


 全国普通高校通信工程专业规划教材

光传输与光接入技术

王岩 张猛 孙海欣 商微微 编著

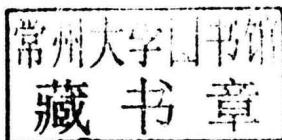
清华大学出版社



 全国普通高校通信工程专业规划教材

光传输与光接入技术

王岩 张猛 孙海欣 商微微 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

光传输与光接入技术虽然层出不穷,日趋成熟,但当今很少有一本新而全的教材可以被使用。为此,作者在编写本教材时,把以往的理论内容作为发展历史让学生增加感性认识,重点讲授当今流行的成熟技术,注意跟踪涉及光传输、光接入技术发展的新技术、新理论。本书注重理论与实验实践相结合,在理论介绍的基础上,加入实践环节,使读者能掌握工作岗位面临的实际问题。作者希望通过对本书内容的讲解,能使读者在光传输与光接入基本技术、光网络规划与建设、光网络设备的测试与管理以及系统的售前售后等方面有比较清晰的认识,对光传输、光接入方面的相关课程能提供一定的辅助作用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

光传输与光接入技术/王岩等编著. —北京:清华大学出版社,2018

(全国普通高校通信工程专业规划教材)

ISBN 978-7-302-48036-5

I. ①光… II. ①王… III. ①光传输技术—高等学校—教材 ②光纤通信—宽带通信系统—接入网—高等学校—教材 IV. ①TN818 ②TN915.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 207691 号

责任编辑:梁颖 薛阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.25 字 数:315千字

版 次:2018年7月第1版 印 次:2018年7月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:39.00元

产品编号:076527-01

前言

Foreword

随着电信业务向综合化、数字化、智能化、宽带化和个人化方向发展,人们对电信业务多样化的需求也不断提高,同时由于主干网上 SDH、ATM、无源光网络(PON)及 DWDM 技术的日益成熟和使用,通信技术进入了快速发展阶段。“光传输与接入技术”是电气信息类专业中通信工程等相关专业的一门重要的专业课程,也是很多学校通信与信息系统专业硕士研究生的专业课程,其目的是通过对该课程的学习,使学生掌握飞速发展的各种接入网技术的理论、标准以及协议,为以后从事接入网技术相关工作奠定基础。

本书共 8 章,第 1 章主要介绍光纤通信的基本概念、光纤通信系统的基本组成以及光纤通信技术的发展趋势;第 2 章主要讲解光网络中的主要光器件,其中重点说明了光纤的传输原理、导光模式、结构特点以及分类方法,另外也介绍了半导体激光器、光电检测器等常用光器件的作用及特点;第 3 章介绍光传输技术,主要讨论 SDH 技术基本概念以及映射、定位、复用的概念,介绍 SDH 网络的基本网元以及常见的拓扑结构,说明了光传送网的产生以及 OTN 设备的概念、特点等;第 4 章介绍基于 SDH 的光传输实训指导,其中以华为 OptiX 155/622H(METRO 1000)设备为主要实验对象,讲述 SDH 光传输点对点组网配置、SDH 链型组网配置、SDH 环形组网配置等实训实验的内容、方法以及步骤;第 5 章讲述光波分复用系统的原理、关键技术以及常用的 DWDM 网元类型,并分析了掺铒光纤放大器的工作原理和应用;第 6 章主要介绍光接入网的概念、参考模型、网络拓扑结构以及相关技术,讲述无源光接入网的概念、相关器件、网络组成、拓扑结构、技术及应用,重点说明了 EPON、GPON 的工作原理;第 7 章介绍基于 EPON 的光接入实训指导,其中以华为 EPON-MA5680T 设备为主要实验对象,说明了 EPON ONT 注册、EPON 数据业务、EPON 接入用户组网等实训实验的内容、方法以及步骤;第 8 章介绍光接入网的网络规划与设计,讨论了实际工程中包含的施工规范、设备安装以及光缆敷设等常见问题。

在本书的编写过程中结合了大量的国内外研究成果,希望读者通过对本书的学习可以对光传输与光接入原理、关键技术以及应用有一个全面的认识。本书在理论知识的基础上,加上了光传输、光接入的实验实训内容,对培养读者的思维能力、创新能力、科学精神以及利用光传输、光接入技术知识解决实际问题的能力有重要的意义。本书尽量避免繁杂的公式推导,力求文字简单明了,并结合大量的图表进行说明,希望可以做到深入浅出地讲解,方便读者学习。

参与本书编写的有王岩、张猛、孙海欣、商微微。在本书的编写过程中参考了大量

的国内外通信以及光传输与光接入方面的文献,已在参考文献中一一列出,在此表示诚挚的感谢。另外感谢深圳市讯方技术股份有限公司对本书的编写提供了专业的参考意见。也对为本书的编写工作提供过指导与帮助的同事和朋友表示感谢。

由于作者学术水平有限,书中存在不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2018年1月于长春

目录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 光纤通信概述	1
1.2 光纤通信系统	3
1.3 光纤通信技术的趋势及展望	6
第 2 章 光纤及光器件	9
2.1 光纤原理	9
2.1.1 光纤结构及原理	10
2.1.2 光纤的种类	11
2.2 光纤模式	14
2.2.1 传输模式	14
2.2.2 多模光纤和单模光纤	15
2.3 光纤特性	17
2.3.1 光纤的传输特性	17
2.3.2 光纤的机械特性和温度特性	23
2.4 光电器件发光原理	24
2.4.1 光的发射和激射原理	24
2.4.2 半导体 P-N 结和 P-N 结光源	25
2.5 光电器件类型	28
2.5.1 半导体发光器件	28
2.5.2 光电检测器	31
2.5.3 掺铒光纤放大器	32
第 3 章 SDH 传送网	35
3.1 SDH 基本概念	35
3.2 SDH 结构原理	38
3.2.1 SDH 帧结构	38

3.2.2	SDH 复用映射结构	40
3.2.3	映射、定位和复用的概念	47
3.3	SDH 网络	49
3.3.1	SDH 网络的常见网元	49
3.3.2	基本的网络拓扑结构	51
3.4	光传送网	53
3.4.1	光传送网的产生	53
3.4.2	OTN 的基本概念及特点	53
第 4 章	基于 SDH 的光传输实训指导	56
4.1	SDH 设备总体介绍	56
4.1.1	OptiX 155/622H(METRO 1000)设备介绍	57
4.1.2	单板类型	59
4.2	SDH 设备管理配置方法介绍	61
4.2.1	EB 平台的操作	62
4.2.2	命令行的学习	66
4.3	SDH 光接口参数测试实验	70
4.4	SDH 光传输点对点组网配置实验	73
4.5	SDH 链形组网配置实验	76
4.6	SDH 环形组网(通道环)配置实验	78
4.7	SDH 环形组网(复用段环)配置实验	81
4.8	以太网口业务配置实验	84
第 5 章	DWDM 波分复用网络	90
5.1	DWDM 原理概述	90
5.1.1	传统的网络扩容技术	90
5.1.2	DWDM 技术	91
5.2	DWDM 关键技术	94
5.2.1	光源	94
5.2.2	光复用/解复用器件	97
5.3	掺铒光纤放大器	101
5.3.1	EDFA 的工作原理	101
5.3.2	EDFA 的应用	103
5.3.3	EDFA 的局限性	106
5.4	光纤拉曼放大器	106
5.5	DWDM 网元	108
5.5.1	DWDM 网元设备	108

5.5.2	DWDM 网元性质	112
5.5.3	DWDM 网络保护	117
第 6 章	EPON 接入网	121
6.1	接入网的概念	121
6.2	光纤接入网	123
6.2.1	光纤接入网定义	123
6.2.2	光纤接入网的拓扑结构	124
6.3	无源光网络	126
6.3.1	PON 技术概述	126
6.3.2	PON 系统模型	128
6.3.3	FTTx 业务模型	129
6.4	EPON 接入网	132
6.4.1	EPON 的信息流	132
6.4.2	EPON 的硬件实现	133
6.4.3	EPON 的关键技术	134
6.4.4	EPON 的前景展望	138
6.5	GPON 接入网	138
6.5.1	GTC 成帧技术分析	139
6.5.2	OLT 与 ONU 的定时关系	144
6.5.3	GTC 成帧技术在 GPON 系统中的应用	149
6.5.4	GPON 成帧技术与 EPON 成帧技术的区别	150
第 7 章	基于 EPON 的光接入实训指导	151
7.1	EPON 设备总体介绍	151
7.1.1	EPON-MA5680T 产品介绍	151
7.1.2	EPON-MA5680T 硬件结构	156
7.1.3	基本操作	158
7.2	EPON 管理环境搭建	165
7.3	EPON ONT 注册实验	168
7.4	EPON 数据业务实验	172
7.5	BRAS 的配置	174
7.6	EPON 接入用户组网实验	183
7.7	EPON 组播业务实验	185
7.8	EPON 安全管理实验	188
7.9	EPON FTTH 组网实验	191

第 8 章 网络规划与设计	194
8.1 接入光缆网的架构	194
8.1.1 接入光缆网目标架构	195
8.1.2 接入光缆网层次划分和定义	196
8.1.3 接入光缆网规划原则	197
8.2 FTTH 组网	200
8.2.1 组网概论	200
8.2.2 已建住宅建筑举例	201
8.3 设备施工规范	208
8.3.1 OLT 安装施工	208
8.3.2 ODF 以及交换箱的安装施工	209
8.3.3 光分路器箱施工	209
8.4 线缆布放	210
8.4.1 管道光缆的敷设	211
8.4.2 埋式光缆的敷设	211
8.4.3 楼道墙壁光缆的敷设	212
8.5 光缆施工	213
8.5.1 光缆施工过程	213
8.5.2 光纤工程的熔接与测试	215
8.5.3 光缆敷设	216
参考文献	219

第1章

绪 论

1.1 光纤通信概述

就广义的光通信而言,人们对它并不陌生,古时候就有烽火台传递军情,还有利用火光、灯光、镜子反射太阳光等发送信号或传递信息,现代海军还在使用旗语和信号探照灯进行有限距离的联络。不论是哪一种,都是由发信端做某种动作,而接收端用视觉确认其意义来达到传输信息的目的。现代通信所要传递的信息,要比这些复杂得多。早在1880年,以发明电话而著名的贝尔就曾发明了一种以太阳光为媒介、以空气为介质的光电话装置,通话距离达到213m。贝尔称这是他“最伟大的发明”。

后来,采用弧光灯作为光源,光的强度增加并且稳定了,通信距离得到延长,可以达到数千米,这是最初的光通信形式。以后,随着光电管和放大器的出现,促成了采用在发送端对光源(灯泡或弧光灯)的明暗度进行电调制、在接收端用光电管接收光信号后复原成电信号并进行放大的办法。这种办法是在发送端将要传送的电信号转换成光信号,使之能以光的形式传送,而在接收端通过光检波器再恢复为电信号。这种方式已经跟现在的光传输基本形式相同了。但由于光源和介质的原因,很难得到发展。使用灯泡作光源,调制速度是有限的,大概只能载运一路或稍多一点儿的音频信号。另外,传输距离也因光束发散而受到限制,更何况光在空气中传播,还要受到散射或吸收而遭受衰减。1960年激光器问世后,情况出现了变化。激光器发出的光不论在时间上还是在空间上相位都是一致的,因而光束发散的情况得到显著改善;同时,激光的调制速度也可达到超高速的程度。同时,激光器的发展速度很快,特别是半导体激光器的商用化使光通信的光源问题有了突破性的发展。但是,以空气作为传输介质,由于天气和环境的影响造成的衰减仍然不可避免,同时由于光传播的方向性极强,使

光通信受到地理条件的限制,这就迫使人们寻求建立专门的光传输通道。其间,科学家们研究过介质薄膜波导、射束波导(透镜列、反射镜列、气体透镜列)等各种传输线路,虽然都有实验成果,但都很难达到实用化的目标。1966年,英籍华人科学家高锟,根据介质波导理论,提出用光纤建立光通道,并指出用石英玻璃等材料制造的光导纤维,其光功率的衰减可低达 20dB/km ,这就预示采用光纤进行传输的中继距离完全可能达到千米级的水平。1970年,美国贝尔实验室与英国电信研究所与美国康宁玻璃公司合作研制成功衰减为 20dB/km 的石英光纤。从此引发了一场通信技术的革命,因此,人们称 1970 年为光纤传输元年。

围绕着光纤通信,各种配套技术(包括低损耗、低色散光纤的制造技术、大容量的光电端机、光纤测量技术、接续技术、传输线路元器件的研制等)也有很大的提高和完善。同时,性能优于石英玻璃的光纤材料的研究也在向实用化发展。例如,氟化物光纤理论上已证实可以将石英光纤的损耗值降低到 $1/100$ 以下,如果达到实用化,将对光通信产生极大影响。

光纤通信之所以会得到快速的发展,是因为它具有许多突出的优点。最明显的优点是制造光纤的材料是地球上含量最丰富的二氧化硅(SiO_2),这样就节省了大量价格昂贵的有色金属——铜。更重要的是光纤通信具有极大的传输容量和极远的传输距离。这适应了现代社会信息化发展的需要,满足了高速率、超远距离信息传输的要求。除此之外,光纤通信还有抗干扰性好、重量轻、抗辐射、抗腐蚀、保密性能好等优点。这些都是过去金属导线传输线路所难以达到的。

光——实质上就是频率极高的电磁波。电磁波的频谱很宽(如图 1.1 所示),其中波长为 $10^{-3} \sim 10^3 \mu\text{m}$,频率为 $10^{11} \sim 10^{17} \text{Hz}$,包括有红外线、可见光、紫外线的热辐射,通常将它们合称为光。现阶段通信用光波是波长为 $0.7 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 的电磁波,频率为 $10^{14} \sim 10^{15} \text{Hz}$ 。和微波通信相比,微波的载频为 $10^9 \sim 10^{11} \text{Hz}$,光载频比微波大 $10^4 \sim 10^5$ 倍,因此,容量也要大 $10^4 \sim 10^5$ 倍。光波是通信的最后一个频段,目前在技术上能够使用的频段还很少,因此,光波通信还具有很大的开发潜力。不同波长的光波可选用不同媒质的光纤,目前我们使用的是以 SiO_2 为主体的石英光纤,这种光纤适于波长

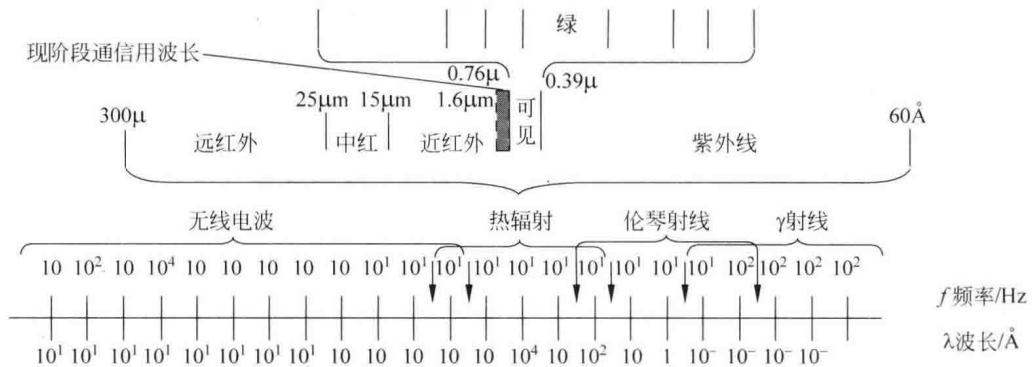


图 1.1 电磁光谱图

小于 $3\mu\text{m}$ 的光波传输,但传输损耗不可能小于 $0.1\text{dB}/\text{km}$ 。而有实验表明,使用以 As_2O_3 (氧化砷)为主体的光纤,适于波长为 $3\sim 20\mu\text{m}$ 的光波传输,损耗已达到 $0.01\text{dB}/\text{km}$;氟化物光纤的损耗甚至可达到 $0.001\text{dB}/\text{km}$ 。因此,可以断定,在今后相当长的时间内,光通信将是信息技术研究和发展的主要领域。

光从一种介质射到另一种介质,在两种介质的交界面上会发生折射和反射,如图 1.2 所示。图中, Z 为两种介质的交界面, X 为交界面的法线。入射线、反射线、折射线各在 K_1 、 K'_1 、 K_2 方向; θ_1 为入射角, θ'_1 为反射角, θ_2 为折射角, θ_c 称为临界角。入射线、反射线、折射线在同一平面内。 n_1 、 n_2 分别为介质 1 和介质 2 的折射率。

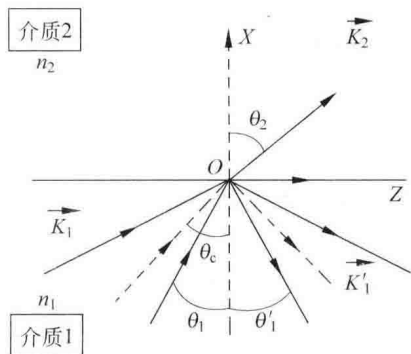


图 1.2 光的反射与折射原理

根据斯涅耳定律: $\theta_1 = \theta'_1$,也就是说,入射角等于反射角,叫做反射定律。 $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$,这就是折射定律。

当 $n_1 > n_2$ 时,也就是光从光密媒质进入光疏媒质时,折射角 $\theta_2 > \theta_1$;射线离开法线而折射。当 $\theta_2 = 90^\circ$ 时,射线不再进入第二种媒质,此时入射角为 θ_c ;而且 $\sin\theta_c = n_2/n_1$, $\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$ 也就称为临界角,这就是全反射现象。当入射角等于临界角时,光波的能量就不再进入第二种媒质,而沿交界面传送,入射角再加大,能量就全部返回第一种媒质,在第一种媒质中传送,而且入射角等于反射角,这就是全反射的产生条件。光纤正是利用这一全反射原理,将光波限制在纤芯中传送的。

1.2 光纤通信系统

光纤是光导纤维的简称。光纤通信是以光波为载频,以光导纤维为传输媒质的一种通信方式。光纤通信使用的波长在近红外区,即波长为 $800\sim 1800\text{nm}$,可分为短波长波段(850nm)和长波长波段(1310nm 和 1550nm),这是目前所采用的 3 个通信窗口。

光纤通信是人类通信史上一重大突破,现今的光纤通信已成为信息社会的神经系统,其主要优点是:

(1) 光波频率很高,光纤传输频带很宽,故传输容量很大,理论上可通过上亿门话

路或上万套电视,可进行图像、数据、传真、控制、打印等多种业务。

(2) 损耗小,中继距离长。

(3) 不受电磁干扰,保密性好,且不怕雷击,可利用高压电缆架空敷设,用于国防、铁路、防爆等。

(4) 耐高温、高压、抗腐蚀,不受潮,工作十分可靠。

(5) 光纤材料来源丰富,可节约大量有色金属(如铜、铝),且直径小、重量轻、可挠性好,便于安装和使用。

在 20 世纪 70 年代,光纤通信由起步到逐渐成熟,这首先表现为光纤的传输质量大大提高,光纤的传输损耗逐年下降。1972—1973 年,在 850nm 波段,光纤的传输损耗已下降到 2dB/km 左右;与此同时,光纤的带宽不断增加。光纤的生产从带宽较窄的阶跃型折射率光纤转向带宽较大的渐变型折射率光纤;另外,光源的寿命不断增加,光源和光检测器件的性能也不断改善。

光纤和光学器件的发展为光纤传输系统的诞生创造了有利条件。到 1976 年,第一条速率为 44.7MB/s 的光纤通信系统在美国亚特兰大的地下管道中诞生。20 世纪 80 年代是光纤通信大发展的年代。在这个时期,光纤通信迅速由 850nm 波段转向 1310nm 波段,由多模光纤传输系统转向单模光纤传输系统。通过理论分析和实践摸索,人们发现,在较长波段光纤的损耗可以达到更小的值。经过科学家和工程技术人员的努力,很快在 1300nm 和 1500nm 波段分别实现了损耗为 0.5dB/km 和 0.2dB/km 的极低损耗的光纤传输。同时,石英光纤在 1300nm 波段时色度色散为零,这就促使 1300nm 波段单模光纤通信系统的迅速发展。各种速率的光纤通信系统如雨后春笋般在世界各地建立起来,显示出光纤通信优越的性能和强大的竞争力,并很快替代电缆通信,成为电信网中重要的传输手段。

光纤通信技术的发展,大致可以分为 3 个阶段。

第一阶段(1970—1979 年):光导纤维与半导体激光器的研制成功,使光纤通信进入实用化。1977 年美国亚特兰大的光纤市话局间中继系统称为世界上第一个光纤通信系统。

第二阶段(1979—1989 年):光纤技术取得进一步突破,光纤损耗降至 0.5dBm/km 以下。由多模光纤转向单模光纤,由短波长向长波长转移。数字系统的速率不断提高,光纤连接技术与器件寿命问题都得到解决,光纤传输系统与光缆线路建设逐渐进入高速发展时期。

第三阶段(1989 年至今):光纤数字系统由准同步数字体系(plesiochronous digital hierarchy,PDH)向同步数字体系(synchronous digital hierarchy,SDH)过渡,传输速率进一步提高。1989 年掺铒光纤放大器(erbium-doped fiber amplifier,EDFA)的问世给光纤通信技术带来了巨大变革。EDFA 的应用不仅解决了长途光纤传输损耗的放大问题,而且为光源的外调制、波分复用器件、色散补偿元件等提供能量补偿,这些网络元件的应用,又使得光传输系统的调制速率迅速提高,并促成了光波分复用技术的实用化。

随着我国国民经济建设的持续、快速发展,电信业务的种类越来越多,信息传送的需求量也越来越大,我国光通信的产业规模不断壮大,产品结构覆盖了光纤传输设备、

光纤与光缆、光器件以及各类施工、测试仪表与专用工具。可以展望：光纤通信作为一高新技术产业，将以更快的速度发展，光纤通信技术将逐步普及，光纤通信的应用领域将更加广阔。

一个实用的光纤通信系统，要配置各种功能的电路、设备和辅助设施才能投入运行。如接口电路、复用设备、管理系统以及供电设施等等。根据用户需求、要传送的业务种类和所采用传送体制的技术水平等来确定具体的系统结构。因此，光纤通信系统结构的形式是多种多样的，但其基本结构仍然是确定的。图 1.3 给出了光纤通信系统的基本结构，也可称之为原理模型。

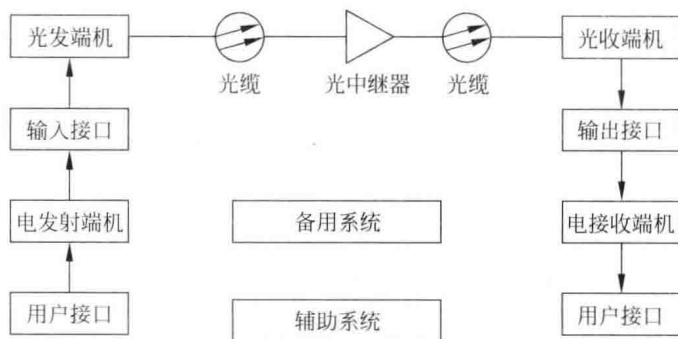


图 1.3 光纤通信系统模型

光纤通信系统主要由 3 部分组成：光发射机、传输光纤和光接收机。其电/光和光/电变换的基本方式是直接强度调制和直接检波。实现过程如下：输入电信号既可以是模拟信号（如视频信号、电话语音信号），也可以是数字信号（如计算机数据、PCM 编码信号）；调制器将输入的电信号转换成适合驱动光源器件的电流信号并用来驱动光源器件，对光源器件进行直接强度调制，完成电/光变换的功能；光源输出的光信号直接耦合到传输光纤中，经一定长度的光纤传输后送达接收端；在接收端，光电检测器对输入的光信号进行直接检波，将光信号转换成相应的电信号，再经过放大恢复等电处理过程，以弥补线路传输过程中带来的信号损伤（如损耗、波形畸变），最后输出和原始输入信号相一致的电信号，从而完成整个传送过程。

根据所使用的光波长、传输信号形式、传输光纤类型和光接收方式的不同，光纤通信系统可分成以下多种形式。

(1) 按光波长划分，如表 1.1 所示。

表 1.1 短波长和长波长光纤通信系统

类别	特点
短波长光纤通信系统	工作波长为 800~900nm；中继距离 ≤ 10 km
长波长光纤通信系统	工作波长为 1000~1600nm；中继距离 > 100 km
超长波长光纤通信系统	工作波长 ≥ 2000 nm；中继距离 ≥ 1000 km；采用非石英光纤

(2) 按光纤特点划分,如表 1.2 所示。

表 1.2 多模和单模光纤通信系统

类 别	特 点
多模光纤通信系统	传输容量 $\leq 100\text{Mb/s}$; 传输损耗较高
单模光纤通信系统	传输容量 $\geq 140\text{Mb/s}$; 传输损耗较低

(3) 按传输信号形式划分,如表 1.3 所示。

表 1.3 数字和模拟光纤通信系统

类 别	特 点
数字光纤通信系统	传输数字信号; 抗干扰; 可中继
模拟光纤通信系统	传输模拟信号; 短距离; 成本低

(4) 按光调制的方式划分,如表 1.4 所示。

表 1.4 直接检测和外差光纤通信系统

类 别	特 点
强度调制直接检测系统	简单、经济,但通信容量受到限制
外差光纤通信系统	技术难度大,传输容量大

(5) 其他划分方式,如表 1.5 所示。

表 1.5 复用类光纤通信系统

类 别	特 点
相干光纤通信系统	光接收灵敏度高; 光频率选择性好; 设备复杂
光波分复用通信系统	一根光纤中传送多个单/双向波长; 超大容量,经济效益好
光时分复用通信系统	可实现超高速传输; 技术先进
全光通信系统	传送过程无光电变换; 具有光交换功能; 通信质量高
副载波复用光纤通信系统	数模混传; 频带宽,成本低; 对光源线性度要求高
光孤子通信系统	传输速率高,中继距离长; 设计复杂
量子光通信系统	量子信息论在光通信中的应用

1.3 光纤通信技术的趋势及展望

目前在光通信领域有几个发展热点即超高速传输系统、超大容量波分复用(wavelength division multiplexing, WDM)系统、光传送网技术、新一代光纤、光互联网络(IPover Optical)以及光接入网技术。

1. 向超高速系统的发展

目前 10Gb/s 系统已开始大批量装备网络,主要在北美,在欧洲、日本和澳大利亚也已开始大量应用。但是,10Gb/s 系统对于光缆极化模色散比较敏感,而已经铺设的光缆并不一定都能满足开通和使用 10Gb/s 系统的要求,需要实际测试,验证合格后才能安装开通。它的比较现实的出路是转向光的复用方式。光复用方式有很多种,但目前只有波分复用(WDM)方式进入了大规模商用阶段,而其他方式尚处于试验研究阶段。

2. 向超大容量 WDM 系统的发展

采用电的时分复用系统的扩容潜力已尽,然而光纤的 200nm 可用带宽资源利用率低于 1%,还有 99%的资源尚待发掘。如果将多个发送波长适当错开的光源信号同时在一级光纤上传送,则可大大增加光纤的信息传输容量,这就是波分复用(WDM)的基本思路。基于 WDM 应用的巨大好处及近几年来技术上的重大突破和市场的驱动,波分复用系统发展十分迅速。目前全球实际铺设的 WDM 系统已超过 3000 个,而实用化系统的最大容量已达 320Gb/s($2 \times 16 \times 10\text{Gb/s}$),美国朗讯公司已宣布将推出 80 个波长的 WDM 系统,其总容量可达 200Gb/s($80 \times 2.5\text{Gb/s}$)或 400Gb/s($40 \times 10\text{Gb/s}$)。实验室的最高水平则已达到 2.6Tb/s($13 \times 20\text{Gb/s}$)。预计不久的将来,实用化系统的容量即可达到 1Tb/s 的水平。

3. 实现光联网

上述实用化的波分复用系统技术尽管具有巨大的传输容量,但基本上是以点到点通信为基础的系统,其灵活性和可靠性还不够理想。如果在光路上也能实现类似 SDH 在电路上的分插功能和交叉连接功能的话,无疑将增加新一层的威力。根据这一基本思路,光联网既可以实现超大容量光网络和网络扩展性、重构性、透明性,又允许网络的节点数和业务量的不断增长、互连任何系统和不同制式的信号。

由于光联网具有潜在的巨大优势,美欧日等发达国家投入了大量的人力、物力和财力进行预研,特别是美国国防部预研局(DARPA)资助了一系列光联网项目。光联网已经成为继 SDH 电联网以后的又一新的光通信发展高潮。建设一个最大透明的、高度灵活的和超大容量的国家骨干光网络,不仅可以为未来的国家信息基础设施(national information infrastructure, NII)奠定一个坚实的物理基础,而且也对我国下一世纪的信息产业和国民经济的腾飞以及国家的安全有极其重要的战略意义。

4. 开发新型的光纤

传统的 G.652 单模光纤在适应上述超高速长距离传送网络的发展需要方面已暴露出力不从心的态势,开发新型光纤已成为开发下一代网络基础设施的重要组成部分。目前,为了适应干线网和城域网的不同发展需要,已出现了两种不同的新型光纤,

即非零色散光纤(G. 655 光纤)和无水吸收峰光纤(全波光纤)。其中,全波光纤将是以后开发的重点,也是现在研究的热点。从长远来看,宽带无源光网络(broadband passive optical network,BPON)技术无可争议地将是未来宽带接入技术的发展方向,但从当前技术发展、成本及应用需求的实际状况看,它距离实现广泛应用于电信接入网络这一最终目标还会有一个较长的发展过程。

5. IP over SDH 与 Ip over Optical

以 IP 业务为主的数据业务是当前世界信息业发展的主要推动力,因而能否有效地支持 IP 业务已成为新技术能否有长远技术寿命的标志。目前,ATM 和 SDH 均能支持 IP,分别称为 IP over ATM 和 IP over SDH,两者各有千秋。但从长远看,当 IP 业务量逐渐增加,需要高于 2.4Gb/s 的链路容量时,则有可能最终会省掉中间的 SDH 层,IP 直接在光路上跑,形成十分简单统一的 IP 网结构——IP over Optical。3 种 IP 传送技术都将在电信网发展的不同时期和网络的不同部分发挥自己应有的历史作用。但从面向未来的视角看,IP over Optical 将是最具长远生命力的技术。特别是随着 IP 业务逐渐成为网络的主导业务后,这种对 IP 业务最理想的传送技术将会成为未来网络特别是骨干网的主导传送技术。

6. 解决全网瓶颈的手段——光接入网

近几年,网络的核心部分发生了翻天覆地的变化,无论是交换,还是传输都已更新了好几代。不久,网络的这一部分将成为全数字化的、软件主宰和控制的、高度集成和智能化的网络,而另一方面,现存的接入网仍然是被双绞线铜线主宰的(90%以上)、原始落后的模拟系统。两者在技术上存在巨大的反差,制约全网的进一步发展。为了能从根本上彻底解决这一问题,必须大力发展光接入网技术。因为光接入网有以下几个优点:

- ① 减少维护管理费用和故障率;
- ② 配合本地网络结构的调整,减少节点,扩大覆盖;
- ③ 充分利用光纤化所带来的一系列好处;
- ④ 建设透明光网络,迎接多媒体时代。

总之,今后随着社会经济的不断发展,作为经济发展先导的信息需求也必然不断增长,一定会超过现有网络能力,推动通信网络的继续发展。因此,光纤通信技术在应用需求的推动下,一定会不断地发展。