种速率的业务信号都应首先通过码速调整适配技术装进一个与信号速率级别相对应的标准容器：2Mbit/s——C12、34Mbit/s——C3、140Mbit/s——C4。容器的主要作用就是进行速率调整。140Mbit/s的信号装入C4也就相当于将其打了包封，使140Mbit/s信号的速率调整为标准的C4速率。C4的帧结构是以字节为单位的块状帧，帧频是8000帧/秒，也就是说经过速率适配，140Mbit/s的信号在适配成C4信号时已经与SDH传输网同步了。这个过程也就相当于C4装入异步140Mbit/s的信号。C4的帧结构如图2-4所示。

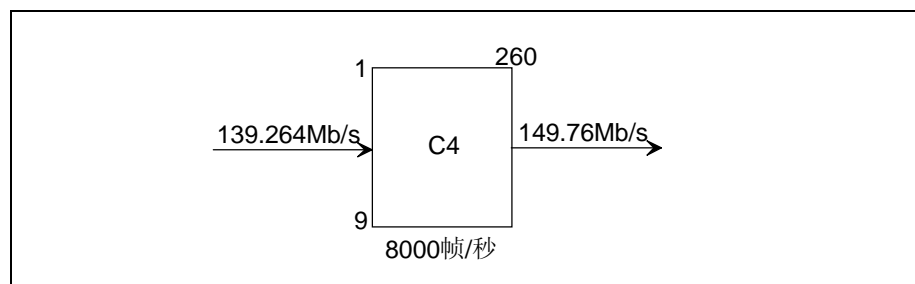


图2-4 C4 的帧结构图

C4信号的帧有260列×9行（PDH信号在复用进STM-N中时，其块状帧一直保持是9行），那么E4信号适配速率后的信号速率（也就是C4信号的速率）为： $8000\text{帧/秒} \times 9\text{行} \times 260\text{列} \times 8\text{bit} = 149.760\text{Mbit/s}$ 。所谓对异步信号进行速率适配，其实际含义就是指当异步信号的速率在一定范围内变动时，通过码速调整可将其速率转换为标准速率。在这里，E4信号的速率范围是 $139.264\text{Mbit/s} \pm 15\text{ppm}$ （G.703规范标准） $= (139.261 - 139.266)\text{Mbit/s}$ ，那么通过速率适配可将这个速率范围的E4信号，调整成标准的C4速率149.760Mbit/s，也就是说能够装入C4容器。

怎样进行E4信号的速率调整呢？

可将C4的基帧（9行×260列）划分为9个子帧，每个子帧占一行。每个子帧又可以13个字节为一个单位，分成20个单位（20个13字节块）。每个子帧的20个13字节块的第1个字节依次为：W、X、Y、Y、Y、X、Y、Y、Y、X、Y、Y、Y、X、Y、Y、Y、X、Y、Z，共20个字节，每个13字节块的第2到第13字节放的是140Mbit/s的信息比特。见图2-5：

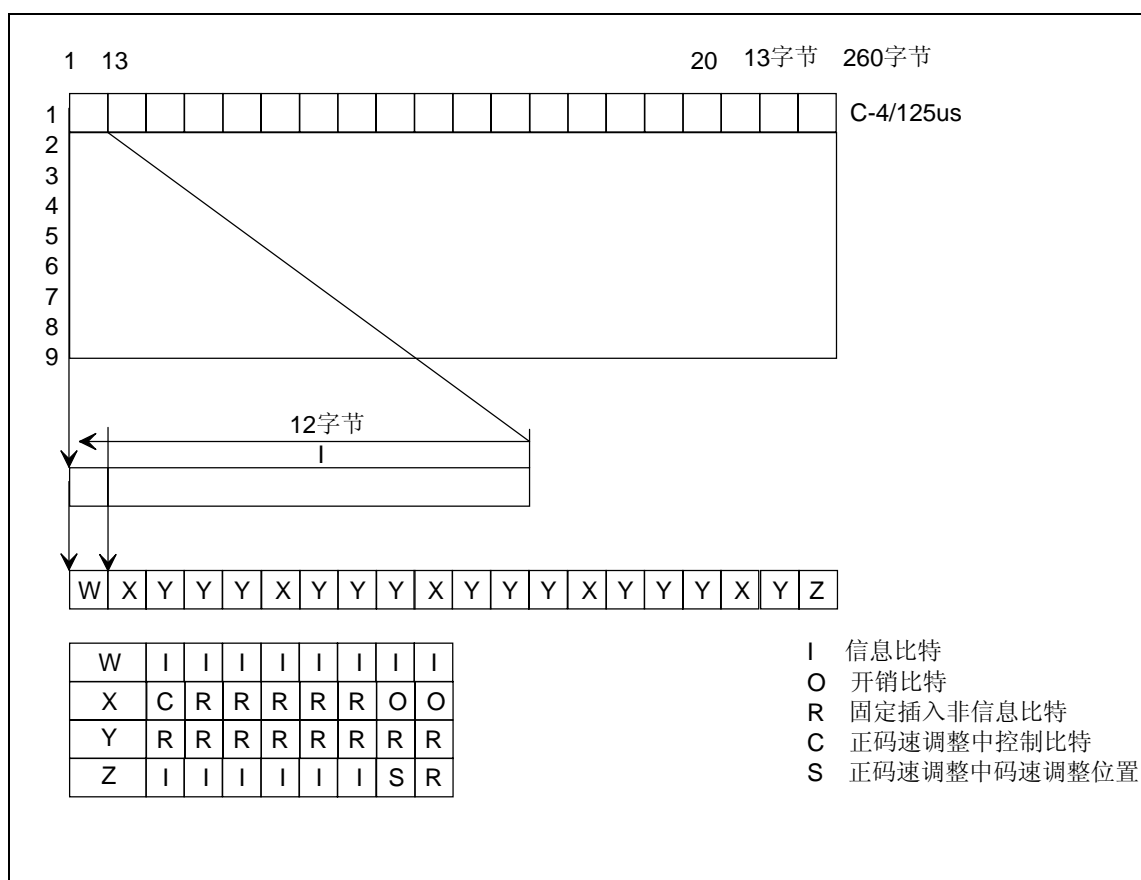


图2-5 C-4的子帧结构

E4信号的速率适配就是通过9个子帧的共180个13字节块的首字节来实现。那么怎么实现的呢？一个子帧中每个13字节块的后12个字节均为W字节再加上第一个13字节的第一个字节也是W字节共241个W字节、5个X字节、13个Y字节、1个Z字节。各字节的比特内容见图2-5。那么一个子帧的组成是：

$$C4子帧 = 241W + 13Y + 5X + 1Z = 260个字节 = (1934I + S) + 5C + 130R + 10O = 2080bit$$

一个C4子帧总计有 $8 \times 260 = 2080bit$ ，其分配是：

信息比特I：1934；固定塞入比特R：130；开销比特O：10；调整控制比特C：5；调整机会比特S：1。

C比特主要用来控制相应的调整机会比特S，当CCCCC=00000时， $S=I$ ；当CCCCC=11111时， $S=R$ 。分别令S为I或S为R，可算出C-4容器能容纳的信息速率的上限和下限。

当 $S=I$ 时，C-4能容纳的信息速率最大， $C-4_{max} = (1934 + 1) \times 9 \times 8000 = 139.320Mbit/s$ ；当 $S=R$ 时，C-4能容纳的信息速率最小， $C-4_{min} = (1934 + 0) \times 9 \times 8000 = 139.248Mbit/s$ 。也就是说C-4容器能容纳的E4信号的速率范围是 $139.248Mbit/s - 139.320Mbit/s$ 。而符合G.703规范的E4信号速率范围是 $139.261Mbit/s - 139.266Mbit/s$ ，这样，C4容器就可以装载速率在一定范围内的E4信号，也就是可以对符合G.703规范的E4信号进行速率适配，适配后为标准C4速率—— $149.760Mbit/s$ 。

2) 为了能够对 $140Mbit/s$ 的通道信号进行监控，在复用过程中要在C4的块状帧前加上一列通道开销字节（高阶通道开销VC4-POH），此时信号成为VC4信息结构，见图2-6所示。

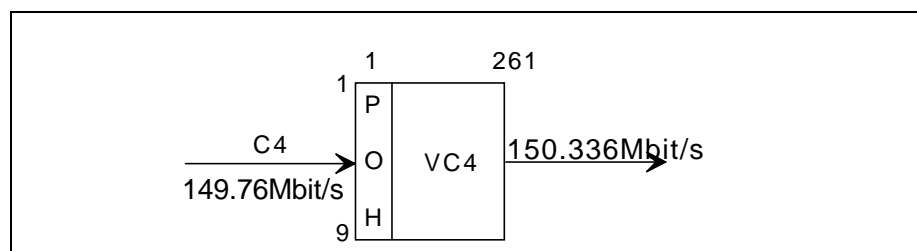


图2-6 VC4结构图

VC4是与 $140Mbit/s$ PDH信号相对应的标准虚容器，此过程相当于对C4信号再打一个包封，将对通道进行监控管理的开销（POH）打入包封中去，以实现

虚容器（VC）的封装速率也是与SDH网络同步的，不同的VC（例如与2Mbit/s相对应的VC12、与34Mbit/s相对应的VC3）是相互同步的，而虚容器内部却允许装载来自不同容器的异步净负荷。虚容器这种信息结构在SDH网络传输中保持其完整性不变，也就是可将其看成独立的单位（货包），十分灵活和方便地在通道中任一点插入或取出，进行同步复用和交叉连接处理。

其实，从高速信号中直接定位上/下的是相应信号的VC这个信号包，然后通过打包/拆包来上/下低速支路信号。

在将C4打包成VC4时，要加入9个开销字节，位于VC4帧的第一列，这时VC4的帧结构，就成了9行×261列。从中发现了什么没有？STM-N的帧结构中，信息净负荷为9行×261×N列，当为STM-1时，即为9行×261列，现在你明白了吧！VC4其实就是STM-1帧的信息净负荷。将PDH信号经打包成C，再加上相应的通道开销而成VC这种信息结构，这个过程就叫映射。

3）货物都打成了标准的包封，现在就可以往STM-N这辆车上装载了。装载的位置是其信息净负荷区。在装载货物（VC）的时候会出现这样一个问题，当货物装载的速度和货车等待装载的时间（STM-N的帧周期125 μs）不一致时，就会使货物在车箱内的位置“浮动”，那么在收端怎样才能正确分离货物包呢？SDH采用在VC4前附加一个管理单元指针（AU-PTR）来解决这个问题。此时信号由VC4变成了管理单元AU-4这种信息结构，见图2-7所示。

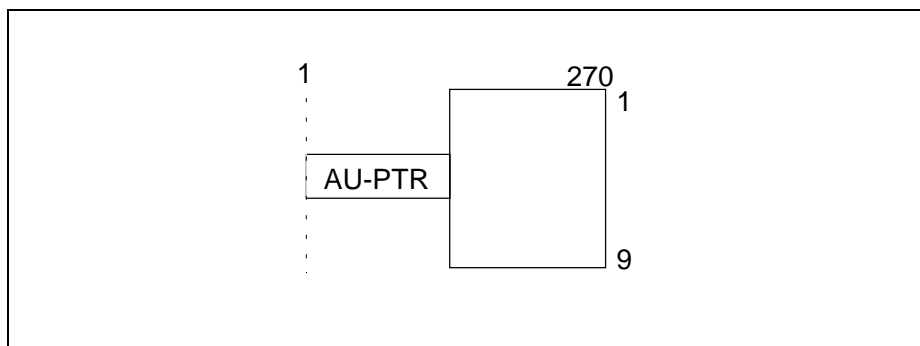


图2-7 AU-4结构图

AU-4这种信息结构已初具STM-1信号的雏形——9行×270列，只不过缺少SOH部分而已，这种信息结构其实也算是将VC4信息包再加了一个包封——AU-4。

管理单元为高阶通道层和复用段层提供适配功能，由高阶VC和AU指针组成。AU指针的作用是指明高阶VC在STM帧中的位置，也就是说指明VC货包在STM-N车箱中的具体位置。通过指针的作用，允许高阶VC在STM帧内浮动，也就是说允许VC4和AU-4有一定的频偏和相差。换句话说，允许货物的装载速度与车辆的等待时间有一定的时间差异，也可以这样说允许VC4的速率和

AU-4包封速率（装载速率）有一定的差异。这种差异性不会影响收端正确的定位、分离VC4。尽管货物包可能在车箱内（信息净负荷区）“浮动”，但是AU-PTR本身在STM帧内的位置是固定的，为什么？AU-PTR不在净负荷区，而是和段开销在一起。这就保证了收端能正确的在相应位置找到AU-PTR，进而通过AU指针定位VC4的位置，进而从STM-N信号中分离出VC4。

一个或多个在STM帧由占用固定位置的AU组成AUG——管理单元组。

4）只剩下最后一步了，将AU-4加上相应的SOH合成STM-1信号，N个STM-1信号通过字节间插复用成STM-N信号。140Mbit/s→STM-N的复用全过程见第二节后的附图。

### 2.2.2 34Mbit/s复用进STM-N信号

1）同样34Mbit/s的信号先经过码速调整将其适配到相应的标准容器—C3中，然后加上相应的通道开销C3打包成VC3，此时的帧结构是9行×85列。为了便于收端定位VC3，以便能将它从高速信号中直接拆离出来，在VC3的帧上加了3个字节的指针——TU-PTR（支路单元指针），注意AU-PTR是9个字节。此时的信息结构是支路单元TU-3（与34Mbit/s的信号相应的信息结构），支路单元提供低阶通道层（低阶VC，例如VC3）和高阶通道层之间的桥梁，也就是说高阶通道（高阶VC）拆分成低阶通道（低阶VC），或低阶通道复用成高阶通道的中间过渡信息结构。C3、VC3的帧结构见第二节后的附图。

那么支路单元指针起什么作用呢？TU-PTR用以指示低阶VC的起点在支路单元TU中的具体位置。与AU-PTR很类似，AU-PTR是指示VC4起点在STM帧中的具体位置，实际上二者的工作机理也很类似。我们可以将TU类比成一个小的AU-4，那么在装载低阶VC到TU中时也就需要有一个定位的过程——加入TU-PTR的过程。

此时的帧结构TU3如图2-8所示。

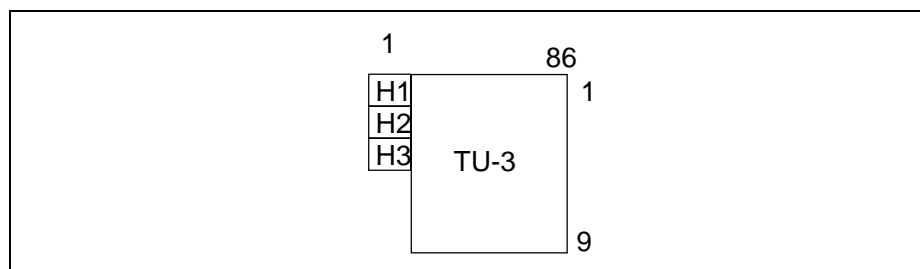


图2-8 装入TU-PTR后的TU3 结构图

2) TU3的帧结构有点残缺, 先将其缺口部分补上, 成图2-9所示的帧结构。

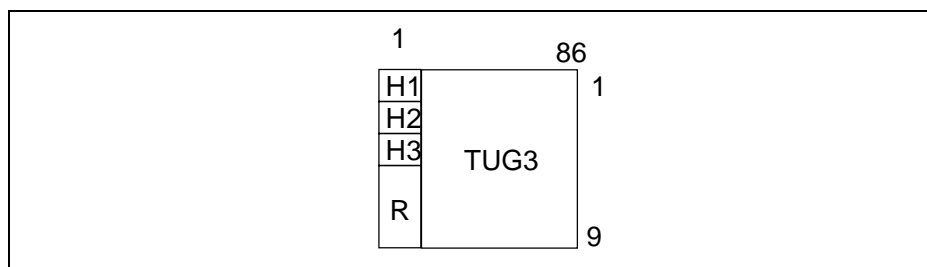


图2-9 填补缺口后的TU3 帧结构图

图中R为塞入的伪随机信息, 这时的信息结构为TUG3——支路单元组。

3) 三个TUG3通过字节间插复用方式, 复合成C4信号结构, 复合过程见图2-10所示。

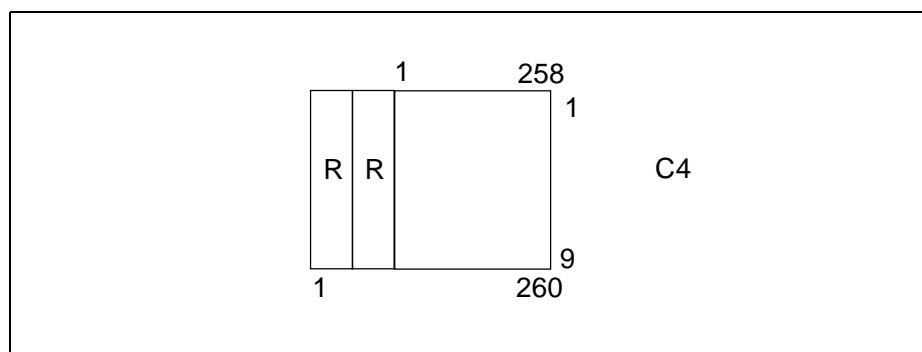


图2-10 C4 帧结构图

因为TUG3是9行×86列的信息结构, 所以3个TUG3通过字节间插复用方式复合后的信息结构是9行×258列的块状帧结构, 而C4是9行×260列的块状帧结构。于是在3×TUG3的合成结构前面加两列塞入比特, 使其成为C4的信息结构。

4) 这时剩下的工作就是将C4→STM-N中去了, 过程同前面所讲的将140Mbit/s信号复用进STM-N信号的过程类似: C4→VC4→AU-4→AUG→STM-N。

? 想一想:

此处有两个指针AU-PTR和TU-PTR, 为什么要两个? 两个指针提供了两级定位功能, AU-PTR使收端正确定位、分离VC4, 而VC4可装载3个VC3(想想看为什么是3个?), 那么TU-PTR相应的定位每个VC3起点的具体位置。那

么，在接收端通过AU-PTR定位到相应的VC4，又通过TU-PTR定位到相应的VC3。

---

### 2.2.3 2Mbit/s复用进STM-N信号

当前运用得最多的复用方式是将2Mbit/s信号复用进STM-N信号中，它也是PDH信号复用进SDH信号最复杂的一种复用方式。

1) 首先，将2Mbit/s的PDH信号经过速率适配装载到对应的标准容器C12中，为了便于速率的适配采用了复帧的概念，即将4个C12基帧组成一个复帧。C12的基帧帧频也是8000帧/秒，那么C12复帧的帧频就成了2000帧/秒。见第二节后的附图。

那么，为什么要使用复帧呢？采用复帧纯粹是为了码速适配的方便。例如若E1信号的速率是标准的2.048Mbit/s，那么装入C12时正好是每个基帧装入32个字节（256比特）有效信息，为什么？因为C12帧频8000帧/秒，PCM30/32[E1]信号也是8000帧/秒。但当E1信号的速率不是标准速率2.048Mbit/s时，那么装入每个C12的平均比特数就不是整数。例如：E1速率是2.046Mbit/s时，那么将此信号装入C12基帧时平均每帧装入的比特数是： $(2.046 \times 10^6 \text{bit/秒}) / (8000 \text{帧/秒}) = 255.75 \text{bit}$ 有效信息，比特数不是整数，因此无法进行装入。若此时取4个基帧为一个复帧，那么正好一个复帧装入的比特数为： $(2.046 \times 10^6 \text{bit/秒}) / (2000 \text{帧/秒}) = 1023 \text{bit}$ ，可在前三个基帧每帧装入256bit（32字节）有效信息，在第4帧装入255个bit的有效信息，这样就可将此速率的E1信号完整的适配进C12中去。那么是怎样对E1信号进行速率适配（也就是怎样将其装入C12）的呢？C12基帧结构是9×4—2个字节的带缺口的块状帧，4个基帧组成一个复帧，C12复帧结构和字节安排如图2-11所示。

	Y	W	W		G	W	W		G	W	W		M	N	W
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
W	第一个 C-12基帧 结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 2Y$		W	W	第二个 C-12基帧 结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 1Y + 1G$		W	W	第三个 C-12基帧 结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 1Y + 1G$		W	W	第四个 C-12基帧 结构 $9 \times 4 - 2 = 32W + 1Y + 1M + 1N$		W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W			W	W			W	W			W	W			W
W	W	Y		W	W	Y		W	W	Y		W	W	Y	

每格为一个字节（8bit），各字节的比特类别：

$W = 11111111$

$Y = RRRRRRRR$

$G = C1C20000RR$

$M = C1C2RRRRRS1$

$N = S2111111$

I：信息比特

R：塞入比特：

O：开销比特

C1：负调整控制比特

S1：负调整位置

$C1 = 0$

$S1 = I$ ；

$C1 = 1$

$S1 = R^*$

C2：正调整控制比特

S2：正调整位置

$C2 = 0$

$S2 = I$ ；

$C2 = 1$

$S2 = R^*$

$R^*$ 表示调整比特，在收端去调整时，应忽略调整比特的值，复帧周期为  $125 \times 4 = 500 \mu s$ 。

图2-11 C-12复帧结构和字节安排

复帧中的各字节的内容见图2-11所示，一个复帧共有： $C12\text{复帧} = 4(9 \times 4 - 2) = 136\text{字节} = 127W + 5Y + 2G + 1M + 1N = (1023I + S1 + S2) + 3C1 + 49R + 8O = 1088\text{bit}$ ，其中负、正调整控制比特C1、C2分别控制负、正调整机会S1、S2。当C1C1C1=000时，S1放有效信息比特I，而C1C1C1=111时，S1放塞入比特R，C2以同样方式控制S2。

那么复帧可容纳有效信息负荷的允许速率范围是：

$$C-12\text{复帧}_{\max} = (1023 + 1 + 1) \times 2000 = 2.050\text{Mbit/s}$$

$$C-12\text{复帧}_{\min} = (1023 + 0 + 0) \times 2000 = 2.046\text{Mbit/s}$$

也就是说当E1信号适配进C12时，只要E1信号的速率范围在2.046Mbit/s——2.050Mbit/s 的范围内，就可以将其装载进标准的C12容器中，也就是说可以经过码速调整将其速率调整成标准的C12速率——2.176Mbit/s。

#### 📖 技术细节：

从第二节后的附图看，一个复帧的4个C12基帧是并行搁在一起的，这4个基帧在复用成STM-1信号时，不是复用在同一帧STM-1信号中的，而是复用在

连续的4帧STM-1中。这样为正确分离2Mbit/s的信号就有必要知道每个基帧在复帧中的位置即在复帧中的第几个基帧。

2) 为了在SDH网的传输中能实时监测任一个2Mbit/s通道信号的性能，需将C12再打包——加入相应的通道开销（低阶通道开销），使其成为VC12的信息结构。见第二节后的附图，此处LP-POH（低阶通道开销）是加在每个基帧左上角的缺口上的，一个复帧有一组低阶通道开销，共4个字节：V5、J2、N2、K4。因为VC可看成一个独立的实体，因此我们以后对2Mbit/s的业务调配是以VC12为单位的。

一组通道开销监测的是整个一个复帧在网络上传输的状态，想想看一个C12复帧装载多少帧2Mbit/s的信号？一个C12复帧装载的是4帧PCM30/32的信号，因此，一组LP-POH监控的是4帧PCM30/32信号的传输状态。

3) 为了使收端能正确定位VC12的帧，在VC12复帧的4个缺口上再加上4个字节的TU-PTR 这时信号的信息结构就变成了TU12，9行×4列。TU-PTR指示复帧中第一个VC12的起点在TU12复帧中的具体位置。

4) 3个TU12经过字节间插复用合成TUG-2，此时的帧结构是9行×12列。

5) 7个TUG-2经过字节间插复用合成TUG3的信息结构。请注意7个TUG-2合成的信息结构是9行×84列，为满足TUG3的信息结构9行×86列，则需在7个TUG-2合成的信息结构前加入两列固定塞入比特。如图2-12所示。

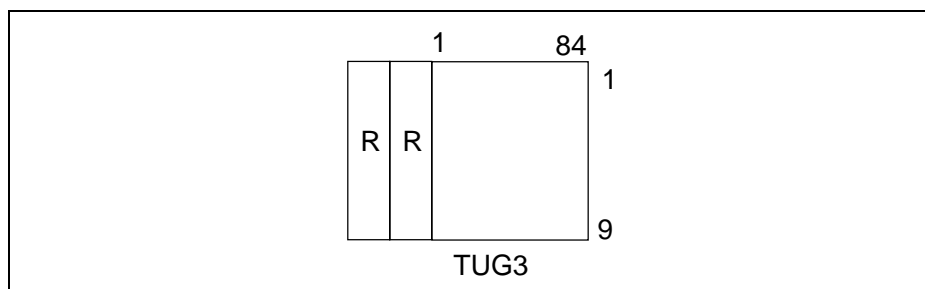


图2-12 TUG3的信息结构

6) TUG3信息结构再复用进STM-N中的步骤则与前面所讲的一样。

#### 📖 技术细节：

从140Mbit/s的信号复用进STM-N信号的过程可以看出，一个STM-N最多可承载N个140Mbit/s，也就是说，一个STM-1信号只可以复用进1个140Mbit/s的

信号，也就是说从140Mbit/s复用进STM-1，此时STM-1信号的容量相当于64个2Mbit/s的信号。

同样的从34Mbit/s的信号复用进STM-1信号，STM-1可容纳3个34Mbit/s的信号，也就是说有 $48 \times 2\text{Mbit/s}$ 的容量。

从2Mbit/s信号复用进STM-1信号，STM-1可容纳 $3 \times 7 \times 3 = 63$ 个2Mbit/s信号。

从上可看出，从140Mbit/s和从2Mbit/s复用进SDH的STM-N中，信号利用率较高。而从34Mbit/s复用进STM-N，一个STM-1只能容纳48个2Mbit/s的信号，利用率较低。

---

从2Mbit/s复用进STM-N信号的复用步骤可以看出3个TU12复用成一个TUG2，7个TUG2复用成一个TUG3，3个TUG3复用进一个VC4，一个VC4复用进1个STM-1，也就是说2Mbit/s的复用结构是3—7—3结构。由于复用的方式是字节间插方式，所在在一个VC4中的63个VC12的排列方式不是顺序来排列的。头一个TU12的序号和紧跟其后的TU12的序号相差21。

有个计算同一个VC4中不同位置TU12的序号的公式：

VC12序号 = TUG3编号 + (TUG2编号 - 1) × 3 + (TU12编号 - 1) × 21。  
TU12的位置在VC4帧中相邻是指TUG3编号相同，TUG2编号相同，而TU12编号相差为1的两个TU12。

这个公式在用SDH传输分析仪进行相关测试时会用得到。想想看序号相邻的两个TU12在VC4帧中的排列位置有何共性？

注：此处指的编号是指VC4帧中的位置编号，TUG3编号范围：1~3；TUG2编号范围：1~7；TU12编号范围：1~3。TU12序号是指本TU12是VC4帧63个TU12的按复用先后顺序的第几个TU12。见图2-13。

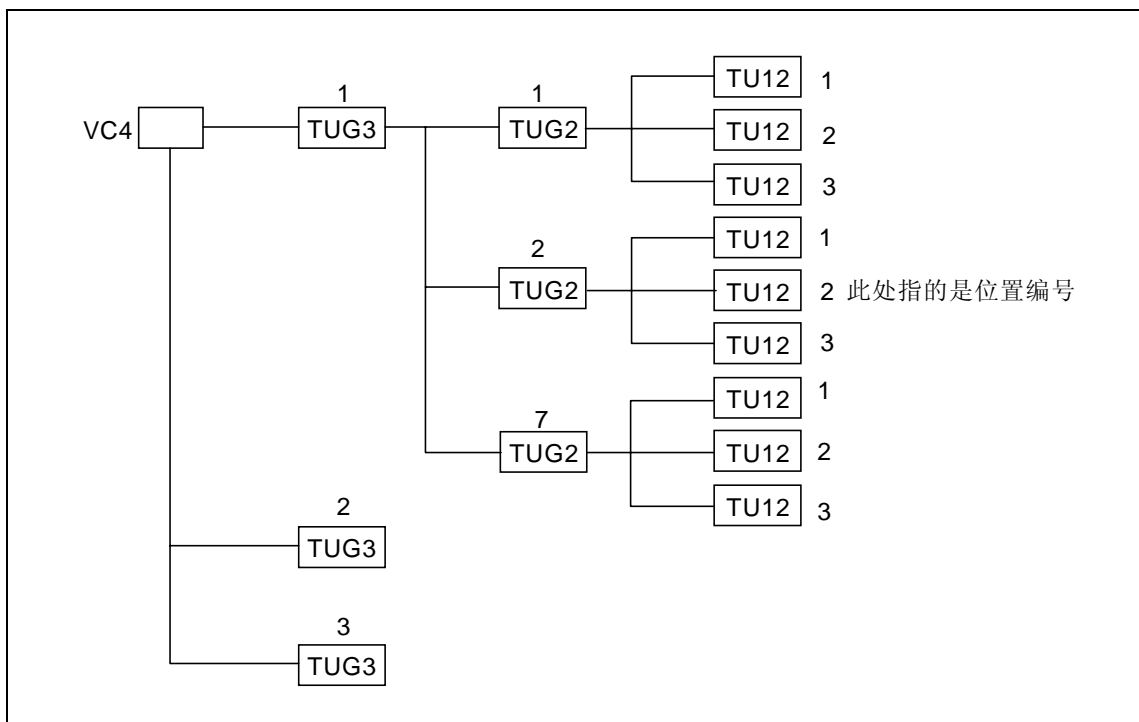


图2-13 VC4中TUG3、TUG2、TU12的排放结构

以上讲述了中国所使用的PDH数字系列复用到STM-N帧中的方法和步骤，对这方面的内容希望你能理解，因为它是你以后提高维护设备能力的最基本的知识，也是接下来深入学习SDH原理的基础。

## 2.3 映射、定位和复用的概念

在将低速支路信号复用成STM-N信号时，要经过3个步骤：映射、定位、复用。

定位是指通过指针调整，使指针的值时刻指向低阶VC帧的起点在TU净负荷中或高阶VC帧的起点在AU净负荷中的具体位置，使收端能据此正确地分离相应的VC，这部分内容在下一节中将详细论述。

复用的概念比较简单，复用是一种使多个低阶通道层的信号适配进高阶通道层（例如 $TU12(\times 3) \rightarrow TUG2(\times 7) \rightarrow TUG3(\times 3) \rightarrow VC4$ ）或把多个高阶通道层信号适配进复用层的过程（例如 $AU-4(\times 1) \rightarrow AUG(\times N) \rightarrow STM-N$ ）。复用也就是通过字节交错间插方式把TU组织进高阶VC或把AU组织进STM-N的过程。由于经过TU和AU指针处理后的各VC支路信号已相位同步，因此该复用过程是同步复用，复用原理与数据的串并变换相类似。

---

? 想一想:

PDH140Mbit/s、34Mbit/s、2Mbit/s信号适配进标准容器的方式是什么装入方式?

一般都属于异步装入方式,因为要经过相应的塞入比特进行码速调整才能装入。例如,在将2Mbit/s的信号适配进C12时,不能保证每个C12正好装入的是一个E1帧。

---

好,我们重点讲一下映射的概念。

映射是一种在SDH网络边界处(例如SDH/PDH边界处),将支路信号适配进虚容器的过程。象我们经常使用的将各种速率(140Mbit/s、34Mbit/s、2Mbit/s)信号先经过码速调整,分别装入到各自相应的标准容器中,再加上相应的低阶或高阶的通道开销,形成各自相对应的虚容器的过程。

为了适应各种不同的网络应用情况,有异步、比特同步、字节同步三种映射方法与浮动VC和锁定TU两种模式。

- 异步映射

异步映射是一种对映射信号的结构无任何限制(信号有无帧结构均可),也无需与网络同步(例如PDH信号与SDH网不完全同步)。利用码速调整将信号适配进VC的映射方法。在映射时通过比特塞入将其打包成与SDH网络同步的VC信息包,在解映射时,去除这些塞入比特,恢复出原信号的速率,也就是恢复出原信号的定时。因此说低速信号在SDH网中传输有定时透明性,即在SDH网边界处收发两端的此信号速率相一致(定时信号相一致)。

此种映射方法可从高速信号中(STM-N)中直接分/插出一定速率级别的低速信号(例如2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s)。因为映射的最基本的不可分割单位是这些低速信号,所以分/插出来的低速信号的最低级别也就是相应的这些数率级别的低速信号。

- 比特同步映射

此种映射是对支路信号的结构无任何限制,但要求低速支路信号与网同步(例如E1信号保证8000帧/秒),无需通过码速调整即可将低速支路信号打包成相应的VC的映射方法,注意:VC时刻都是与网同步的。原则上讲此种映射方法可从高速信号中直接分/插出任意速率的低速信号,因为在STM-N信号中可精确定位到VC,由于此种映射是以比特为单位的同步映射,那么在VC中可以精确的定位到你所要分/插的低速信号具体的那一个比特的位置上,这样理论上就可以分/插出所需的那些比特,由此根据所需分/插的

比特不同，可上/下不同速率的低速支路信号。异步映射能将低速支路信号定位到VC一级就不能再深入细化的定位了，所以拆包后只能分出VC相应速率级别的低速支路信号。比特同步映射类似于将以比特为单位的低速信号（与网同步）进行比特间插复用进VC中，在VC中每个比特的位置是可预见的。

- 字节同步映射

字节同步映射是一种要求映射信号具有字节为单位的块状帧结构，并与网同步，无需任何速率调整即可将信息字节装入VC内规定位置的映射方式。在这种情况下，信号的每一个字节在VC中的位置是可预见的（有规律性），也就相当于将信号按字节间插方式复用进VC中，那么从STM-N中可直接下VC，而在VC中由于各字节位置的可预见性，于是可直接提取指定的字节出来。所以，此种映射方式就可以直接从STM-N信号中上/下64kbit/s或 $N \times 64\text{kbit/s}$ 的低速支路信号。为什么呢？因为VC的帧频是8000帧/秒，而一个字节为8bit，若从每个VC中固定的提取N个字节的低速支路信号，那么该信号速率就是 $N \times 64\text{kbit/s}$ 。

- 浮动VC模式

浮动VC模式指VC净负荷在TU内的位置不固定，由TU-PTR指示VC起点的一种工作方式。它采用了TU-PTR和AU-PTR两层指针来容纳VC净负荷与STM-N帧的频差和相差，引入的信号时延最小（约 $10\mu\text{s}$ ）。

采用浮动模式时，VC帧内可安排VC-POH，可进行通道级别的端对端性能监控。三种映射方法都能以浮动模式工作。前面讲的映射方法：2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s映射进相应的VC，就是异步映射浮动模式。

- 锁定TU模式

锁定TU模式是一种信息净负荷与网同步并处于TU帧内的固定位置，因而无需TU-PTR来定位的工作模式。PDH基群只有比特同步和字节同步两种映射方法才能采用锁定模式。

锁定模式省去了TU-PTR，且在TU和TUG内无VC-POH，采用 $125\mu\text{s}$ 的滑动缓存器使VC净负荷与STM-N信号同步。这样引入信号时延大，且不能进行端对端的通道级别的性能监测。

综上所述，三种映射方法和两类工作模式共可组合成五种映射方式，我们着重讲一讲当前最通用的异步映射浮动模式的特点。

异步映射浮动模式最适用于异步/准同步信号映射，包括将PDH通道映射进SDH通道的应用，能直接上/下低速PDH信号，但是不能直接上/下PDH信号中的64kbit/s信号。异步映射接口简单，引入映射时延少，可适应各种结构和特性的数字信号，是一种最通用的映射方式，也是PDH向SDH过渡期内必不

可少的一种映射方式。当前各厂家的设备绝大多数采用的是异步映射浮动模式。

浮动字节同步映射接口复杂但能直接上/下64kbit/s和 $N \times 64\text{kbit/s}$ 信号，主要用于不需要一次群接口的数字交换机互连和两个需直接处理64kbit/s和 $N \times 64\text{kbit/s}$ 业务的节点间的SDH连接。

好，到目前为止，本节的内容就基本讲完了，在结束之前再强调一下，PDH各级别速率的信号和SDH复用中的信息结构的一一对应关系：2Mbit/s——C12——VC12——TU12；34Mbit/s——C3——VC3——TU3；140Mbit/s——C4——VC4——AU4；通常在指PDH各级别速率的信号时，也可用相应的信息结构来表示，例如用VC12表示PDH的2Mbit/s信号。

---

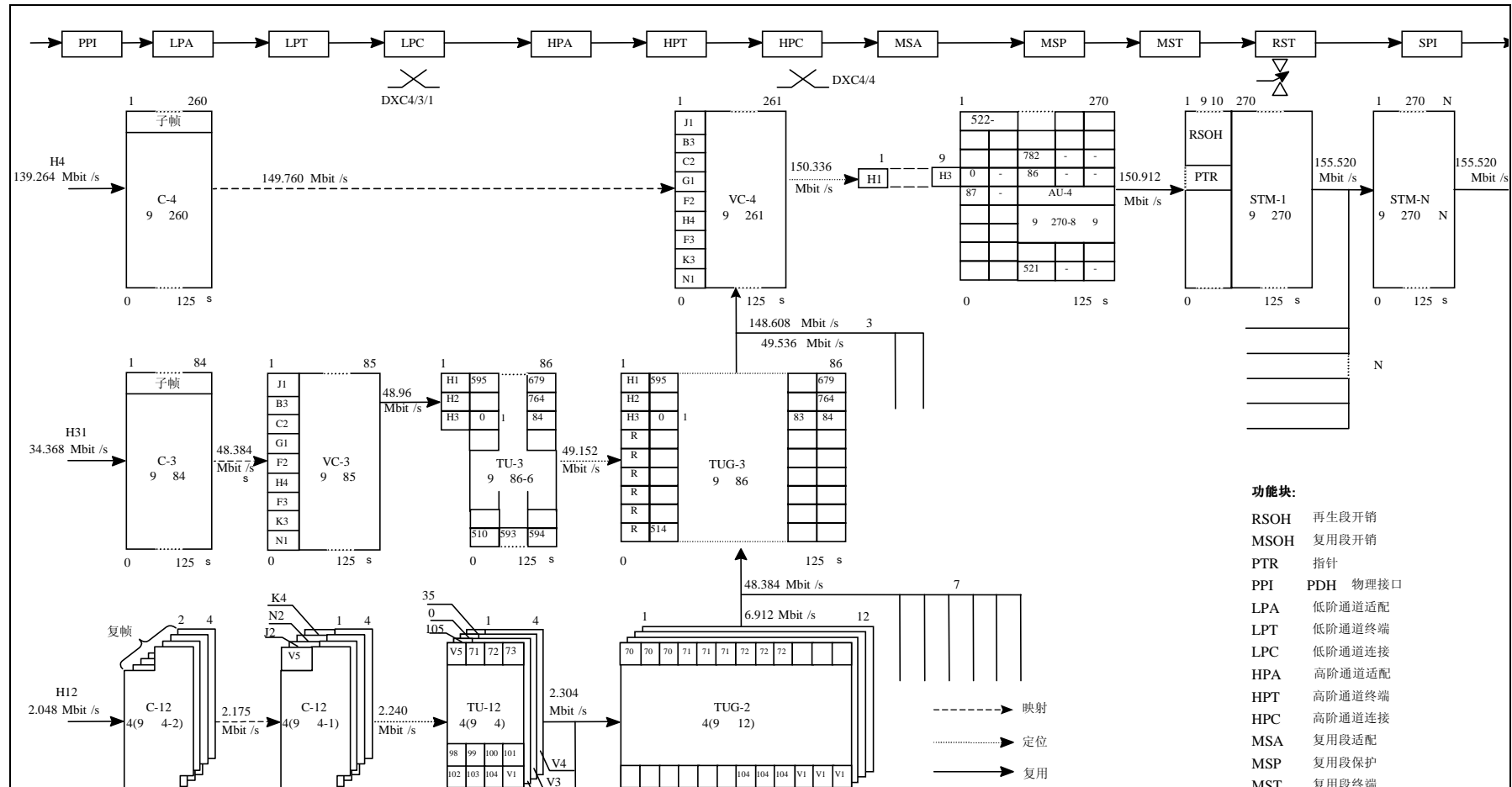
？ 想一想：

想想看这一节都学了些什么？

1. 学习了STM-N的帧结构及其各个组成部分的用法。
2. 学习了PDH各速率级别信号复用进STM-N信号的方法和步骤，以及各种信息结构大致的作用——C、VC、TU、TUG、AU、AUG。
3. 学习了对2Mbit/s、140Mbit/s信号进行速率适配的方法。
4. 复用、映射的基本概念。

本节的重点是上述1. 和2. ， 这些内容你都掌握了吗？

---



附图 我国SDH复用结构示意图

## 小结

本节主要讲述了SDH帧的结构及其各主要部分的作用，讲述了PDH（2M、34M、140M）信号复用进STM-N帧的大致步骤。

## 习题

1. 2M复用在VC4中的位置是第二个TUG3、第三个TUG2、第一个TU12，那么该2M的时隙序号为 。
2. STM-1可复用进 个2M信号， 个34M信号， 个140M信号。

## 第三节 开销和指针

---

☞ 目标：

掌握段层监控的实现——段开销各字节功能。

掌握通道层监控的实现——通道开销各字节功能。

掌握基本告警和性能的监测是由哪些开销字节实现的。

了解指针——AU-PTR、TU-PTR的工作机理。

建立SDH监控层层细化的概念。

---

### 3.1 开销

前面讲过开销的功能是完成对SDH信号提供层层细化的监控管理功能，监控的分类可分为段层监控、通道层监控。段层的监控又分为再生段层和复用段层的监控，通道层监控分为高阶通道层和低阶通道层的监控。由此实现了对STM-N层层细化的监控。例如对2.5G系统的监控，再生段开销对整个STM-16信号监控，复用段开销细化到其中16个STM-1的任一个进行监控，高阶通道开销再将其细化成对每个STM-1中VC4的监控，低阶通道开销又将对VC4的监控细化为对其中63个VC12的任一个VC12进行监控，由此实现了从对2.5Gbit/s级别到2Mbit/s级别的多级监控手段。

那么，这些监控功能是怎样实现的呢？它是由不同的开销字节来实现的。

#### 3.1.1 段开销

STM-N帧的段开销位于帧结构的（1-9）行×（1-9N）列。注：第4行为AU-PTR除外。我们以STM-1信号为例来讲述段开销各字节的用途。对于STM-1信号，段开销包括位于帧中的（1-3）行×（1-9）列的RSOH和位于（5-9）行×（1-9）列的MSOH。如图3-1所示。

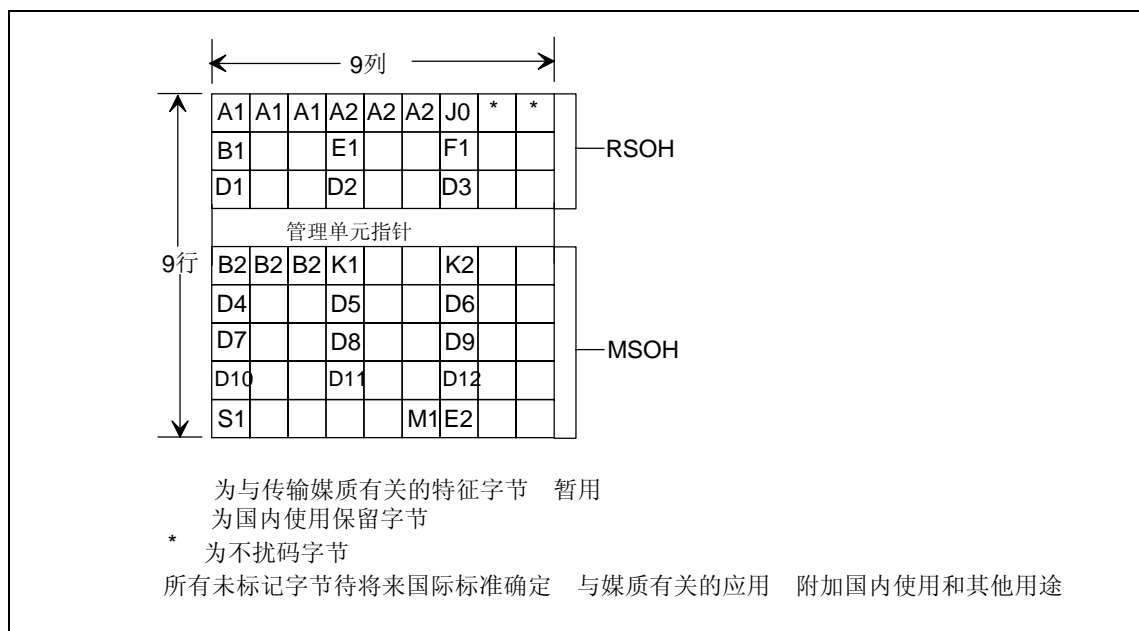


图3-1 STM-N 帧的段开销字节示意图

图3-1中画了再生段开销和复用段开销在STM-1帧中的位置，它们的区别是什么呢？区别在于监控的范围不同，RSOH是对应一个大的范围—STM-N，MSOH是对应这个大的范围中的一个小的范围—STM-1。

#### • 定帧字节A1和A2

定帧字节的作用有点类似于指针，起定位的作用。我们知道SDH可从高速信号中直接分/插出低速支路信号，为什么能这样呢？原因就是收端能通过指针——AU-PTR、TU-PTR在高速信号中定位低速信号的位置。但这个过程的第一步是收端必须在收到的信号流中正确地选择分离出各个STM-N帧，也就是先要定位每个STM-N帧的起始位置在哪里，然后再在各帧中定位相应的低速信号的位置，就象在长长的队列中定位一个人时，要先定位到某一个方队，然后在本方队中再通过这个人的所处行列数定位到他。A1、A2字节就是起到定位一个方队的作用，通过它，收端可从信息流中定位、分离出STM-N帧，再通过指针定位到帧中的某一个低速信号。

收端是怎样通过A1、A2字节定位帧的呢？A1、A2有固定的值，也就是有固定的比特图案，A1: 11110110 (f 6H)，A2: 00101000 (28H)。收端检测信号流中的各个字节，当发现连续出现3N个f 6H，又紧跟着出现3N个28H字节时（在STM-1帧中A1和A2字节各有3个），就断定现在开始收到一个STM-N帧，收端通过定位每个STM-N帧的起点，来区分不同的STM-N帧，以达到分离不同帧的目的，当N=1时，区分的是STM-1帧。

当连续5帧以上（625 μs）收不到正确的A1、A2字节，即连续5帧以上无法判别帧头（区分出不同的帧），那么收端进入帧失步状态，产生帧失步告警——OOF；若OOF持续了3ms则进入帧丢失状态——设备产生帧丢失告警LOF，下插AIS信号，整个业务中断。在LOF状态下若收端连续1ms以上又处于定帧状态，那么设备回到正常状态。

---

#### 技术细节:

STM-N信号在线路上传输要经过扰码，主要是为了便于收端能提取线路定时信号，但又为了在收端能正确的定位帧头A1、A2，又不能将A1、A2扰码。为兼顾这两种需求，于是STM-N信号对段开销第一行的所有字节上：1行×9N列（不仅包括A1、A2字节）不扰码，而进行透明传输，STM-N帧中的其余字节进行扰码后再上线路传输。这样又便于提取STM-N信号的定时，又便于收端分离STM-N信号。

---

#### • 再生段踪迹字节：J0

该字节被用来重复地发送段接入点标识符，以便使接收端能据此确认与指定的发送端处于持续连接状态。在同一个运营者的网络内该字节可为任意字符，而在不同两个运营者的网络边界处要使设备收、发两端的J0字节相同——匹配。通过J0字节可使运营者提前发现和解决故障，缩短网络恢复时间。

J0字节还有一个用法，在STM-N帧中每一个STM-1帧的J0字节定义为STM的标识符C1，用来指示每个STM-1在STM-N中的位置——指示该STM-1是STM-N中的第几个STM-1（间插层数）和该C1在该STM-1帧中的第几列（复列数），可帮助A1、A2字节进行帧识别。

#### • 数据通信通路（DCC）字节：D1-D12

SDH的一大特点就是OAM功能的自动化程度很高，可通过网管终端对网元进行命令的下发、数据的查询，完成PDH系统所无法完成的业务实时调配、告警故障定位、性能在线测试等功能。那么这些用于OAM的数据是放在哪儿传输的呢？用于OAM功能的数据信息——下发的命令，查询上来的告警性能数据等，是通过STM-N帧中的D1-D12字节传送的。也就是说用于OAM功能的相关数据是放在STM-N帧中的D1-D12字节处，由STM-N信号在SDH网络上传输的。这样D1-D12字节提供了所有SDH网元都可接入的通用数据通信通路，作为嵌入式控制通路（ECC）的物理层，在网元之间传输操作、管理、维护（OAM）信息，构成SDH管理网（SMN）的传送通路。

其中，D1-D3是再生段数据通路字节（DCCR），速率为 $3 \times 64\text{ kbit/s} = 192\text{ kbit/s}$ ，用于再生段终端间传送OAM信息；D4-D12是复用段数据通路字节（DCCM），共 $9 \times 64\text{ kbit/s} = 576\text{ kbit/s}$ ，用于在复用段终端间传送OAM信息。

DCC通道速率总共768kbit/s，它为SDH网络管理提供了强大的通信基础。

- 公务联络字节：E1和E2

分别提供一个64kbit/s的公务联络语音通道，语音信息放于这两个字节中传输。

E1属于RSOH，用于再生段的公务联络；E2属于MSOH，用于终端间直达公务联络。

例如网络如下：

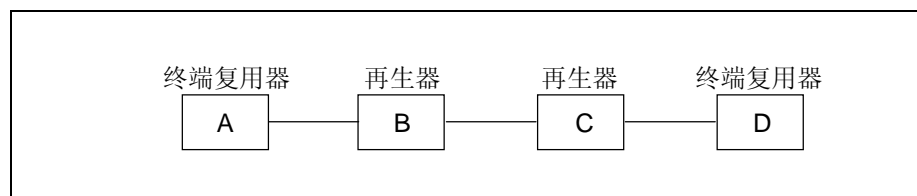


图3-2 网络示意图

若仅使用E1字节作为公务联络字节，A、B、C、D四网元均可互通公务，为什么？因为终端复用器的作用是将低速支路信号分/插到SDH信号中，所以要处理RSOH和MSOH，因此用E1、E2字节均可通公务。再生器作用是信号的再生，只需处理RSOH，所以用E1字节也可通公务。

若仅使用E2字节作为公务联络字节，那么就仅有A、D间可以通公务电话了，因为B、C网元不处理MSOH，也就不会处理E2字节。

- 使用者通路字节：F1

提供速率为64kbit/s数据/语音通路，保留给使用者（通常指网络提供者）用于特定维护目的的临时公务联络。

- 比特间插奇偶校验8位码BIP-8：B1

这个字节就是用于再生段层误码监测的（B1位于再生段开销中）。

监测的机理是什么呢？首先我们先讲一讲BIP-8奇偶校验。

若某信号帧由4个字节A1=00110011、A2=11001100、A3=10101010、A4=00001111，那么将这个帧进行BIP-8奇偶校验的方法是以8bit为一个校验

单位（1个字节），将此帧分成4块（每字节为一块，因1个字节为8bit正好是一个校验单元）按图3-3方式摆放整齐：

	A1	00110011
	A2	11001100
BIP-8	A3	10101010
	A4	00001111
<hr/>		
	B	01011010

图3-3 BIP-8奇偶校验示意图

依次计算每一列中1的个数，若为奇数，则在得数（B）的相应位填1，否则填0。也就是B的相应位的值使A1A2A3A4摆放的块的相应列的1的个数为偶数。这种校验方法就是BIP-8奇偶校验，实际上是偶校验，因为保证的是1的个数为偶。B的值就是将A1A2A3A4进行BIP-8校验所得的结果。

B1字节的工作机理是：发送端对本帧（第N帧）加扰后的所有字节进行BIP-8偶校验，将结果放在下一个待扰码帧（第N+1帧）中的B1字节；接收端将当前待解扰帧（第N-1帧）的所有比特进行BIP-8校验，所得的结果与下一帧（第N帧）解扰后的B1字节的值相异或比较，若这两个值不一致则异或有1出现，根据出现多少个1，则可监测出第N帧在传输中出现了多少个误码块。

#### 📖 技术细节：

高速信号的误码性能是用误码块来反映的。因此STM-N信号的误码情况实际上是误码块的情况。从BIP-8校验方式可看出，校验结果的每一位都对应一个比特块，例如图3-3中的一列比特，因此B1字节最多可从一个STM-N帧检测出传输中所发生的8个误码块（BIP-8的结果共8位，每位对应一列比特——一个块）。

- 比特间插奇偶校验N×24位的（BIP-N×24）字节：B2

B2的工作机理与B1类似，只不过它检测的是复用段层的误码情况。B1字节是对整个STM-N帧信号进行传输误码检测的，一个STM-N帧中只有一个B1字节（为什么？稍后讲STM-1复用成STM-N时段开销的复用间插情况时你就会知道了），而B2字节是对STM-N帧中的每一个STM-1帧的传输误码情况进行监测，STM-N帧中有N×3个B2字节，每三个B2对应一个STM-1帧。检

测机理是发端B2字节对前一个待扰的STM-1帧中除了RSOH（RSOH包括在B1对整个STM-N帧的校验中了）的全部比特进行BIP-24计算，结果放于本帧待扰STM-1帧的B2字节位置。收端对当前解扰后STM-1的除了RSOH的全部比特进行BIP-24校验，其结果与下一STM-1帧解扰后的B2字节相异或，根据异或后出现1的个数来判断该STM-1在STM-N帧中的传输过程中出现了多少个误码块。可检测出的最大误码块个数是24个。注：在发端写完B2字节后，相应的N个STM-1帧按字节间插复用成STM-N信号（有3N个B2），在收端先将STM-N信号分间插成N×STM-1信号，再校验这N组B2字节。

- 自动保护倒换（APS）通路字节：K1、K2（b1-b5）

这两个字节用作传送自动保护倒换（APS）信令，用于保证设备能在故障时自动切换，使网络业务恢复——自愈，用于复用段保护倒换自愈情况。

- 复用段远端失效指示（MS-RDI）字节：K2（b6-b8）

这是一个对告的信息，由收端（信宿）回送给发端（信源），表示收信端检测到来话故障或正收到复用段告警指示信号。也就是说当收端收信劣化，这时回送给发端MS-RDI告警信号，以使发端知道收端的状态。若收到的K2的b6-b8为110码，则此信号为对端对告的MS-RDI告警信号；若收到的K2的b6-b8为111，则此信号为本端收到MS-AIS信号，此时要向对端发MS-RDI信号，即在发往对端的信号帧STM-N的K2的b6-b8放入110比特图案。

- 同步状态字节：S1（b5-b8）

不同的比特图案表示ITU-T的不同时钟质量级别，使设备能据此判定接收的时钟信号的质量，以此决定是否切换时钟源，即切换到较高质量的时钟源上。

S1（b5-b8）的值越小，表示相应的时钟质量级别越高。

- 复用段远端误码块指示（MS-REI）字节：M1

这是个对告信息，由接收端回发给发送端。M1字节用来传送接收端由BIP-N×24（B2）所检出的误块数，以便发送端据此了解接收端的收信误码情况。

- 与传输媒质有关的字节：△

△字节专用于具体传输媒质的特殊功能，例如用单根光纤做双向传输时，可用此字节来实现辨别信号方向的功能。

- 国内保留使用的字节：×
- 所有未做标记的字节的用途待由将来的国际标准确定。

🔑 诀窍：

各SDH生产厂家，往往会利用STM帧中段开销的未使用字节来实现一些自己设备的专用的功能。

STM-N帧中的段开销——RSOH、MSOH的各字节的使用方法，到此就已讲完了，通过这些字节，实现了STM-N信号的段层的OAM功能。

N个STM-1帧通过字节间插复用成STM-N帧，段开销究竟是怎样进行复用的呢？字节间插复用时各STM-1帧的AU-PTR和payload的所有字节原封不动的按字节间插复用方式复用，而段开销的复用方式就有所区别。段开销的复用规则是N个STM-1帧以字节间插复用成STM-N帧时，4个STM-1以字节交错间插方式复用成STM-4时,开销的复用并非简单的交错间插,除段开销中的A1、A2、B2字节、指针和净负荷按字节交错间插复用进行STM-4外，各STM-1中的其它开销字节经过终结处理，再重新插入STM-4相应的开销字节中。图3-4是STM-4帧的段开销结构图：

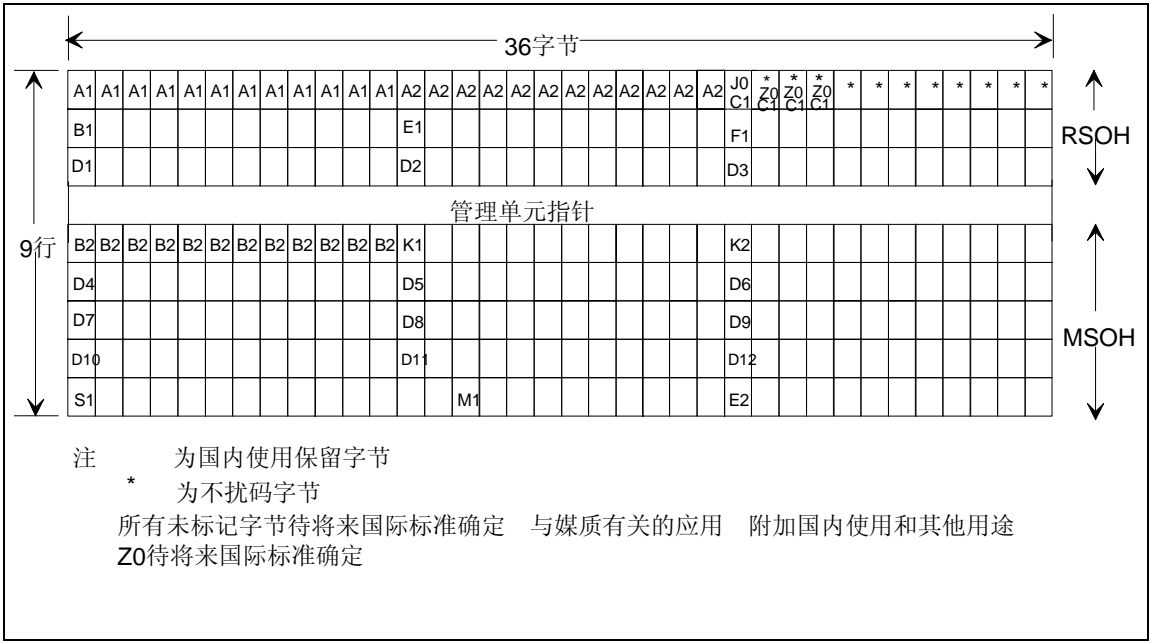


图3-4 STM-4 SOH字节安排

在STM-N中只有一个B1，有N×3个B2字节（因为B2为BIP-24检验的结果，故每个STM-1帧有3个B2字节，3×8=24位）。STM-N帧中有D1—D12各一个字节；E1、E2各一个字节；一个M1字节；K1、K2各一个字节。想想看这是为什么？

图3-5是STM-16的段开销结构图。

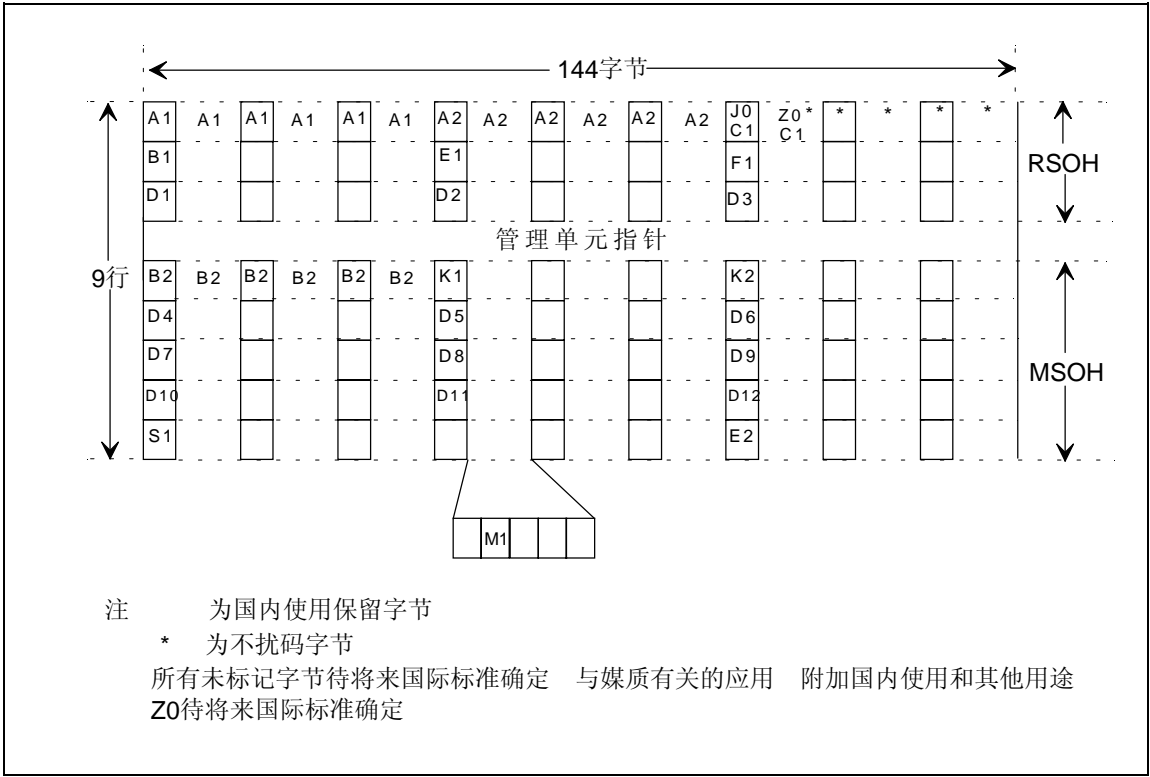


图3-5 STM-16 SOH字节安排

3.1.2 通道开销

段开销负责段层的OAM功能，而通道开销负责的是通道层的OAM功能。就类似于在货物装在集装箱中运输的过程中，不仅要监测一集装箱的货物的整体损坏情况（SOH），还要知道集装箱中某一件货物的损坏情况（POH）。

根据监测通道的“宽窄”（监测货物的大小），通道开销又分为高阶通道开销和低阶通道开销。在本课程我们指高阶通道开销是对VC4级别的通道进行监测，可对140Mbit/s在STM-N帧中的传输情况进行监测；低阶通道开销是完成VC12通道级别的OAM功能，也就是监测2Mbit/s在STM-N帧中的传输性能。

📖 技术细节：

VC3中的POH依34Mbit/s复用路线选取的不同，可划在高阶或低阶通道开销范畴，其字节结构和作用与VC4的通道开销相同，因为34Mbit/s信号复用进STM-N的方式用得较少，故在这里就不对VC3的POH进行专门的讲述了。

## 1. 高阶通道开销：HP-POH

高阶通道开销的位置在VC4帧中的第一列，共9个字节，如图3-6所示。

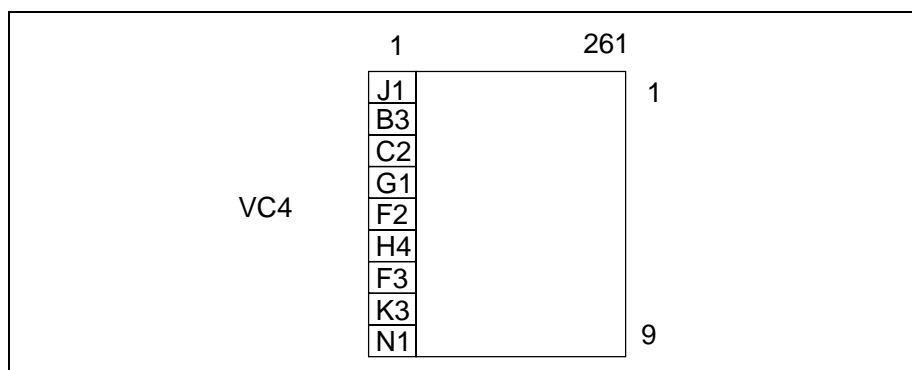


图3-6 高阶通道开销的结构图

- J1: 通道踪迹字节

AU-PTR指针指的是VC4的起点在AU-4中的具体位置，即VC4的第一个字节的位置，以使收信端能据此AU-PTR的值，正确的在AU-4中分离出VC4。J1正是VC4的起点，那AU-PTR所指向的正是J1字节的位置。

该字节的作用与J0字节类似：被用来重复发送高阶通道接入点标识符，使该通道接收端能据此确认与指定的发送端处于持续连接（该通道处于持续连接）状态。要求也是收发两端J1字节相匹配即可。华为公司的设备默认的发/收J1字节的值是：HuaWei SBS。当然J1字节可按需要进行设置、更改。

- B3:

通道BIP-8码B3字节负责监测VC4在STM-N帧中传输的误码性能，也就监测140Mbit/s的信号在STM-N帧中传输的误码性能。监测机理与B1、B2相类似，只不过B3是对VC4帧进行BIP-8校验。

若在收端监测出误码块，那么设备本端的性能监测事件—HP-BBE（高阶通道背景误码块）显示相应的误块数，同时在发端相应的VC4通道的性能监测事件—HP-REI（高阶通道远端误块指示）显示出收端收到的误块数。B1、B2字节也与此类似，通过这种方式你可实时监测STM-N信号传输的误码性能。

---

 技术细节:

收端B1检测出误码块，在本端性能事件RS-BBE（再生段背景误码块）显示B1检测出的误块数。

收端B2检测出误块，在本端性能事件MS-BBE（复用段背景误码块）显示B2检测出的误块数，同时在发端性能事件MS-REI（复用段远端误块指示）中显示相应的误块数（MS-REI由M1字节传送）。

---

---

 注意:

当接收端的误码超过了一定的限度，这时设备会上报一个误码越限的告警信号。

---

- C2: 信号标记字节

C2用来指示VC帧的复接结构和信息净负荷的性质，例如通道是否已装载、所载业务种类和它们的映射方式。例如C2=00H表示这个VC4通道未装载信号，这时要往这个VC4通道的净负荷TUG3中插全“1”码——TU-AIS，设备出现高阶通道未装载告警：HP-UNEQ。C2=02H，表示VC4所装载的净负荷是按TUG结构的复用路线复用来的，中国的2Mbit/s复用进VC4采用的是TUG结构，见附图。C2=15H表示VC4的负荷是FDDI（光纤分布式数据接口）格式的信号。在配置华为设备时，2M信号的复用，C2要选择TUG结构。

---

 技术细节:

J1和C2字节的设置一定要使收/发两端相一致——收发匹配，否则在收端设备会出现HP-TIM（高阶通道追踪字节失配）、HP-SLM（高阶通道信号标记字节失配）。此两种告警都会使设备向该VC4的下级结构TUG3插全“1”码——TU-AIS告警指示信号。

---

- G1: 通道状态字节

G1用来将通道终端状态和性能情况回送给VC4通道源设备，从而允许在通道的任一端或通道中任一点对整个双向通道的状态和性能进行监视。这句话怎么理解呢？G1字节实际上传送对告信息，即由收端发往发端的信息，使发端能据此了解收端接收相应VC4通道信号的情况。

b1—b4回传给发端由B3（BIP-8）检测出的VC4通道的误块数，也就是HP-REI。当收端收到AIS、误码超限、J1，C2失配时，由G1字节的第5比特回送发端一个HP-RDI（高阶通道远端劣化指示），使发端了解收端接收相应VC4的状态，以便及时发现、定位故障。G1字节的b6和b8暂时未使用。

- F2、F3：使用者通路字节

这两个字节提供通道单元间的公务通信（与净负荷有关）。

- H4：TU位置指示字节

H4指示有效负荷的复帧类别和净负荷的位置，例如作为TU-12复帧指示字节或ATM净负荷进入一个VC-4时的信元边界指示器。

只有当PDH信号：2Mbit/s，复用进VC-4时，H4字节才有意义。因为前面讲过，2Mbit/s的信号装进C12时是以4个基帧组成一个复帧的形式装入的，那么在收端为正确定位分离出E1信号就必须知道当前的基帧是复帧中的第几个基帧。H4字节就是指示当前的TU-12（VC12或C12）是当前复帧的第几个基帧，起着位置指示的作用。H4字节的范围是01H—04H，若在收端收到的H4不在此范围内，则收端会产生一个TU-LOM（支路单元复帧丢失告警）。

- K3：空闲字节

留待将来应用，要求接收端忽略该字节的值。

- N1：网络运营者字节

用于特定的管理目的。

## 2. 低阶通道开销：LP-POH

低阶通道开销这里指的是VC12中的通道开销，当然它监控的是VC12通道级别的传输性能，也就是监控2Mbit/s的PDH信号在STM-N帧中传输的情况。

低阶通道开销放在VC12的什么位置上呢？图3-7显示了一个VC12的复帧结构，由4个VC12基帧组成，低阶POH就位于每个VC12基帧的第一个字节，一组

低阶通道开销共有4个字节：V5、J2、N2、K4。

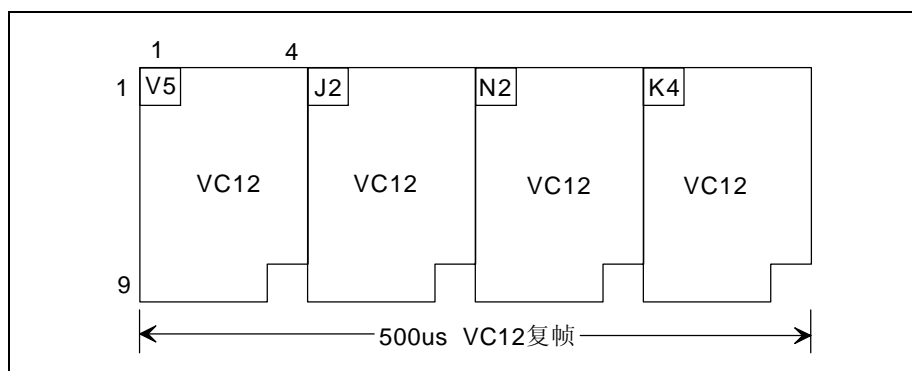


图3-7 低阶通道开销结构图

- **V5**：通道状态和信号标记字节

V5是复帧的第一个字节，TU-PTR指示的是VC12复帧的起点在TU-12复帧中的具体位置，也就是TU-PTR指示的是V5字节在TU-12复帧中的具体位置。

V5具有误码校测，信号标记和VC12通道状态表示等功能，从这看出V5字节具有高阶通道开销G1和C2两个字节的函数。V5字节的结构见图3-8所示。

误码监测 (BIP-2)		远端误块指示 (REI)	远端故障指示 (RFI)	信号标记 (Signal Label)			远端接收失效指示 (RDI)
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>误码监测：</b> 传送比特间插奇偶校验码 <b>BIP-2</b> ： 第一个比特的设置应使上一个VC-12复帧内所有字节的全部奇数比特的奇偶校验为偶数。第二比特的设置应使全部偶数比特的奇偶校验为偶数。		<b>远端误块指示</b> (从前叫作 <b>FEBE</b> )： <b>BIP-2</b> 检测到误码块就向VC12通道源发1，无误码则发0。	<b>远端故障指示</b> 有故障发1 无故障发0	<b>信号标记：</b> 表示净负荷装载情况和映射方式。3比特共8个二进制值： 000 未装备VC通道 001 已装备VC通道，但未规定有效负载 010 异步浮动映射 011 比特同步浮动 100 字节同步浮动 101 保留 110 O.181测试信号 111 VC-AIS			<b>远端接收失效指示</b> (从前叫 <b>FERF</b> )： 接收失效则发1，成功则发0。

图3-8 VC-12 POH (V5) 的结构

若收端通过**BIP-2**检测到误码块，在本端性能事件由**LP-BBE**（低阶通道背景误码块）中显示由**BIP-2**检测出的误块数，同时由V5的b3回送给发端**LP-REI**（低阶通道远端误块指示），这时可在发端的性能事件**LP-REI**中显示相应的误块数。V5的b8是VC12通道远端失效指示，当收端收到TU-12的AIS信号，或信号失效条件时，回送给发端一个**LP-RDI**（低阶通道远端劣化指示）。注：本课程中**RDI**称之为远端劣化指示或远端失效指示。

当劣化（失效）条件持续期超过了传输系统保护机制设定的门限时，劣化转变为故障，这时发端通过V5的b4回送给发端—LP-RFI（低阶通道远端故障指示）告之发端接收端相应VC12通道的接收出现故障。

b5—b7提供信号标记功能，只要收到的值不是0就表示VC12通道已装载，即VC12货包不是空的。若b5—b7为000，表示VC12为空包，这时收端设备出现LP-UNEQ（低阶通道未装款式）告警，注意此时下插全“0”码（不是全“1”码—AIS）。若收发两端V5的b5—b7不匹配，则接收端出现LP-SLM（低阶通道信号标记失配）告警。

- J2: VC12通道踪迹字节

J2的作用类似于J0、J1，它被用来重复发送内容由收发两端商定的低阶通道接入点标识符，使接收端能据此确认与发送端在此通道上处于持续连接状态。

- N2: 网络运营者字节

用于特定的管理目的。

- K4: 备用字节

留待将来应用。

---

? 想一想:

这部分你学了些什么?

这部分主要讲述了对STM-N信号OAM功能层层细化的实现方式——再生段开销、复用段开销、高阶通道开销、低阶通道开销。通过这些开销字节，你可以对STM-N信号的整体以及装载在STM-N帧中的低速信号进行全方位的监控。

---

## 3.2 指针

指针的作用就是定位，通过定位使收端能正确地从STM-N中拆离出相应的VC，进而通过拆VC、C的包封分离出PDH低速信号，也就是说实现从STM-N信号中直接下低速支路信号的功能。

何谓定位？定位是一种将帧偏移信息收进支路单元或管理单元的过程，即以附加于VC上的指针（或管理单元指针）指示和确定低阶VC帧的起点在TU净负荷中（或高阶VC帧的起点在AU净负荷中）的位置。在发生相对帧相位偏差使VC帧起点“浮动”时，指针值亦随之调整，从而始终保证指针值准确

指示VC帧起点位置的过程。对VC4，AU-PTR指的是J1字节的位置；对于VC12，TU-PTR指的是V5字节的位置。

TU或AU指针可以为VC在TU或AU帧内的定位提供了一种灵活、动态的方法。因为TU或AU指针不仅能够容纳VC和SDH在相位上的差别，而且能够容纳帧速率上的差别。

指针有两种AU-PTR和TU-PTR，分别进行高阶VC（这里指VC4）和低阶VC（这里指VC12）在AU-4和TU-12中的定位。下面分别讲述其工作机理。

### 3.2.1 管理单元指针（AU-PTR）

AU-PTR的位置在STM-1帧的第4行1—9列共9个字节，用以指示VC4的首字节J1在AU-4净负荷的具体位置，以便收端能据此正确分离VC4，如图3-9所示。

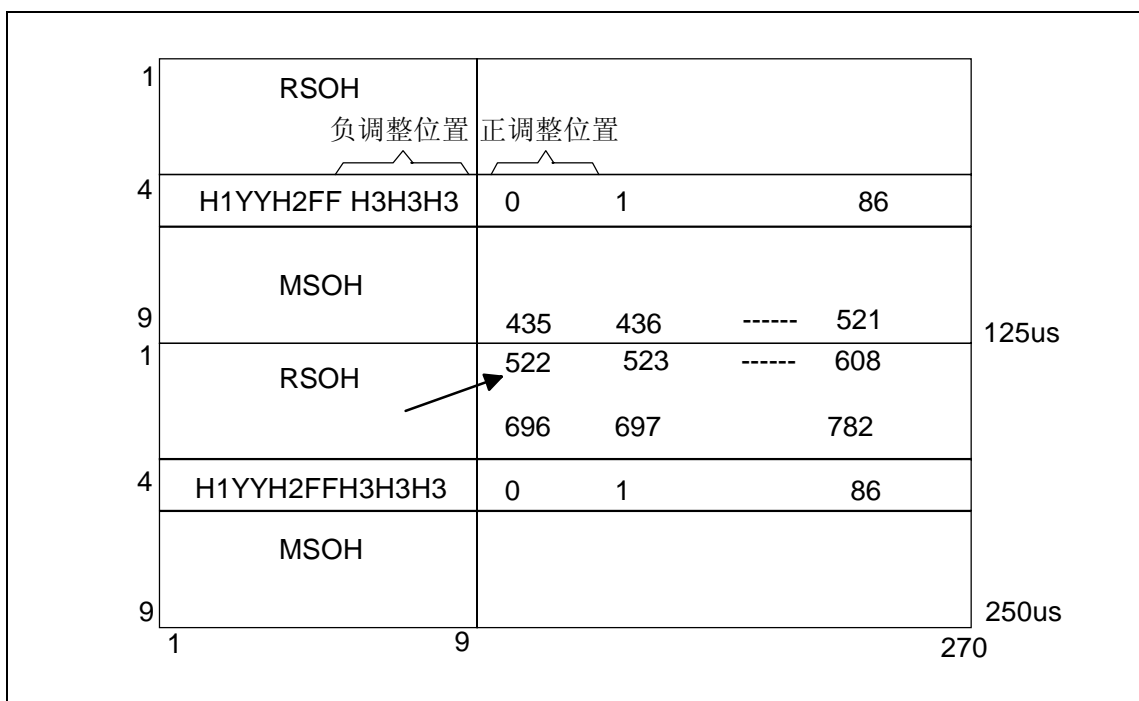


图3-9 AU-4 指针在STM帧中的位置

从图中可看到AU-PTR由H1YYH2FFH3H3H3九个字节组成，Y=1001SS11，S比特未规定具体的值，F=11111111。指针的值放在H1、H2两字节的后10个bit中，3个字节为一个调整单位——一个货物单位。

调整单位起什么作用？以货车运货为例，将货物——VC4连续不停的装入这辆货车的车箱——信息净负荷区，当然装载时是以一个字节一个字节来装载的，这辆货车的停站时间是 $125\mu s$ 。

1) 当VC4的速率（帧频）高于AU-4的速率（帧频）时，也就是AU-4的包封速率要低于VC4的装载速率时，相当于装载一个VC4的货物所用的时间少于 $125\mu s$ （货车停站时间），由于货车还未开走，VC4的装载还要不停的进行，这时AU-4这辆货车的车箱（信息净负荷区）已经装满了，无法再装下不断装入的货物。此时将3个H3字节（一个调整单位）的位置用来存放货物；这3个H3字节就象货车临时加挂的一个备份存放空间。那么，这时货物以3个字节为一个单位将位置都向前串一位，以便在AU-4中加入更多的货物（一个VC4+3个字节），这时每个货物单位的位置（3个字节为一个单位）都发生了变化。这种调整方式叫做负调整，紧跟着FF两字节的3个H3字节所占的位置叫做负调整位置。此时3个H3字节的位置上放的是VC4的有效信息，这种调整方式也就是将应装于下一辆货车的VC4的头三个字节装于本车上。

2) 当VC4的速率低于AU-4速率时，相当于在AU-4货车停站时间内一个VC4无法装完，这时就要把这个VC4中最后的那个3字节——货物单位，留待下辆车运输。这时出于AU-4未装满VC4（少一个3字节单位），于是车箱中空出一个3字节单位。为防止由于车箱未塞满而在传输中引起货物散乱，那么这时要在AU-PTR 3个H3字节后面再插入3个H3字节，此时H3字节中填充伪随机信息（相当于在车厢空间塞入的添充物），这时VC4中的3字节货物单位都要向后串一个单位（3字节），于是这些货物单位的位置也会发生相应的变化。这种调整方式叫做正调整，相应的插入3个H3字节的位置叫做正调整位置。当VC4的速率比AU-4慢很多时，要在AU-4净负荷区加入不止一个正调整单位（3个H3）。注意，负调整位置只有一个（3个H3字节），负调整位置在AU-PTR上，正调整位置在AU-4净负荷区。

3) 不管是正调整和负调整都会使VC4在AU-4的净负荷中的位置发生了改变，也就是说VC4第一个字节在AU-4净负荷中的位置发生了改变。这时AU-PTR也会作出相应的正、负调整。为了便于定位VC4中的各字节（实际上是各货物单位）在AU-4净负荷中的位置，给每个货物单位赋予一个位置值，如图3-10所示。位置值是将紧跟H3字节的那个3字节单位设为0位置，然后依次后推。这样一个AU-4净负荷区就有 $261 \times 9/3 = 783$ 个位置，而AU-PTR指的就是J1字节所在AU-4净负荷的某一个位置的值。显然，AU-PTR的范围是0~782，否则为无效指针值，当收端连续8帧收到无效指针值时，设备产生AU-LOP告警（AU指针丢失），并往下插AIS告警信号——TU-AIS。

正/负调整是按一次一个单位进行调整的，那指针值也就随着正调整或负调整进行+1（指针正调整）或-1（指针负调整）操作。

4) 在VC4与AU-4无频差和相差时，也就是货车停站时间和装载VC4的速度相匹配时，AU-PTR的值是522，如图3-9所中箭头所指处。



注意:

AU-PTR所指的是下一帧VC4的J1字节的位置。在网同步情况下指针调整并不经常出现，因而H3字节大部分时间填充的是伪信息。

我们讲过指针的值是放在H1H2字节的后10个比特，那么10个bit的取值范围是0~1023(2<sup>10</sup>)，当AU-PTR的值不在0~782内时，为无效指针值。H1H2的16个比特是如何实现指针调整控制的呢？见图3-10所示。

N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
<b>新数据标识（NDF）</b> 表示所载净负荷容量有变化。 净负荷无变化时，NNNN为正常值“0110”。 在净负荷有变化的那一帧，NNNN反转为“1001”，此即NDF。NDF出现的那一帧指针值随之改变为指示VC新位置的新值称为新数据。若净负荷不再变化，下一帧NDF又返回到正常值“0110”并至少在3帧内不作指针值增减操作。				<b>AU/TU类别</b> 对于AU-4和TU-3 SS=10		<b>10比特指针值</b> AU-4指针值为0~782；三字节为一偏移单位。 指针值指示了VC4帧的首字节J1与AU-4指针中最后一个H3字节间的偏移量。 <b>指针调整规则</b> (1)在正常工作时，指针值确定了VC-4在AU-4帧内的起始位置。NDF设置为“0110”； (2)若VC4帧速率比AU-4帧速率低，5个I比特反转表示要作正帧频调整，该VC帧的起始点后移一个单位，下帧中的指针值是先前指针值加1； (3)若VC4帧速率比AU-4帧速率高，5个D比特反转表示要作负帧频调整，负调整位置H3用VC4的实际信息数据重写，该VC帧的起始点前移一个单位，下帧中的指针值是先前指针值减1； (4)当NDF出现更新值1001，表示净负荷容量有变，指针值也要作相应地增减，然后NDF回归正常值0110； (5)指针值完成一次调整后，至少停3帧方可有新的调整； (6)收端对指针解码时，除仅对连续3次以上收到的前后一致的指针进行解读外，将忽略任何指针的变化。									

图3-10 AU-4中H1和H2构成的16bit指针码字

指针值由H1、H2的第七至第十六比特表示，这10个bit中奇数比特记为I比特，偶数比特记为D比特。以5个I比特和5个D比特中的全部或大多数发生反转来分别表示指针值将进行加1或减1操作，因此I比特又叫做增加比特，D比特叫做减少比特。

指针的调整是要停三帧才能再进行，也就是说若从指针反转的那一帧算起（作为第一帧），至少在第五帧才能进行指针反转（其下一帧的指针值将进行加1或减1操作）。

NDF反转表示AU-4净负荷有变化，此时指针值会出现跃变，即指针增减的步长不为1。若收端连续8帧收到NDF反转，则此时设备出现AU-LOP告警。

接收端只对连续3个以上收到的前后一致的指针进行解读，也就是说系统自认为指针调整后的3帧指针值一致，若此时指针值连续调整，在收端将出现VC4的定位错误，导致传输性能劣化。

概括地说发端5个I或5个D比特数反转，在下一帧AU-PTR的值+1或-1；收端根据所收帧的大多数I或D比特的反转情况决定是否对下一帧去调整，也就是定位VC4首字节并恢复信号指针适配前的定时。

### 3.2.2 支路单元指针（TU-PTR）

TU指针用以指示VC12的首字节V5在TU-12净负荷中的具体位置，以便收端能正确分离出VC12。TU-12指针为VC12在TU-12复帧内的定位提供了灵活动态的方法。TU-PTR的位置位于TU-12复帧的V1、V2、V3、V4处。如图3-11所示。

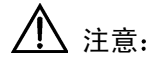
70	71	72	73	105	106	107	108	0	1	2	3	35	36	37	38
74	75	76	77	109	110	111	112	4	5	6	7	39	40	41	42
78	第一个 C-12 基 帧结构 9×4-2 32W 2Y		81	113	第二个 C-12 基 帧结构 9×4-2 32W 1Y 1G		116	8	第三个 C-12基 帧结构 9×4-2 32W 1Y 1G		11	43	第四个 C-12基 帧结构 9×4-1 31W 1Y 1M+1N		46
82			85	117			120	12			15	47			50
86			89	121			124	16			19	51			54
90			93	125			128	20			23	55			58
94			97	129			132	24			27	59			62
98			101	133			136	28			31	63			66
102	103	104	V1	137	138	139	V2	32	33	34	V3	67	68	69	V4

图3-11 TU-12 指针位置和偏移编号

TU-12 PTR由V1、V2、V3和V4四个字节组成。

在TU-12净负荷中，从紧邻V2的字节起，以1个字节为一个正调整单位，依次按其相对于最后一个V2的偏移量给予偏移编号，例如“0”、“1”等。总共有0~139个偏移编号。VC-12帧的首字节V5字节位于某一偏移编号位置，该编号对应的二进制值即为TU-12指针值。

TU-12 PTR中的V3字节为负调整单位位置，其后的那个字节为正调整字节，V4为保留字节。指针值在V1、V2字节的后10个比特，V1、V2字节的16个bit的功能与AU-PTR的H1H2字节的16个比特功能相同。



位置的正/负调整是由V3来进行的。

---

TU-PTR的调整单位为1，可知指针值的范围为0~139，若连续8帧收到无效指针或NDF，则收端出现TU-LOP（支路单元指针丢失）告警，并下插AIS告警信号。

在VC12和TU-12无频差、相差时，V5字节的位置值是70，也就是说此时的TU-PTR的值为70。

TU-PTR的指针调整和指针解读方式类似于AU-PTR。

---

？ 想一想：

这部分你学了些什么？

1. AU-PTR和TU-PTR是如何对VC4和VC12定位的。
2. 跟指针有关的告警、性能事件的产生原因。

其中2. 要重点掌握。

---

## 小结

本节主要讲述了SDH体制信号监控的实现，由RSOH、MSOH、HP-POH、LP-POH实现层层细化监控机制；指针定位机理。

需重点掌握的是字节对告警和性能的检测机理。

## 习题

1. MS-AIS、MS-RDI是由什么字节检测的？
2. ROLF告警的检测机理 是什么？
3. 当收端检测出AU-PTR为800或1023时，分别会有什么告警？
4. 哪几个字节完成了层层细化的误码监控？

## 第四节 SDH设备的逻辑组成

目标：

了解SDH传输网的常见网元类型和基本功能。

掌握组成SDH设备的基本逻辑功能块的功能，及其监测的相应告警和性能事件。

掌握辅助功能块的功能。

了解复合功能块的功能。

掌握各功能块提供的相应告警维护信号，及其相应告警流程图。

### 4.1 SDH网络的常见网元

SDH传输网是由不同类型的网元通过光缆线路的连接组成的，通过不同的网元完成SDH网的传送功能：上/下业务、交叉连接业务、网络故障自愈等。下面我们讲述SDH网中常见网元的特点和基本功能。

- TM——终端复用器

终端复用器用在网络的终端站点上，例如一条链的两个端点上，它是一个双端口器件，如图4-1所示。

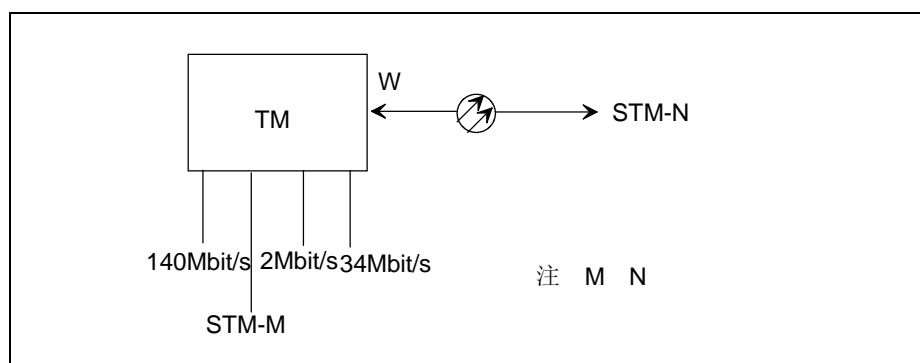


图4-1 TM模型

它的作用是将支路端口的低速信号复用到线路端口的高速信号STM-N中，或从STM-N的信号中分出低速支路信号。请注意它的线路端口输入/输出一路STM-N信号，而支路端口却可以输出/输入多路低速支路信号。在将低速支

路信号复用进STM-N帧（将低速信号复用到线路）上时，有一个交叉的功能，例如：可将支路的一个STM-1信号复用进线路上的STM-16信号中的任意位置上，也就是指复用在1~16个STM-1的任一个位置上。将支路的2Mbit/s信号可复用到一个STM-1中63个VC12的任一个位置上去。对于华为设备，TM的线路端口（光口）一般以西向端口默认表示的。

- ADM——分/插复用器

分/插复用器用于SDH传输网络的转接站点处，例如链的中间结点或环上结点，是SDH网上使用最多、最重要的一种网元，它是一个三端口的器件，如图4-2所示。

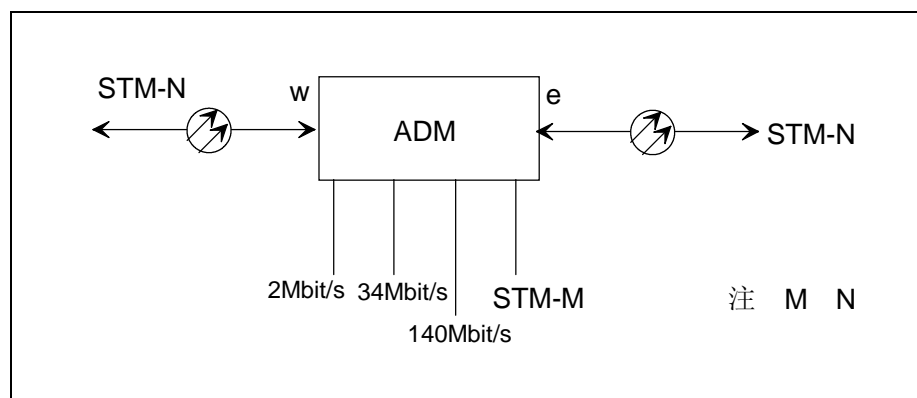


图4-2 ADM模型

ADM有两个线路端口和一个支路端口。两个线路端口各接一侧的光缆（每侧收/发共两根光纤），为了描述方便我们将其分为西（W）向、东向（E）两个线路端口。ADM的作用是将低速支路信号交叉复用进东或西向线路上去，或从东或西侧线路端口收的线路信号中拆分出低速支路信号。另外，还可将东/西向线路侧的STM-N信号进行交叉连接，例如将东向STM-16中的3#STM-1与西向STM-16中的15#STM-1相连接。

ADM是SDH最重要的一种网元，通过它可等效成其它网元，即能完成其它网元的功能，例如：一个ADM可等效成两个TM。

- REG——再生中继器

光传输网的再生中继器有两种，一种是纯光的再生中继器，主要进行光功率放大以延长光传输距离；另一种是用于脉冲再生整形的电再生中继器，主要通过光/电变换、电信号抽样、判决、再生整形、电/光变换，以达到不积累线路噪声，保证线路上传送信号波形的完好性。此处讲的是后一种再生中继器，REG是双端口器件，只有两个线路端口——W、E。如图4-3所示：

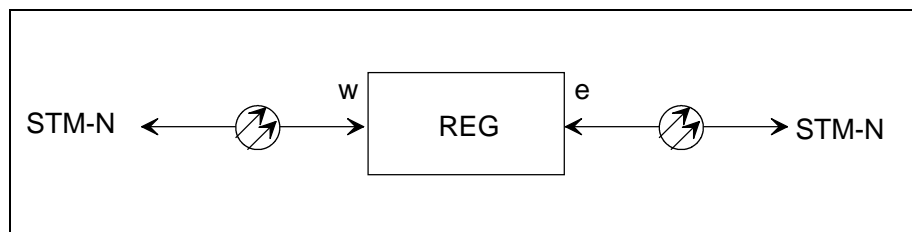


图4-3 电再生中继器

它的作用是将w/e侧的光信号经O/E、抽样、判决、再生整形、E/O在e或w侧发出。注意到没有，REG与ADM相比仅少了支路端口，所以ADM若本地不上/下话路（支路不上/下信号）时完全可以等效一个REG。

真正的REG只需处理STM-N帧中的RSOH，且不需要交叉连接功能（w—e直通即可），而ADM和TM因为要完成将低速支路信号分/插到STM-N中，所以不仅要处理RSOH，而且还要处理MSOH；另外ADM和TM都具有交叉复用能力（有交叉连接功能），因此用ADM来等效REG有点大材小用了。

#### • DXC——数字交叉连接设备

数字交叉连接设备完成的主要是STM-N信号的交叉连接功能，它是一个多端口器件，它实际上相当于一个交叉矩阵，完成各个信号间的交叉连接，如图4-4所示。

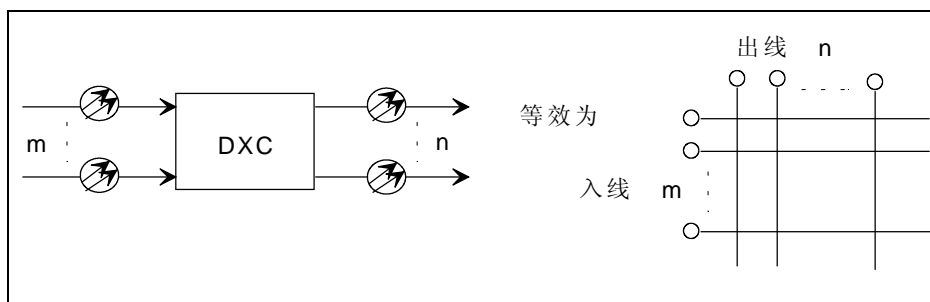


图4-4 DXC功能图

DXC可将输入的m路STM-N信号交叉连接到输出的n路STM-N信号上，上图表示有m条入光纤和n条出光纤。DXC的核心是交叉连接，功能强的DXC能完成高速（例STM-16）信号在交叉矩阵内的低级别交叉（例如VC12级别的交叉）。

通常用DXC<sub>m/n</sub>来表示一个DXC的类型和性能（注 $m \geq n$ ），m表示可接入DXC的最高速率等级，n表示在交叉矩阵中能够进行交叉连接的最低速率级别。m越大表示DXC的承载容量越大；n越小表示DXC的交叉灵活性越大。m和n的相应数值的含义见表4-1：

表4-1 m、n 数值与速率对应表

m或n	0	1	2	3	4	5	6
速率	64kbit/s	2Mbit/s	8Mbit/s	34Mbit/s	140Mbit/s 155Mbit/s	622Mbit/s	2.5Gbit/s

小容量的DXC可由ADM来等效，例如华为公司的2.5G设备可等效为6×6 DXC5/1。

## 4.2 SDH设备的逻辑功能块

我们知道SDH体制要求不同厂家的产品实现横向兼容，这就必然会要求设备的实现要按照标准的规范，而不同厂家的设备千差万别，那么怎样才能实现设备的标准化，以达到互连的要求呢？

ITU-T采用功能参考模型的方法对SDH设备进行规范，它将设备所应完成的功能分解为各种基本的标准功能块，功能块的实现与设备的物理实现无关（以哪种方法实现不受限制），不同的设备由这些基本的功能块灵活组合而成，以完成设备不同的功能。通过基本功能块的标准化，来规范了设备的标准化，同时也使规范具有普遍性，叙述清晰简单。

下面我们以一个TM设备的典型功能块组成，来讲述各个基本功能块的作用，应该特别注意的是掌握每个功能块所监测的告警、性能事件，及其检测机理。如图4-5所示。

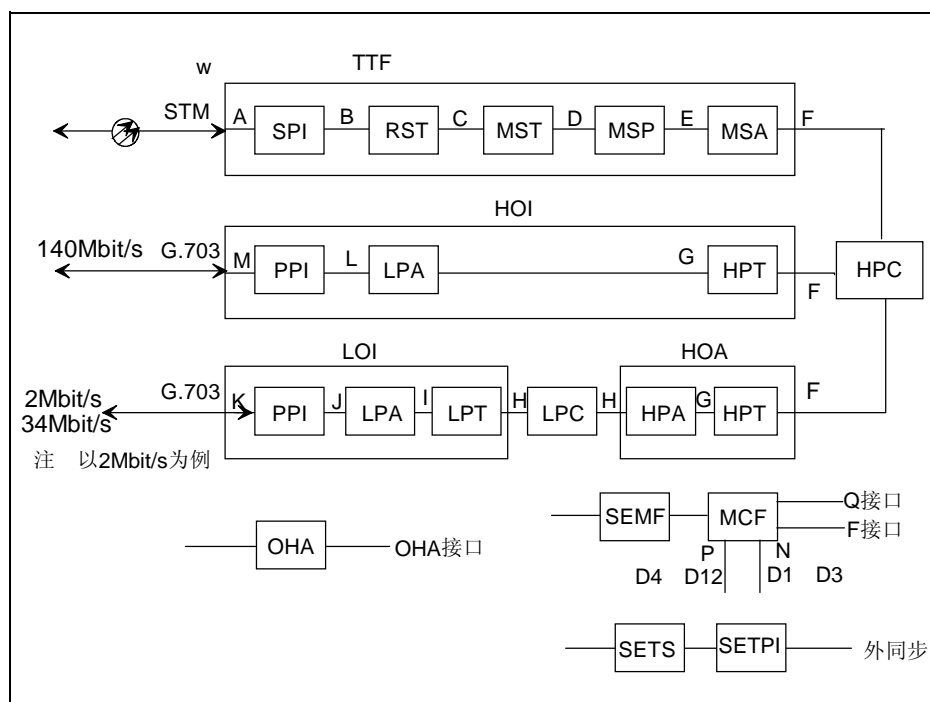


图4-5 SDH设备的逻辑功能构成

为了更好地理解上图，对图中出现的功能块名称说明如下：

SPI: SDH物理接口	TTF: 传送终端功能
RST: 再生段终端	HOI: 高阶接口
MST: 复用段终端	LOI: 低阶接口
MSP: 复用段保护	HOA: 高阶组装器
MSA: 复用段适配	HPC: 高阶通道连接
PPI: PDH物理接口	OHA: 开销接入功能
LPA: 低阶通道适配	SEMF: 同步设备管理功能
LPT: 低阶通道终端	MCF: 消息通信功能
LPC: 低阶通道连接	SETS: 同步设备时钟源
HPA: 高阶通道适配	SETPI: 同步设备定时物理接口
HPT: 高阶通道终端	

图4-5为一个TM的功能块组成图，其信号流程是线路上的STM-N信号从设备的A参考点进入设备依次经过A→B→C→D→E→F→G→L→M拆分成140Mbit/s的PDH信号；经过A→B→C→D→E→F→G→H→I→J→K拆分成

2Mbit/s或34Mbit/s的PDH信号（这里以2Mbit/s信号为例），在这里将其定义为设备的收方向。相应的发方向就是沿这两条路径的反方向将140Mbit/s和2Mbit/s、34Mbit/s的PDH信号复用到线路上的STM-N信号帧中。设备的这些功能是由各个基本功能块共同完成的。

- **SPI: SDH物理接口功能块**

SPI是设备和光路的接口，主要完成光/电变换、电/光变换，提取线路定时，以及相应告警的检测。

1) 信号流从A到B——收方向

光/电转换，同时提取线路定时信号并将其传给SETS（同步设备定时源功能块）锁相，锁定频率后由SETS再将定时信号传给其它功能块，以此作为它们工作的定时时钟。

当A点的STM-N信号失效（例如：无光或光功率过低，传输性能劣化使BER劣于 $10^{-3}$ ），SPI产生R-LOS告警（接收信号丢失），并将R-LOS状态告知SEMF（同步设备管理功能块）。

2) 信号流从B到A——发方向

电/光变换，同时，定时信息附着在线路信号中。

- **RST: 再生段终端功能块**

RST是RSOH开销的源和宿，也就是说RST功能块在构成SDH帧信号的过程中产生RSOH（发方向），并在相反方向（收方向）处理（终结）RSOH。

1) 收方向——信号流B到C

STM-N的电信号及定时信号或R-LOS告警信号（如果有的话）由B点送至RST，若RST收到的是R-LOS告警信号，即在C点处插入全“1”（AIS）信号。若在B点收的是正常信号流，那么RST开始搜寻A1和A2字节进行定帧，帧定位就是不断检测帧信号是否与帧头位置相吻合。若连续5帧以上无法正确定位帧头，设备进入帧失步状态，RST功能块上报接收信号帧失步告警R-OOF。在帧失步时，若连续两帧正确定帧则退出R-OOF状态。R-OOF持续了3ms以上设备进入帧丢失状态，RST上报R-LOF（帧丢失）告警，并使C点处出现全“1”信号。

RST对B点输入的信号进行了正确帧定位后，RST对STM-N帧中除RSOH第一行字节外的所有字节进行解扰，解扰后提取RSOH并进行处理。RST校验B1字节，若检测出有误码块，则本端产生RS-BBE；RST同时将E1、F1字节提取出传给OHA（开销接入功能块）处理公务联络电话；将D1—D3提取传给SEMF，处理D1—D3上的再生段OAM命令信息。

## 2) 发方向——信号流从C到B

RST写RSOH，计算B1字节，并对除RSOH第一行字节外的所有字节进行扰码。设备在A点、B点、C点处的信号帧结构如图4-6:

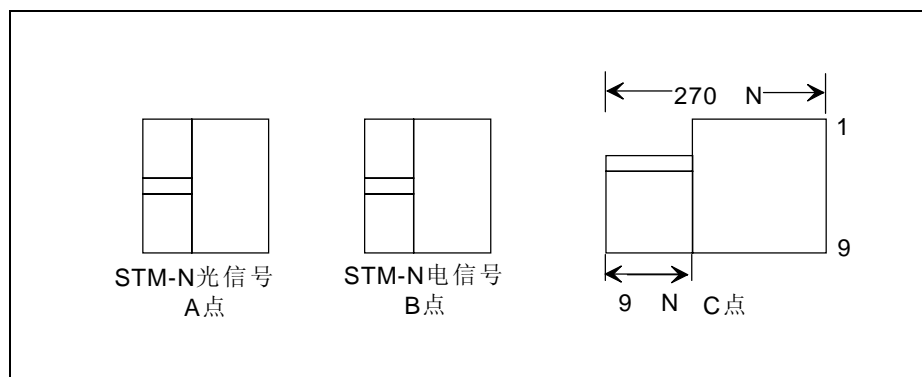


图4-6 A、B、C点处的信号帧结构图

### • MST：复用段终端功能块

MST是复用段开销的源和宿，在接收方向处理（终结）MSOH，在发方向产生MSOH。

## 1) 收方向——信号流从C到D

MST提取K1、K2字节中的APS（自动保护倒换）协议送至SEMF，以便SEMF在适当的时候（例如故障时）进行复用段倒换。若C点收到的K2字节的b6—b8连续3帧为111，则表示从C点输入的信号为全“1”信号，MST功能块产生MS-AIS（复用段告警指示）告警信号。

### 🔗 诀窍:

MS-AIS的告警是指在C点的信号为全“1”。它是由R-LOS，R-LOF引发的，因为当RST收到R-LOS、R-LOF时，会使C点的信号为全“1”，那么此时K2的b6—b8当然是“111”了。另外，本端的MS-AIS告警还可能是因为对端发过来的信号本身就是MS-AIS，即发过来的STM-N帧是由有效RSOH和其余部分为全“1”信号组成的。

若在C点的信号中K2为110，则判断为这是对端设备回送回来的对告信号：MS-RDI（复用段远端失效指示），表示对端设备在接收信号时出现MS-AIS、B2误码过大等劣化告警。

MST功能块校验B2字节，检测复用段信号的传输误码块，若有误块检测出，则本端设备在MS-BBE性能事件中显示误块数，向对端发对告信息MS-REI，由M1字节回告对方接收端收到的误块数。

若检测到MS-AIS或B2检测的误码块数超越门限（此时MST上报一个B2误码越限告警MS-EXC），则在点D处使信号出现全“1”。

另外，MST将同步状态信息S1（b5—b8）恢复，将所得的同步质量等级信息传给SEMF。同时MST将D4—D12字节提取传给SEMF，供其处理复用段OAM信息；将E2提取出来传给OHA，供其处理复用段公务联络信息。

## 2) 发方向——信号流从D到C

MST写入MSOH：从OHP来的E2；从SEMF来的D4—D12；从MSP来的K1、K2写入相应B2字节、S1字节、M1等字节。若MST在收方向检测到MS-AIS或MS-EXC（B2），那么在发方向上将K2字节b6—b8设为110。D点处的信号帧结构如图4-7所示。

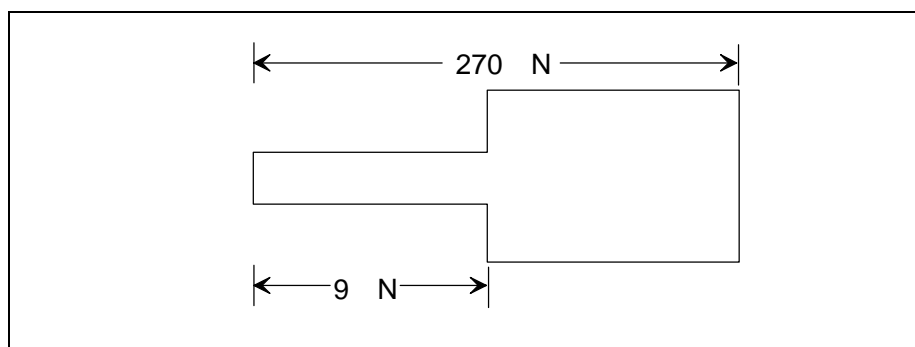


图4-7 D点处的信号帧结构图

### 🔑 诀窍:

再生段和复用段的名字听得多了，但再生段和复用段究竟指什么呢？

再生段是指在两个设备的RST之间的维护区段（包括两个RST和它们之间的光缆）。复用段是指在两个设备的MST之间的维护区段（包括两个MST和它们之间的光缆）。



再生段只处理STM-N帧的RSOH，复用段处理STM-N帧的RSOH和MSOH。

### • MSP：（复用段保护功能块）

MSP用以在复用段内保护STM-N信号，防止随路故障，它通过对STM-N信号的监测、系统状态评价，将故障信道的信号切换到保护信道上（复用段倒换）。ITU-T规定保护倒换的时间控制在50ms以内。

复用段倒换的故障条件是R-LOS、R-LOF、MS-AIS和MS-EXC（B2），要进行复用段保护倒换，设备必须要有冗余（备用）的信道。以两个端对端的TM为例进行说明，如图4-8所示。

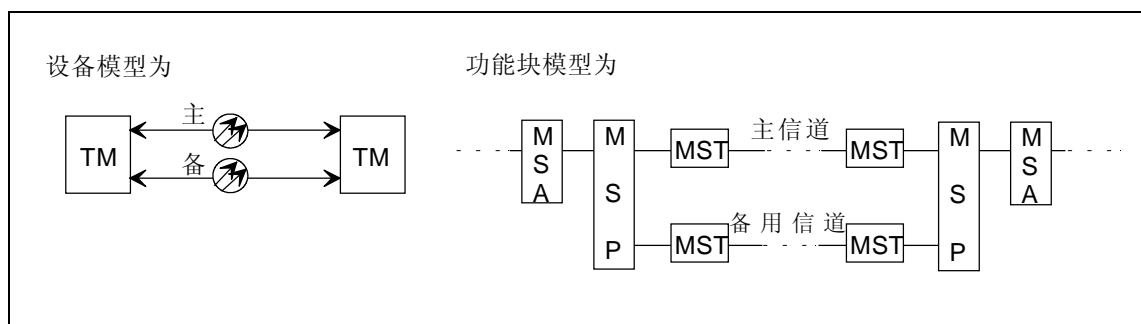


图4-8 TM的复用段保护

### 1) 收方向——信号流从D到E

若MSP收到MST传来的MS-AIS或SEMF发来的倒换命令，将进行信息的主备倒换，正常情况下信号流从D透明传到E。

## 2) 发方向——信号流从E到D

E点的信号流透明的传至D，E点处信号波形同D点。

---

### 技术细节:

常见的倒换方式有1+1、1:1和1:n。以图 4-8的设备模型为例:

1+1指发端在主备两个信道上发同样的信息（并发），收端在正常情况下选收主用信道上的业务，因为主备信道上的业务一模一样（均为主用业务），所以在主用信道损坏时，通过切换选收备用信道而使主用业务得以恢复。此种倒换方式又叫做单端倒换（仅收端切换），倒换速度快，但信道利用率低。

1:1方式指在正常时发端在主用信道上发主用业务，在备用信道上发额外业务（低级别业务），收端从主用信道收主用业务从备用信道收额外业务。当主用信道损坏时，为保证主用业务的传输，发端将主用业务发到备用信道上，收端将切换到从备用信道选收主用业务，此时额外业务被终结，主用业务传输得到恢复。这种倒换方式称之为双端倒换（收/发两端均进行切换），倒换速率较慢，但信道利用率高。由于额外业务的传送在主用信道损坏时要被终结，所以额外业务也叫做不被保护的业务。

1:n是指一条备用信道保护n条主用信道，这时信道利用率更高，但一条备用信道只能同时保护一条主用信道，所以系统可靠性降低了。

---

### • MSA：复用段适配功能块

MSA的功能是处理和产生AU-PTR，以及组合/分解整个STM-N帧，即将AUG组合/分解为VC4。

#### 1) 收方向——信号流从E到F

首先，MSA对AUG进行消间插，将AUG分成N个AU-4结构，然后处理这N个AU-4的AU指针，若AU-PTR的值连续8帧为无效指针值或AU-PTR连续8帧为NDF，此时MSA上相应的AU-4产生AU-LOP告警，并使信号在F点的相应的通道上（VC4）输出为全“1”。若MSA连续3帧检测出H1、H2、H3字节全为1，则认为E点输入的为全“1”信号，此时MSA使信号在F点的相应的VC4上输出为全“1”，并产生相应AU-4的AU-AIS告警。

#### 2) 发方向——信号流从F到E

F点的信号经MSA定位和加入标准的AU-PTR成为AU-4，N个AU-4经过字节间插复用成AUG。F点的信号帧结构如图4-9所示。

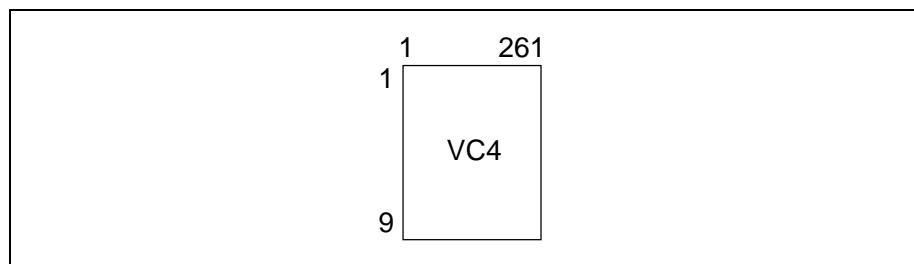


图4-9 F点的信号帧结构图

- TTF: 传送终端功能块

前面讲过多个基本功能经过灵活组合，可形成复合功能块，以完成一些较复杂的工作。

SPI、RST、MST、MSA一起构成了复合功能块TTF，它的作用是在收方向对STM-N光线路进行光/电变换（SPI）、处理RSOH（RST）、处理MSOH（MST）、对复用段信号进行保护（MSP）、对AUG消间插并处理指针AU-PTR，最后输出N个VC4信号；发方向与此过程相反，进入TTF的是VC4信号，从TTF输出的是STM-N的光信号。

- HPC: 高阶通道连接功能块

HPC实际上相当于一个交叉矩阵，它完成对高阶通道VC4进行交叉连接的功能，除了信号的交叉连接外，信号流在HPC中是透明传输的（所以HPC的两端都用F点表示）。HPC是实现高阶通道DXC和ADM的关键，其交叉连接功能仅指选择或改变VC4的路由，不对信号进行处理。一种SDH设备功能的强大与否主要是由其交叉能力决定的，而交叉能力又是由交叉连接功能块即高阶HPC、低阶LPC来决定的。为了保证业务的全交叉，图4-6中的HPC的交叉容量最小应为 $2N \text{ VC4} \times 2N \text{ VC4}$ ，相当于 $2N$ 条VC4入线， $2N$ 条VC4出线。

- HPT: 高阶通道终端功能块

从HPC中出来的信号分成了两种路由：一种进HOI复合功能块，输出140Mbit/s的PDH信号；一种进HOA复合功能块，再经LOI复合功能块最终输出2Mbit/s的PDH信号。不过不管走哪一种路由都要先经过HPT功能块，两种路由HPT的功能是一样的。

HPT是高阶通道开销的源和宿，形成和终结高阶虚容器。

1) 收方向——信号流从F到G

终结POH，检验B3，若有误码块则在本端性能事件中HP-BBE显示检出的误码数，同时在回送给对端的信号中，将G1字节的b1—b4设置为检测出的误码数，以便发端在性能事件HP-REI中显示相应的误码数。

---

🔗 诀窍：

G1的b1—b4值的范围为0—15，而B3只能在一帧中检测出最多8个误码块，也就是说G1 b1—b4的值0—8表示检测0—8个误码块，其余7个值（9—15）均被当成无误码块。

---

HPT检测J1和C2字节，若失配（应收的和所收的不一致）则产生HP-TIM、HP-SLM告警，使信号在G点相应的通道上输出为全“1”，同时通过G1的b5往发端回传一个相应通道的HP-RDI告警。若检查到C2字节的内容连续5帧为00000000，则判断该VC4通道未装载，于是使信号在G点相应的通道上输出为全“1”，HPT在相应的VC4通道上产生HP-UNEQ告警。

H4字节的内容包含有复帧位置指示信息，HPT将其传给HOA复合功能块的HPA功能块（因为H4的复帧位置指示信息仅对2Mbit/s有用，对140Mbit/s的信号无用）。

## 2) 发方向——信号流从G到F

HPT写入POH，计算B3，由SEMF传相应的J1和C2给HPT写入POH中。

G点的信号形状实际上是C4信号的帧，这个C4信号一种情况是由140Mbit/s适配成的；另一种情况是由2Mbit/s信号经C12→VC12→TU-12→TUG-2→TUG3→C4这种结构复用而来的。下面我们分别予以讲述。

先讲述由140Mbit/s的PDH信号适配成1的C4，G点处的信号帧结构如图4-10所示。

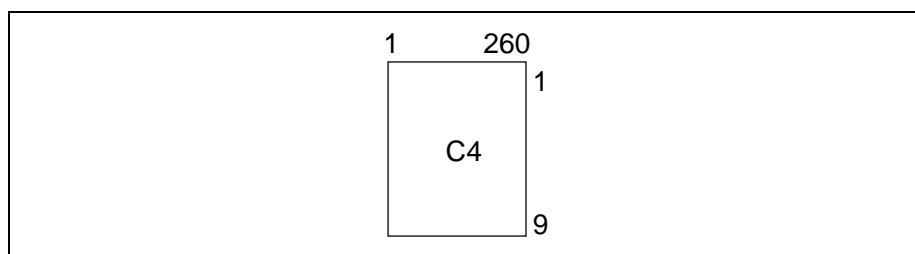


图4-10 G点的信号帧结构图

- LPA: 低阶通道适配功能块

LPA的作用是通过映射和去映射将PDH信号适配进C，或把C信号去映射成PDH信号，其功能类似于 $PDH \leftrightarrow C$ ，此处指 $140\text{Mbit/s} \leftrightarrow C4$ 。

- PPI: PDH物理接口功能块

PPI的功能是作为PDH设备和携带支路信号的物理传输媒质的接口，主要功能是进行码型变换和支路定时信号的提取。

1) 收方向——信号流从L到M

将设备内部码转换成便于支路传输的PDH线路码型，如HDB3（2Mbit/s、34Mbit/s）、CMI（140Mbit/s）。

2) 发方向——信号流从M到L

将PDH线路码转换成便于设备处理的NRZ码，同时提取支路信号的时钟将其送给SETS锁相，锁相后的时钟由SETS送给各功能块作为它们的工作时钟。

当PPI检测到无输入信号时，会产生支路信号丢失告警T-ALOS（2Mbit/s）或EXLOS（34Mbit/s、140Mbit/s），表示设备支路输入信号丢失。

- HOI: 高阶接口

此复合功能块由HPT、LPA、PPI三个基本功能块组成。完成的功能是将140Mbit/s的PDH信号  $\leftrightarrow C4 \leftrightarrow VC4$ 。

下面讲述由2Mbit/s复用进C4的情况。

- HPA: 高阶通道适配功能块

此时，G点处的信号实际上是由TUG3通过字节间插而成的C4信号，而TUG3又是由TUG2通过字节间插复合而成的，TUG2又是由TU12复合而成，TU12由VC12+TU-PTR组成的。见第二节附图。

HPA的作用有点类似MSA，只不过进行的是通道级的处理/产生TU-PTR，将C4这种信息结构拆/分成TU12（对2Mbit/s的信号而言）。

1) 收方向——信号流从G到H

首先将C4进行消间插成63个TU-12，然后处理TU-PTR，进行VC12在TU-12中的定位、分离，从H点流出的信号是63个VC12信号。

HPA若连续3帧检测到V1、V2、V3全为“1”，则判定为相应通道的TU-AIS告警，在H点使相应VC12通道信号输出全为“1”。若HPA连续8帧

检测到TU-PTR为无效指针或NDF，则HPA产生相应通道的TU-LOP告警，并在H点使相应VC12通道信号输出全为“1”。

HPA根据从HPT收到的H4字节做复帧指示，将H4的值与复帧序列中单帧的预期值相比较，若连续几帧不吻合则上报TU-LOM支路单元复帧丢失告警，若H4字节的值为无效值：在01H—04H之外，则也会出现TU-LOM告警。

## 2) 发方向——信号流从H到G

HPA先对输入的VC12进行标准定位——加上TU-PTR，然后将63个TU-12通过字节间插复用：TUG2→TUG3→C4。

### • HOA：高阶组装器

高阶组装器的作用是将2Mbit/s和34Mbit/s的POH信号通过映射、定位、复用，装入C4帧中，或从C4中拆分出2Mbit/s和34Mbit/s的信号。

H点处的信号帧结构图如图4-11所示。

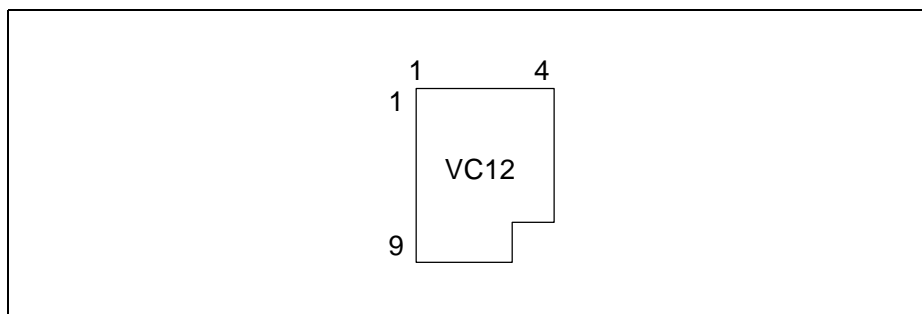


图4-11 H点处的信号帧结构图

### • LPC：低阶通道连接功能块

与HPC类似，LPC也是一个交叉连接矩阵，不过它是完成对低阶VC（VC12/VC3）进行交叉连接的功能，可实现低阶VC之间灵活的分配和连接。一个设备若要具有全级别交叉能力，就一定要包括HPC和LPC。例如DXC4/1就应能完成VC4级别的交叉连接和VC3、VC12级别的交叉连接，也就是说DXC4/1必须要包括HPC功能块和LPC功能块。信号流在LPC功能块处是透明传输的（所以LPC两端参考点都为H）。

- LPT: 低阶通道终端功能块

LPT是低阶POH的源和宿，对VC12而言就是处理和产生V5、J2、N2、K4四个POH字节。

1) 收方向——信号流从H到J

LPT处理LP-POH，通过V5字节的b1—b2进行BIP-2的检验，若检测出VC12的误码块，则在本端性能事件LP-BBE中显示误块数，同时通过V5的b3回告对端设备，并在对端设备的性能事件LP-REI（低阶通道远端误块指示）中显示相应的误块数。检测J2和V5的b5—b7，若失配（应收的和实际所收的不一致）则在本端产生LP-TIM（低阶通道踪迹字节失配）、LP-SLM（低阶通道信号标识失配），此时LPT使I点处使相应通道的信号输出为全“1”，同时通过V5的b8回送给对端一个LP-RDI（低阶通道远端失效指示）告警，使对端了解本接收端相应的VC12通道信号时出现劣化。若连续5帧检测到V5的b5—b7为000，则判定为相应通道来装载，本端相应通道出现LP-UNEQ（低阶通道未装载）告警。

I点处的信号实际上已成为C12信号，帧结构如图4-12所示。

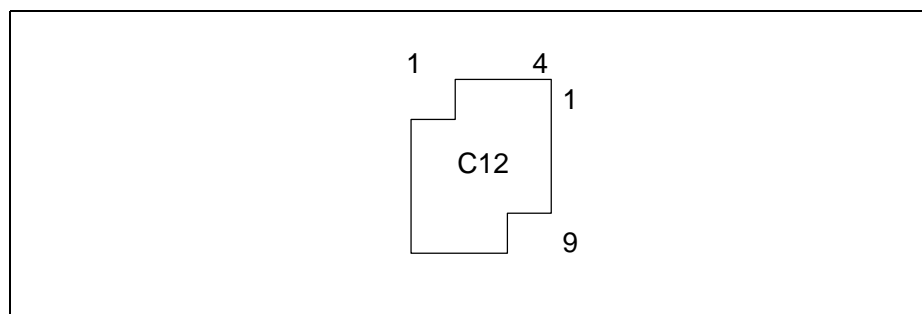


图4-12 I点处的信号帧结构图

- LPA: 低阶通道适配功能块

低阶通道适配功能块的作用与前面所讲的一样，就是将PDH信号（2Mbit/s）装入/拆出C12容器，相当于将货物打包/拆包的过程：2Mbit/s  $\Leftrightarrow$  C12，。此时J点的信号实际上已是PDH的2Mbit/s信号。

- PPI: PDH物理接口功能块

与前面讲的一样，PPI主要完成码型变换的接口功能，以及提取支路定时供系统使用的功能。

- **LOI: 低阶接口功能块**

低阶接口功能块主要完成将VC12信号拆包成PDH 2Mbit/s的信号（收方向），或将PDH的2Mbit/s信号打包成VC12信号，同时完成设备和线路的接口功能——码型变换；PPI完成映射和解映射功能。

设备组成的基本功能块就是这些，不过通过它们的灵活的组合，可构成不同的设备，例如组成：REG、TM、ADM和DXC，并完成相应的功能。

设备还有一些辅助功能块，它们携同基本功能块一起完成设备所要求的功能，这些辅助功能块是：SEMF、MCF、OHA、SETS、SETPI。

- **SEMF: 同步设备管理功能块**

它的作用是收集其它功能块的状态信息，进行相应的管理操作。这就包括了本站向各个功能块下发命令，收集各功能块的告警、性能事件，通过DCC通道向其它网元传送OAM信息，向网络管理终端上报设备告警、性能数据以及响应网管终端下发的命令。

DCC（D1—D12）通道的OAM内容是由SEMF决定的，并通过MCF在RST和MST中写入相应的字节，或通过MCF功能块在RST和MST提取D1—D12字节，传给SEMF处理。

- **MCF: 消息通信功能块**

MCF功能块实际上是SEMF和其它功能块和网管终端的一个通信接口，通过MCF，SEMF可以和网管进行消息通信（F接口、Q接口），以及通过N接口和P接口分别与RST和MST上的DCC通道交换OAM信息，实现网元和网元间的OAM信息的互通。

MCF上的N接口传送D1—D3字节（DCCR），P接口传送D4—D12字节（DCCM），F接口和Q接口都是与网管终端的接口，通过它们可使网管能对本设备及至整个网络的网元进行统一管理。

---

 **技术细节:**

F接口和Q接口都是提供网管与设备的接口，二者有什么区别呢？

F接口提供与本地网管终端的接口，Q接口提供与远程网管终端的接口。

---

- **SETS: 同步设备定时源功能块**

数字网都需要一个定时时钟以保证网络的同步，使设备能正常运行。而SETS功能块的作用就是提供SDH网元乃至SDH系统的定时时钟信号。

SETS时钟信号的来源有4个：

由SPI功能块从线路上的STM-N信号中提取的时钟信号；

由PPI从PDH支路信号中提取的时钟信号；

由SETPI（同步设备定时物理接口）提取的外部时钟源，如：2MHz方波信号或2Mbit/s；

当这些时钟信号源都劣化后，为保证设备的定时，由SETS的内置振荡器产生的时钟。

SETS对这些时钟进行锁相后，选择其中一路高质量时钟信号，传给设备中除SPI和PPI外的所有功能块使用。同时SETS通过SETPI功能块向外提供2Mbit/s和2MHz的时钟信号，可供其它设备——交换机、SDH网元等作为外部时钟源使用。

---

 **诀窍：**

以上所讲的是SDH设备的4个时钟来源，这仅仅是指SDH设备使用的时钟信号“放”在何处，即SDH从何处可以提取到时钟信号。那么时钟信号的本质来源是什么？中国数字网的定时信号是由国家级的定时基准时钟（主用时钟在北京，备用时钟在武汉）而来的。经过同步链路的层层转接而传到SDH设备的，这方面内容将在后面详细讲述。

---

**SETPI: 同步设备定时物理接口**

作用SETS与外部时钟源的物理接口，SETS通过它接收外部时钟信号或提供外部时钟信号。

- **OHA: 开销接入功能块**

OHA的作用是从RST和MST中提取或写入相应E1、E2、F1公务联络字节，进行相应的处理。

前面我们讲述了组成设备的基本功能块，以及这些功能块所监测的告警性能事件及其监测机理。深入了解各个功能块上监测的告警、性能事件，以及这些事件的产生机理，是以后在维护设备时能正确分析、定位故障的关键所在，

希望你能将这部分内容完全理解和掌握。由于这部分内容较零散，现将其综合起来，以便使你能找出其内在的联系。

以下是SDH设备各功能块产生的主要告警维护信号以及有关的开销字节。

- SPI: LOS
- RST: LOF (A1、A2)， OOF (A1、A2)， RS-BBE (B1)
- MST: MS-AIS (K2[b6—b8])、MS-RDI (K2[b6—b8])， MS-REI (M1)， MS-BBE (B2)， MS-EXC (B2)
- MSA: AU-AIS (H1、H2、H3)， AU-LOP (H1、H2)
- HPT: HP-RDI (G1[b5])， HP-REI (G1[b1—b4])， HP-TIM (J1)， HP-SLM(C2)， HP-UNEQ(C2)， HP-BBE(B3)
- HPA: TU-AIS (V1、V2、V3)， TU-LOP (V1、V2)， TU-LOM (H4)
- LPT: LP-RDI (V5[b8])， LP-REI (V5[b3])， LP-TIM(J2)， LP-SLM(V5[b5—b7])， LP-UNEQ (V5[b5—b7])， LP-BBE (V5[b1—b2])

以上这些告警维护信号产生机理的简要说明如下：

ITU-T建议规定了各告警信号的含义：

- LOS: 信号丢失，输入无光功率、光功率过低、光功率过高，使BER劣于 $10^{-3}$ 。
- OOF: 帧失步，搜索不到A1、A2字节时间超过 $625\mu s$ 。
- LOF: 帧丢失，OOF持续3ms以上。
- RS-BBE: 再生段背景误码块，B1校验到再生段——STM-N的误码块。
- MS-AIS: 复用段告警指示信号，K2[6—8]=111超过3帧。
- MS-RDI: 复用段远端劣化指示，对端检测到MS-AIS、MS-EXC，由K2[6-8]回发过来。
- MS-REI: 复用段远端误码指示，由对端通过M1字节回发由B2检测出的复用段误块数。
- MS-BBE: 复用段背景误码块，由B2检测。
- MS-EXC: 复用段误码过量，由B2检测。
- AU-AIS: 管理单元告警指示信号，整个AU为全“1”（包括AU-PTR）。

- AU-LOP: 管理单元指针丢失, 连续8帧收到无效指针或NDF。
- HP-RDI: 高阶通道远端劣化指示, 收到HP-TIM、HP-SLM。
- HP-REI: 高阶通道远端误码指示, 回送给发端由收端B3字节检测出的误块数。
- HP-BBE: 高阶通道背景误码块, 显示本端由B3字节检测出的误块数。
- HP-TIM: 高阶通道踪迹字节失配, J1应收和实际所收的不一致。
- HP-SLM: 高阶通道信号标记失配, C2应收和实际所收的不一致。
- HP-UNEQ: 高阶通道未装载, C2=00H超过了5帧。
- TU-AIS: 支路单元告警指示信号, 整个TU为全“1”(包括TU指针)。
- TU-LOP: 支路单元指针丢失, 连续8帧收到无效指针或NDF。
- TU-LOM: 支路单元复帧丢失, H4连续2—10帧不等于复帧次序或无效的H4值。
- LP-RDI: 低阶通道远端劣化指示, 接收到TU-AIS或LP-SLM、LP-TIM。
- LP-REI: 低阶通道远端误码指示, 由V5[1 — 2]检测。
- LP-TIM: 低阶通道踪迹字节失配, 由J2检测。
- LP-SLM: 低阶通道信号标记字节适配, 由V5[5 — 7]检测。
- LP-UNEQ: 低阶通道未装载, V5[5 — 7]=000超过了5帧。

为了理顺这些告警维护信号的内在关系, 我们在下面列出了两个告警流程图。

图4-13是简明的TU-AIS告警产生流程图。TU-AIS在维护设备时会经常碰到, 通过图4-13分析, 就可以方便的定位TU-AIS及其它相关告警的故障点和原因。

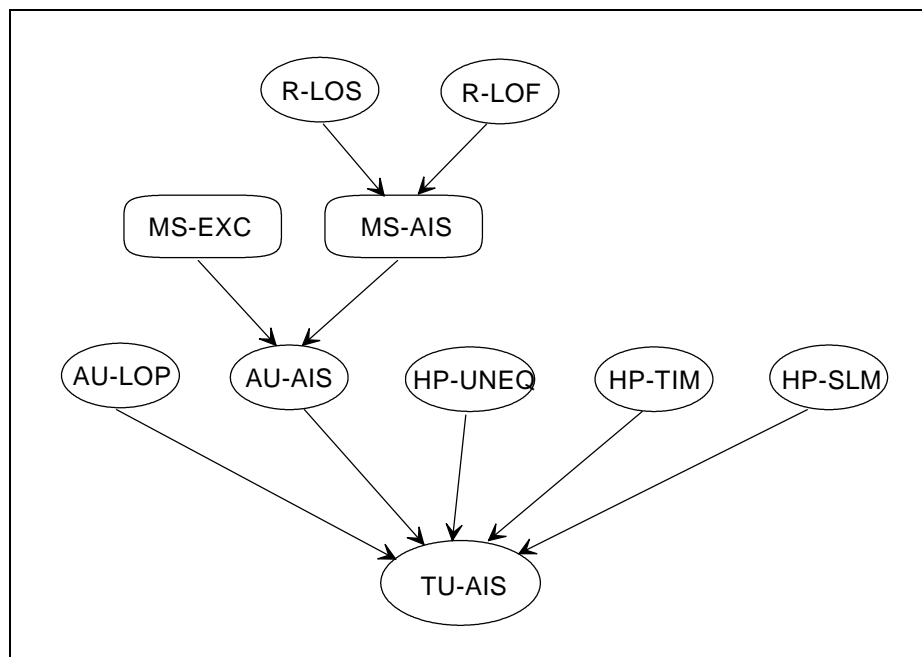


图4-13 简明TU-AIS告警产生流程图

---

💡 诀窍:

在维护设备时还有一个常见的原因会产生TU-AIS，那是将业务时隙配错，使收发两端的该业务时隙错开了。



发端A有一个2Mbit/s的业务要传与B，A将该2Mbit/s的业务复用到线路上的第48个VC12中，而B下该业务时是下的线路上的第49个VC12，若线路上的第49个VC12未配置业务的话，那么B端就会在相应的这个通道上产生TU-AIS告警。若第49个VC12配置了其它2Mbit/s的业务的话，B端就会现类似串话的现象（收到了不该收的通道信号）。

---

图4-14是一个较详细的SDH设备各功能块的告警流程图，通过它可看出SDH设备各功能块产告警维护信号的相互关系。

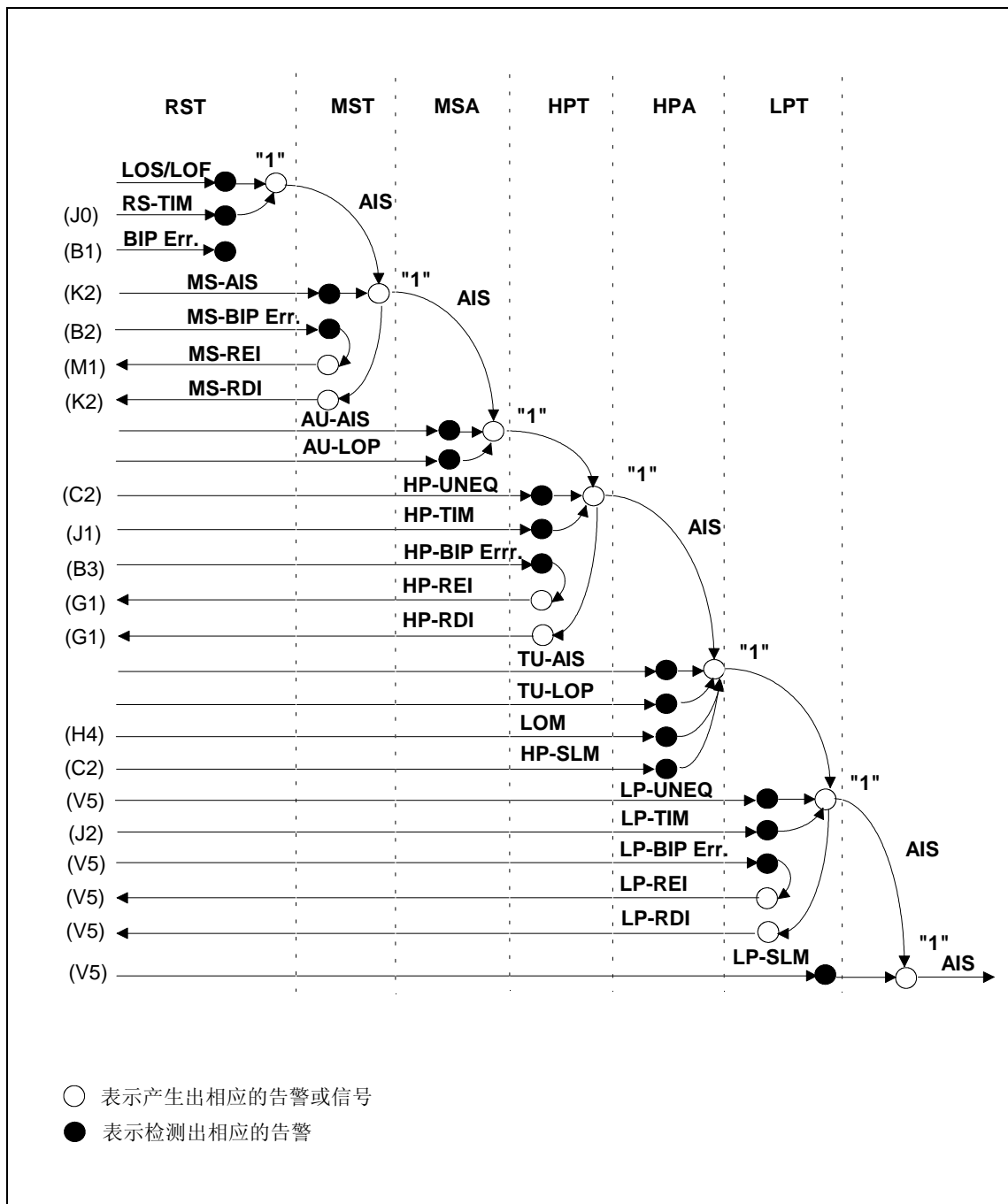


图4-14 SDH各功能块告警流程图

前面我们讲过SDH的几种常见网元，现在我们讲一讲这几种网元是由哪些功能块组成的，从这些功能块的组成上，你可以轻而易举的掌握每个网元所能完成的功能。

- TM——终端复用器

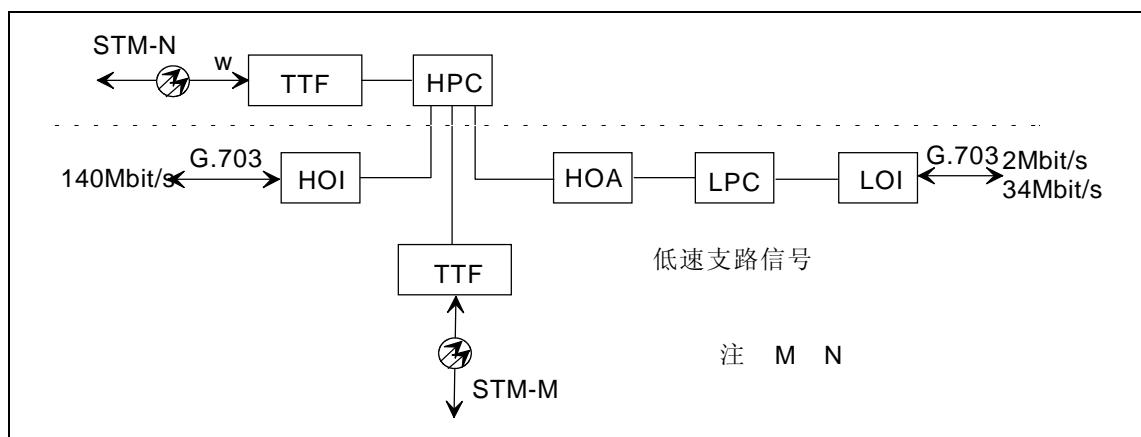


图4-15 TM功能示意图

TM的作用是将低速支路信号PDH、STM-N（ $M < N$ ）交叉复用成高速线路信号STM-N。因为有HPC和LPC功能块，所以此TM有高、低阶VC的交叉复用功能。

- ADM——分/插复用器

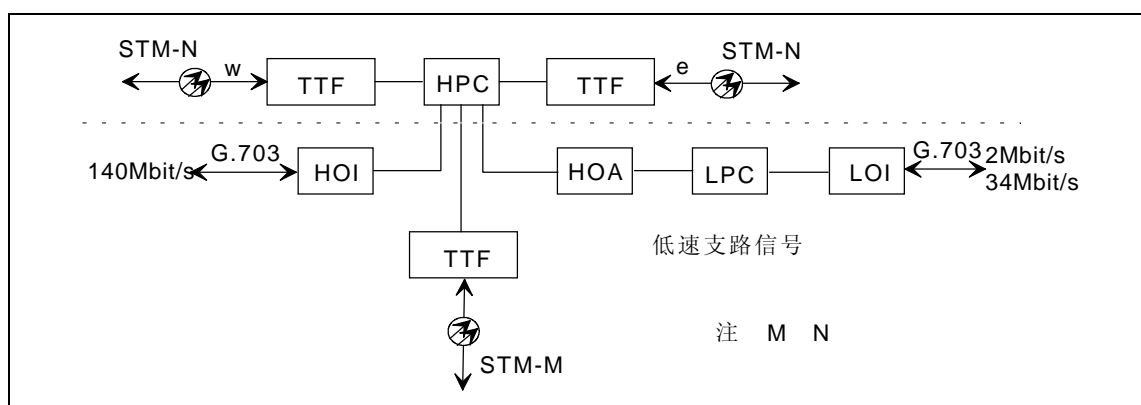


图4-16 ADM功能示意图

ADM的作用是将低速支路信号（PDH、STM-M）交叉复用到东/西向线路的STM-N信号中，以及东/西线路的STM-N信号间进行交叉连接。

- REG——再生中继器

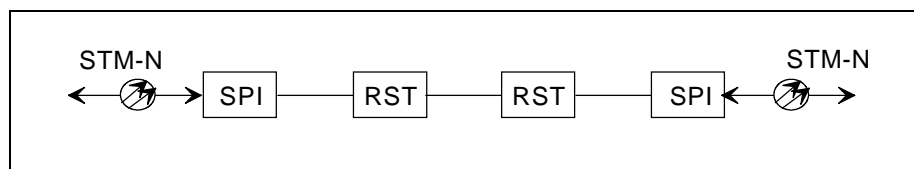


图4-17 REG功能示意图

REG的作用是完成信号的再生整形，将东/西侧的STM-N信号传到西/东侧线路上去。注意：此处不用交叉能力。

- DXC——数字交叉连接设备

DXC的逻辑结构类似于ADM，只不过其交叉矩阵的功能更强大，能完成多条线路信号和多条支路信号的交叉（比ADM的交叉能力要强大得多），见图4-18。

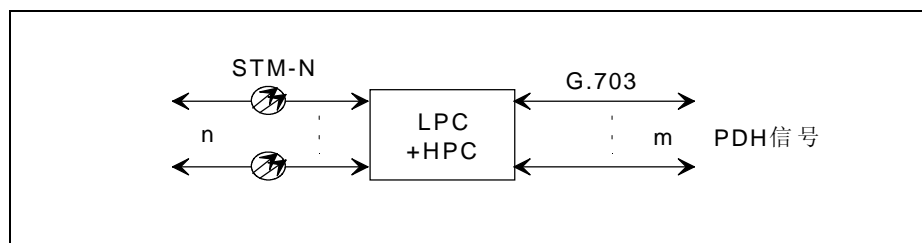


图4-18 DXC功能示意图

好了，本节的内容到此就讲完了，这部分的内容是你以后学习的基础，也是你以后维护设备时再提高的关键所在

---

? 想一想:

想想看我们这节都学了些什么?

1. SDH网的常见网元及其功能。
2. 组成设备的功能块的作用以及它们监测的告警、性能事件的产生机理。
3. SDH设备主要告警、维护信号的流程图。

本节内容的重中之重是2. 和3. 。这些内容你都掌握了吗?

---

## 小结

本节主要讲述了SDH网络的常见网元、设备的逻辑功能块组成。其中，重点是各功能块对告警维护信号的监控机理

## 习题

1. MS-AIS告警的引发机理是什么？
2. 引发HP-RDI的可能告警有哪些？
3. TTF功能块的作用是什么？
4. DXC4/1的含义是什么？

## 第五节 SDH网络结构和网络保护机理

---

目标：

掌握SDH常见拓扑结构的特点和适用范围。

掌握网络自愈原理。

掌握不同类型自愈环的特点，容量和适用范围。

了解常见几种复杂网络的特点。

了解SDH网的整体层次结构。

了解PDH向SDH过渡的策略。

---

### 5.1 基本的网络拓扑结构

SDH网是由SDH网元设备通过光缆互连而成的，网络节点（网元）和传输线路的几何排列就构成了网络的拓扑结构。网络的有效性（信道的利用率）、可靠性和经济性在很大程度上与其拓扑结构有关。

网络拓扑的基本结构有链形、星形、树形、环形和网孔形，如图5-1所示。

- 链形网

此种网络拓扑是将网中的所有节点一一串联，而首尾两端开放。这种拓扑的特点是较经济，在SDH网的早期用得较多，主要用于专网（如铁路网）中。

- 星形网

此种网络拓扑是将网中一网元做为特殊节点与其他各网元节点相连，其他各网元节点互不相连，网元节点的业务都要经过这个特殊节点转接。这种网络拓扑的特点是可通过特殊节点来统一管理其它网络节点，利于分配带宽，节约成本，但存在特殊节点的安全保障和处理能力的潜在瓶颈问题。特殊节点的作用类似交换网的汇接局，此种拓扑多用于本地网（接入网和用户网）。

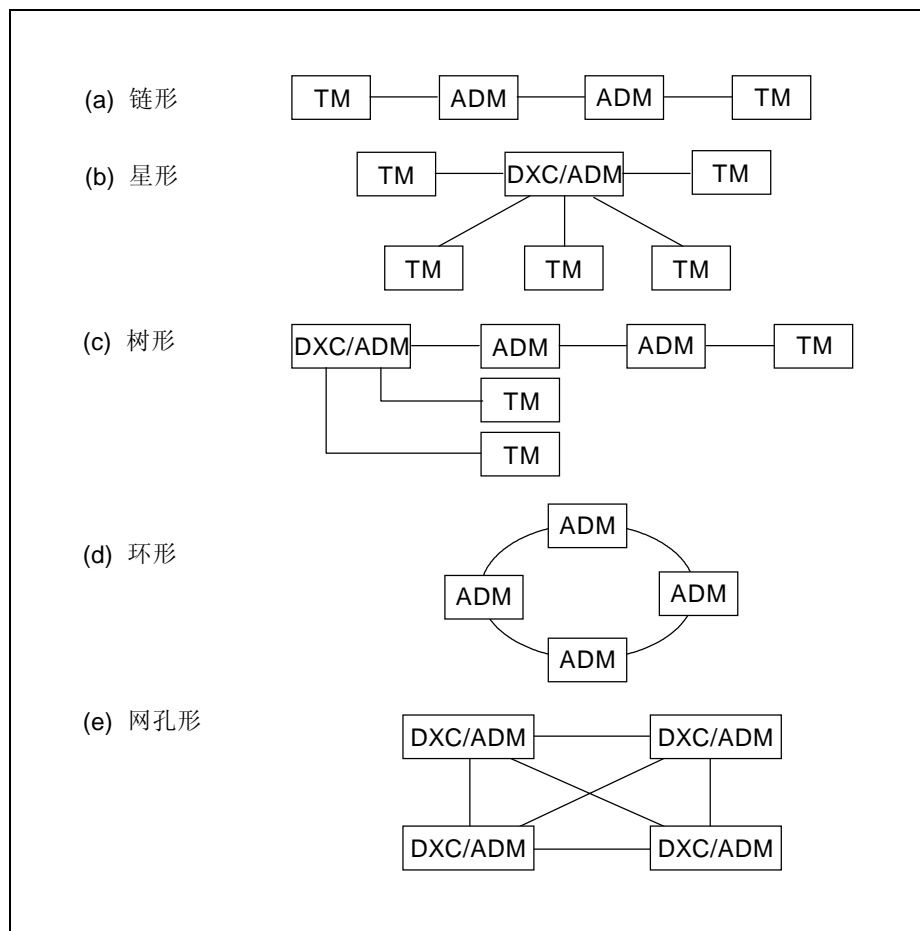


图5-1 基本网络拓扑图

- 树形网

此种网络拓扑可看成是链形拓扑和星形拓扑的结合，也存在特殊节点的安全保障和处理能力的潜在瓶颈。

- 环形网

环形拓扑实际上是指将链形拓扑首尾相连，从而使网上任何一个网元节点都不对外开放的网络拓扑形式。这是当前使用最多的网络拓扑形式，主要是因为它具有很强的生存性，即自愈功能较强。环形网常用于本地网（接入网和用户网）、局间中继网。

- 网孔形网

将所有网元节点两两相连，就形成了网孔形网络拓扑。这种网络拓扑为两网元节点间提供多个传输路由，使网络的可靠更强，不存在瓶颈问题和失效问

题。但是由于系统的冗余度高，必会使系统有效性降低，成本高且结构复杂。网孔形网主要用于长途网中，以提供网络的高可靠性。

当前用得最多的网络拓扑是链形和环形，通过它们的灵活组合，可构成更加复杂的网络。本节主要讲述链网的组成和特点 and 环网的几种主要的自愈形式（自愈环）的工作机理及特点。

5.2 链网和自愈环

传输网上的业务按流向可分为单向业务和双向业务。以环网为例说明单向业务和双向业务的区别。如图5-2所示。

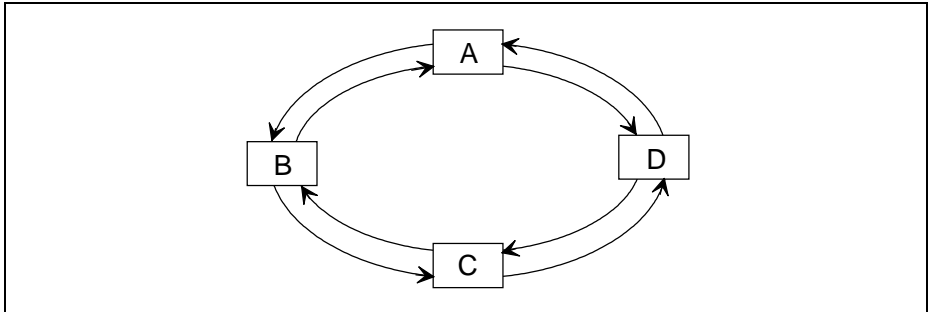


图5-2 环形网络

若A和C之间互通业务，A到C的业务路由假定是A→B→C，若此时C到A的业务路由是C→B→A，则业务从A到C和从C到A的路由相同，称为一致路由。

若此时C到A的路由是C→D→A，那么业务从A到C和业务从C到A的路由不同，称为分离路由。

我们称一致路由的业务为双向业务，分离路由的业务为单向业务。常见组网的业务方向和路由如表5-1所示。

表5-1 常见组网的业务方向和路由表

组网类型		路由	业务方向
链形网		一致路由	双向
环形网	双向通道环	一致路由	双向
	双向复用段环	一致路由	双向
	单向通道环	分离路由	单向
	单向复用段环	分离路由	单向

## 5.2.1 链形网

典型的链形网如图5-3所示。

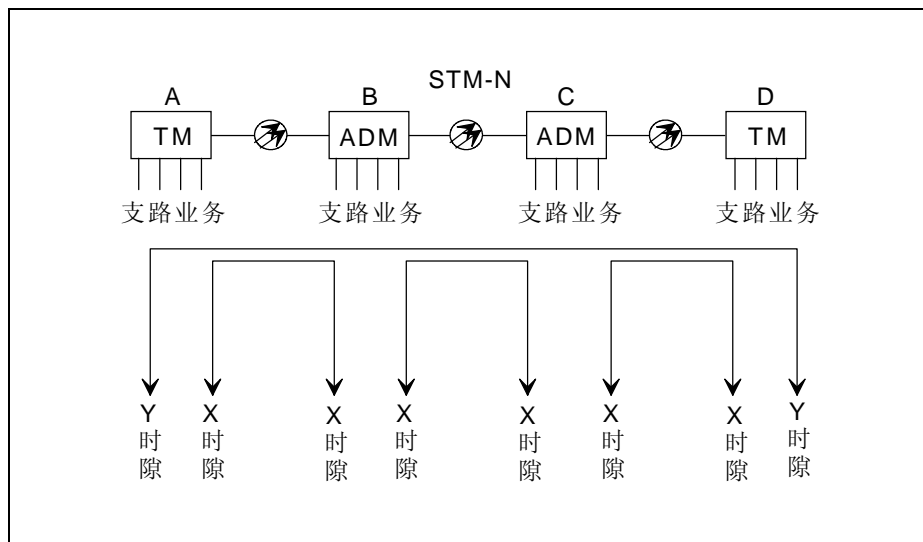


图5-3 链形网络图

链形网的特点是具有时隙复用功能，即线路STM-N信号中某一序号的VC可在不同的传输光缆段上重复利用。如图5-3中A—B、B—C、C—D以及A—D之间通有业务，这时可将A—B之间的业务占用A—B光缆段X时隙（序号为X的VC，例如3VC4的第48个VC12），将B—C的业务占用B—C光缆段的X时隙（第3VC4的第48VC12），将C—D的业务占用C—D光缆段的X时隙（第3VC4的第48个VC12），这种情况就是时隙重复利用。这时A—D的业务因为光缆的X时隙已被占用，所以只能占用光路上的其它时隙Y时隙，例如第3VC4的第49VC12或者第7VC4的第48个VC12。

链网的这种时隙重复利用功能，使网络的业务容量较大。网络的业务容量指能在网上传输的业务总量。网络的业务容量和网络拓扑，网络的自愈方式和网元节点间业务分布关系有关。

链网的最小业务量发生在链网的端站为业务主站的情况下，所谓业务主站是指各网元都与主站互通业务，其余网元间无业务互通。以图5-3为例，若A为业务主站，那么B、C、D之间无业务互通。此时，C、B、D分别与网元A通信。这时由于A—B光缆段上的最大容量为STM-N（因系统的速率级别为STM-N），则网络的业务容量为STM-N。

链网达到业务容量最大的条件是链网中只存在相邻网元间的业务。如图5-3，此时网络中只有A—B、B—C、C—D的业务不存在A—D的业务。这时

可时隙重复利用，那么在每一个光缆段上业务都可占用整个STM-N的所有时隙，若链网有M个网元，此时网上的业务最大容量为 $(M-1) \times \text{STM-N}$ ，M-1为光缆段数。

常见的链网有二纤链——不提供业务的保护功能（不提供自愈功能）；四纤链——一般提供业务的1+1或1:1保护。四纤链中两根光纤收/发作为主用信道，另外两根收/发作为备用信道。链网的自愈功能1+1、1:1、1:n在上一节讲MSP功能块时已讲过，这里要说的是1:n保护方式中n最大只能到14。为什么？这是由K1字节的b5—b8限定的，K1的b5—b8的0001~1110[1—14]指示要求倒换的主用信道编号。

## 5.2.2 环网——自愈环

### 1. 自愈的概念

当今社会各行各业对信息的依赖愈来愈大，要求通信网络能及时准确的传递信息。随着网上传输的信息越来越多，传输信号的速率越来越快，一旦网络出现故障（这是难以避免的，例如土建施工中将光缆挖断），将对整个社会造成极大的损坏。因此网络的生存能力即网络的安全性是当今第一要考虑的问题。

所谓自愈是指在网络发生故障（例如光纤断）时，无需人为干预，网络自动地在极短的时间内（ITU-T规定为50ms以内），使业务自动从故障中恢复传输，使用户几乎感觉不到网络出了故障。其基本原理是网络要具备发现替代传输路由并重新建立通信的能力。替代路由可采用备用设备或利用现有设备中的冗余能力，以满足全部或指定优先级业务的恢复。由上可知网络具有自愈能力的先决条件是有冗余的路由、网元强大的交叉能力以及网元一定的智能。

自愈仅是通过备用信道将失效的业务恢复，而不涉及具体故障的部件和线路的修复或更换，所以故障点的修复仍需人工干预才能完成，就象断了的光缆还需人工接好。

---

 技术细节:

当网络发生自愈时，业务切换到备用信道传输，切换的方式有恢复方式和不恢复方式两种。

恢复方式指在主用信道发生故障时，业务切换到备用信道，当主用信道修复后，再将业务切回主用信道。一般在主要信道修复后还要再等一段时间，一般是几到十几分钟，以使主用信道传输性能稳定，这时才将业务从备用信道切换过来。

不恢复方式指在主用信道发生故障时，业务切换到备用信道，主用信道恢复后业务不切回主用信道，此时将原主用信道做为备用信道，原备用信道当作主用信道，在原备用信道发故障时，业务才会切回原主用信道。

---

## 2. 自愈环的分类

目前环形网络的拓扑结构用得最多，因为环形网具有较强的自愈功能。自愈环的分类可按保护的级别、环上业务的方向、网元节点间光纤数来划分。

按环上业务的方向可将自愈环分为单向环和双向环两大类；按网元节点间的光纤数可将自愈环划分为双纤环（一对收/发光纤）和四纤环（两对收发光纤）；按保护的级别可将自愈环划分为通道保护环和复用段保护环两大类。

下面讲通道保护环和复用段保护环的区别。对于通道保护环，业务的保护是以通道为基础的，也就是保护的是STM-N信号中的某个VC（某一路PDH信号），倒换与否按环上的某一个别通道信号的传输质量来决定的，通常利用收端是否收到简单的TU-AIS信号来决定该通道是否应进行倒换。例如在STM-16环上，若收端收到第4VC4的第48个TU-12有TU-AIS，那么就仅将该通道切换到备用信道上。

复用段倒换环是以复用段为基础的，倒换与否是根据环上传输的复用段信号的质量决定的。倒换是由K1、K2（b1—b5）字节所携带的APS协议来启动的，当复用段出现问题时，环上整个STM-N或1/2STM-N的业务信号都切换到备用信道上。复用段保护倒换的条件是LOF、LOS、MS-AIS、MS-EXC告警信号。

---

 技术细节:

由于STM-N帧中只有1个K1和1个K2，所以复用段保护倒换是将环上的所有主用业务STM-N（四纤环）或1/2STM-N（二纤环）都倒换到备用信道上，而不是仅仅倒换其中的某一个通道。

---

通道保护环往往是专用保护，在正常情况下保护信道也传主用业务（业务的1+1保护），信道利用率不高。复用段保护环使用公用保护，正常时主用信道传主用业务，备用信道传额外业务（业务的1:1保护），信道利用率高。

### 3. 二纤单向通道保护环

二纤通道保护环由两根光纤组成两个环，其中一个为主环——S1；一个为备环——P1。两环的业务流向一定要相反，通道保护环的保护功能是通过网元支路板的“并发选收”功能来实现的，也就是支路板将支路上环业务“并发”到主环S1、备环P1上，两环上业务完全一样且流向相反，平时网元支路板“选收”主环下支路的业务，如图5-4（a）所示。

若环网中网元A与C互通业务，网元A和C都将上环的支路业务“并发”到环S1和P1上，S1和P1上的所传业务相同且流向相反——S1逆时针，P1为顺时针。在网络正常时，网元A和C都选收主环S1上的业务。那么A与C业务互通的方式是A到C的业务经过网元D穿通，由S1光纤传到C（主环业务）；由P1光纤经过网元B穿通传到C（备环业务）。在网元C支路板“选收”主环S1上的A→C业务，完成网元A到网元C的业务传输。网元C到网元A的业务传输与此类似。

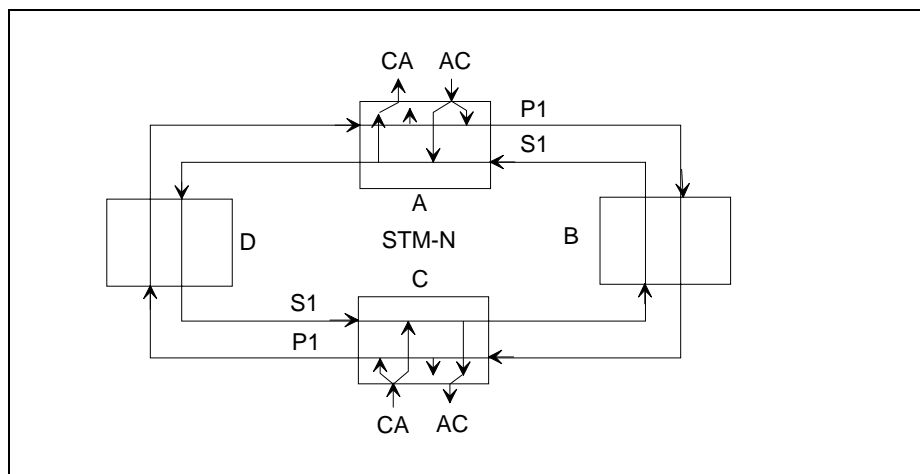


图5-4（a） 二纤单向通道倒换环

当BC光缆段的光纤同时被切断，注意此时网元支路板的并发功能没有改变，也就是此时S1环和P1环上的业务还是一样的。如图5-4（b）所示。

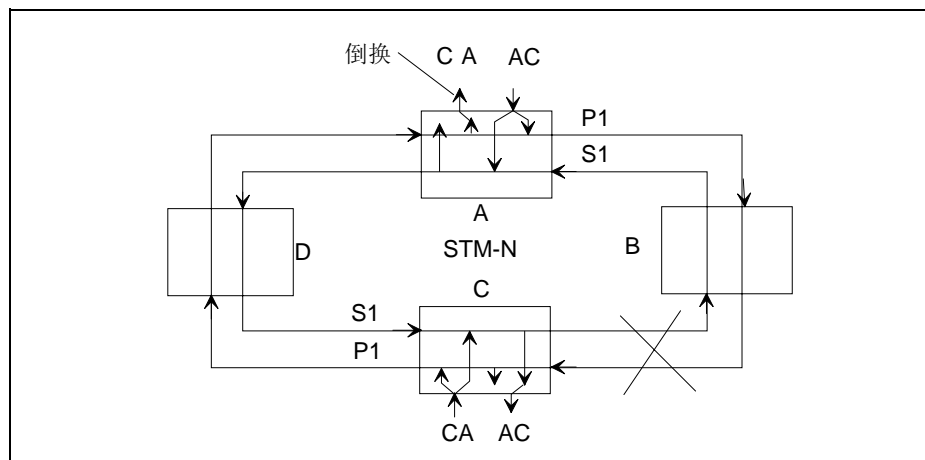


图5-4 (b) 二纤单向通道倒换环

我们看看这时网元A与网元C之间的业务如何被保护。网元A到网元C的业务由网元A的支路板并发到S1和P1光纤上，其中S1业务经光纤由网元D穿通传至网元C，P1光纤的业务经网元B穿通，由于B—C间光缆断，所以光纤P1上的业务无法传到网元C，不过由于网元C默认选收主环S1上的业务，这时网元A到网C的业务并未中断，网元C的支路板不进行保护倒换。

网元C的支路板将到网元A的业务并发到S1环和P1环上，其中P1环上的C到A业务经网元D穿通传到网元A，S1环上的C到A业务，由于B—C间光纤断所以无法传到网元A，网元A默认是选收主环S1上的业务，此时由于S1环上的C→A的业务传不过来，A网元线路侧产生R-LOS告警，所以往下插全“1”——AIS，这时网元A的支路板就会收到S1环上TU-AIS告警信号。网元A的支路板收到S1光纤上的TU-AIS告警后，立即切换到选收备环P1光纤上的C到A的业务，于是C→A的业务得以恢复，完成环上业务的通道保护，此时网元A的支路板处于通道保护倒换状态——切换到选收备环方式。

网元发生了通道保护倒换后，支路板同时监测主环S1上业务的状态，当连续一段时间（华为的设备是10分钟左右）未发现TU-AIS时，发生切换网元的支路板将选收切回到收主环业务，恢复成正常时的默认状态。

二纤单向通道 保护倒换环由于上环业务是并发选收，所以通道业务的保护实际上是1+1保护。倒换速度快（华为公司设备倒换速度≤15ms），业务流向

简捷明了，便于配置维护。缺点是网络的业务容量不大。二纤单向保护环的业务容量恒是STM-N，与环上的节点数和网元间业务分布无关。为什么？举个例子，当网元A和网元D之间有一业务占用X时隙，由于业务是单向业务，那么A→D的业务占用主环的A—D光缆段的X时隙（占用备环的A—B、B—C、C—D光缆段的X时隙）；D—A的业务占用主环的D—C、C—B、B—A的X时隙（备环的D—A光缆段的X时隙）。也就是说A—D间占X时隙的业

务会将环上全部光缆的（主环、备环）X时隙占用，其它业务将不能再使用该时隙（没有时隙重复利用功能）了。这样，当A—D之间的业务为STM-N时，其它网元将不能再互通业务了——即环上无法再增加业务了，因为环上整个STM-N的时隙资源都已被占用，所以单向通道保护环的最大业务容量是STM-N。

二纤单向通道环多用于环上有一站点是业务主站——业务集中站的情况，华为公司设备在目前组网中，二纤单向通道环多用于155、622系统。

---

#### 技术细节:

在组成通道环时要特别注意的是主环S1和备环P1光纤上业务的流向必须相反，否则该环网无保护功能。

---

---

#### ? 想一想:

实际上，在光纤未断时，有一根光纤组成单向S1环即可完成通信，为什么还要一根光纤组成P1环呢？因为自愈要有冗余的信道，而P1环就是对主用信道的备份。

若图5-3中B—C段光缆仅P1光纤断，情况会怎样？环网上的A与C之间的业务均不进行保护倒换。想想看为什么？

---

## 4. 二纤双向通道保护环

二纤双向通道保护环网上业务为双向（一致路由），保护机理也是支路的“并发选收”，业务保护是1+1的，网上业务容量与单向通道保护二纤环相同，但结构更复杂，与二纤单向通道环相比无明显优势，故一般不用这种自愈方式。如图5-5所示。

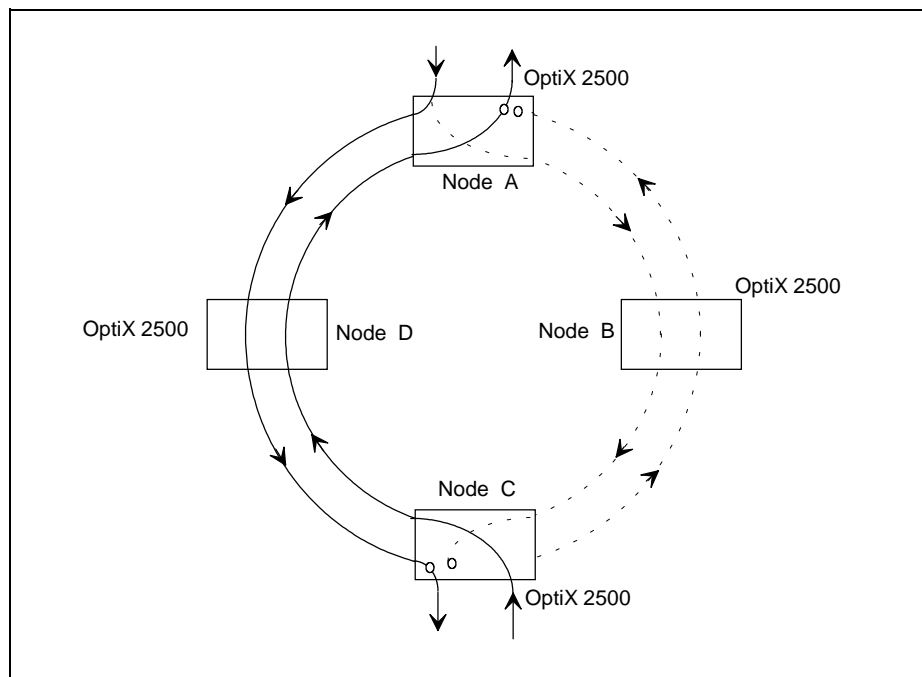


图5-5 2500系统二纤双向通道保护环

## 5. 二纤单向复用段环

前面讲过复用段环保护的业务单位是复用段级别的业务，需通过STM-N信号中K1、K2字节承载的APS协议来控制倒换的完成。由于倒换要通过运行APS协议，所以倒换速度不如通道保护环快，华为SDH设备的复用段倒换速度是 $\leq 25\text{ms}$ 。

下面我们讲一讲单向复用段保护倒换环的自愈机理，如图5-6所示。

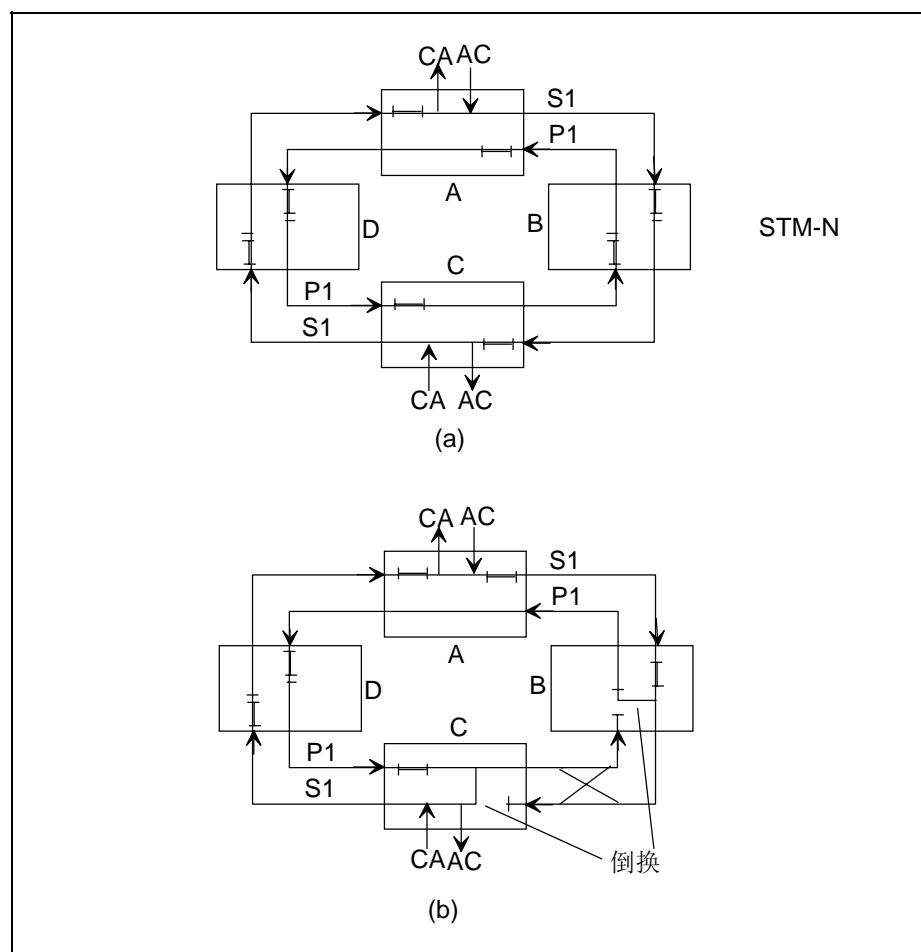


图5-6 二纤单向复用段倒换环

若环上网元A与网元C互通业务，构成环的两根光纤S1、P1分别称之为主纤和备纤，上面传送的业务不是1+1的业务而是1：1的业务——主环S1上传主用业务，备环P1上传备用业务；因此复用段保护环上业务的保护方式为1：1保护，有别于通道保护环。

在环路正常时，网元A往主纤S1上发送到网元C的主用业务，往备纤P1上发送到网元C的备用业务，网元C从主纤上选收主纤S1上来的网元A发来的主用业务，从备纤P1上收网元A发来的备用业务（额外业务），图5-6中只画出了收主用业务的情况。网元C到网元A业务的互通与此类似，如图5-4-1所示。

在C—B光缆段间的光纤都被切断时，在故障端点的两网元C、B产生一个环回功能，见图5-4-2。网元A到网元C的主用业务先由网元A发到S1光纤上，到故障端点站B处环回到P1光纤上，这时P1光纤上的额外业务被清掉，改传

网元A到网元C的主用业务，经A、D网元穿通，由P1光纤传到网元C，由于网元C只从主纤S1上提取主用业务，所以这时P1光纤上的网元A到网元C的

主用业务在C点处（故障端点站）环回到S1光纤上，网元C从S1光纤上下载网元A到网元C的主用业务。网元C到网元A的主用业务因为C→D→A的主用业务路由业中断，所以C到A的主用业务的传输与正常时无异只不过备用业务此时被清除。

通过这种方式，故障段的业务被恢复，完成业务自愈功能。

二纤单向复用段环的最大业务容量的推算方法与二纤单向通道环类似，只不过是环上的业务是1：1保护的，在正常时备环P1上可传额外业务，因此二纤单向复用段保护环环的最大业务容量在正常时为 $2 \times \text{STM-N}$ （包括了额外业务），发生保护倒换时为 $1 \times \text{STM-N}$ 。

二纤单向复用段保护环由于业务容量与二纤单向通道保护环相差不大，倒换速率比二纤单向通道环慢，所以优势不明显，在组网时应用不多。

---

#### 技术细节：

组网时要注意S1环和P1环业务流向相反，否则此环无自愈功能。

复用段保护时网元的支路收恒定地从S1光纤上收主用业务，不会切换到从P1光纤上收主用业务。复用段倒换时不是仅倒换某一个通道，而是将环上整个STM-N业务都切换到备用信道上去。

华为公司目前的SDH设备参与复用段保护倒换的单板应包括线路板、交叉板、系统控制板。

环的复用段倒换时是故障端点处的网元完成环回功能，环上其它网元完成穿通功能，通过复用段倒换的这个性质可方便的定位故障区段。

---

## 6. 四纤双向复用段保护环

前面讲的三种自愈方式，网上业务的容量与网元节点数无关，随着环上网元的增多，平均每个网元可上/下的最大业务随之减少，网络信道利用率不高。例如二纤单向通道环为STM-16系统时，若环上有16个网元节点，平均每个2500节点最大上/下业务只有一个STM-1，这对资源是很大的浪费。为克服这种情况，出现了四纤双向复用段保护环这种自愈方式，这种自愈方式环上业务量随着网元节点数的增加而增加。如图5-7所示。

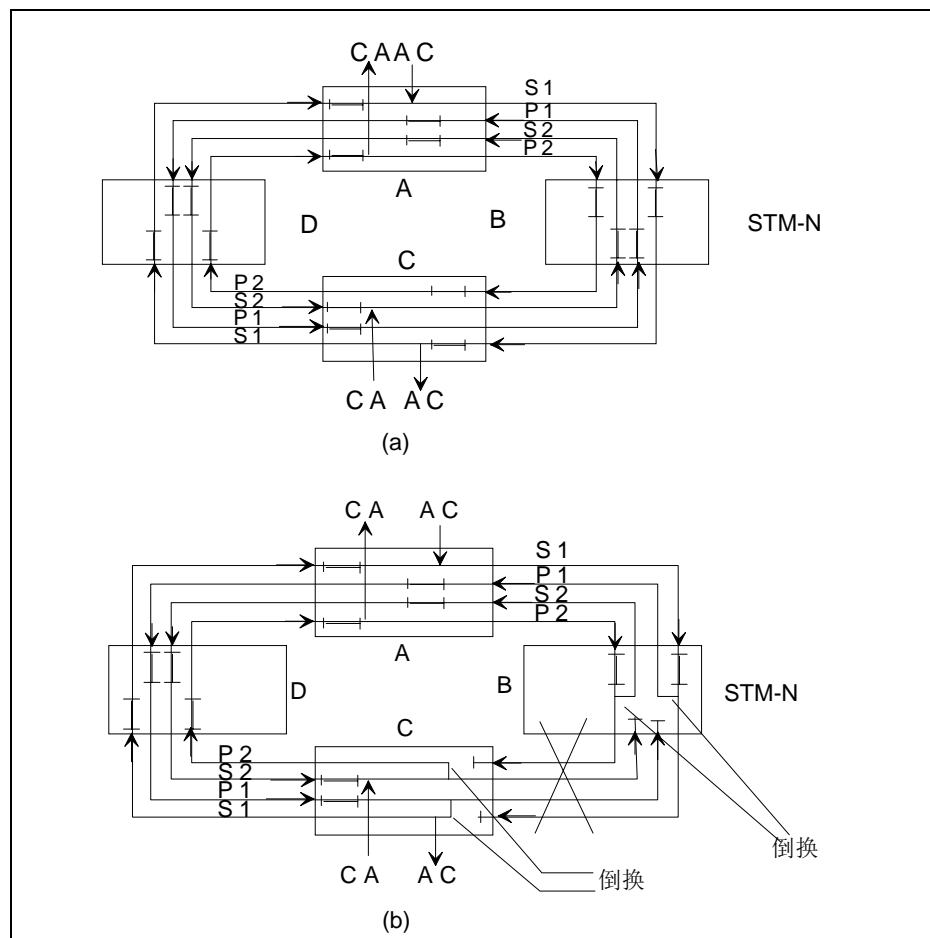


图5-7 四纤双向复用段倒换环

四纤环肯定是由4根光纤组成，这4根光纤分别为S1、P1、S2、P2。其中，S1、S2为主纤传送主用业务；P1、P2为备纤传送备用业务；也就是说P1、P2光纤分别用来在主纤故障时保护S1、S2上的主用业务。请注意S1、P1、S2、P2光纤的业务流向，S1与S2光纤业务流向相反（一致路由，双向环），S1、P1和S2、P2两对光纤上业务流向也相反，从图5-7（a）可看出S1和P2，S2和P1光纤上业务流向相同（这是以后讲双纤双向复用段环的基础，双纤双向复用段保护环就是因为S1和P2，S2和P1光纤上业务流向相同，才得以将四纤环转化为二纤环）。另外，要注意的是，四纤环上每个网元节点的配置要求是双ADM系统，为什么？因为一个ADM只有东/西两个线路端口（一对收发光纤称之为一个线路端口），而四纤环上的网元节点是东/西向各有两个线路端口，所以要配置成双ADM系统。

在环网正常时，网元A到网元C的主用业务从S1光纤经B网元到网元C，网元C到网元A的业务经S2光纤经网元B到网元A（双向业务）。网元A与网元C的额外业务分别通过P1和P2光纤传送。网元A和网元C通过收主纤上的业务互

通两网元之间的主用业务，通过收备纤上的业务互通两网之间的备用业务，见图5-7（a）。

当B—C间光缆段光纤均被切断后，在故障两端的网元B、C的光纤S1和P1、S2和P2有一个环回功能见图5-7（b）（故障端点的网元环回）。这时，网元A到网元C的主用业务沿S1光纤传到B网元处，在此B网元执行环回功能，将S1光纤上的网元A到网元C的主用业务环到P1光纤上传输，P1光纤上的额外业务被中断，经网元A、网元D穿通（其它网元执行穿通功能）传到网元C，在网元C处P1光纤上的业务环回到S1光纤上（故障端点的网元执行环回功能），网元C通过收主纤S1上的业务，接收到网元A到网元C的主用业务。

网元C到网元A的业务先由网元C将其主用业务环到P2光纤上，P2光纤上的额外业务被中断，然后沿P2光纤经过网元D、网元A的穿通传到网元B，在网元B处执行环回功能将P2光纤上的网元C到网元A的主用业务环回到S2光纤上，再由S2光纤传回到网元A，由网元A下主纤S2上的业务。通过这种环回，穿通方式完成了业务的复用段保护，使网络自愈。

四纤双向复用段保护环的业务容量有两种极端方式：一种是环上有一业务集中站，各网元与此站通业务，并无网元间的业务。这时环上的业务量最小为 $2 \times \text{STM-N}$ （主用业务）和 $4 \times \text{STM-N}$ （包括额外业务）。因为该业务集中站东西两侧均最多只可通 $\text{STM-N}$ （主）或 $2 \times \text{STM-N}$ （包括额外业务），为什么？由于光缆段的数速级别只有 $\text{STM-N}$ 。另一种情况其环网上只存在相邻网元的业务，不存在跨网元业务。这时每个光缆段均为相邻互通业务的网元专用，例如A—D光缆只传输A与D之间的双向业务，D—C光缆段只传输D与C之间的双向业务等。相邻网元间的业务不占用其它光缆段的时隙资源，这样各个光缆段都最大传送 $\text{STM-N}$ （主用）或 $2 \times \text{STM-N}$ （包括备用）的业务（时隙可重复利用），而环上的光缆段的个数等于环上网元的节点数，所以这时网络的业务容量达到最大： $N \times \text{STM-N}$ 或 $2N \times \text{STM-N}$ 。

尽管复用段环的保护倒换速度要慢于通道环，且倒换时要通过K1、K2字节的APS协议控制，使设备倒换时涉及的单板较多，容易出现故障，但由于双向复用段环最大的优点是网上业务容量大，业务分布越分散，网元节点数越多，它的容量也越大，信道利用率要大大高于通道环，所以双向复用段环得以普遍的应用。

双向复用段环主要用于业务分布较分散的网络，四纤环由于要求系统有较高的冗余度——4纤，双ADM；成本较高，故用得并不多。怎样解决这个问题呢？请看双纤双向复用段保护环——双纤共享复用段保护环。

---

📖 技术细节:

复用段保护环上网元节点的个数（不包括REG，因为REG不参与复用段保护倒换功能）不是无限制的，而是由K1、K2字节确定的，环上节点数最大为16个。

---

## 7. 双纤双向复用段保护环——双纤共享复用段保护环

鉴于四纤双向复用段环的成本较高，出现了一个新的变种：双纤双向复用段保护环，它们的保护机理相类似，只不过采用双纤方式，网元节点只用单ADM即可，所以得到了广泛的应用。

从图5-5（a）中可看到光纤S1和P2，S2和P1上的业务流向相同，那么我们可以使用时分技术将这两对光纤合成为两根光纤——S1/P2、S2/P1。这时将每根光纤的前半个时隙（例如STM-16系统为1#—8#STM-1）传送主用业务，后半半个时隙（例如STM-16系统的9#—16#STM-1）传送额外业务，也就是说一根光纤的保护时隙用来保护另一根光纤上的主用业务。例如，S1/P2光纤上的P2时隙用来保护S2/P1光纤上的S2业务，为什么？因为在四纤环上S2和P2本身就是一对主备用光纤。因此在二纤双向复用段保护环上无专门的主、备用光纤，每一条光纤的前半个时隙是主用信道，后半半个时隙是备信道，两根光纤上业务流向相反。双纤双向复用段保护环的保护机理如图5-8所示。

在网络正常情况下，网元A到网元C的主用业务放在S1/P2光纤的S1时隙（对于STM-16系统，主用业务只能放在STM-N的前8个时隙1#—8#STM-1[VC4]中），备用业务放于P2时隙（对于STM-16系统只能放于9#—16#STM-1[VC4]中），沿光纤S1/P2由网元B穿通传到网元C，网元C从S1/P2光纤上的S1、P2时隙分别提取出主用、额外业务。网元C到网元A的主用业务放于S2/P1光纤的S2时隙，额外业务放于S2/P1光纤的P1时隙，经网元B穿通传到网元A，网元A从S2/P1光纤上提取相应的业务。见图5-8-1。

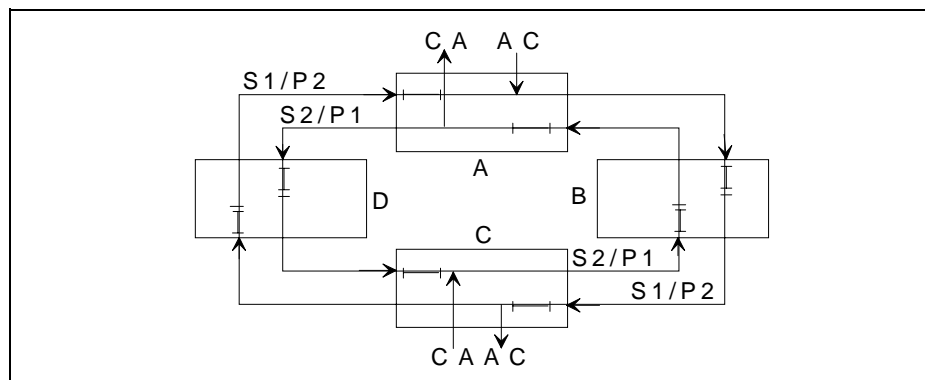


图5-8-1 二纤双向复用段保护环

在环网B—C间光缆段被切断时，网元A到网元C的主用业务沿S1/P2光纤传到网元B，在网元B处进行环回（故障端点处环回），环回是将S1/P2光纤上S1时隙的业务全部环到S2/P1光纤上的P1时隙上去（例如STM-16系统是将S1/P2光纤上的1#—8#STM-1[VC4]全部环到S2/P1光纤上的9#—16#STM-1[VC4]），此时S2/P1光纤P1时隙上的额外业务被中断。然后沿S2/P1光纤经网元A、网元D穿通传到网元C，在网元C执行环回功能（故障端点站），即将S2/P1光纤上的P1时隙所载的网元A到网元C的主用业务环回到S1/P2的S1时隙，网元C提取该时隙的业务，完成接收网元A到网元C的主用业务。见图5-8-2。

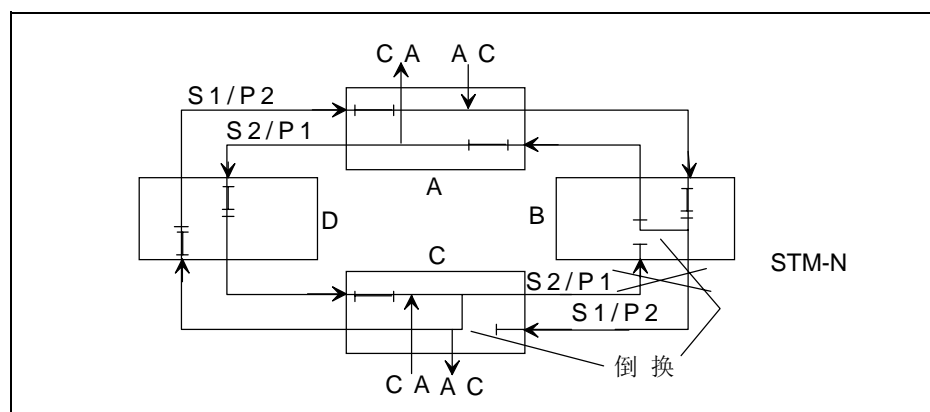


图5-8-2 二纤双向复用段保护环

网元C到网元A的业务先由网元C将网元C到网元A的主用业务S2，环回到S1/P2光纤的P2时隙上，这时P2时隙上的额外业务中断。然后沿S1/P2光纤经网元D、网元A穿通到达网元B，在网元B处执行环回功能——将S1/P2光纤的P2时隙业务环到S2/P1光纤的S2时隙上去，经S2/P1光纤传到网元A落地。

通过以上方式完成了环网在故障时业务的自愈。

双纤双向复用段保护环的业务容量为四纤双向复用段保护环的1/2，即 $M/2$ （STM-N）或 $M \times STM-N$ （包括额外业务），其中 $M$ 是节点数。

双纤双向复用段保护环在组网中使用得较多，主要用于622和2500系统，也是适用于业务分散的网络。

---

？ 想一想：

想想看为什么没有155系统的双纤双向复用段保护环？

因为复用段保护的基本业务单位是复用段级别，而STM-1是复用段的最小单位，不可再分。双纤双向复用段保护环要求将光纤通过时隙技术一分为二，那么光纤上每个时隙就必将要传送1/2 STM-1信号，无法实现双纤双向复用段保护环。

---

当前组网中常见的自愈环只有二纤单向通道保护环和二纤双向复用段保护环两种，下面将二者进行比较。

## 8. 两种自愈环的比较

- 业务容量（仅考虑主用业务）

单向通道保护环的最大业务容量是STM-N，双纤双向复用段保护环的业务容量为 $M/2 \times STM-N$ （ $M$ 是环上节点数）。

- 复杂性

二纤单向通道保护环无论从控制协议的复杂性，还是操作的复杂性来说，都是各种倒换环中最简单的，由于不涉及APS的协议处理过程，因而业务倒换时间也最短。二纤双向复用段保护环的控制逻辑则是各种倒换环中最复杂的。

- 兼容性

二纤单向通道保护环仅使用已经完全规定好了的通道AIS信号来决定是否需要倒换，与现行SDH标准完全相容，因而也容易满足多厂家产品兼容性要求。

二纤双向复用段保护环使用APS协议决定倒换，而APS协议尚未标准化，所以复用段倒换环目前都不能满足多厂家产品兼容性的要求。

## 5.3 复杂网络的拓扑结构及特点

通过链和环的组合，可构成一些较复杂的网络拓扑结构。下面将讲述几个在组网中要经常用到的拓扑结构，为增加针对性以2500系统为例。

### 1. T型网

T型网实际上是一种树形网。如图5-9所示。

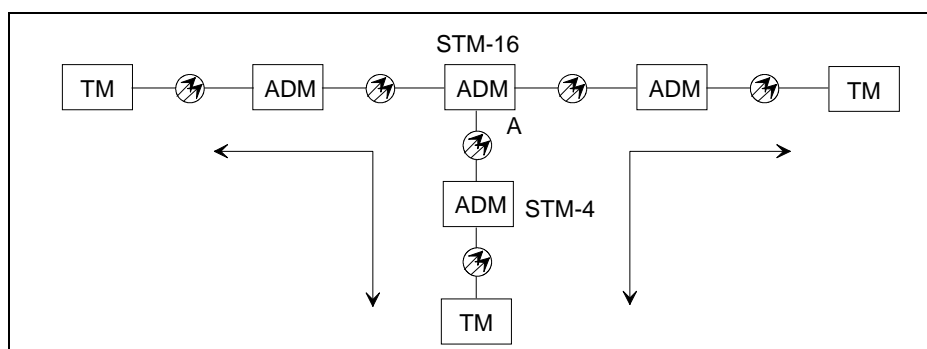


图5-9 T形网拓扑图

我们将干线上设为STM-16系统，支线上设为STM-4系统，T型网的作用是将支路的业务STM-4通过网元A上/下到干线STM-16系统上去，此时支线接在网元A的支路上，支线业务作为网元A的低速支路信号，通过网元A进行分插。

### 2. 环带链

网络结构如图5-10所示。

环带链是由环网和链网两种基本拓扑形式组成，链接在网元A处，链的STM-4业务作为网元A的低速支路业务，并通过网元A的分/插功能上/下环。STM-4业务在链上无保护，上环会享受环的保护功能。例如：网元C和网元D互通业务，A—B光缆段断，链上业务传输中断，A—C光缆段断，通过环的保护功能，网元C和网元D的业务不会中断。

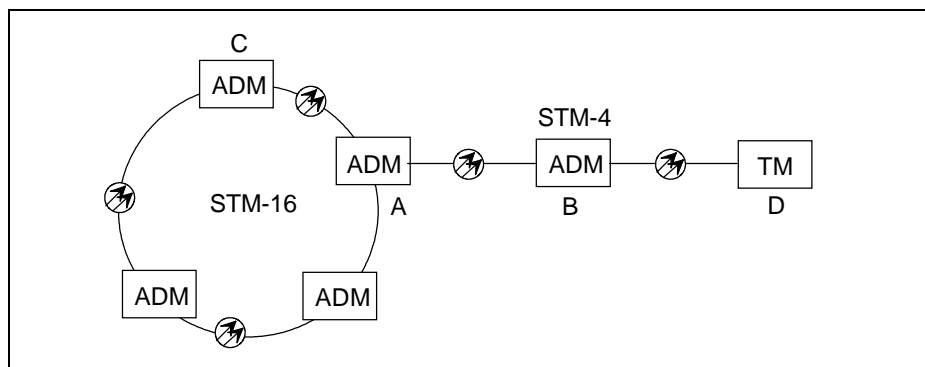


图5-10 环带链拓扑图

### 3. 环形子网的支路跨接

网络结构如图5-11所示。

两STM-16环通过A、B两网元的支路部分连接在一起，两环中任何两网元都可通过A、B之间的支路互通业务，且可选路由多，系统冗余度高。两环间互通的业务都要经过A、B两网元的低速支路传输，存在一个低速支路的安全保障问题。

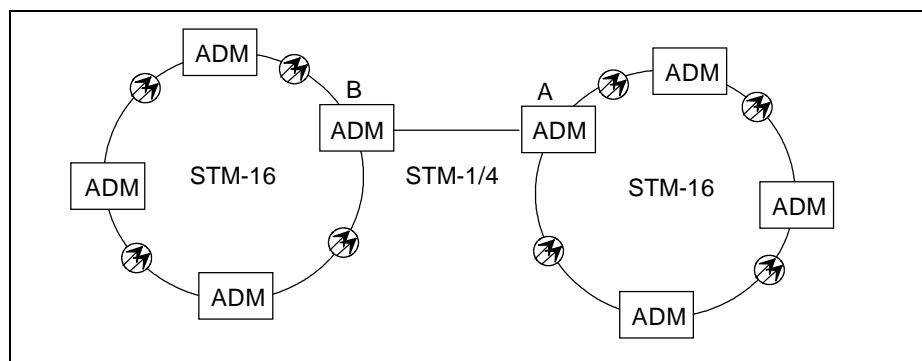


图5-11 环形子网的支路跨接网络拓扑图

### 4. 相切环

网络结构如图5-12所示。

图中三个环相切于公共节点网元A，网元A可以是DXC，也可用ADM等效（环II、环III均为网元A的低速支路）。这种组网方式可使环间业务任意互通，具有比通过支路跨接环网更大的业务疏导能力，业务可选路由更多，系

统冗余度更高。不过这种组网存在重要节点（网元A）的安全保护问题。

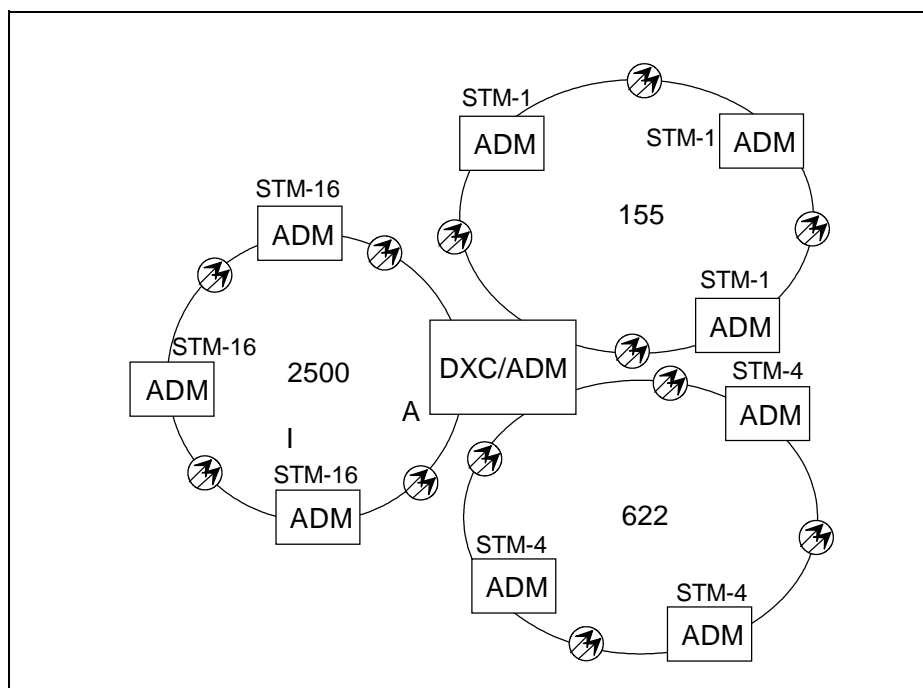


图5-12 相切环拓扑图

## 5. 相交环

为备份重要节点及提供更多的可选路由，加大系统的冗余度，可将相切环扩展为相交环，如图5-13所示。

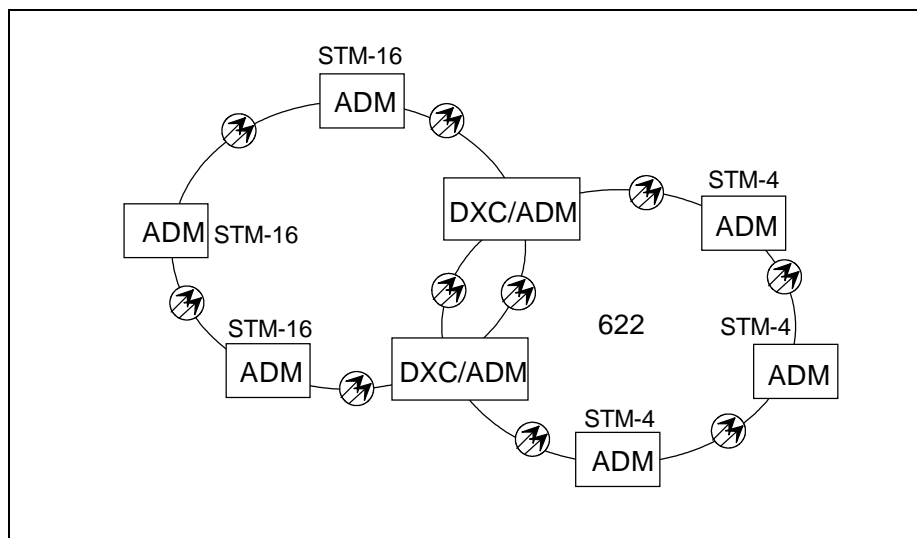


图5-13 相交环拓扑图

## 6. 枢纽网

网络结构如图5-14所示。

网元A作为枢纽点可在支路侧接入各个STM-1或STM-4的链路或环，通过网元A的交叉连接功能，提供支路业务上/下主干线，以及支路间业务互通。支路间业务的互通经过网元A的分/插，可避免支路间铺设直通路由和设备，也不需要占用主干网上的资源。

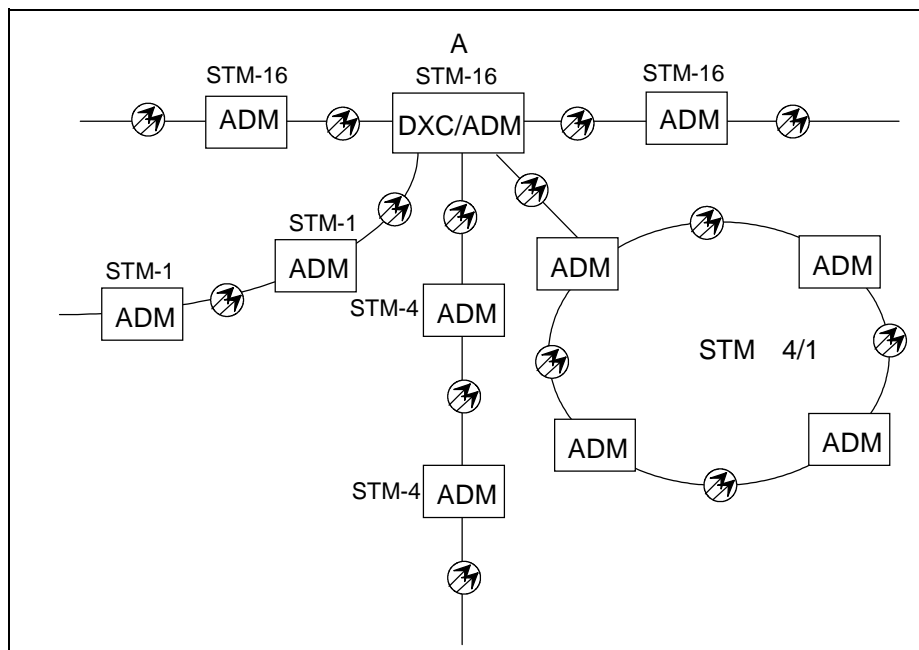


图5-14 枢纽网拓扑图

## 5.4 SDH网络的整体层次结构

同PDH相比SDH具有巨大的优越性，但这种优越性只有在组成SDH网时才能完全发挥出来。

传统的组网概念中，提高传输设备利用率是第一位的，为了增加线路的占空系数，在每个节点都建立了许多直接通道，致使网络结构非常复杂。而现代通信的发展，最重要的任务是简化网络结构，建立强大的运营、维护和管理（OAM）功能，降低传输费用并支持新业务的发展。

我国的SDH网络结构分为四个层面，如图5-15所示。

最高层面为长途一级干线网，主要省会城市及业务量较大的汇接节点城市装有DXC 4/4，其间由高速光纤链路STM-4/STM-16组成，形成了一个大容量、高可靠的网孔形国家骨干网结构，并辅以少量线形网。由于DXC4/4也具有PDH体系的140Mbit/s接口，因而原有的PDH的140Mbit/s和565Mbit/s系统也能纳入由DXC4/4统一管理的长途一级干线网中。

第二层面为二级干线网，主要汇接节点装有DXC4/4或DXC4/1，其间由STM-1/STM-4组成，形成省内网状或环形骨干网结构并辅以少量线性网结构。由于DXC4/1有2Mbit/s，34Mbit/s或140Mbit/s接口，因而原来PDH系统也能纳入统一管理的二级干线网，并具有灵活调度电路的能力。

第三层面为中继网（即长途端局与市局之间以及市话局之间的部分），可以按区域划分为若干个环，由ADM组成速率为STM-1/STM-4的自愈环，也可以是路由备用方式的两节点环。这些环具有很高的生存性，又具有业务量疏导功能。环形网中主要采用复用段倒换环方式，但究竟是四纤还是二纤取决于业务量和经济的比较。环间由DXC4/1沟通，完成业务量疏导和其他管理功能。同时也可以作为长途网与中继网之间以及中继网和用户网之间的网关或接口，最后还可以作为PDH与SDH之间的网关。

最低层面为用户接入网。由于处于网络的边界处，业务容量要求低，且大部分业务量汇集于一个节点（端局）上，因而通道倒换环和星形网都十分适合于该应用环境，所需设备除ADM外还有光用户环路载波系统（OLC）。速率为STM-1/STM-4，接口可以为STM-1光/电接口、PDH体系的2Mbit/s、34Mbit/s或140Mbit/s接口、普通电话用户接口、小交换机接口、2B+D或30B+D接口以及城域网接口等。

用户接入网是SDH网中最庞大、最复杂的部分，它占整个通信网投资的50%以上，用户网的光纤化是一个逐步的过程。我们所说的光到路边（FTTC）、光纤到大楼（FTTB）、光纤到家庭（FTTH）就是这个过程的不同阶段。目前我国推广光纤用户接入网时必须要考虑采用一体化的SDH/CATV网，不但要开通电信业务，而且还要提供CATV服务，这比较适合我国国情。

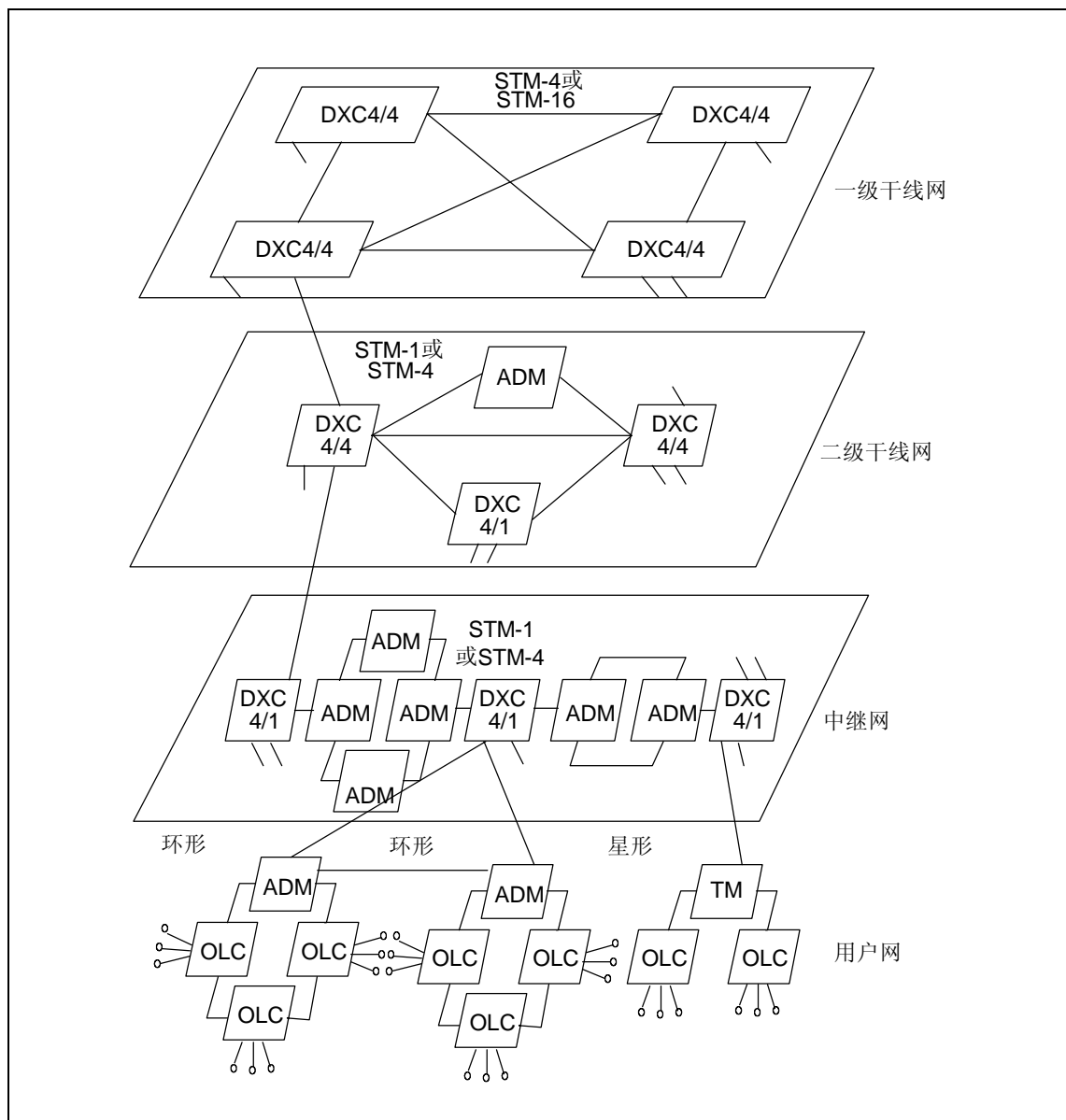


图5-15 SDH网络结构

## 5.5 PDH向SDH过渡的策略

PDH势必向SDH过渡，PDH和SDH的长期共存也是一个客观事实。世界各国电信网引入SDH的策略通常分为：“自上而下”，先在国家和地区的大容量核心网中引入SDH，这样可以迅速增加长途网容量；“自下而上”，先在核心网或接入网的一部分部署SDH同步岛，这样可以早日发挥SDH同步的优势，提高自身竞争力；“重叠网（overlay network）”，为支持特定业务而在国

家和地区网络中部署端到端的SDH重叠网，如在某些新开发区，这种策略可以提供优质的商务电信服务。由于中国目前长途网仍需扩容且公用基础网有待完善，因此，上述三种策略在我国引入SDH均有所采用。

---

？ 想一想：

想想看这一节都学了些什么？

1. 基本的网络拓扑形式及特点。
2. 自愈环的保护机理及应用范围。
3. 较复杂的几种网络拓扑。
4. 我国SDH网的4层结构。
5. PDH向SDH过渡的大致策略。

其中第2. 很重要，要完全掌握。你掌握了吗？

---

## 小结

本节主要讲述了SDH网络的基本拓扑、自愈环机理、较复杂网络的特点。主要掌握单向通道保护环、双向双纤复用段保护环的工作机理、适用范围、业务容量。

## 习题

1. 单向通道保护环的触发条件\_\_\_\_\_告警。
2. 双纤双向复用段保护环的触发条件\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_告警。
3. 4网元双纤双向复用段保护环（2.5G系统）的业务容量是\_\_\_\_\_个2M。

## 第六节 光接口类型和参数

---

目标：

掌握光接口的类型。

掌握光接口的常用参数的概念及相关规范。

---

传统的准同步光缆数字系统是一个自封闭系统，光接口是专用的，外界无法接入。而同步光缆数字线路系统是一个开放式的系统，任何厂家的任何网络单元都能在光路上互通，即具备横向兼容性。为此，必须实现光接口的标准化。

### 6.1 光纤的种类

SDH光传输网的传输媒质当然是光纤了，由于单模光纤具有带宽大、易于升级扩容和成本低的优点，国际上已一致认为同步光缆数字线路系统只使用单模光纤作为传输媒质。光纤传输中有3个传输“窗口”——适合用于传输的波长范围；850nm、1310nm、1550nm。其中850nm窗口只用于多模传输，用于单模传输的窗口只有1310nm和1550nm两个波长窗口。

光信号在光纤中传输的距离要受到色散和损耗的双重影响，色散会使在光纤中传输的数字脉冲展宽，引起码间干扰降低信号质量。当码间干扰使传输性能劣化到一定程度（例 $10^{-3}$ ）时，则传输系统就不能工作了，损耗使在光纤中传输的光信号随着传输距离的增加而功率下降，当光功率下降到一定程度时，传输系统就无法工作了。

为了延长系统的传输距离，人们主要在减小色散和损耗方面入手。1310nm光传输窗口称之为0色散窗口，光信号在此窗口传输色散最小，1550nm窗口称之为最小损耗窗口，光信号在此窗口传输的衰减最小。

ITU-T规范了三种常用光纤：符合G.652规范的光纤、符合G.653规范的光纤、符合规范G.655的光纤。其中G.652光纤指在1310nm波长窗口色散性能最佳，又称之为色散未移位的光纤（也就是0色散窗口在1310nm波长处），它可应用于1310nm和1550nm两个波长区；G.653光纤指1550nm波长窗口色散性能最佳的单模光纤，又称之为色散移位的单模光纤，它通过改变光纤内部的折射率分布，将零色散点从1310nm迁移到1550nm波长处，使1550nm波长窗口色散和损耗都较低，它主要应用于1550nm工作波长区；G.654光纤称之为

1550nm波长窗口损耗最小光纤，它的0色散点仍在1310nm波长处，它主要工作于1550nm窗口，主要应用于需要很长再生段传输距离的海底光纤通信。

## 6.2 光接口类型

光接口是同步光缆数字线路系统最具特色的部分，由于它实现了标准化，使得不同网元可以经光路直接相连，节约了不必要的光/电转换，避免了信号因此而带来的损伤（例如脉冲变形等），节约了网络运行成本。

按照应用场合的不同，可将光接口分为三类：局内通信光接口、短距离局间通信光接口和长距离局间通信光接口。不同的应用场合用不同的代码表示，见表6-1。

表6-1 光接口代码一览表

应用场合	局内	短距离局间	长距离局间
工作波长(nm)	1310	1310 1550	1310 1550
光纤类型	G.652	G.652 G.652	G.652 G.652 G.653
传输距离(km)	≤2	~15	~40 ~60
STM-1	I—1	S—1.1 S—1.2	L—1.1 L—1.2 L—1.3
STM-4	I—4	S—4.1 S—4.2	L—4.1 L—4.2 L—4.3
STM-16	I—16	S—16.1 S—16.2	L—16.1 L—16.2 L—16.3

代码的第一位字母表示应用场合：I表示局内通信；S表示短距离局间通信；L表示长距离局间通信。字母横杠后的第一位表示STM的速率等级：例如1表示STM-1；16表示STM-16。第二个数字（小数点后的第一个数字）表示工作的波长窗口和所有光纤类型：1和空白表示工作窗口为1310nm，所用光纤为G.652光纤；2表示工作窗口为1550 nm，所用光纤为G.652或G.654光纤；3表示工作窗口为1550nm，所用光纤为G.653光纤。

## 6.3 光接口参数

SDH网络系统的光接口位置如图6-1所示。

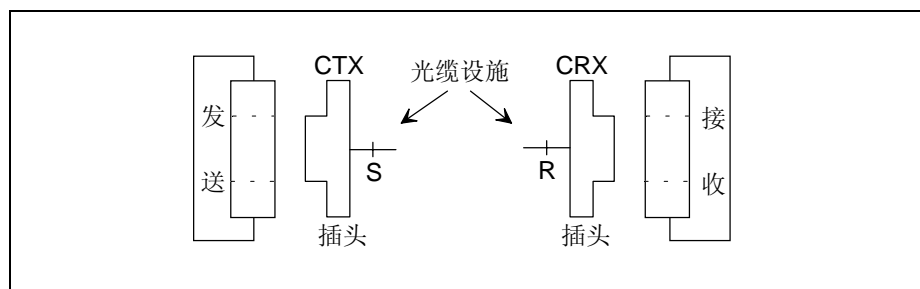


图6-1 光接口位置示意图

图中S点是紧挨着发送机（TX）的活动连接器（CTX）后的参考点，R是紧挨着接收机（RX）的活动连接器（CRX）前的参考点，光接口的参数可以分为三大类：参考点S处的发送机光参数、参考点R处的接收机光参数和S—R点之间的光参数。在规范参数的指标时，均规范为最坏值，即在极端的（最坏的）光通道衰减和色散条件下，仍然要满足每个再生段（光缆段）的误码率不大于 $1 \times 10^{-10}$ 的要求。

### 6.3.1 光线路码型

前面讲过，SDH系统中，由于帧结构中安排了丰富的开销字节来用于系统的OAM功能，所以线路码型不必象PDH那样通过线路编码加上冗余字节，以完成端到端的性能监控。SDH系统的线路码型采用加扰的NRZ码，线路信号速率等于标准STM-N信号速率。

ITU-T规范了对NRZ码的加扰方式，采用标准的7级扰码器，扰码生成多项式为 $1 + X^6 + X^7$ ，扰码序列长为 $2^7 - 1 = 127$ （位）。这种方式的优点是：码型最简单，不增加线路信号速率，没有光功率代价，无需编码，发端需一个扰码器即可，收端采用同样标准的解扰器即可接收发端业务，实现多厂家设备环境的光路互连。

采用扰码器是为了防止信号在传输中出现长连“0”或长连“1”，易于收端从信号中提取定时信息（SPI功能块）。另外当扰码器产生的伪随机序列足够长时，也就是经扰码后的信号的相关性很小时，可以在相当程度上减弱各个再生器产生的抖动相关性（也就是使扰动分散，抵消）使整个系统的抖动积累量减弱。例如一个屋子里有三对人在讲话，若大家都讲中文（信息的相关性强），那么很容易产生这三对人互相干扰谁也听不清谁说的话；若这三

对人分别用中文、英文、日文讲话（信息相关性差），那么，这三对人的对话的干扰就小得多了。

### 6.3.2 S点参数——光发送机参数

#### 1. 最大-20dB带宽

单纵模激光器主要能量集中在主模，所以它的光谱宽度是按主模的最大峰值功率跌落到-20dB时的最大带宽来定义的。单纵模激光器光谱特性，如图6-2所示。

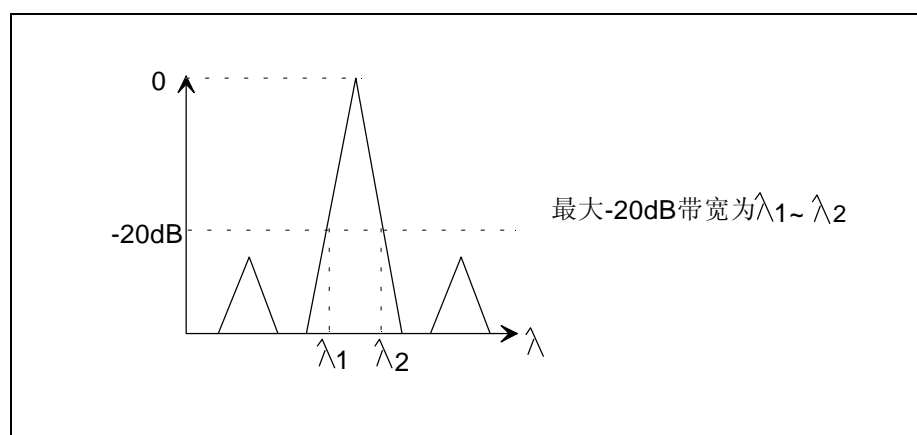


图6-2 单纵模激光器光谱图

#### 2. 最小边模抑制比（SMSR）

主纵模的平均光功率 $P_1$ 与最显著的边模的平均光功率 $P_2$ 之比的最小值。

$$\text{SMSR} = 10\lg(P_1/P_2)$$

SMSR的值应不小于30dB。

#### 3. 平均发送功率

在S参考点处所测得的发送机发送的伪随机信号序列的平均光功率。

#### 4. 消光比（EX1）

定义为信号“1”的平均发光功率与信号“0”的平均光功率比值的最小值。

$$\text{EX} = 10\lg(\text{EX1})$$

ITU-T规定长距离传输时，消光比为10dB（除了L-16.2），其它情况下为8.2dB。

### 6.3.3 R点参数——光接收机参数

#### 1. 接收灵敏度

定义为R点处为达到 $1 \times 10^{-10}$ 的BER值所需要的平均接收功率的最小值。一般开始使用时、正常温度条件下的接收机与寿命终了时、处于最恶劣温度条件下的接收机相比，灵敏度余度大约为2—4dB。一般情况下，对设备灵敏度的实测值要比指标最小要求值（最坏值）大3dB左右（灵敏度余度）。

#### 2. 接收过载功率

定义为在R点处为达到 $1 \times 10^{-10}$ 的BER值所需要的平均接收光功率的最大值。因为，当接收光功率高于接收灵敏度时，由于信噪比的改善使BER变小，但随着光接收功率的继续增加，接收机进入非线性工作区，反而会使BER下降，如图6-3所示。

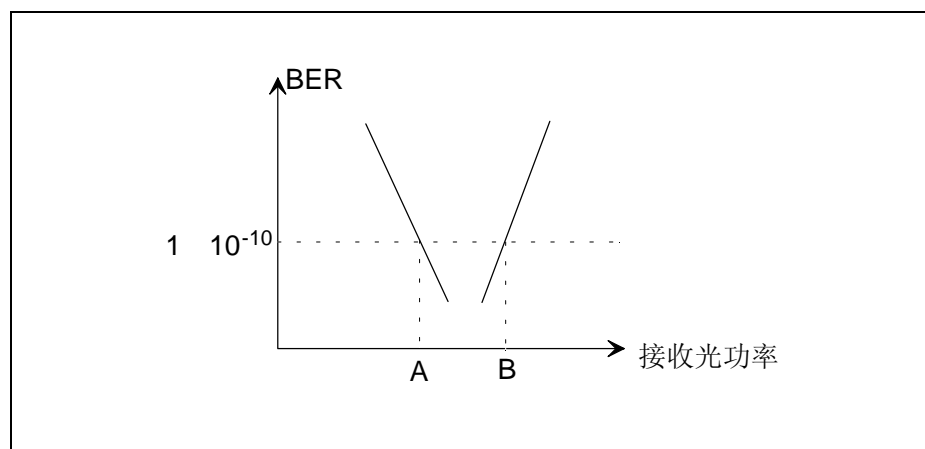


图6-3 BER曲线图

图中A点处的光功率是接收灵敏度，B点处的光功率是接收过载功率，A—B之间的范围是接收机可正常工作的动态范围。

---

? 想一想:

想想看这一节都学了些什么?

1. 常用光纤的种类。
2. 光接口的分类。
3. 与光接口有关的常用参数及其具体含义。

其中 3. 是本节的重点。

---

## 小结

本节主要讲述SDH系统的光接口类型和主要的光接口参数。

## 习题

1. SDH光信号的码型是\_\_\_\_\_。
2. I-1的含义是什么？

## 第七节 定时与同步

---

目标：

掌握数字网的同步方式。

掌握主从同步方式中，节点从时钟的三种工作模式的特点。

了解SDH的引入对网同步的要求。

知道SDH网主从同步时钟的类型。

---

数字网中要解决的首要问题是网同步问题，因为要保证发端在发送数字脉冲信号时将脉冲放在特定时间位置上（即特定的时隙中），而收端要能在特定的时间位置处将该脉冲提取解读以保证收发两端的正常通信，而这种保证收/发两端能正确的在某一特定时间位置上提取/发送信息的功能则是由收/发两端的定时时钟来实现的。因此，网同步的目的是使网中各节点的时钟频率和相位都限制在预先确定的容差范围内，以免由于数字传输系统中收/发定位的不准确导致传输性能的劣化（误码、抖动）。

### 7.1 同步方式

解决数字网同步有两种方法：伪同步和主从同步。伪同步是指数字交换网中各数字交换局在时钟上相互独立，毫无关联，而各数字交换局的时钟都具有极高的精度和稳定度，一般用铯原子钟。由于时钟精度高，网内各局的时钟虽不完全相同（频率和相位），但误差很小，接近同步，于是称之为伪同步。主从同步指网内设一时钟主局，配有高精度时钟，网内各局均受控于该全局（即跟踪主局时钟，以主局时钟为定时基准），并且逐级下控，直到网络中的末端网元——终端局。

一般伪同步方式用于国际数字网中，也就是一个国家与另一个国家的数字网之间采取这样的同步方式，例如中国和美国的国际局均各有一个铯时钟，二者采用伪同步方式。主从同步方式一般用于一个国家、地区内部的数字网，它的特点是地区或国家只有一个主局时钟，网上其它网元均以此主局时钟为基准来进行本网元的定时，主从同步和伪同步的原理如图7-1所示。

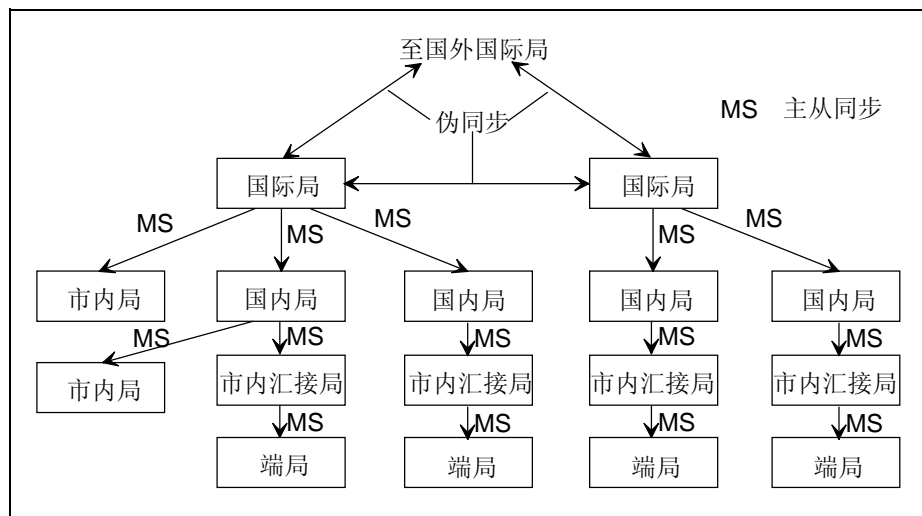


图7-1 伪同步和主从同步原理图

为了增加主从定时系统的可靠性，可在网内设一个副时钟，采用等级主从控制方式。两个时钟均采用铯时钟，在正常时主时钟起网络定时基准作用，副时钟亦以主时钟的时钟为基准。当主时钟发生故障时，改由副时钟给网络提供定时基准，当主时钟恢复后，再切换回由主时钟提供网络基准定时。

我国采用的同步方式是等级主从同步方式，其中主时钟在北京，副时钟在武汉。在采用主从同步时，上一级网元的定时信号通过一定的路由——同步链路或附在线路信号上从线路传输到下一级网元。该级网元提取此时钟信号，通过本身的锁相振荡器跟踪锁定此时钟，并产生以此时钟为基准的本网元所用的本地时钟信号，同时通过同步链路或通过传输线路（即将时钟信息附在线路信号中传输）向下级网元传输，供其跟踪、锁定。若本站收不到从上一级网元传来的基准时钟，那么本网元通过本身的内置锁相振荡器提供本网元使用的本地时钟并向下一级网元传送时钟信号。

数字网的同步方式除伪同步和主从同步外，还有相互同步、外基准注入、异步同步（即低精度的准同步）等。下面讲一下外基准注入同步方式。

外基准注入方式起备份网络上重要节点的时钟的作用，以避免当网络重要节点主时钟基准丢失，而本身内置时钟的质量又不够高，以至大范围影响网元正常工作的情况。外基准注入方法是利用GPS（卫星全球定位系统），在网元重要节点局安装GPS接收机，提供高精度定时，形成地区级基准时钟（LPR），该地区其它的下级网元在主时钟基准丢失后仍采用主从同步方式跟踪这个GPS提供的基准时钟。

## 7.2 主从同步网中从时钟的工作模式

主从同步的数字网中，从站（下级站）的时钟通常有三种工作模式。

- 正常工作模式——跟踪锁定上级时钟模式

此时从站跟踪锁定的时钟基准是从上一级站传来的，可能是网中的主时钟，也可能是上一级网元内置时钟源下发的时钟，也可能是本地区的GPS时钟。

与从时钟工作的其它两种模式相比较，此种从时钟的工作模式精度最高。

- 保持模式

当所有定时基准丢失后，从时钟进入保持模式，此时从站时钟源利用定时基准信号丢失前所存储的最后频率信息作为其定时基准而工作。也就是说从时钟有“记忆”功能，通过“记忆”功能提供与原定时基准较相符的定时信号，以保证从时钟频率在长时间内与基准时钟频只有很小的频率偏差。但是由于振荡器的固有振荡频率会慢慢地漂移，故此种工作方式提供的较高精度时钟不能持续很久。此种工作模式的时钟精度仅次于正常工作模式的时钟精度。

- 自由运行模式——自由振荡模式

当从时钟丢失所有外部基准定时，也失去了定时基准记忆或处于保持模式太长，从时钟内部振荡器就会工作于自由振荡方式。

此种模式的时钟精度最低，实属万不得已而为之。

## 7.3 SDH的引入对网同步的要求

数字网的同步性能对网络能否正常工作至关重要，SDH网的引入对网的同步提出了更高的要求。当网络工作在正常模式时，各网元同步于一个基准时钟，网元节点时钟间只存在相位差而不会出现频率差，因此只会出现偶然的指针调整事件（网同步时，指针调整不常发生）。当某网元节点丢失同步基准时钟而进入保持模式或自由振荡模式时，该网元节点本地时钟与网络时钟将会出现频率差，而导致指针连续调整，影响网络业务的正常传输。

SDH网与PDH网会长期共存，SDH/PDH边界出现的抖动和漂移主要来自指针调整和净负荷映射过程。

在SDH/PDH边界节点上指针调整的频度与这种网关节点的同步性能密切相关。如果执行异步映射功能的SDH输入网关丢失同步，则该节点时钟的频偏和频移将会导致整个SDH网络的指针持续调整，恶化同步性能；如果丢失同步的网络节点是SDH网络连接的最后一个网络单元，则SDH网络输出仍有指

针调整会影响同步性能；如果丢失同步的是中间的网络节点，只要输入网关仍然处于与基准时钟（PRC）的同步状态，则紧随故障节点的仍处于同步状态的网络单元或输出网关可以校正中间网络节点的指针移动，因而不会在最后的输出网关产生净指针移动，从而不会影响同步性能。

## 7.4 SDH网的同步方式

### 7.4.1 SDH网同步原则

我国数字同步网采用分级的主从同步方式，即用单一基准时钟经同步分配网的同步链路控制全网同步，网中使用一系列分级时钟，每一级时钟都与上一级时钟或同一级时钟同步。

SDH网的主从同步时钟可按精度分为四个类型（级别），分别对应不同的使用范围：作为全网定时基准的主时钟；作为转接局的从时钟；作为端局（本地局）的从时钟；作为SDH设备的时钟（即SDH设备的内置时钟）。ITU-T将各级别时钟进行规范（对各级时钟精度进行了规范），时钟质量级别由高到低分列于下：

- 基准主时钟——满足G.811规范。
- 转接局时钟——满足G.812规范（中间局转接时钟）。
- 端局时钟——满足G.812规范（本地局时钟）。
- SDH网络单元时钟——满足G.813 规范（SDH网元内置时钟）。

在正常工作模式下，传到相应局的各类时钟的性能主要取决于同步传输链路的性能和定时提取电路的性能。在网元工作于保护模式或自由运行模式时，网元所使用的各类时钟的性能，主要取决于产生各类时钟的时钟源的性能（时钟源相应的位于不同的网元节点处），因此高级别的时钟须采用高性能的时钟源。

在数字网中传送时钟基准应注意几个问题：

- 1) 在同步时钟传送时不应存在环路。

例如图7-2所示。

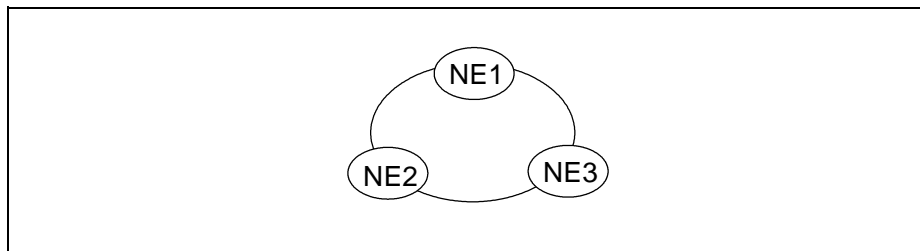


图7-2 网络图

若NE2跟踪NE1的时钟，NE3跟踪NE2，NE1跟踪NE3的时钟，这时同步时钟的传送链路组成了一个环路，这时若某一网元时钟劣化，就会使整个环路上网元的同步性能连锁性的劣化。

- 2) 尽量减少定时传递链路的长度，避免由于链路太长影响传输的时钟信号的质量。
- 3) 从站时钟要从高级设备或同一级设备获得基准。
- 4) 应从分散路由获得主、备用时钟基准，以防止当主用时钟传递链路中断后，导致时钟基准丢失的情况。
- 5) 选择可用性高的传输系统来传递时钟基准。

#### 7.4.2 SDH网元时钟源的种类

- 外部时钟源——由SETPI功能块提供输入接口。
- 线路时钟源——由SPI功能块从STM-N线路信号中提取。
- 支路时钟源——由PPI功能块从PDH支路信号中提取，不过该时钟一般不用，因为SDH/PDH网边界处的指针调整会影响时钟质量。
- 设备内置时钟源——由SETS功能块提供。

同时，SDH网元通过SETPI功能块向外提供时钟源输出接口。

#### 7.4.3 SDH网络常见的定时方式

SDH网络是整个数字网的一部分，它的定时基准应是这个数字网的统一的定时基准。通常，某一地区的SDH网络以该地区高级别局的转接时钟为基准定时源，这个基准时钟可能是该局跟踪的网络主时钟、GPS提供的地区时钟基准（LPR）或干脆是本局的内置时钟源提供的时钟（保持模式或自由运行模式）。那么这个SDH网是怎样跟踪这个基准时钟保持网络同步呢？首先，在该SDH网中要有一个SDH网元时钟主站，这里所谓的时钟主站是指该SDH网

络中的时钟主站，网上其它网元的时钟以此网元时钟为基准，也就是说其它网元跟踪该主站网元的时钟，那么这个主站的时钟是何处而来？因为SDH网是数字网的一部分，网上同步时钟应为该地区的时钟基准时，该SDH网上的主站一般设在本地区时钟级别较高的局，SDH主站所用的时钟就是该转接局时钟。我们在讲设备逻辑组成时，讲过设备有SETPI功能块，该功能块的作用就是提供设备时钟的输入/输出。主站SDH网元的SETS功能块通过该时钟输入口提取转接局时钟，以此作为本站和SDH网络的定时基准。若局时钟不从SETPI功能块提供的时钟输入口输入SDH主站网元，那么此SDH网元可从本局上/下的PDH业务中提取时钟信息（依靠PPI功能块的功能）作为本SDH网络的定时基准。



注意：

后一种方法不常用，因为SDH/PDH网络边界处（也即是PDH/SDH处）指针调整较多，信号抖动较大，影响时钟信号的质量。

此SDH网上其它SDH网元是如何跟踪这个主站SDH网时钟呢？可通过两种方法，一是通过SETPI提供的时钟输出口将本网元时钟输出给其它SDH网元。因为SETPI提供的接口是PDH接口，一般不采用这种方式（指针调整事件较多）。最常用的方法是将本SDH主站的时钟放于SDH网上传输的STM-N信号中，其它SDH网元通过设备的SPI功能块来提取STM-N信号中的时钟信息，并进行跟踪锁定，这与主从同步方式相一致。下面以几个典型的例子来说明此种时钟跟踪方式。

见图7-3。

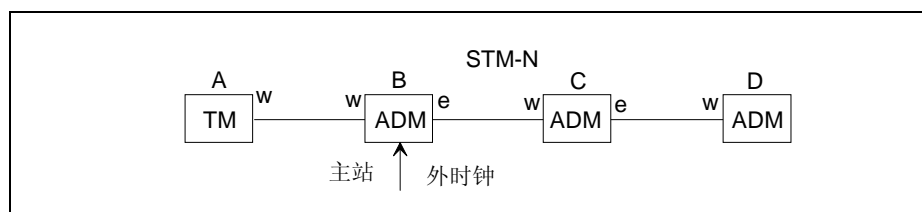


图7-3 网络图

上图是一个链网的拓扑，B站为此SDH网的时钟主站，B网元的外时钟（局时钟）作为本站和此SDH网的定时基准。在B网元将业务复用进STM-N帧时，时钟信息也就自然而然的附在STM-N信号上了。这时，A网元的定时时钟可从线路w侧端口的接收信号STM-N中提取（通过SPI），以此作为本网元的本地时钟。同理，网元C可从西向线路端口的接收信号提取B网元的时钟信息，

以此作为本网元的本地时钟，同时将时钟信息附在STM-N信号上往下级网元传输；D网元通过从西向线路端口的接收信号STM-N中提取的时钟信息完成与主站网元B的同步。这样就通过一级一级的主从同步方式，实现了此SDH网的所有网元的同步。

当从站网元A、C、D丢失从上级网元来的时钟基准后，进入保持工作模式，经过一段时间后进入自由运行模式，此时网络上网元的时钟性能劣化。



注意：

A网元同步性能劣化不会影响到网元C和网元D，而C网元同步性能劣化会影响到网元D，因为网元C是网元D的时钟跟踪的上一级网元，即对网元D来说，网元C是它的主站。

---

不管上一级网元处于什么工作模式，下一级网元一般仍处于正常工作模式，跟踪上一级网元附在STM-N信号中的时钟。所以，若网元B时钟性能劣化，会使整个SDH网络时钟性能连锁反应，所有网上网元的同步性能均劣化（对应于整个数字网而言，因为此时本SDH网上的从站网元还是处于时钟跟踪状态）。

当链很长时，主站网元的时钟传到从站网元可能要转接多次和传输较长距离，这时为了保证从站接收时钟信号的质量可在此SDH网上设两个主站，在网上提供两个定时基准。每个基准分别由网上一部分网元跟踪，减少了时钟信号传输距离和转移次数。不过要注意的是，这两个时钟基准要保持同步及相同的质量等级。



技术细节：

为防止SDH主站的外部基准时钟源丢失，可将多路基准时钟源输入SDH主站，这多个基准时钟源可按其质量划分为不同级别，SDH主站在正常时跟踪外部高级别时钟，在高级别基准时钟丢失后，转向跟踪较低级别的外部基准时钟，这样提高了系统同步性能的可靠性。

---

那么环网的时钟是如何跟踪的呢？如图7-4所示。

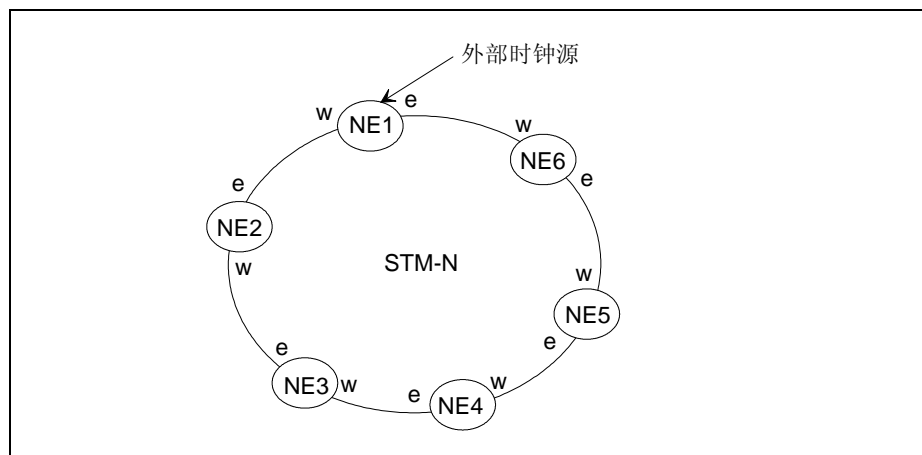


图7-4 环形网网络图

环中NE1为时钟主站，它以外部时钟源为本站和此SDH网的时钟基准，其它网元跟踪这个时钟基准，以此作为本地时钟的基准。在从站时钟的跟踪方式上与链网基本类似，只不过此时从站可以从两个线路端口西向/东向（ADM有两个线路端口）的接收信号STM-N中提取出时钟信息，不过考虑到转接次数和传输距离对时钟信号的影响，从站网元最好从最短的路由和最少的转接次数的端口方向提取。例如NE5网元跟踪西向线路端口的时钟，NE3跟踪东向线路端口的时钟较适合。

再看图7-5：

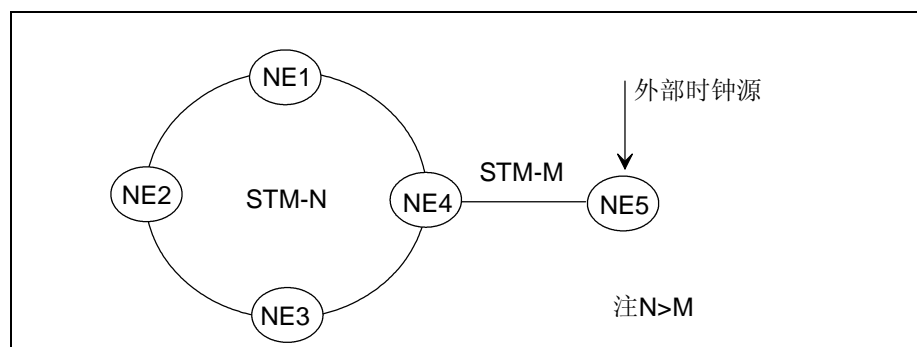


图7-5 网络图

图中NE5为时钟主站，它以外部时钟源（局时钟）作为本网元和SDH网上所有其它网元的定时基准。NE5是环带的一个链，这个链带在网元NE4的低速支路上。

NE1、NE2和NE3通过东/西向的线路端口跟踪、锁定网元NE4的时钟，而网元NE4的时钟是跟踪主站NE5传来的时钟（放在STM-M信号中）。怎样跟踪呢？网元NE4通过支路光板的SPI模块提取NE5通过链传来的STM-N信号的时钟信息，并以此同步环上的下级网元（从站）。

## 7.5 S1字节和SDH网络时钟保护倒换原理

### 1. S1字节工作原理

随着SDH光同步传输系统的发展和广泛应用，越来越多的人对ITU-T定义的有关同步时钟S1字节的原理及其应用显示出浓厚的兴趣。这里介绍S1字节的工作原理以及利用S1字节实现同步时钟保护倒换的控制协议。并通过一个例子说明了S1字节的应用。

在SDH网中，各个网元通过一定的时钟同步路径一级一级地跟踪到同一个时钟基准源，从而实现整个网的同步。通常，一个网元获得同步时钟源的路径并非只有一条。也就是说，一个网元同时可能有多个时钟基准源可用。这些时钟基准源可能来自于同一个主时钟源，也可能来自于不同质量的时钟基准源。在同步网中，保持各个网元的时钟尽量同步是极其重要的。为避免由于一条时钟同步路径的中断，导致整个同步网的失步，有必要考虑同步时钟的自动保护倒换问题。也就是说，当一个网元所跟踪的某路同步时钟基准源发生丢失的时候，要求它能自动地切换到另一路时钟基准源上。这一路时钟基准源，可能与网元先前跟踪的时钟基准源是同一个时钟源，也可能是一个质量稍差的时钟源。显然，为了完成以上功能，需要知道各个时钟基准源的质量信息。

ITU-T定义的S1字节，正是用来传递时钟源的质量信息的。它利用段开销字节S1字节的高四位，来表示16种同步源质量信息。

表7-1是ITU-T已定义的同步状态信息编码。利用这一信息，遵循一定的倒换协议，就可实现同步网中同步时钟的自动保护倒换功能。

表7-1 同步状态信息编码

S1 (b5-b8)	S1字节	SDH同步质量等级描述
0000	0x00	同步质量不可知（现存同步网）
0001	0x01	保留
0010	0x02	G.811时钟信号
0011	0x03	保留
0100	0x04	G.812转接局时钟信号
0101	0x04	保留
0110	0x06	保留

S1 (b5-b8)	S1字节	SDH同步质量等级描述
0111	0x07	保留
1000	0x08	G.812本地局时钟信号
1001	0x09	保留
1010	0x0A	保留
1011	0x0B	同步设备定时源 (SETS) 信号
1100	0x0C	保留
1101	0x0D	保留
1110	0x0E	保留
1111	0x0F	不应用作同步

在SDH光同步传输系统中，时钟的自动保护倒换遵循以下协议：

规定一同步时钟源的质量阈值，网元首先从满足质量阈值的时钟基准源中选择一个级别最高的时钟源作为同步源。并将此同步源的质量信息（即S1字节）传递给下游网元。

若没有满足质量阈值的时钟基准源，则从当前可用的时钟源中，选择一个级别最高的时钟源作为同步源。并将此同步源的质量信息（即S1字节）传递给下游网元。

若网元B当前跟踪的时钟同步源是网元A的时钟，则网元B的时钟对于网元A来说为不可用同步源。

## 2. 工作实例

下面通过举例的方法，来说明同步时钟自动保护倒换的实现。

如图7-6所示的传输网中，BITS时钟信号通过网元1和网元4的外时钟接入口接入。这两个外接BITS时钟，互为主备，满足G812本地时钟基准源质量要求。正常工作的时候，整个传输网的时钟同步于网元1的外接BITS时钟基准

源。

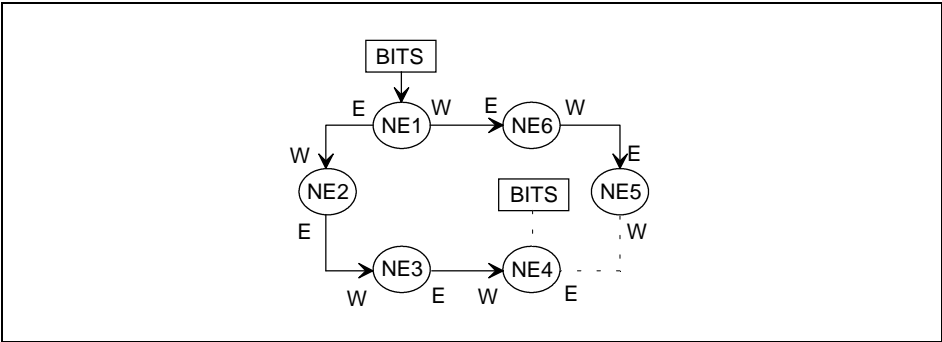


图7-6 正常状态下的时钟跟踪

设置同步源时钟质量阈值“不劣于G812本地时钟”。各个网元的同步源及时钟源级别配置如表7-2所示。

表7-2 各网元同步源及时钟源级别配置

网元	同步源	时钟源级别
NE1	外部时钟源	外部时钟源、西向时钟源、东向时钟源、内置时钟源
NE2	西向时钟源	西向时钟源、东向时钟源、内置时钟源
NE3	西向时钟源	西向时钟源、东向时钟源、内置时钟源
NE4	西向时钟源	西向时钟源、东向时钟源、外部时钟源、内置时钟源
NE5	东向时钟源	东向时钟源、西向时钟源、内置时钟源
NE6	东向时钟源	东向时钟源、西向时钟源、内置时钟源

另外，对于网元1和网元4，还需设置外接BITS时钟S1字节所在的时隙（由BITS提供者给出）。

正常工作的情况下，当网元2和网元3间的光纤发生中断时，将发生同步时钟的自动保护倒换。遵循上述的倒换协议，由于网元4跟踪的是网元3的时钟，因此网元4发送给网元3的时钟质量信息为“时钟源不可用”，即S1字节为0XFF。所以当网元3检测到西向同步时钟源丢失时，网元3不能使用东向的时钟源作为本站的同步源。而只能使用本板的内置时钟源作为时钟基准源，并通过S1字节将这一信息传递给网元4，即网元3传给网元4的S1字节为0X0B，表示“同步设备定时源（SETS）时钟信号”。网元4接收到这一信息后，发现所跟踪的同步源质量降低了（原来为“G812本地局时钟”，即S1字节为0X08），不满足所设定的同步源质量阈值的要求。则网元4需要重新选取符合质量要求的时钟基准源。网元4可用的时钟源有4个，西向时钟源、东向时钟源、内置时钟源和外接BITS时钟源。显然，此时只有东向时钟源和外

接BITS时钟源满足质量阈值的要求。由于网元4中配置东向时钟源的级别比外接BITS时钟源的级别高，所以网元4最终选取东向时钟源作为本站的同步源。网元4跟踪的同步源由西向倒换到东向后，网元3东向的时钟源变为可用。显然，此时网元3可用的时钟源中，东向时钟源的质量满足质量阈值的要求，且级别也是最高的，因此网元3将选取东向时钟源作为本站的同步源。最终，整个传输网的时钟跟踪情况将如图7-7所示。

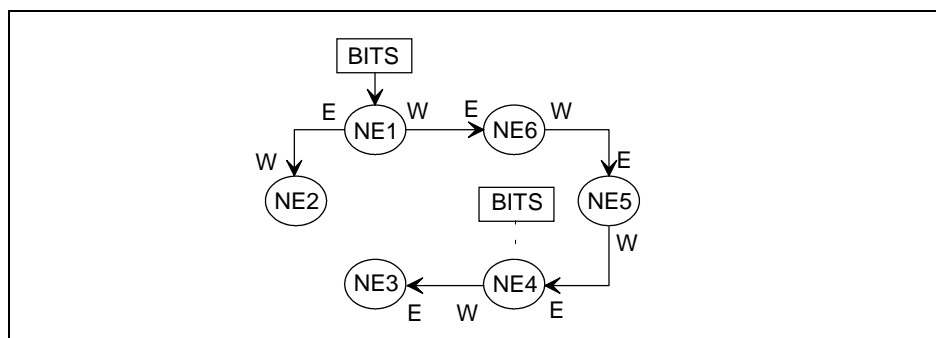


图7-7 网元2、3间光纤损坏下的时钟跟踪

若正常工作的情况下，网元1的外接BITS时钟出现了故障，则依据倒换协议，按照上述的分析方法可知，传输网最终的时钟跟踪情况将如图7-8所示。

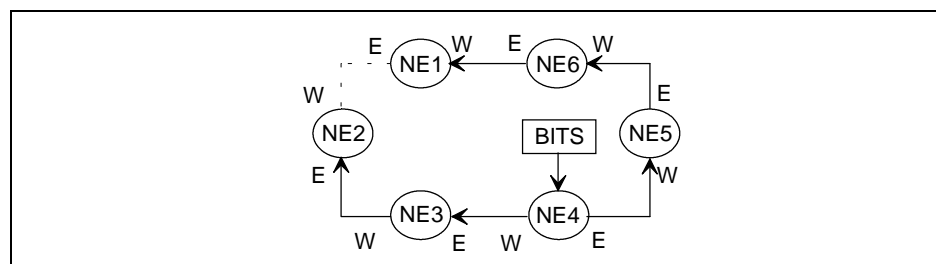


图7-8 网元1外接BITS失效下的时钟跟踪

若网元1和网元4的外接BITS时钟都出现了故障。则此时每个网元所有可用的时钟源均不满足基准源的质量阈值。根据倒换协议，各网元将从可用的时钟源中选择级别最高的一个时钟源作为同步源。假设所有BITS出故障前，网中的各个网元的时钟同步于网元4的时钟。则所有BITS出故障后，通过分析不难看出，网中各个网元的时钟仍将同步于网元4的时钟，如图7-9所示。只不过此时，整个传输网的同步源时钟质量由原来的G812本地时钟降为同步设备

的定时源时钟。但整个网仍同步于同一个基准时钟源。

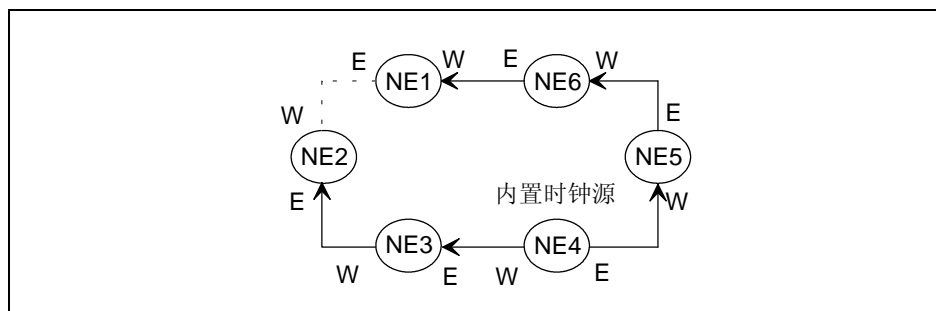


图7-9 两个外接BITS均失效下的时钟跟踪

由此可见，采用了时钟的自动保护倒换后，同步网的可靠性和同步性能都大大提高了。

---

？ 想一想：

想想看本节都讲了些什么？

1. 网的同步方式——主从同步、伪同步。
2. 同步网中节点时钟的三种工作模式。
3. SDH网对网同步的要求，及SDH网主从同步时钟的质量级别划分。
4. H网中主从同步的实现方法。

其中，4. 是重点。你掌握了吗？

---

## 小结

本节主要讲述了SDH同步网的常用同步方式，针对设备讲了时钟的常见跟踪方式。

## 习题

1. 数字网的常见同步方式是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
2. 一个SDH网元可选的时钟来源\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

## 第八节 传输性能

---

☞ 目标：

掌握常见度量误码性能指标的含义。

了解系统误码的产生机理和减小误码的策略。

掌握常见度量系统抖动性能指标的含义。

了解抖动产生的机理和抖动减少的策略。

了解漂移和可用性的含义。

---

传输系统的性能对整个通信网的通信质量起着至关重要的作用。影响SDH传输网传输性能的主要传输损伤包括误码、抖动和漂移。

### 8.1 误码性能

误码是指经接收、判决、再生后，数字码流中的某些比特发生了差错，使传输的信息质量产生损伤。

#### 8.1.1 误码的产生和分布

误码可说是传输系统的一大害，轻则使系统稳定性下降，重则导致传输中断（ $10^{-3}$  以上）。从网络性能角度出发可将误码分成两大类。

##### 1. 内部机理产生的误码

系统的此种误码包括由各种噪声源产生的误码；定位抖动产生的误码；复用器、交叉连接设备和交换机产生的误码；以及由光纤色散产生的码间干扰引起的误码，此类误码会由系统长时间的误码性能反应出来。

##### 2. 脉冲干扰产生的误码

由突发脉冲诸如电磁干扰、设备故障、电源瞬态干扰等原因产生的误码。此类误码具有突发性和大量性，往往系统在突然间出现大量误码，可通过系统的短期误码性能反映出来。

### 8.1.2 误码性能的度量


传统的误码性能的度量（G.821）是度量64kbit/s的通道在27500km全程端到端连接的数字参考电路的误码性能，是以比特的错误情况为基础的。当传输网的传输速率越来越高，以比特为单位衡量系统的误码性能有其局限性。

目前高比特率通道的误码性能是以块为单位进行度量的（B1、B2、B3监测的均是误码块），由此产生出一组以“块”为基础的一组参数。这些参数的含义如下：

- 误块

当块中的比特发生传输差错时称此块为误块。

---

 诀窍：

对B1、B2、B3块进行监测时，只能监测出该块中奇数个比特发生差错，对块中偶数个比特发生差错则监测不出。想想看为什么？

---

- 误块秒（ES）和误块秒比（ESR）

当某一秒中发现1个或多个误码块时称该秒为误块秒。在规定测量时间段内出现的误块秒总数与总的可用时间的比值称之为误块秒比。

- 严重误块秒（SES）和严重误块秒比（SESR）

某一秒内包含有不少于30%的误块或者至少出现一个严重扰动期（SDP）时认为该秒为严重误块秒。其中严重扰动期指在测量时，在最小等效于4个连续块时间或者1ms（取二者中较长时间段）时间段内所有连续块的误码率 $\geq 10^{-2}$ 或者出现信号丢失。

在测量时间段内出现的SES总数与总的可用时间之比称为严重误块秒比（SESR）。

严重误块秒一般是由于脉冲干扰产生的突发误块，所以SESR往往反映出设备抗干扰的能力。

- 背景误块（BBE）和背景误块比（BBER）

扣除不可用时间和SES期间出现的误块称之为背景误块（BBE）。BBE数与在一段测量时间内扣除不可用时间和SES期间内所有块数后的总块数之比称背景误块比（BBER）。

若这段测量时间较长，那么BBER往往反映的是设备内部产生的误码情况，与设备采用器件的性能稳定性有关。

### 8.1.3 数字段相关的误码指标

ITU-T将数字链路等效为全长27500km的假设数字参考链路，并为链路的每一段分配最高误码性能指标，以便使主链路各段的误码情况在不高于该标准的条件下连成串之后能满足数字信号端到端（27500km）正常传输的要求。

下面分别列出了420km、280km、56km数字段应满足的误码性能指标。

表8-1 420km HRDS误码性能指标

速率(kbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	$3.696 \times 10^{-3}$	待定	待定
SESR	$4.62 \times 10^{-5}$	$4.62 \times 10^{-5}$	$4.62 \times 10^{-5}$
BBER	$2.31 \times 10^{-6}$	$2.31 \times 10^{-6}$	$2.31 \times 10^{-6}$

表8-2 280km HRDS误码性能指标

速率(kbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	$2.464 \times 10^{-3}$	待定	待定
SESR	$3.08 \times 10^{-5}$	$3.08 \times 10^{-5}$	$3.08 \times 10^{-5}$
BBER	$3.08 \times 10^{-6}$	$1.54 \times 10^{-6}$	$1.54 \times 10^{-6}$

表8-3 50km HRDS误码性能指标

速率(kbit/s)	155520	622080	2488320
ESR	$4.4 \times 10^{-4}$	待定	待定
SESR	$5.5 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-6}$
BBER	$5.5 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-7}$

### 8.1.4 误码减少策略

- 内部误码的减小

改善收信机的信噪比是降低系统内部误码的主要途径。另外，适当选择发送机的消光比，改善接收机的均衡特性，减少定位抖动都有助于改善内部误码

性能。在再生段的平均误码率低于 $10^{-14}$  数量级以下，可认为处于“无误码”运行状态。

- 外部干扰误码的减少

基本对策是加强所有设备的抗电磁干扰和静电放电能力，例如，加强接地。此外在系统规划设计时留有充足的冗余度也是一种简单可行的对策。

## 8.2 可用性参数

- 不可用时间

传输系统的任一个传输方向的数字信号连续10秒期间内每秒的误码率均劣于 $10^{-3}$ ，从这10秒的第一秒种起就认为进入了不可用时间。

- 可用时间

当数字信号连续10秒期间内每秒的误码率均优于 $10^{-3}$ ，那么从这10秒种的第一秒起就认为进入了可用时间。

- 可用性

可用时间占全部总时间的百分比称之为可用性。

为保证系统的正常使用，系统要满足一定的可用性指标。

表8-4 假设参考数字段可用性目标

长度(km)	可用性	不可用性	不可用时间/年
420	99.977%	$2.3 \times 10^{-4}$	120分/年
280	99.985%	$1.5 \times 10^{-4}$	78分/年
50	99.99%	$1 \times 10^{-4}$	52分/年

## 8.3 抖动漂移性能

抖动和漂移与系统的定时特性有关。定时抖动（抖动）是指数字信号的特定时刻（例如最佳抽样时刻）相对其理想时间位置的短时间偏离。所谓短时间偏离是指变化频率高于10Hz的相位变化。而漂移指数字信号的特定时刻相对其理想时间位置的长时间的偏离，所谓长时间是指变化频率低于10Hz的相位变化。

抖动和漂移会使收端出现信号溢出或取空，从而导致信号滑动损伤。

### 8.3.1 抖动和漂移的产生机理

在SDH网中除了具有其他传输网的共同抖动源——各种噪声源，定时滤波器失谐，再生器固有缺陷（码间干扰、限幅器门限漂移）等，还有两个SDH网特有的抖动源：

1) 在将支路信号装入VC时，加入了固定塞入比特和控制塞入比特，分接时需要移去这些比特，这将导致时钟缺口，经滤波后产生残余抖动——脉冲塞入抖动。

2) 指针调整抖动。此种抖动是由指针进行正/负调整和去调整时产生的。对于脉冲塞入抖动，与PDH系统的正码脉冲调整产生的情况类似，可采取措施使它降低到可接受的程度，而指针调整（以字节为单位，隔三帧调整一次）产生的抖动由于频率低、幅度大，很难用一般方法加以滤除。

引起SDH网漂移的普遍原因是环境温度的变化，它将使光缆传输特性变化，导致信号漂移，另外时钟系统受温度变化的影响也会出现漂移。最后，SDH网络单元中指针调整和网同步的结合也会产生很低频率的抖动和漂移。不过总体说来SDH网的漂移主要来自各级时钟和传输系统，特别是传输系统。

### 8.3.2 抖动性能规范

SDH网中常见的度量抖动性能的参数如下：

- 输入抖动容限

输入抖动容限分为PDH输入口的（支路口）和STM-N输入口（线路口）的两种输入抖动容限。对于PDH输入口则是在使设备不产生误码的情况下，该输出口所能承受的最大输入抖动值。由于PDH网和SDH网的长期共存，使传输网中有SDH网元上PDH业务的需要，要满足这个需求则必须该SDH网元的支路输入口，能包容PDH支路信号的最大抖动，即该支路口的抖动容限能承受得了所上PDH信号的抖动。

线路口（STM-N）输入抖动容限定义为能使光设备产生1dB光功率代价的正弦峰—峰抖动值。这参数是用来规范当SDH网元互连在一起接传输STM-N信号时，本级网元的输入抖动容限应能包容上级网元产生的输出抖动。

---

📖 技术细节:

什么是光功率代价?

由抖动、漂移和光纤色散等原因引起的系统信噪比降低导致误码增大的情况,可以通过加大发送机的发光功率得以弥补,也就是说由于抖动、漂移和色散等原因使系统的性能指标劣化到某一特定的指标以下,为使系统指标达到这一特定指标,可以通过增加发光功率的方法得以解决,而此增加的光功率就是系统为满足特定指标而需的光功率代价。1dB光功率代价是系统最大可以容忍的数值。

---

- 输出抖动

与输入抖动容限类似,也分为PDH支路口和STM-N线路口。定义为在设备输入无抖动的情况下,由端口输出的最大抖动。

SDH设备的PDH支路端口的输出抖动应保证在SDH网元下PDH业务时,所输出的抖动能使接收此PDH信号的设备所承受。STM-N线路端口的输出抖动应保证接收此STM-N信号的SDH网元能承受。

- 映射和结合抖动

因为在PDH/SDH网络边界处由于指针调整和映射会产生SDH的特有抖动,为了规范这种抖动采用映射抖动和结合抖动来描述这种抖动情况。

映射抖动指在SDH设备的PDH支路端口处输入不同频偏的PDH信号,在STM-N信号未发生指针调整时,设备的PDH支路端口处输出PDH支路信号的最大抖动。

结合抖动是指在SDH设备线路端口处输入符合G.783规范的指针测试序列信号,此时SDH设备发生指针调整,适当改变输入信号频偏,这时设备的PDH支路端口处输出信号测得的最大抖动就为设备的结合抖动。

- 抖动转移函数——抖动转移特性

在此处是规范设备输出STM-N信号的抖动对输入的STM-N信号抖动的抑制能力(也即是抖动增益),以控制线路系统的抖动积累,防止系统抖动迅速积累。

抖动转移函数定义为设备输出的STM-N信号的抖动与设备输入的STM-N信号的抖动的比值随频率的变化关系,此频率指抖动的频率。

### 8.3.3 抖动减少的策略

- 线路系统的抖动减少

线路系统抖动是SDH网的主要抖动源，设法减少线路系统产生的抖动是保证整个网络性能的关键之一。减少线路系统抖动的基本对策是减少单个再生器的抖动（输出抖动）、控制抖动转移特性（加大输出信号对输入信号的抖动抑制能力）、改善抖动积累的方式（采用扰码器，使传输信息随机化，各个再生器产生的系统抖动分量相关性减弱，改善抖动积累特性）。

- PDH支路口输出抖动的减少

由于SDH采用的指针调整可能会引起很大的相位跃变（因为指针调整是以字节为单位的）和伴随产生的抖动和漂移，因而在SDH/PDH网边界处支路口采用解同步器来减少其抖动和漂移幅度，解同步器有缓存和相位平滑作用。

---

? 想一想:

本节学了什么?

1. 误码、可用性指标的含义。
2. 误码减少的策略。
3. 抖动和漂移的常用指标的含义。
4. 抖动减少的策略。

本节的重点是度量系统误码、抖动性能常用参数的含义。

---

## 小结

本节讲述衡量传输性能的误码和抖动漂移指标。

## 习题

1. 抖动和漂移的区别是什么？

## 习题答案

### 第一节 概述

1. SDH体制有完善的监控机制提高网络安全性，更重要的是，SDH的同步复用可直接从高速信号中插/分低速信号，避免了信号的层层复用/解复用，减少了信号的损伤。

### 第二节 SDH信号的帧结构和复用步骤

1. 8； 2. 63； 3. 1。

### 第三节 开销和指针

1. MS-AIS、MS-RDI均有K2的b6-b8检测。当b6-b8为111时，是MS-AIS；为110时，是MS-RDI。
2. 当收端找不到A1、A2字节（无法正确定帧），会出现ROOF告警；ROOF告警持续一定的时间，设备进入帧丢失状态，产生R-LOF告警。
3. AU-LOP告警、AU-AIS告警。
4. B1、B2、B3、V5。

### 第四节 SDH设备的逻辑构成

1. R-LOS或R-LOF是SK2b6-b8为111，产生MS-AIS；对端直接发来的信号中K2b6-b8本身为111，导致本端MS-AIS。
2. HP-UNEQ、HP-TIM、HP-SLM和对端发来的HP-RDI。
3. STM-N光信号——VC4电信号。
4. DXC4/1表示DXC输入信号的最高速率级别为140M/155M，最小交叉级别为VC12。

### 第五节 SDH网络结构和网络保护机理

1. TU-AIS。
2. R-LOS、R-LOF、MS-AIS、MS-EXC。

3. 2016。

## 第六节 光接口类型和参数

1. 加扰的NRZ码。
2. 表示光接口用于局内通信，信号速率155M，用G.652光纤。

## 第七节 定时与同步

1. 主从同步、伪同步。
2. 外时钟、线路时钟、支路时钟、设备内置时钟。

## 第八节 传输性能

1. 定时抖动（抖动）是指数字信号的特点时刻（例如最佳抽样时刻）相对其理想时间位置的短时间偏离。所谓短时间偏离是指变化频率高于10Hz的相位变化。而漂移指数字信号的特定时刻相对其理想时间位置的长时间的偏离，所谓长时间是指变化频率低于10Hz的相位变化。

## 专用词汇及缩略语

缩略语	中文解释	英文解释
ADM	分插复用器	Add/Drop Multiplexer
AIS	告警指示信号	Alarm Indication Signal
APS	自动保护倒换	Automatic Protection Switching
AU	管理单元	Administration Unit
AU-AIS	AU告警指示信号	Administrative Unit Alarm Indication Signal
AUG	管理单元组	Administration Unit Group
AU-LOP	AU指针丢失	Loss of Administrative Unit Pointer
AUP	管理单元指针	Administration Unit Pointer
BBER	背景块误码比	Background Block Error Ratio
BIP-N	比特间插奇偶校验N位码	Bit Interleaved Parity N code
CMI	传号反转码	Coded Mark Inversion
DCC	数据通信通路	Data Communication Channel
DXC	数字交叉连接	Digital Cross-connect
ECC	嵌入控制通道	Embedded Control Channel
ESR	误码秒比率	Errored Second Ratio
FEBE	远端块误码	Far End Block Error
HDB3	高密度双极性码	High Density Bipolar of order 3 code
HPA	高阶通道适配	High order Path Adaptation
HPC	高阶通道连接	High order Path Connection
HP-RDI	高阶通道接收缺陷指示	High order Path - Remote Defect Indication
HP-REI	高阶通道远端错误指示	High order Path - Remote Error Indication
HPT	高阶通道终端	High order Path Termination
ISDN	综合业务数字网	Integrated Services Digital Network
ITU-T	国际电信联盟—电信标准部	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
LOP	指针丢失	Loss Of Pointer
LPA	低阶通道适配	Low order Path Adaptation
LPC	低阶通道连接	Low order Path Connection
LPT	低阶通道终端	Low order Path Termination

缩略语	中文解释	英文解释
MSA	复用段适配	Multiplex Section Adaptation
MS-AIS	复用段告警指示信号	Multiplex Section - Alarm Indication Signal
MSOH	复用段开销	Multiplex Section Overhead
MSP	复用段保护	Multiplex Section Protection
MS-RDI	复用段远端缺陷指示	Multiplex Section - Remote Defect Indication
MST	复用段终端	Multiplex Section Termination
OAM	运行、管理、维护	Operation, Administration and Maintenance
OHA	开销接入	Overhead Access
PDH	准同步数字系列	Plesiochronous Digital Hierarchy
POH	通道开销	Path Overhead
PPI	PDH物理接口	PDH Physical Interface
REG	再生器	Regenerator
RDI	远端失效指示	Remote Defect Indication
R-LOF	帧丢失	Loss Of Frame
R-LOS	信号丢失	Loss Of Signal
R-OOF	帧失步	Out Of Frame
RSOH	再生段开销	Regenerator Section Overhead
RST	再生段终端	Regenerator Section Termination
SCC	系统通信控制	System Control & Communication
SDH	同步数字系列	Synchronous Digital Hierarchy
SEMF	同步设备管理功能	Synchronous Equipment Management Function
SES	严重误码秒	Severely Errored Second
SESR	严重误码秒比率	Severely Errored Second Ratio
SETPI	同步设备定时物理接口	Synchronous Equipment Timing Physical Interface
SETS	同步设备定时源	Synchronous Equipment Timing Source
SOH	段开销	Section Overhead
SPI	同步物理接口	SDH Physical Interface
STG	同步定时发生器	Synchronous Timing Generator
TIM	追踪识别符失配	Trace Identifier Mismatch
TM	终端复用器	Termination Multiplexer
TMN	电信管理网	Telecommunications Management Network
TUG	支路单元组	Tributary Unit Group
TU-LOM	支路单元复帧丢失	TU-Loss Of Multi-frame

缩略语	中文解释	英文解释
TUP	支路单元指针	Tributary Unit Pointer
UAT	不可用时间	Unavailable Time
UNEQ	未装载	Unequipped
VC	虚容器	Virtual Container