

# 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和作用。

## 【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 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	
			话路数	数码率	话路数	数码率	话路数	数码率	话路数	数码率	话路数	数码率
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)

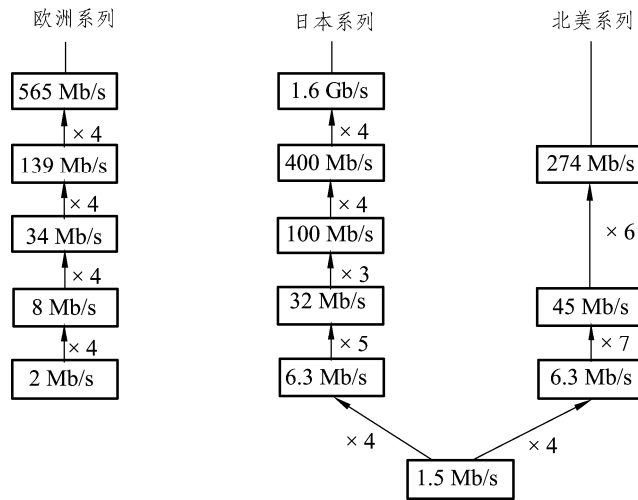


图 1-1 PDH 准同步数字复接系列国际标准

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。

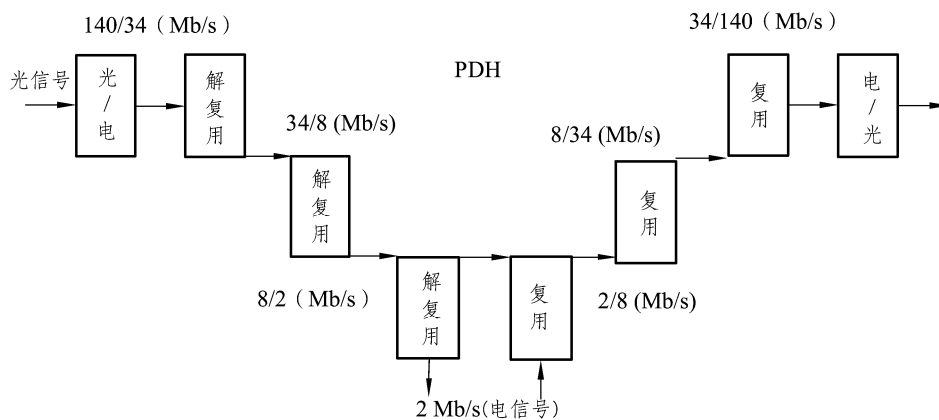


图 1-2 PDH 分叉支路信号的过程

(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