



高等职业技术教育通信类“十三五”规划教材

GAODENG ZHIYE JISHU JIAOYU TONGXINLEI SHISANWU GUIHUA JIAOCAI

光传输网络和设备

——SDH与PTN

GUANG CHUANSHU WANGLUO HE SHEBEI
——SDH YU PTN

主 编 ● 王碧芳 杜玉红



西南交通大学出版社

高等职业技术教育通信类“十三五”规划教材

光传输网络和设备——SDH 与 PTN

主 编 王碧芳 杜玉红
副主编 曹 艳 许红梅 张 帆
主 审 李 雪



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

光传输网络和设备: SDH 与 PTN / 王碧芳, 杜玉红主
编. —成都: 西南交通大学出版社, 2017.8
高等职业技术教育通信类 “十三五” 规划教材
ISBN 978-7-5643-5698-9

I. ①光… II. ①王… ②杜… III. ①光纤通信—同
步通信网—高等职业教育—教材②光纤通信—通信设备—
高等职业教育—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 211376 号

高等职业技术教育通信类 “十三五” 规划教材

光传输网络和设备——SDH 与 PTN

主编 王碧芳 杜玉红

责任编辑 穆 丰
特邀编辑 蒋 蓉
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 61 0031

发行部电话 02 8-87600564 87600533

官网 [ht tp://www.xnjdcbs.com](http://www.xnjdcbs.com)

印刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 17.75
字数 442 千
版次 2017 年 8 月第 1 版
印次 2017 年 8 月第 1 次
书号 ISBN 978-7-5643-5698-9
定价 39.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

信息技术是当今世界各领域中最有活力、发展最为迅速的高新技术，新概念、新技术、新设备层出不穷，其中通信网的发展也日新月异，提供的业务也越来越丰富。为满足通信网高速化、数字化、综合化及智能化发展的需要，光传输网 SDH、PTN 应运而生。SDH 技术具有同步复用、标准的光接口及强大的网管能力，在通信网中得到广泛应用。随着数据业务逐渐成为通信网的主要业务，在 SDH 技术基础上衍生的 MSTP 技术，能够提供丰富的业务接口，并具有强大的数据处理能力。MSTP 技术的应用，使 SDH 成为真正意义上的公共传输平台。随后 PTN 技术兴起，作为 IP 技术与 MPLS 相结合的产物，PTN 吸取了 IP 技术的组网优势以及 MPLS 的基于标签交换的技术优势，继承了 SDH 的分层管理能力，使 PTN 作为一种光传输网表现出强大的生命力。

本书凝聚了作者多年的学习体会和教学积累。在编写过程中，作者参照了 ITU-T 的协议和大量的国内外参考文献。全书共分 10 章，主要介绍 SDH 和 PTN 两种传输网络及设备。第 1 章介绍光通信技术，对光通信的发展及现有的几种光通信技术进行介绍。第 2 章介绍 SDH 基本原理，包括 SDH 的帧结构、SDH 常见网元、组网的拓扑结构以及电信管理网。第 3 章至第 5 章采用任务驱动方式进行内容编排，结合理论与实际操作进行讲解。第 3 章的任务为传输网的建立，所必备的知识点包括对设备的认识，段开销的字节功能等。本书针对中兴通讯的 ZXMP S325 和 ZXMP S320 传输设备进行详细的介绍。第 4 章的任务为电路业务的配置、以太网业务的配置以及时钟公务的配置。所必须掌握的理论包括 PDH 信号复用映射过程，MSTP 概述及其关键技术：封装技术、级联技术和 LCAS 技术，SDH 网同步的定时方式介绍等。第 5 章的任务为通道保护和复用段保护的配置。所必须掌握的理论包括网络生存性概念、通道保护倒换机制、复用段保护的机制等。

第 6~9 章进入 PTN 分组传送网的介绍。第 6 章任务为 PTN 设备的开局操作，所必需的知识点数据通信基础，包括 IPv4 网络规划，VLAN 技术，ACL 访问控制列表，MPLS 多协议标记交换技术。第 7 章任务为传输网络的建立，所需知识点为 PTN 设备组成，此章具体讲解了 ZXTN 6200、ZXTN 9004 两种 PTN 设备。第 8 章任务为 PTN 传输网络的以太网业务配置，所需知识点为 PTN 的关键技术——MPLS-TP 技术、PWE3 技术以及 MPLS OAM 技术。第 9 章任务为 PTN 网络保护配置，所需知识点为 PTN 分组传送网的网络保护技术，包括端口保护、

线网保护、环网保护以及双归保护，同时还介绍了 PTN 的同步技术。

第 10 章对于上述介绍的 SDH 网络以及 PTN 网络进行了网络维护以及故障排查的讲解，分别对网络故障定位方法、网络故障排除方法进行了介绍，对 SDH 网络和 PTN 网络也进行了故障排查的单独介绍，作为前 9 章的理论补充。

全书力求系统性强，突出基本概念、基本原理的阐述，通俗易懂，理论联系实际，注重传输网技术在通信网中的应用。

本书由武汉职业技术学院、山东电子职业技术学院的几位老师联合编写完成。王碧芳（武汉职业技术学院）、杜玉红（山东电子职业技术学院）任主编，曹艳（武汉职业技术学院）、许红梅（武汉职业技术学院）、张帆（武汉职业技术学院）任副主编，李雪（武汉职业技术学院）任主审。第 1 章由许红梅编写，第 2 章由曹艳编写，第 3~5 章、第 9 章由王碧芳编写，第 6~8 章由杜玉红老师编写，第 10 章由张帆编写。本书在编写过程中，得到了武汉邮电科学研究院肖萍萍的悉心指导以及武汉职业技术学院通信教研室全体教师、山东电子职业技术学院通信教研室全体教师的大力支持和帮助，在此深表谢意。

作者希望本书能全面准确地反映 SDH 及 PTN 技术全貌，但由于传输网技术发展迅速，作者的水平和精力有限，书中不当或谬误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 5 月

目 录

第 1 章 光传输技术概述	1
1.1 光纤通信的发展概述	1
1.2 光纤通信的特点和系统分类	2
1.3 光传输技术	4
思考与拓展	10
第 2 章 SDH 原理简介	11
2.1 SDH 基本原理	11
2.2 SDH 网络常见网元	14
2.3 SDH 网络拓扑结构	17
2.4 电信管理网	18
思考与拓展	20
第 3 章 SDH 传输网的组建	21
3.1 SDH 网络设备 ZXMP S325 介绍	21
3.2 SDH 网络设备 ZXMP S320 介绍	34
3.3 任务：链形 SDH 网络的组建	38
3.4 SDH 开销字节功能	45
3.5 任务：环形 SDH 网络的组建	55
思考与拓展	57
第 4 章 SDH 的复用技术、MSTP 技术、同步网技术及业务配置	59
4.1 映射、定位与复用	59
4.2 任务：电路业务配置	69
4.3 MSTP 多业务传送平台	82
4.4 任务：数据业务的配置	92
4.5 同步网	110

4.6 任务：时钟和公务的配置	116
思考与拓展	119
第5章 传输网的自愈性及网络保护的配置	121
5.1 链形网保护	121
5.2 通道保护环	125
5.3 任务：通道保护的配置	127
5.4 复用段保护	133
5.5 任务：复用段保护的配置	140
思考与拓展	147
第6章 PTN 分组传送网络技术基础	148
6.1 以太网基础知识	148
6.2 ACL 技术	153
6.3 MPLS 技术	155
6.4 任务：传输网设备开局配置	160
思考与拓展	164
第7章 PTN 网络设备介绍及传输网的创建	165
7.1 ZXTN6200 简介	165
7.2 ZXTN9004 简介	172
7.3 任务：PTN 传输网的创建	178
思考与拓展	191
第8章 PTN 网络关键技术及业务配置	193
8.1 MPLS-TP 技术	193
8.2 PWE3 技术	200
8.3 MPLS-TP OAM 技术	206
8.4 任务：以太网业务配置	211
思考与拓展	227
第9章 PTN 网络保护、同步技术及网络保护配置	228
9.1 网络生存性及 PTN 保护方式分类	228
9.2 端口保护	229

9.3 线网保护.....	231
9.4 双归保护.....	234
9.5 环网保护.....	237
9.6 任务：传输网络保护配置.....	240
9.7 PTN 同步技术.....	242
思考与拓展.....	249
第 10 章 传输网络故障处理方法.....	250
10.1 故障处理思路及方法.....	250
10.2 SDH 故障分析与处理.....	253
10.3 PTN 故障分析与处理.....	263
思考与拓展.....	268
参考文献.....	269
附录缩略语.....	270

第 1 章 光传输技术概述

【内容概述】

光纤通信作为现代通信的主要传输手段，在现网中具有非常重要的作用。光纤通信与生活是息息相关的。本章介绍了光纤通信的发展概述、光纤通信的特点和系统分类、典型光传输技术及光网络在通信网中的地位 and 作用。

【学习目标】

熟知光纤通信的优缺点，掌握典型的光传输技术。

【知识要点】

- (1) 光纤通信特点。
- (2) 典型光传输技术。

1.1 光纤通信的发展概述

1960 年，美国人梅曼 (Maiman) 发明了第一台红宝石激光器，给光通信带来了新的希望。1966 年，英籍华裔学者高锟 (C.K.Kao) 和霍克哈姆 (C.K.Hockham) 发表了关于传输介质新概念的论文，指出利用光纤 (Optical Fiber) 进行信息传输的可能性和技术途径，奠定了现代光通信——光纤通信的基础。当时石英纤维的损耗高达 1 000 dB/km 以上，高锟等人指出：这样大的损耗不是石英纤维固有的特性，而是由于材料中的杂质造成的，材料本身固有的损耗基本上由瑞利 (Rayleigh) 散射决定，它随波长的 4 次方而下降，其损耗很小。因此有可能通过原材料的提纯制造出适合长距离通信使用的低损耗光纤。1979 年，光纤损耗降低到 0.2 dB/km，1984 年是 0.157 dB/km，1986 年是 0.154 dB/km，接近了光纤最低损耗的理论极限。

1976 年，美国在亚特兰大进行了世界上第一个实用光纤通信系统的现场试验，采用 GaAlAs 激光器作光源，多模光纤作传输介质，速率为 44.7 Mb/s，传输距离约 10 km。随后美国很快敷设了东西干线和南北干线，并相继于 1988 年和 1989 年建成了第一条横跨大西洋和太平洋的海底光缆通信系统。

自从 1966 年高锟提出光纤作为传输介质的概念以来，光纤通信从研究到应用，发展非常迅速：技术上不断更新换代，通信能力 (传输速率和中继距离) 不断提高，应用范围不断扩大。光纤通信的发展可以粗略地分为 4 个阶段：

第一阶段（1966 年至 1976 年），这是从基础研究到商业应用的开发时期。在这个时期，实现了短波长（ $0.85\ \mu\text{m}$ ）低速率（45 Mb/s 或 34 Mb/s）的多模光纤通信系统，无中继传输距离约 10 km。

第二阶段（1976 年至 1986 年），这是以提高传输速率和增加传输距离为研究目标和大力推广应用的大发展时期。在这个时期，光纤从多模发展到单模，工作波长从短波长（ $0.85\ \mu\text{m}$ ）发展到长波长（ $1.31\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ ），实现了工作波长为 $1.31\ \mu\text{m}$ 、传输速率为 140~565 Mb/s 的单模光纤通信系统，无中继传输距离为 50~100 km。

第三阶段（1986 年至 1996 年），这是以超大容量和超长距离为目标，全面深入开展新技术研究的时期。在这个时期，实现了 $1.55\ \mu\text{m}$ 色散移位单模光纤通信系统。采用外调制技术，传输速率可达 2.5~10 Gb/s，无中继传输距离可达 100~150 km。实验室可以达到更高水平。光纤通信的廉价、优良的带宽特性正使之成为电信网的主要传输手段。

第四阶段（1997 年至今）光纤通信由准同步数字系列（PDH）向同步数字系列（SDH）以及分组传送网过渡，光纤通信系统的传输速率进一步提高。特别是 EDFA（掺铒光纤放大器）的应用解决了长途光纤传输信号的放大问题。随着各种新技术、新器件、新工艺的深入研究，光纤通信将进入光放大、光交叉连接和光交换的全光网时代。

尤其是 20 世纪 90 年代以来，通信技术的高速迅猛发展，移动通信、卫星传输和光纤通信将通信演变为高速、大容量、数字化和综合的多媒体业务。在国际电信联盟的推动下，光纤通信的一系列标准纷纷制定，有 PDH、SDH、波分复用（WDM）、自动交换光网络（ASON）等。美国最先提出建立国家信息高速公路，即国家信息基础建设，后续其他国家陆续制定相关计划，并一起推出全球的信息技术建设计划。

1.2 光纤通信的特点和系统分类

1.2.1 光纤通信的特点

1. 光纤通信的优点

与其他通信技术相比，光纤通信技术有其无与伦比的优越性，具体如下。

1) 频带宽、通信容量大

一根光纤的带宽在理论上能容纳 10^7 路 4 MHz 的视频或 10^{10} 路的 4 kHz 的音频，而同轴电缆带宽为 60 MHz，能传输 10^4 路的 4 kHz，光纤带宽为同轴电缆的 10^6 倍。按话路计算，一对光纤按常见的 2.5 Gb/s 的通信系统计算，可达到 28 800 个话路，加上密集波分技术后话路容量将非常可观。

2) 损耗低、传输距离远

目前，光纤采用的石英玻璃，纯净度很高，光纤损耗极低。光纤平均损耗在 0.2~0.4 dB/km，中继距离达几十至上百千米。

3) 信号串扰小、保密性能高

由于光波具有良好的相干性，随着光器件的不断改进，不同光纤的光信号、同根光纤的不同波长不会产生干扰，因此，光纤通信比传统的无线和其他有线通信具有更好的保密效果。

4) 抗电磁干扰，传输质量佳

光纤是非金属的介质材料，且传输的是光信号，因此，它不受电磁干扰，传输质量较好。

5) 尺寸小、质量轻、便于铺设与运输

光纤的纤芯直径仅 $125\ \mu\text{m}$ ，经过表面涂覆后尺寸为 $0.25\ \text{mm}$ ，制成光缆后，直径一般为十几毫米；要比电缆线直径细、质量轻，这样在长途干线或市内线路上，空间利用率高，且便于制造多芯光缆。

6) 材料来源丰富、环境适应性强

光纤的制造材料石英玻璃在自然界中的含量非常丰富，这与电缆制造中大量消耗有色金属铜有着天壤之别。石英玻璃的熔点在 $2\ 000\ ^\circ\text{C}$ 以上，而一般明火的温度在 $1\ 000\ ^\circ\text{C}$ 左右，因此光纤耐高温，化学稳定性好，抗腐蚀能力强，不怕潮湿，可在有害气体环境下工作。

2. 光纤通信的缺点

光纤通信与传统的电缆通信相比，也存在以下缺点。

(1) 光线性质脆，需要涂覆加以保护。此外，为了能承受一定的敷设张力，在光纤结构上需要多加考虑。

(2) 切断和连接光纤时，需要高精度技术和仪表器具。

(3) 光路的分路、耦合不方便。

(4) 光纤不能输送中继器所需要的电能。

(5) 弯曲半径不宜太小。

尽管存在上述缺陷，但从目前的技术来说，都是可以克服的，不会影响光纤的广泛应用。

1.2.2 光纤通信系统的分类

光纤通信是以光(波)作为信息载体，以光纤作为传输介质的通信方式。从原理上看，构成光纤通信的基本物质要素有：光纤、光源和光电检测器。光纤通信系统可根据所使用的光传输波长、调制信号形式、传输信号的调制方式、光纤传导模式数量的不同，分成不同类型。

1. 按传输光波长划分

根据传输波长，可以将光纤通信系统分为短波长光纤通信系统、长波长光纤通信系统以及超长波长光纤通信系统。短波长光纤通信系统的工作波长为 $0.7\sim 0.9\ \mu\text{m}$ ，中继距离小于或等于 $10\ \text{km}$ ；长波长光纤通信系统的工作波长为 $1.1\sim 1.6\ \mu\text{m}$ ，中继距离大于 $100\ \text{km}$ ，是现在普遍采用的光纤通信系统，其损耗小，中继距离长；超长波长光纤通信系统的工作波长不小于 $2\ \mu\text{m}$ ，中继距离不小于 $100\ \text{km}$ ，采用非石英光纤，具有损耗极低、中继距离极长的优点，是光纤通信的发展方向。

2. 按调制信号形式划分

根据调制信号的形式，可以将光纤通信系统分为模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统。模拟光纤通信系统使用的调制信号为模拟信号，它具有设备简单的特点，一般多用于广电系统传送视频信号，如有线电视的 HFC 网。数字光纤通信系统使用的调制信号为数字信号，它具有传输质量高、通信距离长等特点，几乎适用于各种信号的传输，目前已得到广泛应用。

3. 按传输信号的调制方式划分

根据光源的调制方式，可以将光纤通信系统分为直接调制光纤通信系统和间接调制光纤通信系统。直接调制光纤通信系统具有设备简单的特点，在目前的光纤通信中得到了广泛的应用。间接调制光纤通信系统具有调制速率高的特点，是一种有发展前途的光纤通信系统，在实际中已得到了部分应用。

4. 按光纤的传导模式数量划分

根据光纤的传导模式数量，可以将光纤通信系统分为多模光纤通信系统和单模光纤通信系统。多模光纤通信系统是早期采用的光纤通信系统，目前主要用于计算机局域网中。单模光纤通信系统是目前广泛应用的光纤通信系统，它具有传输衰减小、高带宽等特点，目前被广泛应用于长途以及大容量的通信系统中。

5. 其他划分

主要有：相干光通信系统、光波分复用通信系统、光频分复用通信系统、光时分复用通信系统、全光通信系统、副载波复用光纤通信系统、光孤子通信系统、量子光通信系统。

1.3 光传输技术

光传输技术在通信网中发挥着非常重要的作用，它的发展影响着通信网的发展。目前，大容量的数字光纤通信系统均采用同步时分复用（TDM）技术，并且存在着两种传输体制：准同步数字复接系列（PDH）通信系统和同步数字复接系列（SDH）通信系统。

1.3.1 PDH 准同步数字复接系列

准同步数字复接系列（PDH）有两种基础速率：一种是以 1.544 Mb/s 为一次群（或称基群）速率，采用的国家有北美和日本；另一种是以 2.048 Mb/s 为一次群速率，采用的国家有欧洲和中国。对于以 2.048 Mb/s 为基础速率的制式，各次群的话路数按 4 倍递增，速率的关系略大于 4 倍，这是因为复接时插入了一些相关的比特。对于以 1.544 Mb/s 为基础速率的制式，在 3 次群以上，日本和北美各国又不相同，如表 1-1 所示。

表 1-1 CCITT 推荐的数字速率系列和数字复接等级

系列	地区 与国家		一次群	二次群		三次群		四次群		五次群	
1	北美	话路数	24	×4	96	×7	672	×6	4 032		
		数码率	1.544	6.312		44.736		274.176			
	日本	话路数	24	×4	96	×5	480	×3	1 440	×4	5 760
		数码率	1.544	6.312		32.064		97.728		397.2	
2	欧洲	话路数	30	×4	120	×4	480	×4	1 920	×4	7 680
		数码率	2.048	8.448		34.368		139.264		564.992	

(数码率的单位：Mb/s)

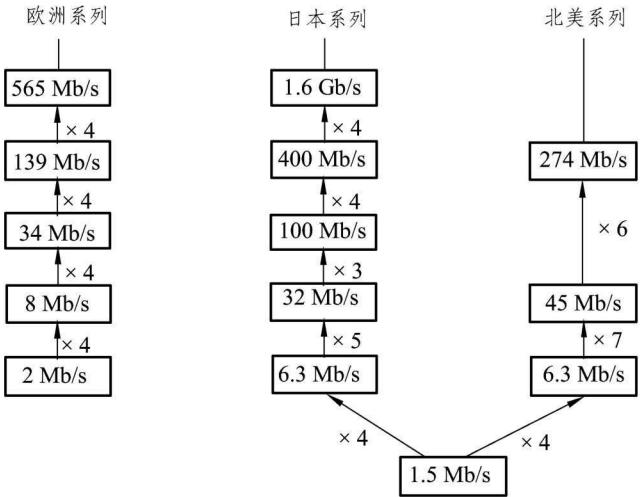


图 1-1 PDH 准同步数字复接系列国际标准

PDH 各次群比特率相对于其标准值有一个规定的容差，而且是异源的，通常采用正码速调整方法实现准同步复用。PDH 主要适用于中、低速率点对点传输。随着技术的进步和社会对信息需求的增加，数字系统传输容量不断提高，网管管理和控制的要求日益重要，宽带综合业务数字网和计算机网络迅速发展，迫切需要在世界范围内建立统一的通信网络。在这种形势下，现有 PDH 的许多缺点也逐步暴露出来，主要有：

(1) 只有地区性的电接口规范，不存在世界性标准。目前，国际上通行有 3 种信号速率等级，即：欧洲系列、北美系列与日本系列。三者互不兼容，如图 1-1 所示。这种局面造成了国际互通的困难。

(2) 没有世界性的标准光接口规范。各个厂家采用自行开发的线路码型，使得在同一数字等级上光接口的信号速率不一样，致使不同厂家的设备无法实现横向兼容，即在同一传输线路必须采用同一厂家、同一型号的设备，这就给组网、管理及网络互通，特别是国际互通带来很大的困难。

(3) PDH 系列只有 1.544 Mb/s 和 2.048 Mb/s 的基群速率的信号 (包括日本系列的 6.3 Mb/s 的二次群) 是同步复用的，其他从低次群到高次群是采用异步复接，需通过码速调整来达到速率的匹配和容纳时钟频率的偏差，而且每提高一个次群，都要经历复杂的码变换、码速调

整、定时、复接/分接过程。这样，为了上下电路，就得将整个高速线路信号一步一步地分接到所要取出的低速支路等级信号，上下支路信号后，再一步一步地复用到高速线路信号进行传输，因而在节点处需配备所有的相关复接设备，硬件数量大，缺乏灵活性，上下业务费用高，功能实现复杂。并且，随着通信容量越来越大，要求传输信号的速率越来越高，使异步复接的层次越来越多，使传输性能劣化。同时，在高速率上实现异步复接/分接需采用大量的高速电路，使设备的成本、体积和功耗很大，降低设备的可靠性，并使信号产生损伤。如图 1-2 所示给出了从一个 140 Mb/s 信号中分出一个 2 Mb/s 信号所需的设备配置。

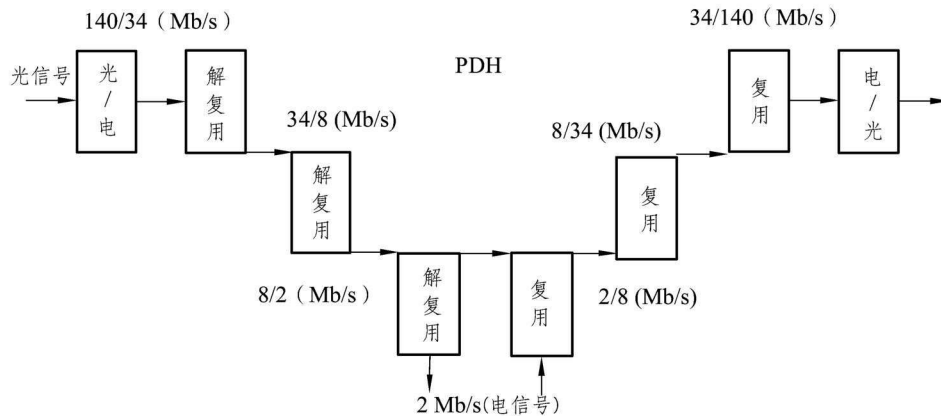


图 1-2 PDH 分叉支路信号的过程

(4) 准同步复用信号帧结构中没有安排很多用于网络运行、管理和维护 (OAM) 的比特，只有在线路编码中用插入比特的方法来传输一些监控信号，故无法对传输网实现分层管理和对通道的传输性能实现端对端的监控。这种辅助比特的严重缺乏已成了进一步改进网络 OAM 能力的重要障碍。

(5) 对传输系统进行管理都是由各厂家自行开发的管理系统来实现，这些管理系统没有规范的接口进行互连，不利于形成一个统一的电信管理网。

(6) 准同步系统的网络运行和管理主要靠人工对数字信号交叉连接，无法经济地对网络组织、电路带宽和业务提供在线实时控制，难以满足用户对网络动态组网和新业务接入的要求。

为了解决以上这些问题，美国贝尔通信研究所 (Bellcore) 首先提出了用一整套分等级的准数字传递结构组成的同步光网络 (SONET)，而后，原国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 于 1988 年接受 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。总的来说，与 PDH 相比 SDH 在技术体制上进行了根本的改革。

1.3.2 SDH 同步数字复接系列

SDH 同步数字复接系列传输网络是由一些 SDH 网元 (NE) 组成的，在光纤上进行同步信息传输、复用、分插和交叉连接的网络。它有全世界统一的网络节点接口 (NNI)，简化了信号的互通以及信号的传输、复用、交叉连接和交换过程；它有一套标准化的信息结构等级，称为同步传送模块 STM-N，并具有块状帧结构，允许安排丰富的开销比特（即网络节点接口比特流中扣除净荷后的剩余部分）用于网络的 OAM；它的基本网元有终端复用器 (TM)、再

生中继器 (REG)、分插复用器 (ADM) 和数字交叉连接设备 (DXC) 等, 它们的功能各异, 但都有统一的标准光接口, 能够在基本光缆段上实现横向兼容, 即允许不同厂家设备在光路上互通; 它有一套特殊的复用结构, 允许现存的准同步数字体系、同步数字体系和 B-ISDN 信号都能进入其帧结构, 因而具有广泛的适应性; 它大量采用软件进行网络配置和控制, 使得新功能和特性的增加比较方便, 适于将来的不断发展。

以上这些特点可以从以下几个方面进一步说明。

(1) 对网络节点接口进行了统一的规范。其中包括数字速率等级、帧结构、复接方法、线路接口、监控管理等, 这就使得 SDH 易于实现在多厂商环境下操作, 即同一条线路上可以安装不同厂家的设备, 体现了横向兼容性。

(2) SDH 信号的基本传输模块可以容纳北美、日本和欧洲的准同步数字系列。包括 1.5 Mb/s, 2 Mb/s, 6.3 Mb/s, 34 Mb/s, 45 Mb/s 及 140 Mb/s 在内的 PDH 速率信号均可装入“虚容器”, 然后经复接安排到 155.520 Mb/s 的 SDH STM-1 信号帧的净荷内, 使新的 SDH 能支持现有的 PDH, 顺利地由 PDH 向 SDH 过渡, 体现了后向兼容性。

(3) 采用了同步复用方式和灵活的复用映射结构。因而只需利用软件即可使高速信号一次直接分插出低速支路信号, 既不影响别的支路信号, 又避免了需要对全部高速复用信号进行解复用的做法, 省去了全套背靠背复用设备, 使上、下业务十分容易, 并省去了大量的电接口, 简化了运营操作。

(4) SDH 的网同步和灵活的复用方式大大简化了数字交叉连接功能的实现。利用同步分叉能力使网络增强了自愈能力, 便于根据用户的需要进行动态组网, 便于各种新业务的接入。

(5) SDH 帧结构中安排了丰富的开销比特。这些开销比特包括了段开销 (SOH) 和通道开销 (POH), 使网络的 OAM 能力大大加强, 例如故障检测、区段定位、端到端性能监视、单端维护能力等。

(6) SDH 设备是智能化的设备, 兼有终结、分叉复用和交叉连接功能, 它可以通过远程控制灵活地组网和管理。由于对网管设备的接口进行了规范, 使不同厂家的网管系统互联成为可能。因此 SDH 十分适合智能化的电信管理网络 (TMN), 网络中的每一个 SDH 的 NE 可通过软件进行本地或远地操作, 包括性能监测, 服务 (或带宽) 的管理, 业务量调度, 路由选择及改变, 故障、告警、网络恢复或自愈等。这种网管不仅简单而且几乎是实时的, 因此不仅降低了网络维护管理的费用, 而且大大提高了网络的效率、灵活性、可靠性与生存性。

SDH 不仅构成了世界性统一的 NNI 接口的基础, 也能与世界性统一的 UNI 接口协调。因为 SDH 除了支持基于电路交换的同步转移模式 (STM) 外, 还可支持基于分组交换的异步转移模式 (ATM)。在 ATM 中, 信息以信元 (Cell) 为单元来组织, UNI 的方案之一是将信元复接安排到 SDH STM-N 帧的净荷中, 这样, SDH 适用于从 STM 向 ATM 过渡, 体现了前向兼容性。

上述特点体现了 SDH 的 3 大核心能力: 同步复用、标准光接口和强大的网管能力。当然, SDH 也有一些不足之处。

(1) 频带利用率不如传统的 PDH 系统。

PDH 的 139.264 Mb/s 可以容纳 64 个 2.048 Mb/s 支路信号, 而 SDH 的 155.520 Mb/s 却只能收容 63 个 2.048 Mb/s 支路信号, 频带利用率从 PDH 的 94% 下降到 83%; PDH 的 139.264 Mb/s 可以容纳 4 个 34.368 Mb/s 支路信号, 而 SDH 的 155.520 Mb/s 却只能收容 3 个, 频带利用率

从 PDH 的 99% 下降到 66%。可见，上述安排虽然换来网络运用上的一些灵活性，但毕竟使频带利用率降低了。

(2) 指针调整机理复杂。

SDH 体制可“一步到位”地从高速信号（如 STM-1）中直接下低速信号（如 2 Mb/s）省去了逐级复用/解复用过程，而这种功能的实现是通过指针调整机理来完成的。指针的作用就是时刻指示低速信号的位置，以便在“拆包”时能正确的拆分出所需要的低速信号，保证了 SDH 从高速信号中直接分支低速信号的功能实现。指针技术是 SDH 体系的一大特色，但是指针功能的实现增加了系统的复杂性，由于指针调整会引起抖动。这种抖动多发于网络边界处（SDH/PDH），其频率低，幅度大，会导致低速信号在分支拆离后传输性能劣化，这种抖动的滤除又比较困难。

(3) 软件的大量使用对系统安全性产生影响。

由于 SDH 的 OAM 自动化程度高，这就意味软件在系统中占相当大的比重。一方面，这使系统很容易受到计算机病毒的危害，尤其在计算机病毒无处不在的今天；另一方面，在网络层上认为的错误操作、软件故障，对系统的影响也是致命的。由于 SDH 系统对软件的依赖性很大，导致 SDH 系统运行的安全性就成了很重要的课题。

1.3.3 WDM 技术

WDM (Wavelength Division Multiplexing, 波分复用) 是指在单根光纤上承载多个波长（信道）的系统，将单根光纤转换为多根“虚拟”光纤，每根虚拟光纤独立工作于不同波长上。WDM 系统技术的经济性与有效性，使之成为当前贡献通信网络最广泛使用的光波复用技术。

WDM 通常有 3 种复用方式，即 1 310 nm 和 1 550 nm 波长的波分复用（WDM）、粗波分复用（CWDM）和密集波分复用（DWDM）。

1. 1 310 nm 和 1 550 nm 波长的波分复用

这种复用技术在 20 世纪 70 年代时仅用两个波长，1 310 nm 窗口一个波长，1 550 nm 窗口一个波长，利用 WDM 技术实现单纤双窗口传输，这是最初的波分复用的使用。

2. 粗波分复用

CWDM 技术是指相邻波长间隔较大的 WDM 技术，相邻信道的间距一般大于等于 20 nm，波长数目一般为 4 波或 8 波，最多 16 波。CWDM 使用 1 200~1 700 nm 窗口。CWDM 采用非制冷激光器，无光放大器件，成本较 DWDM 低，缺点是容量小、传输距离短。因此，CWDM 技术适用于短距离、高带宽、接入点密集的通信应用场合，如大楼内或大楼之间的网络通信。

3. 密集波分复用

DWDM 技术是指相邻波长间隔较小的 WDM 技术，工作波长位于 1 550 nm 窗口，可以在一根光纤上承载 8~160 个波长，主要应用于长距离传输。

波分复用的优势体现在其关键协议和传输速率是不相关的。基于 DWDM 的网络可以采用 IP 协议、ATM、SDH、以太网协议来传输数据，处理的数据流量在 100 Mb/s 和 2.5 Gb/s 之间。这样，基于 DWDM 的网络可以在一个激光信道上以不同的速度传输不同类型的数据流量。从

QoS (质量服务) 的观点看, 基于 DWDM 的网络以低成本的方式来快速响应客户的带宽需求和协议改变。科技在日益更新, 现在国家干线、省级干线以及市级干线用 1 600 Gb/s、800 Gb/s 以及 400 Gb/s 的也比比皆是。以 1 600 Gb/s 为例, 理论上, 在光缆完全具备的情况下, 一根光纤能走 160 条 10 Gb/s 业务, 大大提高了光纤利用率。当然对光缆的要求也很高, 理论值和实际值是有偏差的, 实际应用中为了避免故障率, 很少在同一根光纤上用百个信道的业务。

1.3.4 ASON 技术

自动交换光网络 (Automatic Switch Optical Network, ASON) 主要是以环网为主、链形为辅, 承载业务为传统的 TDM 电路业务, 其安全性和 QoS 均有良好的保障。

随着数据业务的迅速发展, 尤其是 IP 业务呈爆炸式增长态势, 业务需求呈现出带宽越来越多、颗粒越来越大、带宽要求越来越高、提供方式也越来越灵活的状态。

近年来, 随着 ASON 技术日趋成熟, 国外已建设了 ASON 体系结构, 国内在省内干线网和城域网中也相继引入了 ASON 技术。

与传统传输技术相比, ASON 具有明显的技术优势, 主要有以下几点。

(1) ASON 引入交换的概念。核心骨干网中的传统环网结构将逐步转为更为灵活的网状网结构。

(2) ASON 可实现动态按需分配带宽, 从而提高网络资源利用率, 全面降低组网成本。

(3) ASON 采用控制面的协议作为标准, 可实现在各厂商环境下, 业务的连接、呼叫控制及快速恢复等。

(4) ASON 提供不同的网络保护恢复方式。根据用户对不同层面、不同业务质量等级要求, 制定不同的保护恢复方式。

(5) ASON 具有资源及拓扑自动发现、快速建立业务的能力。

1.3.5 PTN 技术

分组传送网 (Packet Transport Network, PTN) 是一种光传输网络架构和具体技术, 结合网间互联协议 (Internet Protocol, IP)、多协议标记交换 (multi-protocol label switching, MPLS) 和光传送网技术的优点而形成的新型传送网技术。在 IP 业务和底层光传输媒质之间设置了一个层面, 它针对分组业务流量的突发性和统计复用传送的要求而设计, 以分组业务为核心并支持多业务提供, 具有更低的总体使用成本 (Total Cost of Ownership, TCO), 同时秉承光传输的传统优势, 包括高可用性和可靠性、高效的带宽管理机制和流量工程、便捷的 OAM 和网管、可扩展、较高的安全性等。

PTN 支持多种基于分组交换业务的双向点对点连接通道, 具有适合各种粗细颗粒业务、端到端的组网能力, 提供了更加适合于 IP 业务特性的“柔性”传输管道; 具备丰富的保护方式, 遇到网络故障时能够实现基于 50 ms 的电信级业务保护倒换, 实现传输级别的业务保护和恢复; 继承了 SDH 技术的操作、管理和维护机制 (OAM), 具有点对点连接的完美 OAM 体系, 保证网络具备保护切换、错误检测和通道监控能力; 完成了与 IP/MPLS 多种方式的互联互通, 无缝承载核心 IP 业务; 网管系统可以控制连接信道的建立和设置, 实现了业务 QoS 的区分和保证灵活提供 SLA 等优点。