

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

光传输网络技术 ——SDH与DWDM

何一心 主编

文杰斌 王韵 朱永平 林燕 编

- 总结丰富教学经验，突出高职高专教学特点
- 结合技术发展趋势，面向专业职业岗位要求
- 理论与实践紧密联系，实现毕业生零距离上岗



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

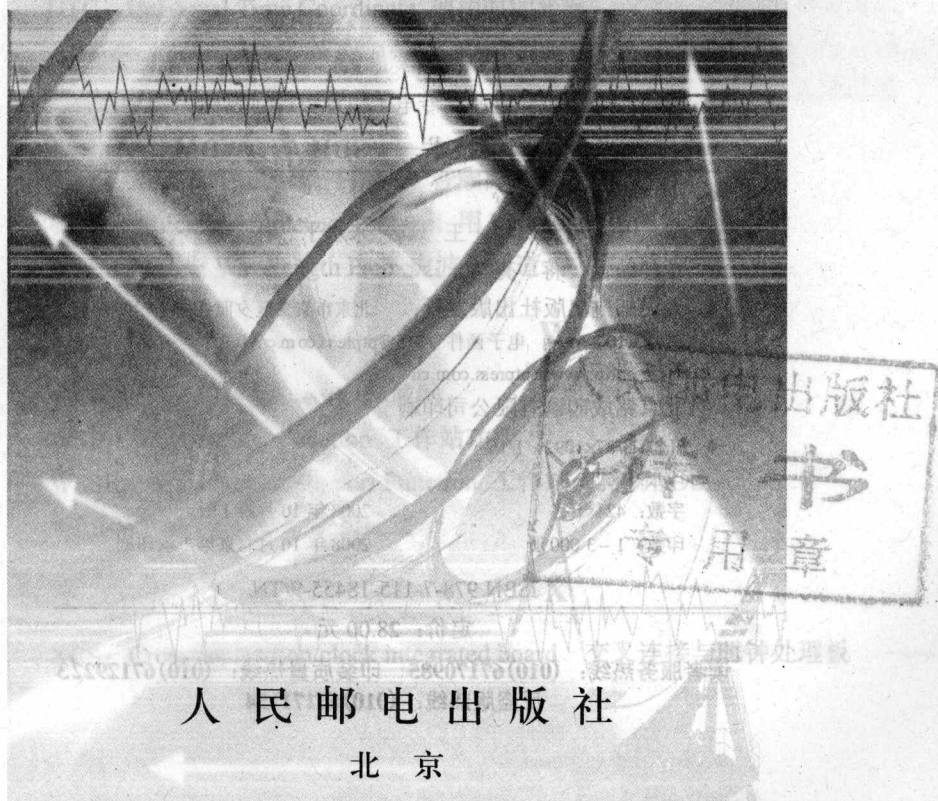
21 Shiji Gaozhi Gaozhuān Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

光传输网络技术

——SDH与DWDM

何一心 主编

文杰斌 王韵 朱永平 林燕 编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

光传输网络技术: SDH 与 DWDM / 何一心主编; 文杰斌
等编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.10
21 世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-18455-9

I. 光… II. ①何…②文… III. ①光纤通信—同步通信
网—高等学校: 技术学校—教材②光通信—数字传输系统—
高等学校: 技术学校—教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115098 号

内 容 提 要

全书分三大部分共 12 章。第一部分 SDH 技术, 主要介绍了 SDH 的基础理论知识、SDH 网元设备及其功能、SDH 网络及其自愈能力、电信管理网 (TMN) 和 SDH 管理网 (SMN)、SDH 网同步与数字同步网、SDH 传输网络性能、SDH 新业务发展及应用、SDH 设备介绍与安装等内容; 第二部分 DWDM 技术, 主要介绍了 DWDM 技术概要、实现 DWDM 通信的关键技术、全光网络涉及的技术和设备以及对全光网络的展望等内容; 第三部分传输维护要求, 主要介绍了日常维护的项目与注意事项、故障处理的方法、常见故障的处理等内容。

本书概念清晰、内容丰富, 理论与实践紧密联系, 重点突出实践。本书可作为高职高专通信技术、电子信息等专业相关课程的教材, 实现高职毕业生零距离上岗要求; 同时也可作为从事 SDH 和 DWDM 设备维护的工程技术人员参考书。

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

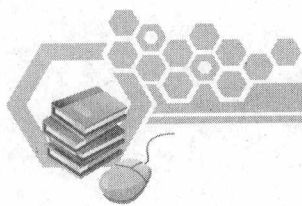
光传输网络技术——SDH 与 DWDM

- ◆ 主 编 何一心
编 文杰斌 王 韵 朱永平 林 燕
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.75
字数: 424 千字
印数: 1—3 000 册
- 2008 年 10 月第 1 版
2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18455-9/TN

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

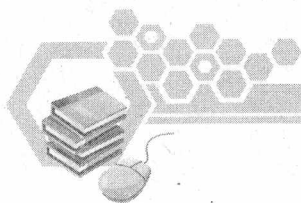


编 委 会

(按姓氏笔画排序)

马晓明	王钧铭	韦泽训	刘建成
孙社文	孙青华	朱祥贤	严晓华
吴柏钦	张立科	李斯伟	周训斌
武凤翔	宫锦文	黄柏江	惠亚爱
滑 玉	蒋青泉	谭中华	

执行编委：蒋 亮



为了满足电信网络朝着高速化、数字化、综合化及智能化方向发展的趋势,20世纪90年代以来,基于时分多路复用的同步数字系列(SDH)逐步取代了准同步数字体系,成为当今电信传输网络的主要传输技术。由于目前电时分复用技术已大多使用2.5 Gbit/s的速率,且当传输速率超过10 Gbit/s时就会遇到传输瓶颈,而在一根光纤上利用多个波长传输光信号的DWDM技术已得到业界的认可,并被认为是光纤通信系统的主要发展技术,当前国内各大运营商干线网普遍采用80/160波,单波速率2.5 Gbit/s或10 Gbit/s的DWDM系统。由于DWDM技术的出现和发展,SDH的角色有了很大的转变。除了在核心网继续作为承载技术外,SDH的作用已经降低为DWDM层的客户层,其角色正开始向网络边缘转移。迅猛发展的数据业务对带宽需求的提升,迫使SDH系统和DWDM系统均要进行大量扩容,所以部署下一代传输网首要考虑的问题就是如何提升网络容量。

本书是作者在积累了近10年SDH与DWDM教学经验的基础上,结合高职高专的教学要求和特点,以及对网络维护、网络监控传输专业的岗位职业要求,参考了最近几年SDH和DWDM技术的最新发展趋势和主流应用而编写的。

本书理论与实践紧密联系,重点突出实践。全书分3大部分,共12章。第一部分SDH技术,主要介绍了SDH的基础理论知识、SDH网元设备及其功能、SDH网络及其自愈能力、电信管理网(TMN)和SDH管理网(SMN)、SDH网同步与数字同步网、SDH传输网络性能、SDH新业务发展及应用、SDH设备介绍与安装等内容;第二部分DWDM技术,主要介绍了DWDM技术概要、实现DWDM通信的关键技术、全光网络涉及的技术和设备以及对全光网络的展望等内容;第三部分传输维护要求,主要介绍了日常维护的项目与注意事项、故障处理的方法、常见故障的处理等内容。

通过本书的学习与实践,可为读者今后从事SDH和DWDM设备的维护、管理和设计打下良好的基础,实现高职毕业生零距离上岗的要求;同时也可作为从事SDH和DWDM设备维护的工程技术人员参考书。

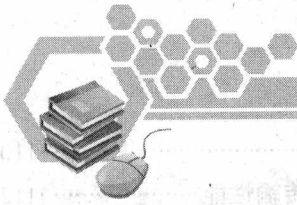
全书由何一心担任主编,并负责第9、10、11章的编写和全书的审稿工作,第1、5、7章由文杰斌编写,第2、3章由王韵编写,第4章由林燕编写,第6章由张振中编写,第8、12章由朱永平编写,文杰斌和王韵担任全书的文字整理工作。

由于通信技术发展很快,加之编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者指正。

本书的编写得到了长沙通信职业技术学院和中国电信长沙分公司各级领导、同事的悉心指导和鼎力帮助,在此表示衷心的感谢。

编者

2008年8月于长沙



第1章 SDH 基础知识..... 1

1.1 SDH 的产生..... 1

1.1.1 PDH 的帧结构和主要缺陷..... 1

1.1.2 SDH 的产生及特点..... 3

1.2 SDH 的速率等级及帧结构..... 4

1.2.1 SDH 的定义及设备基本类型..... 4

1.2.2 SDH 速率等级..... 4

1.2.3 SDH 帧结构..... 5

1.3 SDH 段开销..... 6

1.3.1 段开销的安排..... 6

1.3.2 段开销功能..... 7

1.4 映射和复用..... 11

1.4.1 映射和复用的基本概念..... 11

1.4.2 SDH 映射复用单元..... 12

1.4.3 常用 PDH 支路信号映射

复用进 STM-1 的方法..... 13

1.4.4 N 个 AUG 到 STM- N 的复用..... 17

1.4.5 通道开销..... 17

1.5 指针技术..... 18

1.5.1 AU-4 指针..... 18

1.5.2 TU-3 指针..... 21

1.5.3 TU-12 指针..... 22

1.6 ATM、IP 映射入 STM- N 22

1.6.1 ATM 映射入 STM- N 22

1.6.2 IP 数据报的映射..... 24

小结..... 26

习题..... 27

第2章 SDH 设备的逻辑组成..... 29

2.1 SDH 设备的功能描述..... 29

2.1.1 SDH 设备功能描述..... 29

2.1.2 SDH 设备信号流程与告警..... 38

2.2 SDH 设备..... 41

2.2.1 SDH 复用设备..... 41

2.2.2 数字交叉连接设备..... 43

2.2.3 再生中继器..... 44

小结..... 44

习题..... 45

实验: 光纤通信机房整体认知..... 47

第3章 SDH 网络..... 48

3.1 SDH 网络结构..... 48

3.1.1 SDH 网络拓扑结构..... 48

3.1.2 复杂网络的拓扑结构..... 50

3.1.3 SDH 网络的分层和分割..... 52

3.1.4 我国的 SDH 传送网络结构..... 53

3.2 SDH 网络保护..... 55

3.2.1 网络保护和恢复..... 55

3.2.2 SDH 线形网络保护..... 56

3.2.3 SDH 环形网络保护..... 56

3.2.4 子网连接保护..... 61

3.3 SDH 网业务时隙配置..... 63

3.3.1 线形网的时隙配置..... 63

3.3.2 环形网的时隙配置..... 64

小结..... 66

习题..... 66

实验: T2000 网管系统 SDH 业务配置..... 68

第4章 电信管理网与 SDH 管理网..... 69

4.1 电信管理网..... 69

4.1.1 TMN 的结构..... 70

4.1.2 TMN 的功能..... 73

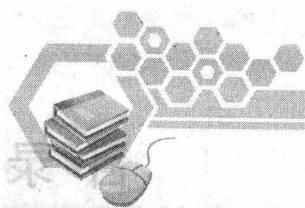
4.2 SDH 管理网..... 75

4.2.1 SMN 的组织模型..... 75

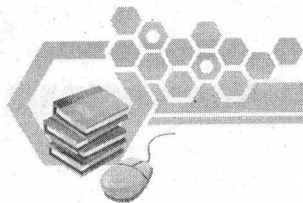
4.2.2 SMN 的分层结构..... 77

4.2.3 SMN 的管理功能..... 78

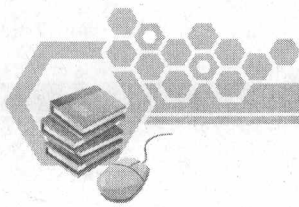
4.2.4 规约栈..... 80



4.2.5 操作运行接口	81	习题	110
小结	81	第6章 SDH 网络传输性能	112
习题	82	6.1 误码性能	112
实验一：性能与告警的浏览	83	6.1.1 误码的概念和产生	112
实验二：网络拓扑结构的创建	85	6.1.2 误码性能的度量	113
第5章 SDH 网同步	87	6.1.3 SDH 网误码性能	114
5.1 网同步概述	87	6.2 抖动性能	116
5.1.1 网同步的基本概念	87	6.2.1 抖动的概念和产生	116
5.1.2 数字时钟同步网的同步方式	88	6.2.2 抖动的性能规范	117
5.1.3 从时钟电路的工作模式	89	6.3 漂移特性	118
5.1.4 同步网中的节点时钟类型	90	6.3.1 漂移的概念和产生	118
5.2 同步网结构	90	6.3.2 漂移的性能规范	119
5.2.1 同步网的构成	90	6.4 光接口技术	119
5.2.2 同步网的时钟等级	92	6.4.1 光接口类型	119
5.2.3 SDH 网同步方式	93	6.4.2 光接口参数	121
5.2.4 定时基准的传递	94	6.5 电接口技术	122
5.3 SDH 设备定时工作方式	95	6.5.1 PDH 支路接口参数的规范	122
5.3.1 SDH 设备时钟性能要求	95	6.5.2 SDH 支路接口参数的规范	122
5.3.2 SDH 设备时钟结构和功能	96	小结	122
5.3.3 定时接口要求	96	习题	123
5.3.4 SDH 设备时钟工作方式	97	实验一：误码测试	124
5.4 SDH 网传送定时的方法	98	实验二：抖动容限测试	125
5.4.1 SDH 定时路径模型	98	实验三：光接口特性测试	127
5.4.2 定时路径结构和定时传递方法	99	第7章 SDH 新业务应用	128
5.4.3 SSM 在定时路径上的传递	102	7.1 多业务传送平台技术	128
5.4.4 定时传递原则	103	7.1.1 基于 SDH 的多业务传送平台	128
5.5 SDH 定时传送网的可靠性	103	技术的发展历程	128
5.5.1 网元定时的保护倒换	103	7.1.2 MSTP 的概念及其功能模型	129
5.5.2 定时恢复	105	7.1.3 以太网业务在 MSTP 上的传送	131
5.6 时间同步网	105	实现	131
5.6.1 时间同步的必要性	105	7.1.4 MSTP 组网保护建议	135
5.6.2 时间同步网络技术	106	7.1.5 MSTP 对 3G 的支持	136
5.6.3 建立全球或区域时间同步网	108	7.2 弹性分组环技术	137
存在的问题	108	7.2.1 弹性分组环技术的发展历程	137
小结	108	及其概念	137



7.2.2	弹性分组环结构描述	139	9.3.3	DWDM 系统的网络拓扑结构	183
7.2.3	弹性分组环的 MAC 参考模型	140	9.3.4	DWDM 的监控技术	184
7.2.4	弹性分组环拓扑发现及网络 保护功能	141	9.3.5	DWDM 系统传输总速率	185
7.2.5	带宽的公平调度	142	小结		185
7.2.6	MSTP 内嵌 RPR 技术的实现	144	习题		186
小结		145	第 10 章 实现 DWDM 通信的关键技术		188
习题		146	10.1	光源与光波转换技术	188
实验一: MSTP 与 SDH 网络性能测试		148	10.1.1	光纤通信系统对光源的要求	188
实验二: MSTP 组网中弹性分组环功能 测试		149	10.1.2	光源类型	191
第 8 章 设备介绍与安装		150	10.1.3	光波长转发器 (OTU)	193
8.1	OptiX 2500+整体设备介绍	150	10.2	光波分复用器/解复用器 (合波/分 波器) 和光开关	195
8.1.1	OptiX 2500+系统构成	150	10.2.1	光波分复用器/解复用器 (合 波/分波器)	195
8.1.2	OptiX 2500+设备的组成	151	10.2.2	滤光器和光开关	197
8.1.3	OptiX 2500+设备的特点	154	10.3	光放大器技术	198
8.2	OptiX 2500+设备功能介绍	155	10.3.1	光放大器应用与分类	198
8.3	SDH 网工程设计	157	10.3.2	EDFA 放大器	199
8.4	SDH 设备安装	160	10.4	光纤光缆技术	205
8.4.1	硬件安装	160	10.4.1	光纤的非线性效应	205
8.4.2	网管配置	162	10.4.2	非线性效应的影响	206
小结		164	10.4.3	单模光纤	209
习题		164	小结		211
第 9 章 DWDM 技术概述		166	习题		212
9.1	DWDM 技术概述	166	第 11 章 全光网络		214
9.1.1	DWDM 技术提出的背景	166	11.1	全光网络概述	214
9.1.2	什么是 DWDM 技术	169	11.1.1	全光网络的基本概念	214
9.1.3	DWDM 技术的主要特点	174	11.1.2	全光网络涉及的相关技术	215
9.2	DWDM 系统结构	175	11.1.3	全光网络的分层结构	217
9.2.1	DWDM 系统结构	175	11.1.4	全光网络的优点	217
9.2.2	标称波长的确定	179	11.2	全光网络的路由技术	218
9.3	DWDM 系统分类	180	11.2.1	路由选择技术	218
9.3.1	DWDM 两类基本系统	180	11.2.2	光网络节点中的交叉连接 技术	219
9.3.2	DWDM 系统典型的两类 应用结构	181	11.3	全光网络设备介绍	220



11.3.1	光分插复用器	221	12.3	传输网常见故障分析和处理	232
11.3.2	光交叉连接设备	223	12.3.1	SDH 故障定位的原则与分类	232
小结		225	12.3.2	SDH 故障判断常用的方法	233
习题		226	12.3.3	SDH 常见故障的分析与处理	237
第 12 章	传输网络日常维护和故障处理	227	12.3.4	WDM 故障定位思路与方法	241
12.1	传输网络维护概述	227	12.4	故障处理案例	243
12.1.1	维护的分类	227	小结		247
12.1.2	例行维护的基本原则	228	习题		248
12.2	日常维护项目和注意事项	228	附录 缩略语		251
12.2.1	日常维护项目	228	参考文献		258
12.2.2	日常维护注意事项	231			

第1章

SDH 基础知识

【本章内容简介】本章系统介绍了同步数字系列 (SDH) 技术的概念和内容, 包括: PDH 的主要缺陷, SDH 的特点及帧结构, SDH 段开销, SDH 的映射和复用, SDH 指针技术, ATM、IP 映射入 STM-N 等基础知识。

【本章重点难点】本章重点是 SDH 帧结构, SDH 段开销, SDH 的映射和复用, SDH 指针技术; 难点是 SDH 映射和复用过程, SDH 指针调整。

1.1 SDH 的产生

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影响着通信网的发展。为了扩大传输容量、提高传输效率, 在数字通信中, 常常将若干个低次群低速数字信号以数字复用的方式合成为一路高速数字信号。数字复用必须按照一定的标准进行。国际电信联盟电信标准部门 (ITU-T) 的前身, 原国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 规定了两种基本复用标准, 即准同步数字系列 (PDH) 和同步数字系列 (SDH)。我国在 1995 年以前采用 PDH 复用方式。1995 年以后, 随着光纤通信的迅猛发展引入了 SDH 复用方式, 原有的 PDH 数字传输网可逐步纳入 SDH 传输网。

1.1.1 PDH 的帧结构和主要缺陷

PDH 技术将每路模拟话音信号进行抽样、量化、编码, 变为一路 64 kbit/s 的数字信号, 为了提高线路利用率和传输容量, 采用时分复用技术, 将多路 64 kbit/s 数字信号以字节为单位进行间插复接。在欧洲, 将 30 个独立的 64 kbit/s 话音信道与两个信息控制信



道一起形成一个 32 个时隙的信号结构，其传输速率为 2.048 Mbit/s；在北美和日本，则将 24 个 64 kbit/s 信道的信号间插复用在一起，形成一个 1.544 Mbit/s 的信息流。

为进一步提高传输容量，可将若干个 2.048 Mbit/s（或 1.544 Mbit/s）的信息流复接成更高速率的信息流。例如，欧洲将 4 个 2.048 Mbit/s 信息流复接为一 8.448 Mbit/s 的信息流；4 个 8.448 Mbit/s 信息流复接为一 34.368 Mbit/s 的信息流；4 个 34.368 Mbit/s 信息流复接为一 139.264 Mbit/s 的信息流。

在 PDH 中，各速率等级虽规定了标称速率，但支路信号可来自不同的设备，这些设备有各自独立的时钟源，因而来自不同设备的同一速率等级的支路信号其速率并不一定严格相等。为了能将各支路信号复接成更高速率的信号，对于各速率等级除规定标称速率外，还规定其允许的偏差范围，即容差。这种有相同的标称速率，但又允许有一定的偏差的信号称为准同步信号。它们复接时只能靠插入调整比特，采用异步复接。

我国的 PDH 技术采用欧洲制式，欧洲制式中各次群的速率、偏差、帧周期、电路数如表 1-1 所示。

表 1-1 我国 PDH 各次群速率、偏差帧周期和电路数

群次	速率	偏差	帧周期	电路数
一次	2.048 Mbit/s	50 ppm	125 μ s	30
二次	6.448 Mbit/s	30 ppm	100.38 μ s	120
三次	34.368 Mbit/s	20 ppm	44.69 μ s	480
四次	139.264 Mbit/s	15 ppm	21.03 μ s	1920

在过去的 20 多年时间里，PDH 技术在骨干网和本地网中发挥了巨大的作用。但是在通信网向大容量、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点。

(1) 国际上现有的 PDH 技术存在三大地区标准，如图 1-1 所示，这种局面造成了国际互通的困难。

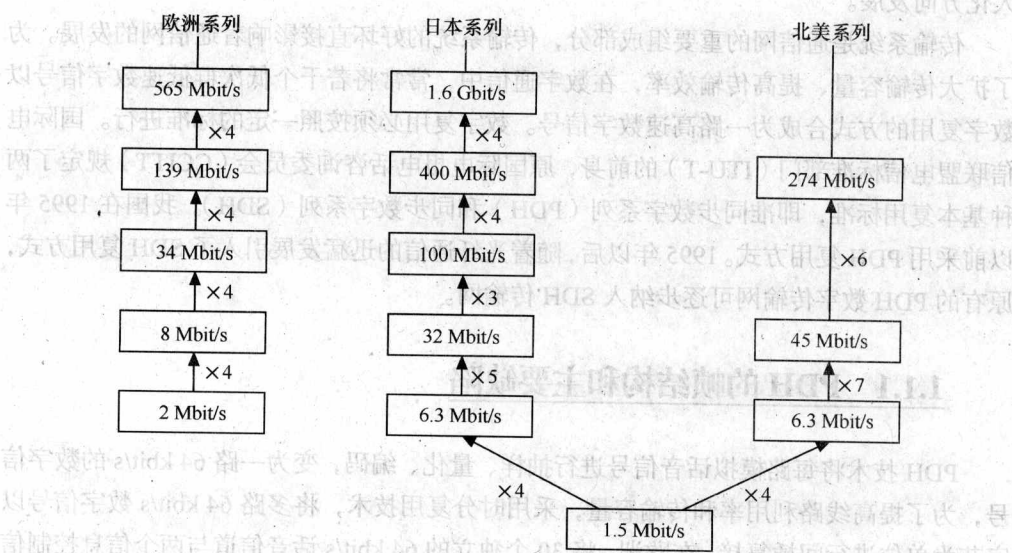


图 1-1 ITU-T 建议的三大 PDH 系列



(2) 没有世界性标准的光接口规范。致使不同厂家的设备, 甚至同一厂家不同型号的设备光接口各不相同, 不能互连, 即横向不兼容。

(3) 上/下支路困难。PDH 各速率等级帧长不同, 低次群帧的起始点在高次群帧中没有固定位置, 也无规律可循。这种情况导致上/下支路必须采用背靠背设备, 逐级分接出要下的支路, 将不下的支路再逐级复接上去, 如图 1-2 所示。

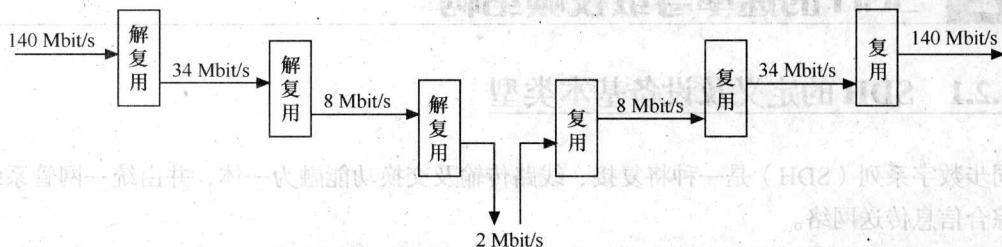


图 1-2 从 140 Mbit/s 信号分/插出 2 Mbit/s 信号示意图

(4) 只能采用异步复接方式, 即复接时需调整各支路速率同步后才能复接。

(5) 网络管理能力不强。由于安排的开销比特很少, 不能提供足够的运行、管理和维护 (OAM) 能力。网络的 OAM 主要靠人工的数字交叉连接和停业务检测, 不能适应不断演变的电信网的要求。

1.1.2 SDH 的产生及特点

1985 年, 美国国家标准协会 (ANSI) 为使设备在光接口互连起草了光同步标准, 并命名为同步光网络 (SONET)。1986 年, 原 CCITT 以 SONET 为基础制订了 SDH 同步数字体系标准, 使同步网不仅适用于光纤传输, 也适合于微波和卫星等其他传输形式。

SDH 帧结构克服了 PDH 的不足, 与传统的 PDH 相比较, SDH 具有如下明显的特点。

(1) 灵活的分插功能。SDH 规定了严格的映射复接方法, 并采用指针技术, 支路信号在线路信号中的位置是透明的, 可以直接从线路信号中灵活地上下支路信号, 无须通过逐级复用实现分插功能, 减少了设备的数量, 简化了网络的结构。

(2) 强大的网络管理能力。SDH 的帧结构中有足够的开销比特 (开销比特约占总容量的 1/30), 不仅满足目前的告警、性能监控、网络配置、倒换和公务等的需要, 而且还有进一步扩展的余地, 用以满足将来的监控和网管需要。

(3) 强大的自愈能力。具有智能检测的 SDH 网管系统和网络动态配置功能, 使 SDH 网络容易实现自愈, 在设备或系统发生故障时能迅速恢复业务, 提高了网络的可靠性, 降低了维护费用。

(4) SDH 有标准的光接口规范, 不同厂家的设备可以在光路上互连, 真正实现横向兼容。

(5) SDH 具有兼容性。SDH 的 STM-1 既可复用 2 Mbit/s 系列的 PDH 信号, 又可复用 1.5 Mbit/s 系列的 PDH 信号, 使两大系列在 STM-1 中得到统一, 便于实现国际互通, 也便于顺利地由 PDH 向 SDH 过渡。SDH 的 STM-1 和 STM-4 的速率已被选定为 B-ISDN 的用户/网络接口的标准速率, 适应新业务 ATM 和 IP 等的接入。

总结起来, SDH 核心特点是: 同步复用、标准光接口、强大的网络管理能力。

当然, SDH 技术并不是十全十美的, 它也有一些不足之处:

- (1) 由于开销比特很多, 因此频带利用率不如 PDH;
- (2) 大规模采用软件技术, 一旦计算机系统出现问题, 将造成全网瘫痪;
- (3) 为了能兼容各种速率信号、实现横向连接, 采用指针调控技术, 产生较大的抖动, 对信号造成一定的传输损伤。

1.2 SDH 的速率等级及帧结构

1.2.1 SDH 的定义及设备基本类型

同步数字系列 (SDH) 是一种将复接、线路传输及交换功能融为一体, 并由统一网管系统操作的综合信息传送网络。

SDH 实际上是网络节点接口的一个统一规范, 这个规范中首先统一的就是接口速率等级和帧结构安排。另外, SDH 还统一了设备类型和设备功能, 使网络构成更加规范。SDH 设备 (网元) 类型有 4 种。

(1) 终端复用器 (TM): 用于将各种低速信号复用映射入线路信号 STM-N 或作相反处理, 如图 1-3 所示。

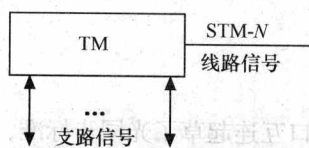


图 1-3 TM 网元示意图

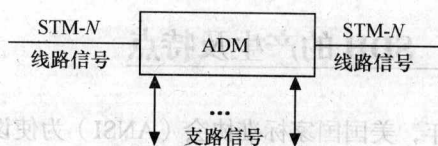


图 1-4 DXC 网元示意图

(3) 再生中继器 (REG): 实现对 STM-N 信号的放大、再生, 以便延长通信距离, 如图 1-5 所示。

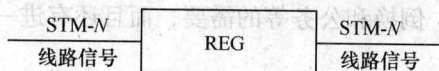


图 1-5 REG 网元示意图

(4) 数字交叉连接器 (DXC): 实现不同端口、不同速率信号的交叉连接, 如图 1-6 所示。

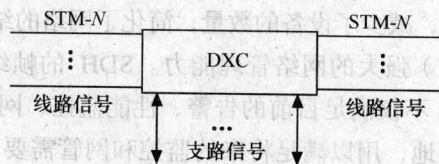


图 1-6 DXC 网元示意图

1.2.2 SDH 速率等级

SDH 按一定的规律组成块状帧结构, 称为同步传送模块 (STM), 它以与网络同步的速率串行传输。SDH 中最基本的, 也是最重要的模块信号是 STM-1, 其速率为 155.520 Mbit/s, 更高级别的模块 STM-N 是 N 个基本模块信号 STM-1 按同步复用, 经字节间插后形成的, 其速率是 STM-1 的 N 倍, N 取正整数 1、4、16、64。详细速率等级如表 1-2 所示。STM-N 光接口线路信号只是 STM-N 信号经扰码后电光转换的结果, 因而速率不变。

表 1-2

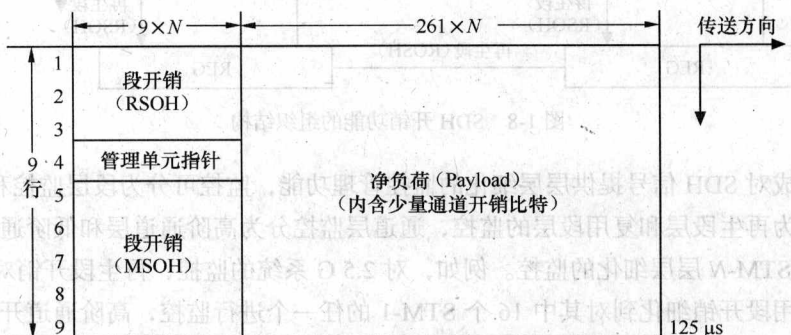
同步数字系列 (SDH) 速率等级

同步数字系列速率等级	比特率 (kbit/s)	速率 (bit/s)
STM-1	155 520	155 M
STM-4	622 080	622 M
STM-16	2 488 320	2.5 G
STM-64	9 953 280	10 G

1.2.3 SDH 帧结构

STM- N 帧结构由 9 行、 $270 \times N$ 列 (byte) 组成, 每字节 8 bit, 每字节速率为 64 kbit/s。一帧的周期为 $125 \mu\text{s}$, 帧频为 8 kHz (每秒 8 000 帧)。STM-1 ($N=1$) 是 SDH 最基本的结构。每帧周期为 $125 \mu\text{s}$, 含 19 440 ($9 \times 270 \times 8$) bit, 传输速率为 $19 440 \times 8 000 = 155 520$ kbit/s。因为 STM- N 是由 N 个 STM-1 经字节间插同步复接而成的, 故其速率为 STM-1 的 N 倍。

SDH 帧由净负荷、管理单元指针 (AU-PTR)、段开销 (SOH) 3 部分组成, 如图 1-7 所示。

图 1-7 STM- N 帧结构

【例 1-1】 试计算 STM-16 中帧频、帧长、MSOH 的速率。

(1) 因为 STM- N 的帧周期为 $125 \mu\text{s}$, 所以 STM-16 作为 STM- N 中的一种速率, 理所当然它的帧周期也应该是 $125 \mu\text{s}$ 。

(2) 因为 STM- N 的帧结构为 9 行、 $270 \times N$ 列, 所以 STM-16 的帧长为 $9 \times 270 \times 16 = 44 880$ byte 或 $9 \times 270 \times 16 \times 8 = 359 040$ bit。

(3) 因为 MSOH 在 STM- N 中位于 5~9 行前 $9 \times N$ 列, 所以在 STM-16 帧中有 $5 \times 9 \times 16 = 720$ byte 的 MSOH 字节, 又每个字节的速率为 64 kbit/s, 所以在 STM-16 帧中 MSOH 的速率为 720×64 kbit/s = 46 080 kbit/s。

段开销 (SOH) 区域用于存放帧定位、运行、维护和管理方面的字节, 以保证主信息净负荷正确灵活地传送。段开销进一步分为再生段开销 (RSOH) 和复用段开销 (MSOH)。再生段开销位于 STM- N 帧中的 1~3 行的 1~ $9 \times N$ 列, 用于帧定位、再生段的监控和维护管理。再生段开销 (RSOH) 在再生段始端产生并加入帧中, 在再生段末端终结, 即从帧中取出来进行处理。所以在 SDH 网中每个网元处, 再生段开销都要终结。RSOH 既可以在再生器接入和分出, 又可以在终端设备上接入和分出。复用段开销分布在 STM- N 帧中的 5~9 行的 1~ $9 \times N$ 列, 用于复用段的监控、维护和管理, 在复用段的始端产生, 在复用段的末端终结, 故复用段开销在中继器上透明传输,



在除中继器以外的其他网元处终结。

中继器之间或中继器与数字复用设备之间的物理实体称为再生段，两复用设备之间的全部物理实体则构成复用段。不同的再生段、再生段开销互不相关，不同的复用段、复用段开销也互不相关。从网络分层的角度来看，SDH 网络分为通道层和传输介质层，通道层又分为低阶通道层和高阶通道层，传输介质层又分为复用段层和再生段层，如图 1-8 所示。

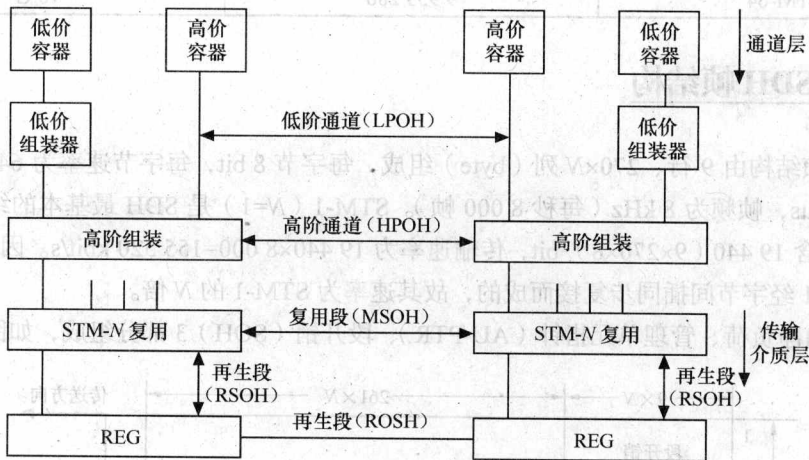


图 1-8 SDH 开销功能的组织结构

开销是完成对 SDH 信号提供层层细化的监控管理功能，监控可分为段层监控和通道层监控。段层的监控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 2.5 G 系统的监控，再生段开销对整个 STM-16 信号监控，复用段开销细化到对其中 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 中的 VC-4 的监控，低阶通道开销又将对 VC-4 的监控细化为对其中 63 个 VC-12 的任一个 VC-12 进行监控，由此实现了对 2.5 Gbit/s 级别到 2 Mbit/s 级别的多级监控手段。这些监控功能的实现是由不同的开销字节来实现的。

管理单元指针存放在帧的第 4 行的 1~9×N 列，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，以便正确区分出所需的信息。为了兼容各种业务或与其他网络连接，需通过指针进行速率调整。

信息净负荷区存放各种电信业务信息和少量用于通道性能监控的通道开销字节，它位于 STM-N 帧结构中除段开销和管理单元指针区域以外的所有区域。

1.3 SDH 段开销

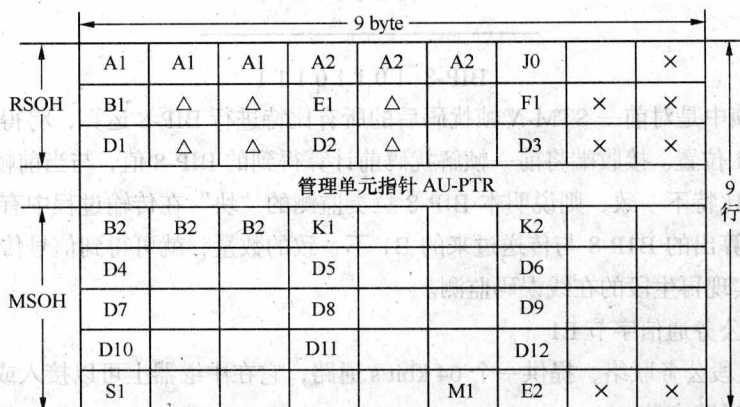
1.3.1 段开销的安排

STM-N 的段开销由 N 个 STM-1 段开销按字节间插同步复用而成，但只有第一个 STM-1 的段开销完全保留，其余 N-1 个 STM-1 的段开销仅保留 A1、A2 和 3 个 B2 字节，其他的字节全部省略。

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 1~



3 行×1~9 列的 RSOH 和 5~9 行×1~9 列的 MSOH。STM-1 段开销的安排如图 1-9 所示。RSOH 和 MSOH 的区别在于监控范围的不同, RSOH 对整个 STM-N 进行监控, MSOH 对 STM-N 中的每一个 STM-1 进行监控。



注: × 为国内使用的保留字节
△ 为与传输介质有关的特征字节

图 1-9 STM-1 段开销的安排

1.3.2 段开销功能

1. 再生段开销功能

(1) 帧定位字节 A1、A2

A1、A2 用来标识 STM-N 帧的起始位置。A1 为 11110110 (F6), A2 为 00101000 (28)。

(2) 再生段踪迹字节 J0

J0 重复发送一个代表某接入点的标志,从而使再生段的接收端能够确认是否与预定的发送端处于持续的连接状态。用连续 16 帧内的 J0 字节组成 16 byte 的帧来传送接入点识别符。在同一个运营商的网络内该字节可为任意字符,而在不同运营商之间的网络边界处要使设备收、发两端的 J0 字节相同。通过 J0 字节可使运营商提前发现和解决故障,缩短网络恢复时间。

(3) STM-1 识别符 C1

原 CCITT 建议中 J0 的位置上安排的是 C1 字节,用来表示 STM-1 在高阶 STM-N 中的位置。采用 C1 字节的老设备与采用 J0 字节的新设备互通时,新设备置 J0 为“00000001”,表示“再生段踪迹未规定”。

(4) 再生段误码监视字节 B1

B1 字节用于再生段误码在线监测,它是采用偶校验的比特间插奇偶校验 8 位码(简称 BIP-8)。BIP-8 是将被监测部分 8 bit 分为一组排列,然后计算每一列比特“1”的奇偶数,如果为奇数则 BIP-8 中相应比特置“1”,如果为偶数则 BIP-8 中相应比特置“0”,即加上 BIP-8 的比特后,使每列的比特“1”码数为偶数。例如有一串较短的序列“11010100011100111010101010111010”,其 BIP-8 的计算为

11010100

01110011

10101010

10111010

BIP-8 10110111

在 STM-N 帧中是对前一 STM-N 帧扰码后的所有比特进行 BIP-8 运算, 将得到的结果置于当前帧扰码前的 B1 位置。接收端将前一帧解扰码前计算得到的 BIP-8 值, 与当前帧解扰后的 B1 作比较, 如果任一比特不一致, 则说明本 BIP-8 负责监测的“块”在传输过程中有差错。这样只要检测出接收端计算出的 BIP-8 与传送过来的 B1 不一致的数量, 就可得到信号传输过程中的差错“块”数, 从而实现再生段的在线误码监测。

(5) 再生段公务通信字节 E1

E1 用于再生段公务联络, 提供一个 64 kbit/s 通路, 它在中继器上可以接入或分出。

(6) 使用者通路字节 F1

为网络运营者提供一个 64 kbit/s 通路, 为特殊维护目的提供临时的数据/话音通道。

(7) 再生段数据通信通道字节 (DCC)

D1、D2、D3 用于再生段传送再生器的运行、管理和维护信息, 可提供速率达 192 kbit/s (3×64 kbit/s) 的通道。

2. 复用段开销

(1) 复用段误码监视字节 B2

用于复用段的误码在线监测, 3 个 B2 共 24 bit, 作比特间插奇偶校验, 以前为 BIP-24 校验, 后改进为 24×BIP-1, 其计算方法与 BIP-8 相似, 只不过此处每 24bit 分为一组。

产生 B2 字节的方法是: 对前一个扰码后的 STM 帧中除再生段开销以外的所有比特作 BIP 运算, 将结果放在当前 STM 帧扰码前的 B2 字节处。接收端将收到的前一帧计算 BIP 值, 再与当前帧的 B2 异或, 得到差错块数。

(2) 数据通信通道字节 D4 ~ D12

构成管理网复用段之间运行、管理和维护信息的传送通道, 可提供速率达 576 kbit/s (9×64 kbit/s) 的通道。

(3) 复用段公务通信字节 E2

用于复用段公务联络, 只能在含有复用段终端功能块 (MST) 的设备上接入或分出, 可提供速率为 64 kbit/s 的通路。

(4) 自动保护倒换通路字节 K1、K2 (b1 ~ b5)

K1 和 K2 用于传送复用段保护倒换 (APS) 协议。保证设备发生故障时能自动切换, 使网络自愈, 用于复用段保护倒换自愈情况。

两字节的比特的分配和面向比特的协议在 ITU-T 建议 G.783 的附件 A 中给出。K1 (b1 ~ b4) 指示倒换请求的原因, K1 (b5 ~ b8) 指示提出倒换请求的工作系统序号, K2 (b1 ~ b5) 指示复用段接收侧备用系统倒换开关桥接到的工作系统序号。

(5) 复用段远端缺陷指示字节 K2 (b6 ~ b8)