 电子信息与电气学科规划教材

# 光纤通信系统与网络

(修订版)

胡庆 张德民 胡敏 王敏琦 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

电子信息与电气学科规划教材

# 光纤通信系统与网络 (修订版)

胡庆 张德民 胡敏 王敏琦 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

# 修订版前言

信息传输是信息社会的三大标志之一，“光纤传输技术”的发展，决定着“整个通信网络”的发展。在当今提出“三网融合”的信息高速网路发展中，光纤通信系统与网络又一次进入了现代光纤传输网络的建设高潮。为了适应光纤通信技术发展的快速性，知识更新强烈的需求性，作者融合了近十年的教学经验、多年的工程实践以及光纤通信发展多样化而重新修订本教材。在教材修订编写过程中，主编人员一直注重教学与科研相长，将科研成果融入教材中，确保教材的前沿性、科学性和系统性。本次重点增加了反映当前新技术的光纤 PMD 特性以及 PMD 影响高速光纤系统传输中继段长计算，DWDM 中继段长计算，基于 SDH 的多业务传送平台 MSTP 原理与应用，光纤接入网中 APON, GPON, EPON 接入技术，全光通信网相关内容等。力求给读者一个比较全面、系统从理论到实际的光纤通信系统与网络的完整框架。

本书比较全面、系统地讲述了现代光纤通信系统的基本原理、基本技术、系统设计和光纤通信网络。全书共 9 章：第 1 章介绍光纤通信系统与网络的组成、特点、发展简史、现状和发展趋势；第 2 章介绍光纤传输原理及传输特性，包括光纤的结构、类型、导光原理、传输特性及非线性效应；第 3 章介绍光纤通信的基本器件，包括光有源器件和光无源器件原理、特性和参数；第 4 章介绍光纤通信系统及设计方法，内容包括光发射机、光接收机以及光中继器的组成，PDH 和 SDH 系统指标分配和系统设计等；第 5 章介绍 SDH 光同步数字传输网络；第 6 章讨论 DWDM/WDM 光传输网络；第 7 与第 8 章分别介绍光纤接入网及 APON, GPON, EPON 接入技术和高速光纤计算机网；第 9 章介绍全光通信网，包括全光通信网的结构、光交换技术、自动交换光网络（ASON）等。

本书前 8 章由胡庆编写，第 7 章张德民修订，第 8 章由胡敏修订、第 9 章由王敏琦、胡庆编写。全书由胡庆统稿，由张德民审核。在全书编写期间得到了严常青、张毅、杨晓波、刘鸿、李季碧、夏仙等同志的大力协助，在此一并表示感谢。

为适应当前高校课程门类多、课时压缩的教学特点，本书在概念和原理的讲述上力求严谨、准确、精练，理论适中，注重实用，主要面向工科院校，尽量少用繁杂的数学推导。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、信息工程、电子信息科学与技术以及其他电子信息类专业本科生教材，也可供研究生、科技工作者和工程技术人员参考。

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编著者

2010 年 7 月

## 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 光纤通信的发展简况 .....	1
1.1.1 光纤通信的特点 .....	1
1.1.2 光纤通信的发展简史 .....	3
1.2 光纤通信系统及发展现状 .....	5
1.2.1 光纤通信系统模型 .....	5
1.2.2 光纤通信系统的现状 .....	5
1.3 光纤通信网络及现状 .....	7
1.3.1 通信网概念 .....	7
1.3.2 光纤通信网络模型 .....	8
1.3.3 光纤通信网络现状 .....	8
1.4 光纤通信发展趋势 .....	11
1.4.1 光纤、光缆发展趋势 .....	11
1.4.2 光纤通信系统发展趋势 .....	11
1.4.3 光纤通信网络发展趋势 .....	12
习题 .....	13
<b>第 2 章 光纤传输原理及传输特性</b> .....	14
2.1 光纤和光缆的结构及类型 .....	14
2.1.1 光纤结构及类型 .....	14
2.1.2 光缆结构及类型 .....	18
2.1.3 光缆型号、规格及特性 .....	19
2.2 光纤传输原理分析 .....	22
2.2.1 射线理论分析光纤的传输原理 .....	22
2.2.2 波动理论分析光纤的传输原理 .....	26
2.3 光纤的结构参数 .....	33
2.3.1 几何参数 .....	33
2.3.2 折射率分布和数值孔径 .....	33
2.3.3 模场直径 .....	34
2.3.4 截止波长 .....	34
2.4 光纤的传输特性 .....	35
2.4.1 损耗特性 .....	35
2.4.2 色散特性和带宽 .....	38
2.4.3 光纤双折射及偏振特性 .....	42
2.4.4 光纤的非线性效应 .....	44

习题	47
<b>第 3 章 光纤通信基本器件</b>	<b>48</b>
3.1 光源器件	48
3.1.1 半导体激光器的结构及原理	48
3.1.2 分布反馈式和可调谐式半导体激光器	55
3.1.3 半导体激光器的主要特性	58
3.1.4 半导体发光二极管 (LED)	61
3.1.5 半导体发光二极管的主要特性	62
3.2 光检测器件	63
3.2.1 PD 光电二极管	63
3.2.2 PIN 光电二极管	64
3.2.3 APD 雪崩光电二极管	65
3.2.4 光电二极管的主要特性	66
3.3 光纤放大器 (EDFA)	69
3.3.1 EDFA 的结构及原理	70
3.3.2 EDFA 的主要特性	71
3.4 光纤连接器件	74
3.4.1 光纤连接器的结构与种类	74
3.4.2 光纤连接器的主要性能指标	75
3.4.3 影响光纤连接损耗的因素	76
3.5 光分路耦合器和波分复用器	77
3.5.1 光分路耦合器	77
3.5.2 波分复用器和解复用器	79
3.6 光隔离器与光环行器	84
3.6.1 光隔离器	84
3.6.2 光环行器	85
3.7 光衰减器和光开关	86
3.7.1 光衰减器	86
3.7.2 光开关	86
3.8 偏振控制器和光调制器	88
3.8.1 偏振控制器	88
3.8.2 光调制器	89
习题	90
<b>第 4 章 光纤通信系统及设计</b>	<b>91</b>
4.1 两种数字传输体制	91
4.1.1 准同步数字体系 PDH	91
4.1.2 同步数字体系 SDH	92
4.2 光发射机	93

4.2.1	光源直接强度调制	93
4.2.2	光发射机的构成及原理	94
4.2.3	光发射机的主要性能指标	101
4.3	光接收机	102
4.3.1	光接收机的结构及原理	102
4.3.2	光接收机的噪声分析	105
4.3.3	光接收机的主要性能指标	107
4.4	光中继器	109
4.5	系统的性能指标	110
4.5.1	系统的参考模型	110
4.5.2	系统的性能指标	111
4.6	光纤通信系统的设计	117
4.6.1	系统的总体考虑	117
4.6.2	系统传输中继段长的估算	118
	习题	122
<b>第 5 章</b>	<b>SDH 光同步数字传输网络</b>	<b>124</b>
5.1	SDH 传输体制的基本概念	124
5.1.1	基本概念与帧结构	124
5.1.2	SDH 的段开销字节	126
5.1.3	SDH 的复用映射结构	127
5.2	SDH 的基本网络单元设备	129
5.2.1	终端复用器 TM 和分插复用器 ADM	130
5.2.2	再生中继器 (REG)	131
5.2.3	数字交叉连接设备 (DXC)	131
5.3	SDH 网络结构与保护	131
5.3.1	传送网的分层与分割	131
5.3.2	SDH 网络结构	134
5.3.3	SDH 网同步的概念	136
5.3.4	SDH 自愈环网原理	138
5.3.5	SDH 网络管理	141
5.4	基于 SDH 的多业务传送平台 MSTP	142
5.4.1	MSTP 的功能块模型及优势	143
5.4.2	MSTP 技术应用	145
	习题	146
<b>第 6 章</b>	<b>DWDM/WDM 光传输网络</b>	<b>148</b>
6.1	DWDM 系统构成模型	148
6.1.1	波分复用基本概念	148
6.1.2	DWDM 在传输网中的定位	149

6.1.3	DWDM 系统构成模型	150
6.1.4	实用 DWDM 系统的构成	151
6.1.5	DWDM 系统的主要器件	153
6.2	DWDM 基本网络单元设备	156
6.2.1	光终端复用设备 (OTM)	156
6.2.2	光线路放大设备 (OLA)	161
6.2.3	光分插复用设备 (OADM)	162
6.2.4	光交叉连接设备 (OXC)	163
6.3	DWDM 网络结构与保护	164
6.3.1	光传送网的分层	164
6.3.2	DWDM 网络结构	166
6.3.3	DWDM 自愈环网原理	167
6.3.4	DWDM 网络管理	170
6.4	DWDM 光网络在长途干线的应用	172
	习题	173
<b>第 7 章</b>	<b>光纤接入网</b>	<b>175</b>
7.1	光纤接入网的基本概念	175
7.1.1	接入网的界定与分层	175
7.1.2	光纤接入网基本网元设备	179
7.1.3	光纤接入网的拓扑结构	184
7.2	无源光网络 (PON) 接入网	185
7.2.1	PON 的种类	185
7.2.2	APON, GPON, EPON 接入技术比较	187
7.3	EPON 系统结构及原理	188
7.3.1	EPON 系统结构	188
7.3.2	EPON 系统的工作原理	189
7.3.3	EPON 帧结构	190
7.3.4	EPON 关键技术	191
7.3.5	EPON 基本网络单元设备	193
7.4	光纤接入网的应用	195
7.4.1	PON 接入网应用	195
7.4.2	TDD+TDM+TDMA 的 PON 的 OAN	196
7.4.3	混合拓扑结构的 HONET 接入网	197
	习题	199
<b>第 8 章</b>	<b>高速光纤计算机网</b>	<b>200</b>
8.1	光纤局域网概述	200
8.1.1	光纤局域网特点	201
8.1.2	光纤局域网拓扑结构与协议体系结构	201



8.1.3	光纤局域网的组成及基本设备功能	203
8.2	光纤分布式数据接口 (FDDI) 环网	208
8.2.1	FDDI 的技术特点及网络结构	208
8.2.2	FDDI 双环自愈网	209
8.2.3	FDDI 技术在校园主干网的应用	210
8.3	高速光纤以太网	211
8.3.1	100 Mb/s 光纤以太网	211
8.3.2	1 000 Mb/s 光纤以太网	211
8.3.3	10 Gb/s 光纤以太网	212
8.4	光互联网简介	212
8.4.1	光互联网的概念	212
8.4.2	光互联网的体系结构	215
	习题	215
<b>第 9 章</b>	<b>全光通信网</b>	<b>216</b>
9.1	全光通信网概述	216
9.1.1	全光通信网的基本概念	216
9.1.2	全光通信网的结构	217
9.1.3	全光通信网的特点	218
9.1.4	全光通信网的相关技术	218
9.2	光交换技术	220
9.2.1	光的电路交换技术	220
9.2.2	光的分组交换技术	223
9.2.3	光突发交换技术	224
9.2.4	光标记交换技术	226
9.3	自动交换光网络 (ASON)	226
9.3.1	ASON 的体系结构及主要功能	227
9.3.2	ASON 的主要特点	229
9.3.3	ASON 提供的 3 种连接	229
9.3.4	ASON 的网络结构模型	230
9.3.5	ASON 的标准化	231
9.3.6	ASON 的应用	232
	习题	234
	参考文献	235

# 第 1 章 概 论

从诞生光纤通信以来，一场持续的革命一直改变着世界的通信。人们所需的清晰、可靠、远距离、大容量通信能力，逐步变成了现实。这场革命的核心是用传输光信息的光纤来代替铜线电缆。今天的光纤通信已渗透到各种电信网络、数据网络、有线电视（CATV）网络和光互连网络等信息网络中，可以说，目前光纤通信已成为信息传输最重要的方式之一。现如今，只有对光纤通信系统与网络的传输性能和通信原理有足够的理解才能以较少的投入而获得高质量的通信。信息的高速传输使人们“决策帷幄中，致胜千里外”已不再是幻想。

## 1.1 光纤通信的发展简况

### 1.1.1 光纤通信的特点

光纤通信是以相干性和方向性极好的激光束作为载体来携带信息，并利用光纤来进行传输的通信方式。由于光纤的传光性能优异，传输带宽极大，现在已形成了以光纤通信为主，微波、卫星和电缆通信为辅的信息传输网络格局。

通信发展始终在追求两大目标，一是远距离传输，二是大容量通信。人们知道无论是无线电通信，还是有线电通信都是以电磁波为载体进行的，而电磁波的频谱很宽，其分布情况如图 1-1 所示。由图可见，无线电通信所用波段在波长为几厘米至几千米范围内。由通信理论可知，通信容量与电磁波频率成正比例增大，所以人们一直在探索将更高频率的电磁波用于通信技术。光纤通信中所用的光载波实质是人们所熟悉的、与无线电波相似的电磁波，其波长在 $\mu\text{m}$ 级，频率非常高，约为 $10^{14}$  Hz 量级。其频率比传统的电通信容量最高的“微波”段高 $10^4\sim 10^5$ 倍。目前光纤通信使用波长范围为 $0.85\sim 2.00\ \mu\text{m}$ ，采用的典型中心波长为 $0.85\ \mu\text{m}$ ， $1.31\ \mu\text{m}$ ， $1.55\ \mu\text{m}$ 和 $1.625\ \mu\text{m}$ 。

光纤通信与电缆或微波等通信方式相比，主要区别有二，一是用很高频率的光波作载波；二是用光纤作为传输介质。光纤具有传输容量大、传输损耗小、重量轻、不怕电磁干扰等一系列优点。基于此，光纤通信有以下明显的特点。

(1) 由于光波频率高，可供利用的频带极宽，尤其适合高速宽带信息的传输，在高速通信干线、宽带综合业务通信网络中，发挥着越来越大的作用。

(2) 由于光纤的传输损耗很低，现已做到 $0.2\ \text{dB/km}$ 以下，因而可以大大增加通信中继距离，这对于长途干线和海底传输十分有利。在采用了先进的相干光通信，光放大器和光孤子通信技术之后，无中继通信距离可提高到几百公里，甚至上千公里。

(3) 光纤传输是限制在光纤内的，光能几乎不会向外辐射，因此不存在光缆中各光纤

之间信号串扰，很难被窃听，信号传输质量高，保密性好。

(4) 光纤抗电磁干扰能力很强，这对于电气铁路和高压电力线附近的通信极为有利，也不怕雷击和其他工业设备的电磁干扰，因此在一些要求防爆的场合使用光纤通信是十分安全的。

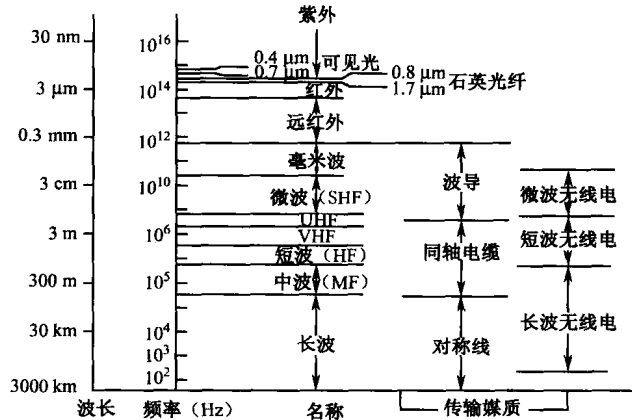


图 1-1 电磁波谱

(5) 光纤几何尺寸小，细如发丝，可绕性好，可多根成缆，便于敷设。光纤重量轻，特别适用于飞机、轮船、卫星和宇宙飞船。

(6) 光纤的化学性能稳定，耐化学侵蚀、抗高温、不打火花，适用于特殊环境。

(7) 光纤是石英玻璃拉制成形的，原料资源丰富，节约有色金属。

同时光纤通信也存在以下缺点：

(1) 光纤弯曲半径不宜过小，否则可能引起较大的衰减。

(2) 光纤的连接操作技术要求高，需专用设备。

(3) 光纤的分路、耦合操作较困难、烦琐。

应该指出，光纤通信的上述缺点，现已在一定程度上得到克服，它们不影响光纤通信的实用。表 1.1 和表 1.2 分别列出了光纤与几种电通信传输介质的特性比较及光纤通信应用场所。

表 1.1 光纤与几种电通信传输介质的特性比较

传输介质	带宽	衰减系数/(dB/km)	中继距离/(km)	敷设安装	接续
对称电缆	6 MHz	20 (注 1)	1~2	方便	方便
同轴电缆	400 MHz	19 (注 2)	1.6	方便	较方便
微波波导	40~120 MHz	2	10	特殊	特殊
光纤光缆	$\geq 10 \text{ GHz} \cdot \text{km}$	0.2~3	>50	方便	特殊

注 1：当传输信号频率为 4 MHz 时的值。

注 2：当传输信号频率为 60 MHz 时的值。

表 1.2 光纤的特点及其应用场合

光纤特点	应用场合
低衰减、宽频带	公用通信、计算机通信、有线电视图像传输
尺寸小、重量轻	飞机、导弹、航空航天、舰船内的通信控制
抗电磁干扰	电力及铁道通信, 交通控制信号, 核电站通信
耐化学侵蚀	油田、炼油厂、矿井等区域的通信

### 1.1.2 光纤通信的发展简史

众所周知, 光早已用于远距离通信, 如烽火台、信号灯等, 但早期所用光通信方法是原始的、落后的和不太可靠的。现代光通信概念是 1880 年提出的, A.G 贝尔研究出一个可以在可见光束上, 两百米距离内传送话音的光电话机装置, 其原理是用振动的话音声波调制阳光, 将已调光波通过镜面反射入大气传输至终端, 终端接收机将连续话音光信号通过光电池还原, 这个想法是真正意义上的光通信。但遗憾的是此技术不能实用。究其原因有二: 一是没有可靠的、高强度的光源; 二是没有稳定的、低损耗的传输媒质, 所以无法得到高质量的光通信。光纤通信及其技术是近几十年迅猛发展起来的高新技术, 它的诞生和发展, 给通信技术带来了划时代的革命。

1960 年, 梅曼 (T.H.Maiman) 发明了第一台相干振荡光源——红宝石激光器。激光器 (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Laser) 是基于物质原子、分子内能的变化而构成的光波振荡器。它可产生频谱纯度很高的激光。但气体和固体激光器体积大、效率低, 不适宜在通信中使用。

1962 年半导体激光器出现, 为光通信光源实用化带来了希望。1970 年, 首次研制出在室温下连续工作的双异质结半导体激光器, 为实用化通信光源奠定了基础。

1966 年, 华裔科学家高锟 (C.K.Kao) 根据介质波导理论提出光纤作为光通信传输媒质的概念, 由此高锟教授荣获 2009 年诺贝尔物理学奖。

1970 年, 美国康宁公司的 Maurer 等人首次研制出阶跃折射率多模光纤, 其在波长为 630 nm 处的衰减系数小于 20 dB/km; 同年美国贝尔实验室的 Hayashi 等人研制出室温下连续工作的 GaAlAs 双异质结注入式激光器。正是光纤和激光器这两个科研成果的同时问世, 拉开了光纤通信的序幕。到 70 年代末, 在 1310 nm 波长上, 光纤衰减系数已降至 4 dB/km; 在 1550 nm 波长上, 降至 0.20 dB/km, 已接近理论值。与此同时, 为促进光纤通信系统的实用化, 人们又及时地开发出适用于长波长的光源 (激光器、发光管) 和光检测器。应运而生的光纤成缆、光无源器件和性能测试及工程应用仪表等技术的日趋成熟, 都为光纤通信作为新的通信方式奠定了坚实的基础。

1976 年, 美国西屋电气公司在亚特兰大成功地进行了世界上第一个传输距离为 110 km 的 44.736 Mb/s 光纤通信系统的现场实验, 使光纤通信向实用化迈出了第一步。

我国自 70 年代初就已开始了光纤通信技术的研究, 1977 年, 武汉邮电科学研究院研制成功中国第一根阶跃折射率分布的、波长为 0.85  $\mu\text{m}$  的的衰减系数为 3 dB/km 多模光纤。后来又研制成功单模光纤、特殊光纤以及光通信设备。

1987 年底, 建成第一个国产的长途光通信系统, 由武汉至荆州, 全长约 250 km, 传输

34 Mb/s 信号，光缆采用架空方式。

1988 年起，国内光纤通信系统的应用由多模光纤转为单模光纤。

1993 年，我国与日本、美国三方投资建设的第一条大容量海底光缆正式开通，全长 1250 km，传输速率 560 Mb/s，可提供 7560 条电路，相当于原有的中日海底同轴电缆的 15 倍。

1999 年我国完成了“八纵八横”通信光缆工程，全长约 80000 km，如图 1-2 所示。它作为整个国家南北东西的主干通信网，使我国光纤通信水平迈上了新台阶。

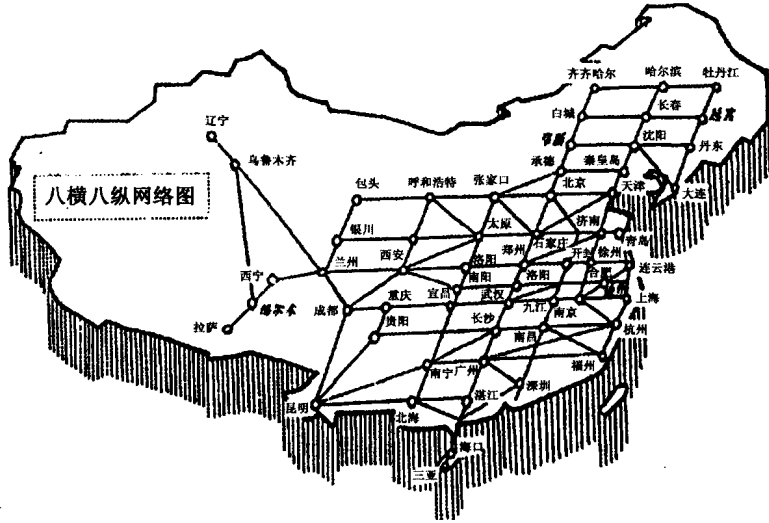


图 1-2 八纵八横光纤网络图

近年，着力解决全网瓶颈——将光纤接入网作为通信接入网的一部分，直接面向用户。提出“光进铜退”策略，即将光纤引入到千家万户，保证亿万用户的多媒体信息畅通无阻地进入信息高速公路。在网络传输的高速化方面，目前商用系统的速率已从 155.520 Mb/s 增加到 10 Gb/s，不少已达到 40 Gb/s，另外，速率达 160 Gb/s 和 640 Gb/s 的传输试验也获得成功。

光纤通信技术的问世与发展给世界通信业带来了一场变革。特别是 40 年间，光纤通信的研究和开发非常迅速：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。到目前为止光纤通信的发展可以粗略地分为四个阶段：

第一阶段（1966~1976 年），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（34 Mb/s 或 45 Mb/s）多模光纤通信系统，无中继传输距离约 10 km。

第二阶段（1976~1986 年），以提高传输速率和增加传输距离为研究目标，大力推广应用的大发展时期。在这个时期，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（1986~1996 年），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。

第四阶段（1996~2006 年），主要研究光纤通信新技术，例如，超大容量的密集波分复用技术使最高速率达到  $256 \times 40 \text{ Gb/s} = 10 \text{ Tb/s}$  和超长距离的光孤子通信技术。

目前人们正涉足第五阶段光纤通信系统的研究和开发，其至少具有四大特征：超宽带——单根光纤传输容量  $\text{Tb/s}$  以上；超长距离——光放大距离可达数千  $\text{km}$ ；光交换——克服电交换瓶颈；智能化——智能光网络技术。

## 1.2 光纤通信系统及发展现状

### 1.2.1 光纤通信系统模型

光纤通信系统可以传输数字信号也可以传输模拟信号，传输的可以是话音、图像、数据和多媒体业务等各类信息。目前实用的光纤通信系统，采用的是强度调制（IM）—直接检测（DD）的实现方式，由光发送设备、光纤传输线路、光接收设备和各种耦合器件等构成，其示意图如图 1-3 所示，现主要用于骨干（长途）网、本地网以及光纤接入网。

图 1-3 中所示的是一个方向的传输系统，反方向传输系统的结构与之相同。光纤通信系统中电发射机的作用是对来自信源的信号进行模/数转换和多路复用处理；光发射机（如激光器 LD 或发光二极管 LED）的作用是实现在电/光转换，即把电信号调制成光信号，送入光纤传输至远方；光接收机（如光电二极管 PIN 或 APD）的作用是实现在光/电转换，即把来自光纤的光信号还原成电信号，经放大、整形、再生恢复原形后，送至电接收机，完成数字信号的分接以及数/模转换，送至信宿。

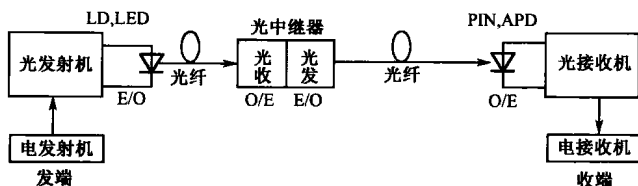


图 1-3 光纤通信系统示意图

对于长距离的光纤传输系统，中途还需要中继器，其作用是将经过光纤长距离衰减和畸变后的微弱光信号放大、整形、再生成具有一定强度的光信号，继续送向前方，以保证良好的通信质量。目前的中继器都采用光—电—光形式，即将接收到的光信号，用光电检测器变换为电信号，经放大、整形、再生后再调制光源，将电信号变换成光信号重新发出。近年来，适合作光中继器的光放大器（如掺铒光纤放大器）已进入商用。也就是说，采用光放大器的全光中继及全光网络将为期不远了。

### 1.2.2 光纤通信系统的现状

#### 1. 模拟光纤通信系统的现状

传输模拟信号的光纤通信系统称为模拟光纤通信系统，模拟光纤通信系统多应用于工

业控制和 CATV 网络，如用于工业监控的单路电视系统和用于 CATV 的多路光纤传输系统。多路光纤传输系统常用频分复用技术实现，目前已先后开发了 16 路、32 路、48 路、64 路和 128 路的光纤 CATV 传输系统，应用在光纤彩色闭路电视和广播电视传送方面。光纤 CATV 传输系统一般由信号源、前端、干线传输和用户分配网络几个部分组成，如图 1-4 所示。由于线性度好、调制带宽很宽的半导体激光器和高频线性补偿电路的研制成功，使光纤 CATV 传输系统得到了广泛应用。

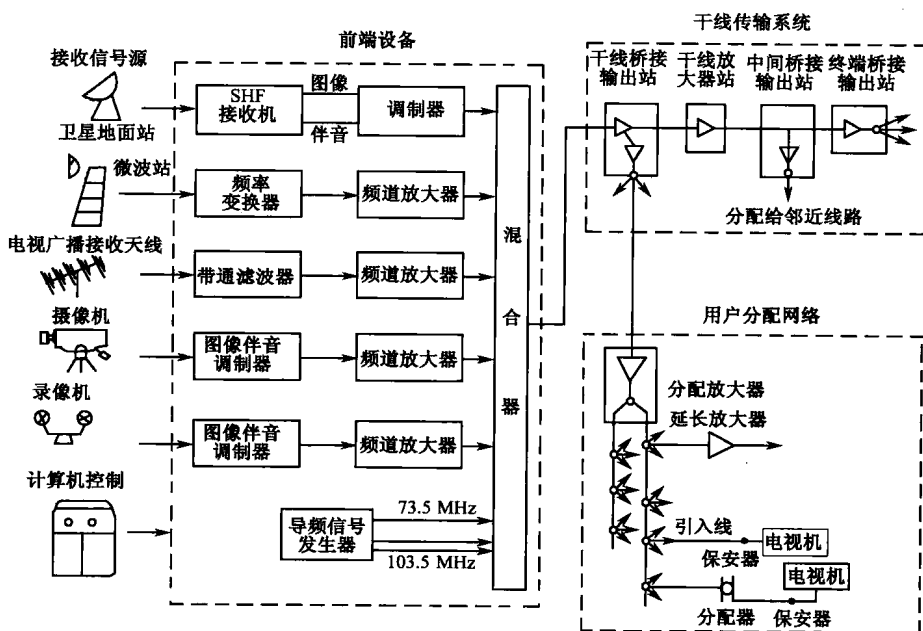


图 1-4 CATV 传输系统基本组成

## 2. 数字光纤通信系统的现状

传输数字信号的光纤通信系统称为数字光纤通信系统，数字光纤通信系统有 PDH 和 SDH 两种传输体制。我国采用的 PDH 传输体制的速率分四级，即基群速率为 2.048 Mb/s，2 次群速率为 8.448 Mb/s，3 次群速率为 34.368 Mb/s，4 次群速率为 139.264 Mb/s。SDH 传输体制的速率，是按同步传输模块 STM-N 系列来分的，即 STM-N ( $N=1, 4, 16, 64$ ) 速率为  $155.520 \times N$  Mb/s，亦即 STM-1 速率是 155.520 Mb/s，STM-4 速率是 622.080 Mb/s。根据所需传输容量选择同步数字传输系列等级，一般大中城市市内中继光纤通信系统选用 STM-64；小城市（镇）和乡村中继光纤通信系统既可选用 STM-4 或 STM-16，也可选 PDH 传输体制的 2 次群或 3 次群；长途干线光纤通信系统常用掺铒光纤放大器 EDFA 为光中继器，单一光波长的数字光纤通信系统，如图 1-5 所示。采用多波长复用的数字光纤通信系统称为密集波分复用（DWDM）系统。光波分复用是在一根光纤上传输多个光信道的光纤通信方式，充分利用了光纤带宽，有效扩展了通信容量，图 1-6 给出了一个 32 波分复用系统，即  $32 \times \text{STM-64}$  组成的光纤通信系统。

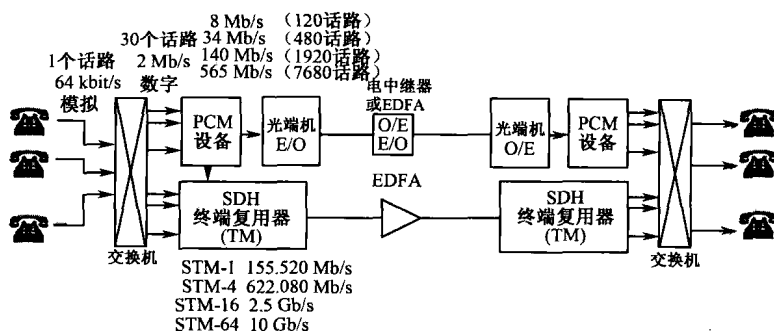


图 1-5 数字光纤通信系统原理图

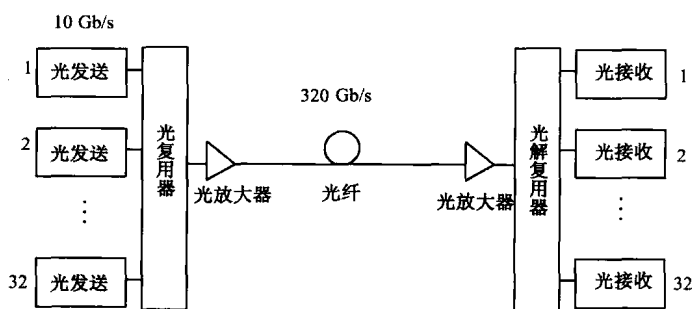


图 1-6 32×STM-64 DWDM 光纤通信系统原理图

## 1.3 光纤通信网络及现状

### 1.3.1 通信网概念

两用户间需要通信时，利用通信系统来完成，也就是说，欲让 A、B 两地的用户互相通信，必须在他们之间建立一个通信系统。对于离散分布的  $n$  个用户，若要让其中任意两用户能互相通信，最简单的方法是用传输线把各用户分别一一连接起来，这就需要建立  $n(n-1)/2$  个通信系统。此时，若自高空向地面俯视，可以看到有很多传输设备与传输线路纵横交错地分布在大地上，犹如罩着一个鱼网，故称为“通信网”。一个完整的通信网由用户终端设备、传输设备、交换设备和相应的信令、协议、标准等软件构成。通信网的基本拓扑结构图如图 1-7 所示，图中圆点代表网络节点，节点既可以是终端节点，如电话机、传真机、电视机、计算机等，也可以是网络节点，如交换机、传输设备、路由器和中继器等。节点之间由传输线连接在一起。

通信网的基本结构主要有网状、星状、复合型、环状和总线型等（见图 1-7）。将各类网型结合起来，网络的结构就会合理得多。网状网是完全互联网结构，需要传输系统多，利用率较低，但接续质量和网络稳定性好；具有  $N$  个节点的星状网共需  $(N-1)$  条传输系统，



显然,  $N$  值较大时会节省大量的传输系统; 复合型网兼备了网状网和星状网的优点; 环状和总线型这两种网络在计算机通信中应用较多。

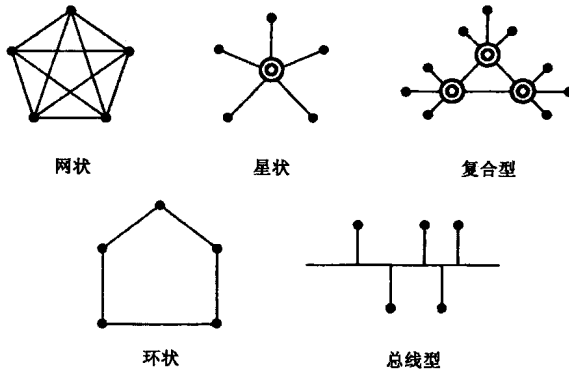


图 1-7 通信网的基本拓扑结构图

### 1.3.2 光纤通信网络模型

光纤通信网根据电信的业务来分, 有电话网、电报网、传真通信网、计算机数据网、图像通信网及有线电视网等; 按服务区域范围分为: 长途骨干网、本地网以及用户接入网。

一个完整光纤通信网络实质上是由用户终端设备、传输设备、交换设备和相应的信令、协议、标准、资费制度与质量标准等软件构成。

用户终端设备是以用户线为传输信道的终端设施, 也称为终端节点。

传输设备是为用户终端和业务网提供传输服务的电信终端, 主要包括数字复用、解复用设备和光收、发信机设备。

交换设备用于完成用户群内的各个用户终端之间通信线路的汇聚、转接和交换, 并控制信号的流向。交换设备的种类有: 源于电话通信的程控电话交换机、源于数据通信的分组交换机、源于宽带通信的 ATM 交换机、软交换机及全光通信中即将问世的光交换机等。

信令系统是通信网的神经系统。比如, 电话要接通, 必须传递和交换必要的信令, 完成各种呼叫处理、接续、控制与维护管理等功能。信令系统可使网络作为一个整体而正常运行, 有效完成任何用户之间的通信。

协议是通信网中用户与用户、用户与网络资源、用户与交换中心间完成通信或服务所必须遵循的规则和约定的共同“语言”。这种语言能使通信网正确控制、合理运行。

标准是由权威机构建议的协议, 是通信网应遵守的条款。

### 1.3.3 光纤通信网络现状

光纤通信网络不仅适用于电信业务网, 而且也广泛适用于有线电视网、计算机局域网、光互联网等信息网络。