



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等院校

电子信息类系列教材

*Xiandai Tongxin
Jishu*

现代通信技术

(第二版) 下册

© 张金菊 孙学康 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等院校电子信息类系列教材

现代通信技术

(第二版)

(下 册)

张金菊 孙学康 编著

人民邮电出版社

北 京

第二版前言

为适应现代通信技术的迅速发展,通信专业院校的学生和通信企业的技术人员迫切需要一本全面介绍现代通信技术的教材。为此,我们在我校讲授“通信概论”讲稿的基础上整理成本教材。本书全面地讲述了现代通信应用的各种通信技术,每一章讨论一个课题,除阐述其基本原理外,还讨论了与其相关的实际应用技术及其相关学科领域的技术发展,循序渐进、深入浅出。通过学习本书,能够建立起通信全程全网的概念。

全书分上、下两册。上册内容侧重有线通信方面,包括:模拟信号数字化、电话交换、数据通信、通信网技术等,下册内容侧重于光纤通信和无线通信方面,包括:同步数字体系、光纤通信、微波与卫星通信、移动通信等。

本书自2002年第一版出版后已为多所院校选为教材,本次出版是在第一版的基础上进行修订和补充,删除了部分较陈旧的内容。为适应新技术的发展和培养实用型人材的需要,在上册中又补充了Internet及宽带IP城域网、软交换及下一代网络技术等内容,在下册中又补充了波分复用、光网络的发展趋势等内容。

本书在编写过程中除参阅了一些文件和资料外还参阅了谢希仁主编的《计算机网络》、秦国主编的《现代通信网概论》及张民主编的《宽带城域网》等书籍,在此向这些资料和书籍的作者表示感谢。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有不妥之处,请读者予以指正。

编 者
2007年1月

第一版前言

21 世纪是通信信息时代, 整个社会信息量正以 20 万倍于人口增长的速率超前增长。因此, 信息传输技术将在人类社会发展中起着重要的作用。

进入 21 世纪的今天, 作为社会基础设施的通信系统和通信网正在向数字化、智能化、综合化、宽带化和个人化等方向发展, 准同步数字体制 (PDH) 正暴露出一些固有的弱点, 同步数字体制 (SDH) 将在宽带化的信息传输技术方面发挥出它特有的优越性。

为使通信专业的学生和通信企业的技术人员, 能够适应现代通信技术的发展, 我们编写了《现代通信技术》一书。全书分上、下两册, 下册内容共有五章。第 1 章同步数字体系, 第 2 章光纤通信, 第 3 章波分复用, 第 4 章光网络的发展趋势, 第 5 章数字微波通信, 第 6 章卫星移动通信, 第 7 章移动通信。第 1、2、5 章由张金菊编写。第 3、4、6、7 章由孙学康编写。

由于时间仓促, 作者水平有限, 书中难免有不妥之处, 请读者予以指正。

编 者

2002 年 1 月

目 录

第1章 同步数字体系	1
1.1 准同步数字体制的标准及主要缺点	1
1.1.1 准同步数字体制的标准	1
1.1.2 准同步数字体制的主要缺点	2
1.2 SDH网的基本特点	3
1.3 SDH的网络节点接口、速率与帧结构	3
1.3.1 网络节点接口	3
1.3.2 同步数字体系的速率	4
1.3.3 帧结构	4
1.4 SDH中的基本复用映射结构	6
1.4.1 SDH复用结构	6
1.4.2 复用单元符号说明	7
1.4.3 关于通道、复用段、再生段的说明	7
1.4.4 复用过程举例	8
1.5 SDH设备	9
1.5.1 SDH设备的一般逻辑功能块组成简介	9
1.5.2 SDH复用设备	11
1.5.3 数字交叉连接设备(SDXC)	12
1.6 SDH传输系统的保护方式	14
1.6.1 自愈环结构方式的划分	14
1.6.2 介绍两种典型的自愈环结构	14
本章小结	16
习题	17
第2章 光纤通信	18
2.1 光纤通信的基本概念	18
2.1.1 目前光纤通信的实用工作波长	18
2.1.2 光纤通信的特点	19
2.1.3 光纤通信系统的基本组成	20
2.2 光纤和光缆	21
2.2.1 光纤的结构与分类	21
2.2.2 用射线法分析光波在光纤中的传输	23
2.2.3 单模光纤	29
2.2.4 光纤的损耗特性及色散特性	31
2.2.5 介绍几种特殊光纤	35

2.2.6 光缆的结构和种类	37
2.3 光纤通信中的光源和光电检测器	39
2.3.1 激光器的一般工作原理	40
2.3.2 半导体激光器	41
2.3.3 半导体发光二极管 (LED)	43
2.3.4 光源的直接调制方式	44
2.3.5 半导体光电检测器	46
2.4 光端机	49
2.4.1 光发射机	49
2.4.2 光接收机	51
2.5 光纤通信系统	54
2.6 光放大器	64
本章小结	69
习题	70
第3章 波分复用	72
3.1 波分复用技术的基本概念	72
3.1.1 波分复用 (WDM)	72
3.1.2 WDM、DWDM 和 CWDM 的区别	73
3.1.3 WDM 系统中光波长区的分配策略	73
3.2 WDM 的特点	74
3.3 波分复用系统	75
3.3.1 波分复用系统结构	75
3.3.2 影响 WDM 系统性能的因素	76
3.3.3 WDM 系统的基本应用形式	78
3.4 WDM 网络的关键设备 OADM 和 OXC	78
3.4.1 OADM	79
3.4.2 OXC 的功能	80
3.5 衰减与色散对中继距离的影响	81
3.5.1 衰减对中继距离的影响	81
3.5.2 色散对中继距离的影响	82
本章小结	83
习题	84
第4章 光网络的发展趋势	85
4.1 光网络的概念	85
4.2 城域传输网技术	86
4.2.1 宽带城域网的要求与所提供的业务	86
4.2.2 城域网的结构	87
4.2.3 城域网网络连接技术	88
4.3 下一代网络	90

4.4	ASON 的网络体系结构	91
4.4.1	ASON 的网络体系结构	91
4.4.2	ASON 控制平面	93
4.5	全光网络	95
4.5.1	全光网络的概念、结构及其特点	95
4.5.2	全光网络中的关键技术	95
	本章小结	98
	习题	99
第 5 章	数字微波通信	100
5.1	数字微波通信的基本概念	100
5.1.1	数字微波通信的特点	101
5.1.2	数字微波通信系统的构成	102
5.1.3	数字微波通信系统的主要技术指标	107
5.2	数字微波通信中常用的调制与解调技术	108
5.2.1	二进制数字信号的基本调制方式	109
5.2.2	二相相移键控	110
5.2.3	四相相移键控	113
5.2.4	十六进制正交调幅	117
5.3	视距传输特性	119
5.3.1	平面波的基本概念	119
5.3.2	自由空间传播损耗和收信电平的计算	120
5.3.3	多径衰落	121
5.4	数字微波通信系统设计中应考虑的问题	123
5.4.1	数字微波信道的假想参考电路	123
5.4.2	数字微波通信线路的传输质量标准	124
5.4.3	数字微波通信的射频频率配置	126
5.4.4	数字微波线路中的干扰问题	126
5.4.5	数字微波线路中天线高度的选取	127
5.5	SDH 微波通信系统	129
5.5.1	SDH 的射频波道配置	129
5.5.2	SDH 微波传输系统中的关键技术	130
5.5.3	SDH 微波通信系统的传输误码性能指标	131
5.5.4	SDH 微波通信设备简介	132
	本章小结	135
	习题	135
第 6 章	卫星移动通信	137
6.1	概述	137
6.1.1	卫星通信的基本概念及其系统组成	137
6.1.2	卫星移动通信的基本概念及其分类	139

6.1.3	卫星移动通信系统的使用频段	141
6.1.4	卫星移动通信的特点和面对的技术问题	142
6.2	卫星移动通信技术基础	143
6.2.1	卫星移动通信系统的电波传播	143
6.2.2	编码技术	145
6.2.3	调制与解调技术	147
6.2.4	多址技术	150
6.2.5	数字处理技术	156
6.3	同步轨道卫星移动通信原理	160
6.3.1	同步轨道卫星移动通信系统的一般结构	160
6.3.2	不同轨道卫星移动通信系统的通信信道	161
6.4	中、低轨卫星移动通信系统	162
6.4.1	卫星轨道高度的选择	162
6.4.2	卫星星座的覆盖特性	162
6.4.3	中、低轨卫星移动通信系统的结构	163
6.4.4	中、低轨卫星移动通信系统的切换	165
6.5	卫星移动通信系统与地面网的互连	167
6.5.1	卫星移动通信系统与窄带综合业务数字网 (N-ISDN) 的互连	167
6.5.2	卫星移动通信系统与专用通信网的互连	168
6.5.3	卫星移动通信系统与宽带综合业务网 (B-ISDN) 的互连	169
6.5.4	卫星移动通信系统与局域网/城域网 (LAN/MAN) 的互连	169
6.5.5	卫星移动通信系统和公用数据通信网的互连	170
6.5.6	卫星移动通信系统和公众交换电话网的互连	171
6.5.7	卫星移动通信系统与公共陆地移动通信网的互连	173
6.6	宽带卫星移动通信技术的发展趋势	173
	本章小结	175
	习题	176
第7章	移动通信	177
7.1	移动通信概述	177
7.1.1	移动通信的基本概念	177
7.1.2	移动通信系统的组成及组网原则	179
7.1.3	移动通信系统频段的分配	181
7.2	数字移动通信原理	182
7.2.1	数字移动通信中所采用的主要技术	183
7.2.2	抗干扰技术	190
7.3	GSM 数字移动通信系统	192
7.3.1	GSM900 系统的特点	193
7.3.2	GSM 数字移动通信的组成	193
7.3.3	GSM 数字通信网	195

7.3.4 GSM 的频率配置	197
7.3.5 GSM 的关键技术	198
7.3.6 移动管理	200
7.4 CDMA 数字移动通信系统	202
7.4.1 扩频通信	202
7.4.2 CDMA 中的关键技术	203
7.4.3 Q-CDMA (IS-95) 数字移动通信系统	208
7.5 数字无绳电话	216
7.5.1 第二代无绳电话的系统结构	216
7.5.2 CT2 的无线接口技术特性	217
7.5.3 CT2 网络操作	217
7.6 第三代移动通信技术	218
7.6.1 第三代移动通信系统的概念的提出	218
7.6.2 第三代移动通信的发展及主要关键技术	218
7.6.3 个人通信	225
本章小结	226
习题	227
参考文献	228

第 1 章 同步数字体系

同步数字体系 (SDH) 是一种全新的技术体制。这一概念最初是由美国贝尔通信研究所提出来的, 并称之为同步光网络 (SONET), 国际电信联盟标准部 (ITU-T) 的前身国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 于 1988 年接受了 SONET 概念, 并重新命名为同步数字体系 (SDH), 使之成为不仅适用于光纤也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。

本章重点介绍的内容是: SDH 基本特点、速率和帧结构; SDH 的复用技术; SDH 网中的传输设备; SDH 传输系统的保护方式。

要求掌握的重点内容是:

1. SDH 的基本特点;
2. SDH 的标准速率与帧结构;
3. 我国 SDH 的复用结构;
4. 图 1-4 中各复用单元的含义;
5. SDH 网中的复用设备和数字交叉连接器;
6. SDH 自愈网的基本概念。

1.1 准同步数字体制的标准及主要缺点

1.1.1 准同步数字体制的标准

PDH 数字传输体制目前在全世界存在着两种体系和三种地区标准。

1. 北美和日本采用 24 路系列

24 路系列是以 24 个 PCM 话路为一个基群, 速率为 1.544Mbit/s , 4 个基群组成一个二次群, 速率为 6.312Mbit/s 。而三次群以上北美地区和日本又有不同, 北美是由 7 个二次群组成三次群, 速率为 44.736Mbit/s , 6 个三次群组成一个四次群, 速率为 274.176Mbit/s 。而日本是由 5 个二次群组成三次群, 速率为 32.064Mbit/s , 3 个三次群组成四次群, 速率为 97.728Mbit/s 。它们二者的话路数和速率都不同。

2. 欧洲采用 30 路系列

30 路系列是由 30 个 PCM 电话信号合成一个基群，速率为 2.048Mbit/s，4 个基群组成一个二次群，速率为 8.448Mbit/s，4 个二次群组成一个三次群，速率为 34.368Mbit/s，4 个三次群组成一个四次群，速率为 139.264Mbit/s。

我国从 1971 年开始统一采用欧洲速率标准。

以上速率标准如表 1-1 所示。

表 1-1 准同步数字系列

地区	一次群（基群）	二次群	三次群	四次群
北美	24 路 1.544Mbit/s	96 路 (24×4) 6.312Mbit/s	672 路 (96×7) 44.736Mbit/s	4032 路 (672×6) 274.176Mbit/s
日本	24 路 1.544Mbit/s	96 路 (24×4) 6.312Mbit/s	480 路 (96×5) 32.064Mbit/s	1440 路 (480×3) 97.728Mbit/s
欧洲 中国	30 路 2.048Mbit/s	120 路 (30×4) 8.448Mbit/s	480 路 (120×4) 34.368Mbit/s	1920 路 (480×4) 139.264Mbit/s

1.1.2 准同步数字体制的主要缺点

① 三种 PDH 标准，在信号速率和帧结构上均不一致，互不兼容，使国际互通造成困难。

② 准同步数字体制的复接方式设备复杂。把低次群叠加成高次群的设备称为复接设备。在 PDH 体制中、从高速信号中识别和提取低速支路信号，或将某一低速支路信号加入到高速传输信道中去时，复用和解复用都比较复杂，PDH 的复用和解复用方式如图 1-1 所示。

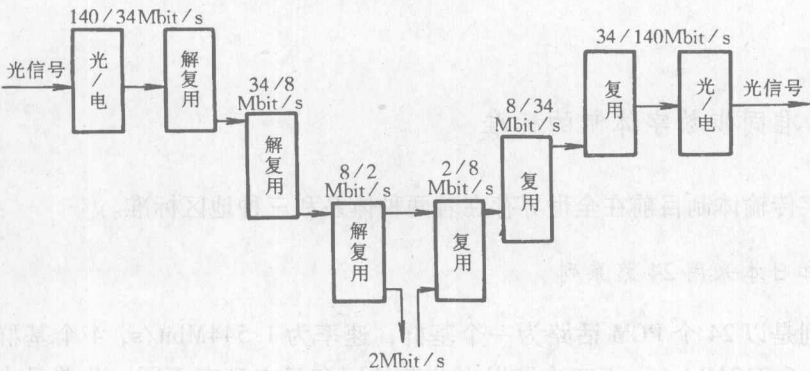


图 1-1 PDH 的复用和解复用方式

③ 在准同步数字体系的帧结构中，管理维护用的信息比特少，不适应电信网向高度灵活、动态和智能化的方向发展。

1.2 SDH 网的基本特点

由于上述的 PDH 存在一些固有弱点, 1988 年原 CCITT 在 SONET 的基础上经过修改, 形成了 SDH 体系。SDH 作为一种传输体制, 其主要特点是:

- ① SDH 网是由一系列 SDH 网元 (NE) 组成的, 是一个可在光纤上进行同步信息传输、复用、分插和交叉连接的网络;
- ② 它有全世界统一的网络节点接口 (NNI);
- ③ 它有一套标准化的信息结构等级, 称为同步传输模块 STM- N ;
- ④ 它具有一种块状帧结构, 在帧结构中安排了丰富的管理比特, 大大增加了网络的维护管理能力;
- ⑤ 它有一套特殊的复用结构, 可以兼容 PDH 的不同传输速率, 而且还可以容纳 B-ISDN 信号, 因而它具有广泛的适应性。

1.3 SDH 的网络节点接口、速率与帧结构

1.3.1 网络节点接口

网络节点接口 (NNI) 是表示网络节点之间的接口, 在实际中也可以看成是传输设备和网络节点之间的接口。它在网络中的位置如图 1-2 所示。

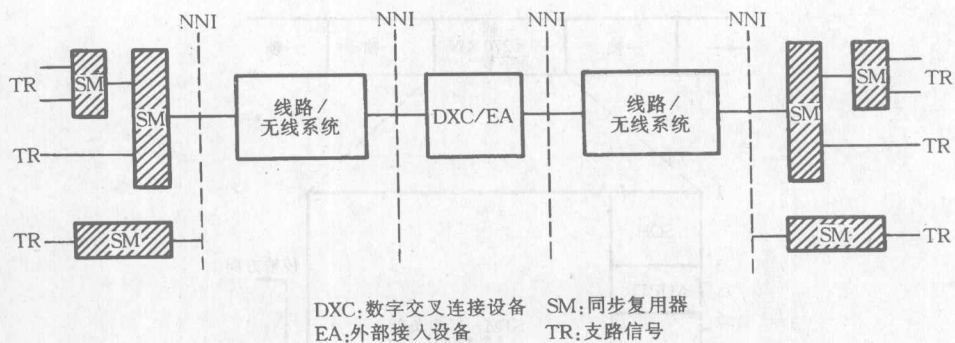


图 1-2 NNI 在网络中的位置

一个传输网主要是由传输设备和网络节点构成。而传输设备可以是光缆传输系统, 也可以是微波传输系统或卫星传输系统。简单的网络节点只有复用功能, 而复杂的网络节点应包括复用、交叉连接和交换等多种功能。

要规范一个统一的网络节点接口, 则必须有一个统一规范的接口速率和信号帧结构。

1.3.2 同步数字体系的速率

前面已经提到，SDH 是在 SONET 的基础上建立起来的一种新的技术体制，它们的实质内容和主要规范没有太大差别，但在一些细节规定上仍有一些差异。在速率等级上，SONET 有 9 种传输速率，即 52Mbit/s，155Mbit/s，466Mbit/s，622Mbit/s，933Mbit/s，1 244Mbit/s，1 866Mbit/s，2 488Mbit/s，9 953Mbit/s。但用得较多的是 SDH 目前所规定的 4 种传输速率。

SDH 网的基本特点之一是，它所使用的信息结构等级为 STM- N 同步传输模块，其中最基本的模块信号是 STM-1，其速率是 155.520Mbit/s，更高等级的 STM- N 信号是将 N 个 STM-1 按同步复用，经字节间插后得到的。其中 N 是正整数，目前国际标准化 N 的取值为： $N = 1, 4, 16, 64$ 四种。ITU-T 所规范的标准速率值如表 1-2 所示。

表 1-2 SDH 的标准速率

SDH 等级	速率 (Mbit/s)
STM-1	155.520
STM-4	622.080
STM-16	2488.320
STM-64	9953.280

1.3.3 帧结构

SDH 网的重要特点之一是希望各支路信号在一帧内的分布是均匀的，而且要便于接入或取出，并要求能对支路信号进行同步数字复用、交叉连接和交换等。为了适应所有这些功能，ITU-T 采纳了一种以字节结构为基础的矩形块状帧结构，如图1-3所示。

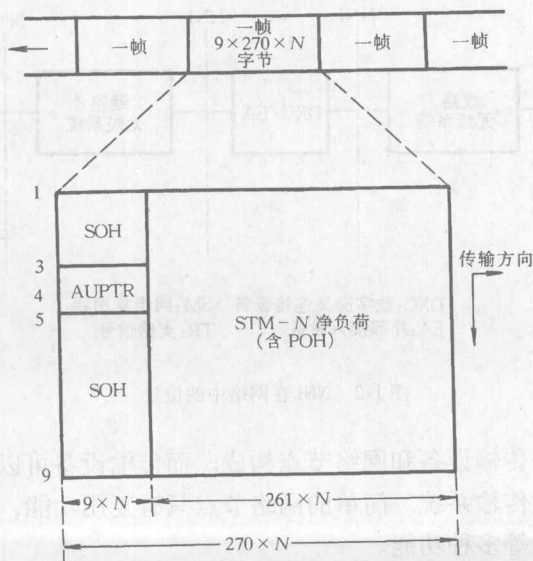


图 1-3 SDH 的帧结构

在 STM- N 帧结构中, 共有 9 行, $270 \times N$ 列, 每个字节 = 8 比特, 帧周期为 $125\mu\text{s}$ 。字节的传输顺序是: 从第一行开始由左向右, 由上至下传输, 在 $125\mu\text{s}$ 时间内传完一帧的全部字节数为 $9 \times 270 \times N$ 。

例如: STM-1 的帧结构

它应有: 9 行 270 列

字节数为 $9 \times 270 = 2430$

一帧的比特数为 $2430 \times 8 = 19440$

$$\begin{aligned}\text{速率为 } f_b &= \frac{\text{一帧比特数}}{\text{传一帧的时间}} \\ &= \frac{9 \times 270 \times 8}{125 \times 10^{-6}} = 155.520 (\text{Mbit/s})\end{aligned}$$

以此种方法可求出当 N 为 1、4、16、64 时的任意速率值。

由图 1-3 中可以看出, 整个帧结构大体上可分为三个区域。

1. 段开销 (SOH) 区域

段开销的主要作用是供网络运行、管理和维护的一些附加的字节。它在 STM- N 帧结构中的位置是: 第 1 列至第 $9 \times N$ 列中的第 1 行至第 3 行和第 5 行至第 9 行。

例如: STM-1 段开销的字节数和比特数为

字节数: $9 \times (3 + 5) = 72$ (字节)

比特数: $9 \times (3 + 5) \times 8 = 576$ (比特)

上面是一帧的比特数, 而每秒钟将传输 8000 帧, 则 STM-1 每秒钟可用于段开销的比特数为

$$576 \times 8000 = 4.608 (\text{Mbit})$$

2. 信息净负荷区域

它是帧结构中存放各种信息的地方。其中也包括可用于通道性能监视、管理和控制的少量通道开销 (POH)。POH 与信息码流一起在网络中传送。

信息净负荷区域在 STM- N 帧结构中的位置是: 第 1 行至第 9 行的 $261 \times N$ 列。

以 STM-1 举例说明:

字节数: $261 \times 9 = 2349$ (字节)

比特数: $261 \times 9 \times 8 = 18792$ (比特)

3. 管理单元指针 (AU PTR) 区域

管理单元指针实际上是一组码, 用来指示信息在净负荷区的具体位置。它在 STM- N 帧结构中的位置是: 第 4 行中的第 1 至 $9 \times N$ 列。

以 STM-1 举例说明:

字节数: $1 \times 9 = 9$ (字节)

比特数: $9 \times 8 = 72$ (比特)

1.4 SDH 中的基本复用映射结构

各种信号复用映射进 STM-N 帧的过程，都必须经过映射、定位和复用三个步骤。
本节将以我国目前采用的基本复用映射结构来说明。

1.4.1 SDH 复用结构

ITU-T 在 G. 707 建议中给出了 SDH 的复用结构与过程，由于目前我国采用的是 PCM30/32 系列的 PDH 信号，因此，根据 ITU-T 的复用结构，简化出适用于我国的 SDH 复用结构如图 1-4 所示。我国目前采用的复用结构是以 2Mbit/s 系列 PDH 信号为基础，通常采用 2Mbit/s 和 140Mbit/s 支路接口。

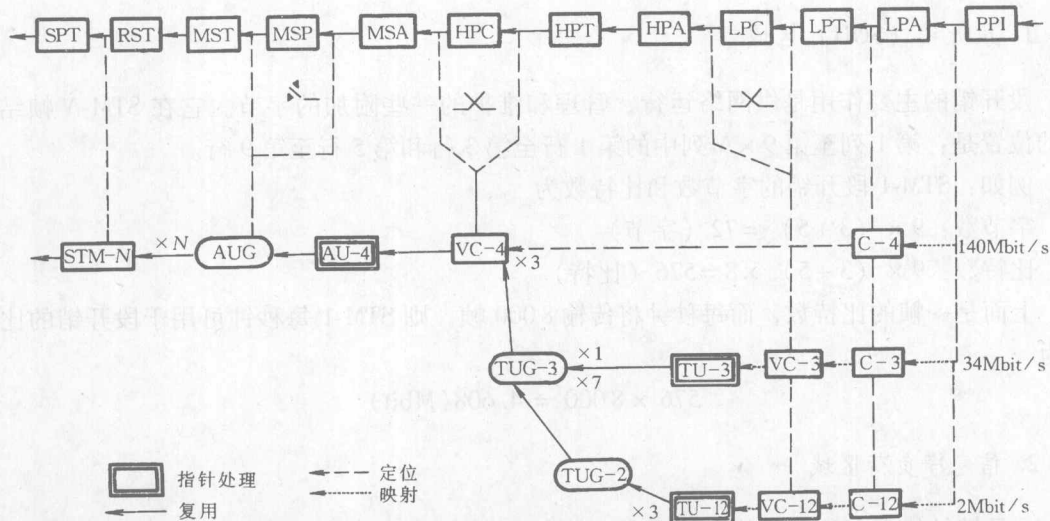


图 1-4 我国目前采用的 SDH 复用映射结构示意图

下面为图中各项的说明。

- SPT: 同步数字物理接口;
- RST: 再生段终端;
- MST: 复用段终端;
- MSP: 复用段保护;
- MSA: 复用段适配器;
- HPC: 高阶通道连接器;
- HPT: 高阶通道终端;
- HPA: 高阶通道适配器;
- LPC: 低阶通道连接器;
- LPT: 低阶通道终端;

LPA: 低阶通道适配器;

PPI: PDH 物理接口。

由图 1-4 可以看出, SDH 的复用结构是由一系列复用单元组成, 各复用单元的信息结构和功能各不相同, 下面分别予以介绍。

1.4.2 复用单元符号说明

1. 容器 (C)

图中的 C-3、C-4、C-12 是用来装载各种速率业务信号的信息结构, 称为容器。在我国的 SDH 复用结构中, 用来装载 2.048Mbit/s, 34.368Mbit/s 和 139.264Mbit/s 的信号。其中 C-4 为高阶容器, C-3 和 C-12 为低阶容器。

2. 虚容器 (VC)

由标准容器出来的数字流加上通道开销 (POH), 就构成了虚容器, 这个过程称为映射, 它是 SDH 中最重要的信息结构, 主要用于支持通道层连接。图中 VC-4 为高阶虚容器, VC-3 和 VC-12 为低阶虚容器。

网络中不同虚容器的帧速率都是相互同步的, 因此, 在 VC 级上可以实现交叉连接。而在不同 VC 中可装载不同速率的 PDH 信号。

3. 支路单元 (TU)

由图 1-4 中可以看出, VC 出来的数字流进入管理单元 (AU) 或支路单元 (TU)。TU 是为低阶通道层和高阶通道层提供适配功能的一种信息结构, 它是由虚容器和一个相应的支路单元指针构成。指针指示出虚容器在高一阶虚容器的位置, 这种在净负荷中对虚容器位置的安排称为定位。一个或多个 TU 组成支路单元组 (TUG)。

这种 TU 经 TUG 到高阶 VC-4 的过程, 称为复用, 复用的方法是字节间插。

4. 管理单元 (AU)

它是一种在高阶通道层和复用段层提供适配功能的信息结构, 由高阶虚容器 (VC) 和一个相应的管理单元指针组成。一个或多个在 STM 帧中占有固定位置的 AU 组成一个管理单元组 (AUG)。管理单元指针的作用是用来指示这个相应的高阶 VC 在 STM-N 中的位置。

5. 同步传输模块 (STM-N)

它是在 N 个 AUG 的基础上, 和能够起到运行、管理和维护作用的段开销构成。如前所述, N 表示了不同的信息等级, 由 N 个 STM-1 可同步复用为 STM- N 。

1.4.3 关于通道、复用段、再生段的说明

在 SDH 传输系统中, 通道、复用段和再生段之间的关系如图 1-5 所示。

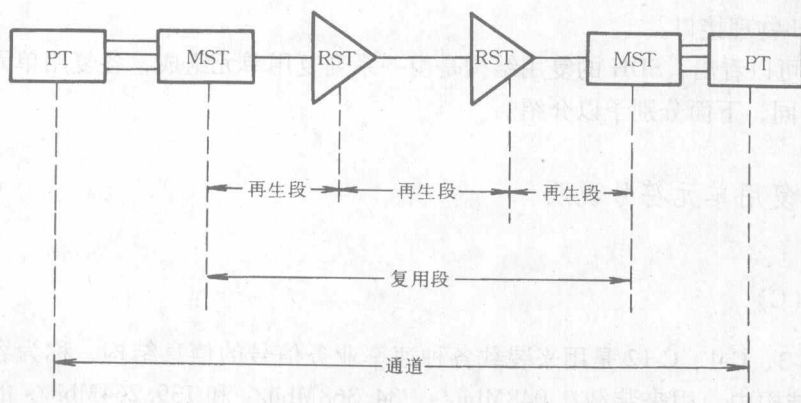


图 1-5 SDH 传输系统中通道、复用段、再生段间的关系示意图

图中：

PT 为通道终端，是虚容器的组合分解点。完成对净负荷的复用和解复用，并完成对通道开销的处理；

MST 为复用段终端，完成复用段的功能，其中如产生和终结复用段开销（MSOH）。相应的设备有光缆线路终端、高阶复用器，宽带交叉连接器等；

RST 为再生段终端，RST 的功能块在构成 SDH 帧结构过程中产生再生段开销（RSOH）、在相反方向则终结再生段开销。

由图中可看出，通道、复用段、再生段的定义和分界。

1.4.4 复用过程举例

为了便于理解图 1-4 所示的复用结构，下面以 PDH 四次群信号即 139.264Mbit/s 支路信号的复用映射过程为例来说明，如图 1-6 所示。

从图中可以看出：

① 将 139.264Mbit/s 的支路信号送入高阶容器 C-4 作适配处理，经速率调整之后输出 149.760Mbit/s 的数字信号；

② 在 VC-4 内加上每帧 9 个字节的通道开销（POH）后，输出的信号速率为

$$\frac{9 \times 261 \times 8}{125 \times 10^{-6}} = 150.336 \text{ Mbit/s}$$

③ 在 AU-4 内加上管理单元指针 AU PTR，则信号速率为

$$150.336 + \frac{9 \times 8}{125 \times 10^{-6}} = 150.912 \text{ Mbit/s}$$

④ 当 $N=1$ 时，由一个 AUG 加上段开销（前面已给出 STM-1 每秒钟可用于段开销的比特数为 4.608Mbit）后，则 STM-1 信号的速率为

$$150.912 + 4.608 = 155.520 \text{ Mbit/s}$$