

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

光纤通信

吴凤修 主编

- 针对性强，用通俗语言阐述光纤通信基本原理
- 技能性强，理论与实训结合具有指导实际作用
- 知识点新，用最新技术描绘光纤通信未来发展



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

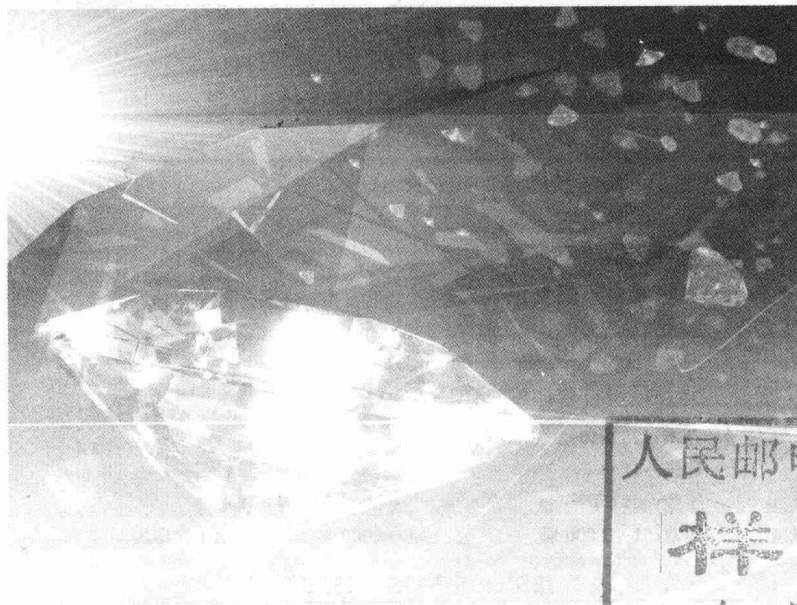
中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

光纤通信

吴凤修 主编



人民邮电出版社

样书

专用章

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信 / 吴凤修主编. —北京: 人民邮电出版社,
2009. 4
21世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-19332-2

I. 光… II. 吴… III. 光纤通信—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 (2009) 第005537号

内 容 提 要

本书根据高职教育的特点并结合职业技能鉴定的要求编写, 力求通俗易懂、深入浅出、循序渐进。本书的突出特点在于对实际维护工作具有很强的指导作用, 重在实训技能的训练。

本书共 7 章, 内容包括光纤通信概述、光纤和光缆、通信用光器件、光端机、光纤通信系统设计及目前光纤通信涉及的新技术, 最后介绍了光纤通信实训方面应掌握的相关知识。

本书既可作为高职院校通信类专业的教材, 也可作为各类通信培训班的培训教材, 还可作为参加技能鉴定的参考用书。

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

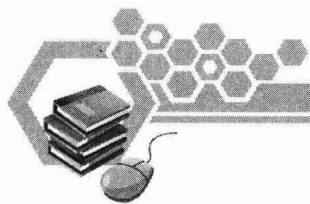
光纤通信

-
- ◆ 主 编 吴凤修
责任编辑 滑 玉
执行编辑 刘 博
 - ◆ 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>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 11
字数: 277 千字 2009 年 4 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19332-2/TN

定价: 21.00 元

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

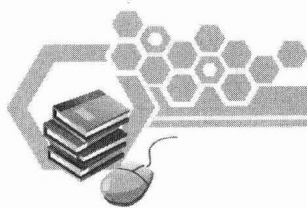


编 委 会

(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



我国的通信业务不断拓展，通信市场逐步开放竞争，要求从业人员的素质不断提高，企业的竞争力不断增强。高等职业教育的目标是培养数以万计的技能型人才和数以亿计的高素质劳动者，必须坚持以服务为宗旨，以就业为导向，面向社会、面向市场办学。

为了适应高职教育的发展特点及高职教育的培养目标，并让读者全面系统地了解光纤通信在实际工作中的应用，我们在总结十几年教学经验的基础上，编写了《光纤通信》这本教学用书。本书力求通俗易懂、深入浅出、循序渐进，重在实训技能的训练，对光纤通信实际维护工作具有很强的指导作用，可作为各类通信培训班的用书及参加技能鉴定的参考用书。

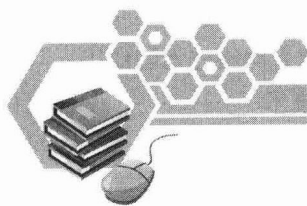
本书第1章光纤通信概述，介绍光纤通信的发展，光纤通信系统的基本组成、特点及其发展趋势。第2章光纤和光缆，介绍光纤的结构，光纤的导光原理，光纤的特性，光缆的结构及分类。第3章通信用光器件，介绍光源、光电检测器的工作原理、基本结构、工作特性，以及无源光器件。第4章光端机，介绍光发射机、光接收机的功能、电路组成和工作原理，包括常用线路码型，常用光端机等内容。第5章光纤通信系统设计，介绍光纤通信系统的设计及应用实例。第6章光纤通信的新技术，介绍光纤通信的新技术，包括密集波分复用（DWDM）、光接入网、以太网无源光网络（EPON）、相关光通信、光孤子技术、全光通信网。第7章光纤通信实训，介绍 OTDR 的使用及功能，光灵敏度测试，抖动测试，误码测试等。

通过本书的学习，可以掌握光纤通信的原理、组成，光电器件，光端，光纤通信的设计、码型，常用测试仪表及功能、测试指标等。

由于通信发展迅猛，而作者编写教材的经验不足，书中难免有疏漏之处，望读者提出宝贵意见，以便进一步提高。

编者

2008年12月



第 1 章 光纤通信概述	1	3.1.2 半导体激光器 (LD)	39
1.1 光纤通信的发展现状	1	3.1.3 发光二极管 (LED)	44
1.1.1 光纤通信发展的里程碑	2	3.1.4 半导体光源的应用	46
1.1.2 光纤通信发展的实质性突破	2	3.2 光电检测器	46
1.1.3 光纤通信爆炸性的发展	2	3.2.1 光电检测器的工作原理	46
1.2 光纤通信的光波波谱	3	3.2.2 PIN 光电二极管	47
1.3 光纤通信系统的基本组成与分类	4	3.2.3 雪崩光电二极管 (APD)	48
1.3.1 光纤通信系统的基本组成	4	3.2.4 光电检测器的特性	49
1.3.2 光纤通信系统的分类	4	3.3 无源光器件	50
1.4 光纤通信的特点与应用	6	3.3.1 光纤连接器	50
1.4.1 光纤通信的特点	6	3.3.2 光衰减器	52
1.4.2 光纤通信的应用	7	3.3.3 光分路耦合器	52
1.5 光纤通信的发展趋势	8	3.3.4 光隔离器与光环行器	53
本章小结	10	3.3.5 波长转换器	55
思考题与练习题	10	3.3.6 光开关	56
第 2 章 光纤和光缆	11	3.3.7 光滤波器	56
2.1 光纤的结构和类型	11	3.3.8 光纤光栅	56
2.1.1 光纤的结构	12	本章小结	56
2.1.2 光纤的分类	13	思考题与练习题	57
2.2 光纤的导光原理	16	第 4 章 光端机	58
2.3 光纤的特性	18	4.1 光发送机	59
2.3.1 光纤的几何特性	18	4.1.1 光发送机的基本组成	59
2.3.2 光纤的光学特性	19	4.1.2 光源的调制	61
2.3.3 光纤的传输特性	20	4.1.3 调制电路及自动功率控制	63
2.4 光缆的结构和种类	25	4.1.4 温度特性及自动温度控制	65
2.4.1 光缆的结构	25	4.2 光接收机	66
2.4.2 光缆的种类	30	4.2.1 光接收机的基本组成	66
2.4.3 光缆的型号和规格	32	4.2.2 光接收机的噪声特性	68
本章小结	34	4.2.3 光接收机的主要指标	69
思考题与练习题	34	4.3 光中继器	70
第 3 章 通信用光器件	35	4.3.1 光电中继器	71
3.1 光源	36	4.3.2 全光中继器	71
3.1.1 激光器的工作原理	36	4.4 光线路编码	72



4.5 格林威 8M 光端机设备介绍	76	6.3.1 以太无源光网络概述	107
本章小结	79	6.3.2 以太无源光网络技术的应用	108
思考题与练习题	79	6.4 相干光通信技术	111
第 5 章 光纤通信系统设计	80	6.5 光孤子通信技术	114
5.1 损耗受限系统设计	81	6.6 全光通信网	116
5.2 色散受限系统设计	82	本章小结	118
5.3 应用举例	83	思考题与练习题	119
本章小结	84	第 7 章 光纤通信实训	120
思考题与练习题	84	7.1 2M 塞绳的制作	121
第 6 章 光纤通信的新技术	85	7.2 用背向散射法测量光纤的衰减和 光纤的长度	122
6.1 密集波分复用技术	85	7.3 光纤通信设备的参观与认识	129
6.1.1 密集波分复用概述	86	7.4 光端机电性能参数测试	130
6.1.2 DWDM 系统结构	89	7.5 光端机平均发送光功率和消光比的 测试	136
6.2 光接入技术	93	7.6 光端机接收灵敏度和动态范围的 测试	139
6.2.1 光接入网的基本概念	93	7.7 光纤通信系统误码性能的测试	142
6.2.2 无源光网络 (PON) 的 应用类型与组网	95	7.8 光纤通信系统抖动性能的测试	159
6.2.3 PON 的业务支持能力	97	本章小结	165
6.2.4 数字环路载波	97	思考题与练习题	165
6.2.5 混合光纤同轴网	99	附录 缩略词表	167
6.2.6 固定无线接入	102		
6.3 以太无源光网络	107		

第1章

光纤通信概述

本章内容

- 光纤通信的发展现状
- 光纤通信的光波波谱
- 光纤通信系统的基本组成与分类
- 光纤通信的特点与应用
- 光纤通信的发展趋势

本章重点

- 光纤通信系统的基本组成
- 光纤通信的特点

本章难点

- 光纤通信的光波波谱

本章学时数

- 2 课时

学习本章目的和要求

- 掌握光纤通信的概念
- 了解光纤通信的产生以及发展
- 掌握光纤通信的组成以及特点

1.1 光纤通信的发展现状

随着社会的不断进步,通信向大容量、长距离方向发展成为必然的趋势。由于光波具有极高的频率(大约 10^{14}Hz),也就是说具有极高的带宽,从而可以承载巨大容量的信息,所以用光波作为载体来进行通信一直是人们几百年来追求的目标。



1.1.1 光纤通信发展的里程碑

1966年7月, 英籍华裔学者高锟博士在 Proc.IEE 杂志上发表了一篇十分著名的论文《用于光频的光纤表面波导》, 该文从理论上分析证明了用光纤作为传输介质以实现光通信的可能性, 设计了通信用光纤的波导结构, 更重要的是科学地预言了制造通信用低损耗光纤的可能性, 即通过加强原材料提纯、加入适当的掺杂剂, 可把光纤的衰减系数降低到 20dB/km 以下。而当时世界上只能制造用于工业、医学方面的光纤, 其衰减系数在 1 000dB/km 以上。在当时, 对于制造衰减系数在 20dB/km 以下的光纤, 被认为是可望而不可及的。以后的事实发展雄辩地证明了高锟博士论文的理论性和科学大胆预言的正确性, 所以该文被誉为光纤通信的里程碑。

1.1.2 光纤通信发展的实质性突破

1970年美国康宁公司根据高锟论文的设计, 用改进型化学汽相沉积法 (MCVD 法) 制造出当时世界上第一根超低损耗光纤, 成为光纤通信爆炸性发展的导火线。虽然当时康宁公司制造出的光纤只有几米长, 衰减系数约 20dB/km, 但它毕竟证明了用当时的科学技术与工艺方法制造通信用超低损耗光纤的可能性, 也就是说找到了实现低损耗传输光波的理想介质, 这是光纤通信的重大实质性突破。

1.1.3 光纤通信爆炸性的发展

自 1970 年以后, 世界各发达国家对光纤通信的研究倾注了大量的人力与物力, 其来势之汹涌、规模之大、速度之快远远超出了人们的意料, 从而使光纤通信技术取得了极其惊人的进展。

1. 光纤损耗

1970年: 20dB/km; 1972年: 4dB/km; 1974年: 1.1dB/km; 1976年: 0.5dB/km; 1979年: 0.2dB/km; 1990年: 0.14dB/km, 它已经接近石英光纤的理论损耗极限值 0.1dB/km。

2. 光器件

1970年, 美国贝尔实验室研制出世界上第一只在室温下连续波工作的砷化镓铝半导体激光器, 为光纤通信找到了合适的光源器件。后来逐渐发展到性能更好、寿命达几万小时的异质结条形激光器和现在的寿命达几十万小时分布反馈式单纵模激光器 (DFB) 以及多量子阱激光器 (MQW)。光接收器件也从简单的硅 PD 光电二极管发展到量子效率达 90% 以上的 III-V 族雪崩光电二极管 APD。

3. 光纤通信系统

正是光纤制造技术和光电器件制造技术的飞速发展, 以及大规模、超大规模集成电路技术和微处理器技术的发展, 带动了光纤通信系统从小容量到大容量、从短距离到长距离、从旧体制



(PDH)到新体制(SDH)的迅猛发展。1976年,美国在亚特兰大开通了世界上第一个实用化光纤通信系统,码速率仅为45Mbit/s,中继距离为10km。1985年,140Mbit/s多模光纤通信系统商用化,并着手单模光纤通信系统的现场试验工作。1990年,565Mbit/s单模光纤通信系统迅速进入商用化阶段,并着手进行零色散移位光纤、波分复用及相干光通信的现场试验,而且已经陆续制定了同步数字体系(SDH)的技术标准。1993年,622Mbit/s的SDH产品商用化。1995年,2.5Gbit/s的SDH产品商用化。1998年,10Gbit/s的SDH产品商用化;同年,以2.5Gbit/s为基群、总容量为20Gbit/s和40Gbit/s的密集波分复用系统(DWDM)商用化。2000年,以10Gbit/s为基群、总容量为320Gbit/s的DWDM系统商用化。此外,在智能光网络ION、光分插复用器OADM、光交叉连接设备OXC等方面也正在取得巨大进展。光纤通信不同于有线电通信,后者是利用金属介质传输信号,光纤通信则是利用透明的光纤传输光波。虽然光和电都是电磁波,但频率范围相差很大。一般通信电缆最高使用频率约9~24MHz(注,1MHz=10⁶Hz),光纤工作频率在10¹⁴~10¹⁵Hz之间。

总之,从1970年到现在虽然只有短短三十几年的时间,但光纤通信技术却取得了极其惊人的进展。用带宽极宽的光波作为传送信息的载体以实现通信,这一几百年来人们梦寐以求的幻想在今天已成为现实。然而就目前的光纤通信而言,其实际应用仅是其潜在能力的2%左右,尚有巨大的潜力等待人们去开发利用。因此,光纤通信技术并未停滞不前,而是向更高水平、更高阶段发展。

1.2 光纤通信的光波波谱

光波是电磁波,其频率比无线电波中的微波频率高10⁴~10⁵倍,光波范围包括红外线、可见光、紫外线,其波长范围为:300~6×10⁻³μm,光波中除可见光外,红外线、紫外线等均为人眼看不见的光。可见光是由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种颜色的连续光波组成,其波长范围为:0.76~0.39μm,其中红光的波长最长,紫光的波长最短。波长为0.76~300μm属于红外线,它又可以划分为近红外、中红外、远红外。波长为0.39~6×10⁻³μm的电磁波称为紫外线。波长再短就是X射线,γ射线。

光纤通信的波谱在1.67×10¹⁴~3.75×10¹⁴Hz之间,即波长在0.8~1.8μm之间,属于红外波段,将0.8~0.9μm称为短波长,1.0~1.8μm称为长波长,2.0μm以上称为超长波长,如图1-1所示,换算公式如表1-1所示。

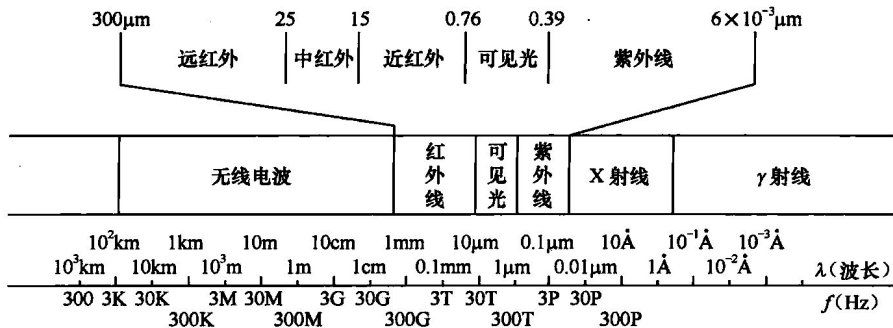


图 1-1 电磁波波谱图



表 1-1

换算公式

$c=3\times 10^8\text{m/s}$	1MHz (兆赫) = 10^6Hz
$\lambda=c/f$	1GHz (吉赫) = 10^9Hz
1 μm (微米) = 10^{-6}m	1THz (太赫) = 10^{12}Hz
1nm (纳米) = 10^{-9}m	1PHz (拍赫) = 10^{15}Hz
1Å (埃) = 10^{-10}m	

1.3 光纤通信系统的基本组成与分类

本节将介绍光纤通信系统的 3 个组成部分以及每一部分的作用，同时讲解光纤通信系统按不同应用形式的分类。

1.3.1 光纤通信系统的基本组成

所谓光纤通信，就是以光波为载波，以光纤为传输介质的通信方式。要使光波成为携带信息的载体，必须在发射端对其进行调制，而在接收端把信息从光波中检测出来（解调）。就目前技术水平，大部分采用强度调制与直接检测方式（IM-DD）。

光纤通信的三个传输窗口是：0.85 μm （短波长窗口）、1.31 μm 、1.55 μm （长波长窗口）。数字光纤通信系统方框图如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出，数字光纤通信系统基本上由光发射机、光纤、光接收机组成。

在发射端，电端机把模拟信息（如语音）进行模/数转换，用转换后的数字信号去调制发射机中的光源器件（一般是半导体激光器 LD），则光源器件就会发出携带信息的光波。如当数字信号为“1”时，光源器件发射一个“传号”光脉冲；当数字信号为“0”时，光源器件发射一个“空号”（不发光）。光发射机的作用就是把数字化的信息码流（如 PCM 语音信号）转换成光信号脉冲码流并输入到光纤中进行传输。

光波经光纤传输后到达接收端。

在接收端，光接收机把数字信号从光波中检测出来送给电端机，而电端机再进行数/模转换，恢复成原来的模拟信息。光接收机的作用就是进行光/电转换，把数字电信号（通信信息）从微弱的光信号中检测出来，并经过放大、均衡后再生出波形整齐的电脉冲信号。就这样完成了一次通信的全过程。

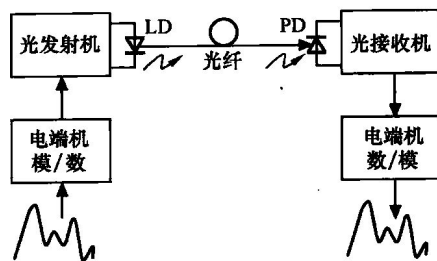


图 1-2 数字光纤通信系统方框图

1.3.2 光纤通信系统的分类

光纤通信系统可以根据系统所使用的传输信号形式、传输光的波长和光纤的类型、光接收和发送方式进行不同的分类。



1. 按传输信号分类

按传输信号可以分为模拟系统和数字系统两类。

(1) 数字光纤通信系统

数字光纤通信系统是光纤通信的主要通信方式。数字通信的优点是抗干扰能力强,使用再生技术时噪声积累少,易于集成以减少设备的体积和功耗,转接交换方便,利于与计算机结合等。数字通信的缺点是所占的频率宽,而光纤的带宽比金属传输线要宽许多,弥补了数字通信所占带宽的缺点。光纤通信在接收和发送时,在光电转换过程中所产生的散粒效应噪声和非线性失真较大。但若采用数字通信,中继器采用判决再生技术,则噪声积累少。因此,光纤通信采用数字传输成了最有利的技术。目前在人类社会进入信息社会的时代,各国在公用通信网中的长途干线 and 市内局间中继线路均纷纷采用数字光纤通信系统作主要方式,以便实现传输网的数字化。

(2) 模拟光纤通信系统

在光纤通信系统中,若输入电信号不采用脉冲编码信号的通信系统即为模拟光纤通信系统,这种系统的缺点是由于光电变换时噪声较大。在长距离传输时,采用中间增音站将使噪声积累,故只能应用在短距离传输线路上。在公用通信网中的用户网中,可用这种方式传输宽带视频信号。

模拟光纤通信最主要的优点,是不需要数字系统中的模-数和数-模转换,故比较经济。而且一个电视信号如采用数字通信方式,且不用频带压缩,140Mbit/s 的系统只能通一个电视信号。在目前的技术情况下,为了在用户网传送多路宽带业务(如 CATV),采用频率调制频分复用的模拟光纤通信方式。

如果只传输一个基带信号,则将此信号直接送到光发送机进行光强度调制即可,但传输距离可能只几 km。如果希望在较长距离上传输,则要先采用脉冲频率调制,然后再送到光发送机进行光强调制。由于采用 FPM 调制后,改善了传输信噪比,故中继距离可达 20km 以上,而且可以加装中间再生中继器,其传输总长度可达 50~100km。

2. 按波长和光纤类型分类

按波长和光纤类型可分为四类:

(1) 短波长(0.85 μm 左右)多模光纤通信系统

其通信容量一般为 480 路以下(速率在 34Mbit/s 以下),其中继段长度为 10km 以内,其发送光源为 GaAlAs 半导体激光器或发光二极管,其接收机的光电探测器为 Si-PIN 光电二极管或 Si-APD 雪崩管。

(2) 长波长(1.3 μm)多模光纤通信系统

其通信速率一般为 34~140Mbit/s,其中继距离为 25km 或 20km 以内,其所用光源为 InGaAsP 半导体多模激光器或发光二极管,其光电检测器为 Ge-APD 或 InGaAs-PIN 二极管和 InGaAs-APD。

(3) 长波长(1.3 μm)单模光纤通信系统

其通信速率一般为 140~565Mbit/s,其中继距离可达 30~50km(140 Mbit/s),其光源为 InGaAsP 单纵模激光器,这种激光器在直流工作时为单纵模,但在高速调制时为多模。

(4) 长波长(1.55 μm)单模光纤通信系统

其通信速率一般为 565Mbit/s 以上,由于调制速率高会产生模分配噪声限制了大容量长中继距离的传输,因此要采用零色散位移光纤和动态单纵模激光器。



1.4 光纤通信的特点与应用

光纤通信得以广泛的应用和发展,是由它自身的特点所决定的,它在目前的通信领域得到广泛的应用。

1.4.1 光纤通信的特点

光纤通信之所以受到人们的极大重视,是因为和其他通信手段相比,它具有无与伦比的优越性。

1. 通信容量大

从理论上讲,一根仅有头发丝粗细的光纤可以同时传输 100 亿个话路。虽然目前远未达到如此高的传输容量,但用一根光纤同时传输 50 万个话路(40Gbit/s)的试验已经取得成功,它比传统的同轴电缆、微波等的传输容量要高出几千乃至几十万倍以上。一根光纤的传输容量如此巨大,而一根光缆中可以包括几十根直至上千根光纤,如果再加上波分复用技术把一根光纤当作几十根、几百根光纤使用,其通信容量之大就更加惊人了。

2. 中继距离长

由于光纤具有极低的衰减系数(目前已达 0.25dB/km 以下),若配以适当的光发射、光接收设备以及光放大器,可使其中继距离达数百千米以上甚至数千千米。这是传统的电缆(1.5km)、微波(50km)等根本无法与之相比拟的。

3. 保密性能好

光波在光纤中传输时只在其芯区进行,基本上没有光“泄漏”出去,因此其保密性能极好。

4. 适应能力强

适应能力强是指它不怕外界强电磁场的干扰、耐腐蚀、可挠性强(弯曲半径大于 250mm 时其性能不受影响)等。

5. 体积小、重量轻、便于施工和维护

光缆的敷设方式方便灵活,既可以直埋、管道敷设,又可以水底或架空敷设。

6. 原材料来源丰富,潜在价格低廉

制造石英光纤的最基本原材料是二氧化硅,而二氧化硅在大自然界中几乎是取之不尽、用之不竭的,因此其潜在价格是十分低廉的。

7. 光纤通信同样也存在着的自身的缺点

- (1) 需要光电变换部分
- (2) 光直接放大难



- (3) 电力传输困难
- (4) 弯曲半径不宜太小
- (5) 需要高级的切断接续技术
- (6) 分路耦合不方便

元件昂贵, 光纤质地脆、弯曲半径大、易因屈曲而损毁、机械强度低、布线时需要小心及需要专门的切割及连接工具, 光纤的接续、分路及耦合比铜线麻烦等, 但这些都不是严重的问题, 随着科技的发展这些问题都可以获得解决。

1.4.2 光纤通信的应用

人类社会现在已发展到了信息社会, 声音、图像和数据等信息的流量非常大。以前的通信手段已经不能满足现在的要求, 而光纤通信以其信息容量大、保密性好、重量轻体积小、中继段距离长等优点得到广泛应用。其应用领域遍及通信、交通、工业、医疗、教育、航空航天和计算机等行业, 并正在向更广更深的层次发展。光及光纤的应用正给人类的生活带来深刻的影响与变革, 光纤通信是当今世界上发展最快的领域之一, 也是我国与国际先进水平差距最小的一个领域。光纤通信首先应用于市内电话局之间的光纤中继线路, 继而广泛地用于长途干线上, 成为宽带通信的基础。光纤通信尤其适用于国家之间大容量、远距离的通信, 包括国内沿海通信和国际间长距离海底光纤通信。目前, 各国还在进一步研究、开发用于广大用户接入网上的光纤通信系统。光纤通信网可以分成三个层次, 一是长途干线网, 它是远距离的, 即长途网; 二是一个大城市里有很多的光纤的用户, 他们组成了一个城市网, 即城域网; 三是还有到用户手里, 比如一个单位、一个大楼、一个家庭, 就叫做本地网, 也就是接入网。光纤通信的应用主要体现在以下几个方面。

1. 光纤在公用电信网间作为传输线: 由于光纤损耗低, 容量大, 直径小, 重量轻, 敷设容易, 所以特别适应作市内电话中继线及长途干线线路, 这是光纤的主要应用场合。

2. 局域网中的应用: 这是一种把计算机和智能终端机通过光纤连接起来, 实现工厂、办公室、家庭自动化的局部地区数字信息网。

3. 光纤宽带综合业务数字网及光纤用户线: 光纤通信的发展方向是把光纤直接通往千家万户, 实现公用信息传输网, 在我国已敷设了光纤长途干线及光纤市话中继线, 目前除发展光纤局域网外, 还要建设和发展光纤宽带综合业务数字网以及光纤用户线。光纤宽带综合业务数字网除开办传统的电话、高速数据通信外, 还开办可视电话、可视会议电话、远程服务以及闭路电视、高质量的立体声广播等业务。

4. 作为危险环境下的通信线: 诸如发电厂、化工厂、石油库等场所, 对于防强电、防敷设、防危险化工产品流散、防火灾、防爆炸是非常重要的, 因为光纤不导电, 没有短路危险, 通信容量大, 最适合这类系统。

5. 满足不同网络层面的应用: 为适应光传送网向更高速率、更大容量、更长距离方向发展, 光纤通信不同层次网络对光纤要求也不尽相同。在核心网层面、城域网、局域网层面, 光纤通信都得到了广泛的应用。

6. 应用于专用通信网: 光纤通信主要应用于电力系统通信网、公路、铁路、矿山等专网, 例如电力系统是我国专用通信网中规模较大、发展较为完善的专网。随着通信网络光纤化进程的加速, 我国电力专用通信网在很多地区已经基本完成了从主干线到接入网向光纤过渡的过程。目前,



电力系统光纤通信承载的业务主要有语音、数据、宽带业务、IP 等常规电信业务；电力生产专业业务有保护、安全自动装置和电力市场化所需的宽带数据等。可以说，光纤通信已经成为电力系统安全稳定运行以及电力系统生产生活中不可缺少的一个重要组成部分。

1.5 光纤通信的发展趋势

在国外光纤通信的研究起步不久，我国于 20 世纪 70 年代初就开始了光纤通信的基础研究。在光纤光缆、光电器件和光电端机取得阶段性研究成果的基础上，70 年代末就进行了光纤通信系统现场试验。80 年代主要进行实用化攻关，完成了武汉市话中继实用化工程，武汉—荆州多模光缆 34Mbit/s 省内干线工程，扬州—高邮、成都—灌县单模光缆 34Mbit/s 省内干线工程和合肥—芜湖 140Mbit/s 单模光缆一级干线工程，为大规模推广应用打下了基础。90 年代初期，我国就开始了光纤通信系统的大量建设，市话中继、省内干线、国家干线，包括农村通信都用光缆逐渐取代电缆，建设现代化的电信网，完成了“八纵八横”国家干线。这八纵八横干线主要是采用 PDH 140Mbit/s 系统，随着市场的需要和建设的进步，逐渐采用了 SDH 622Mbit/s 和 2.5Gbit/s 系统。

在光纤研制方面，我国对国际上现有的光纤类型都在跟踪研究并有了成果，武汉邮科院和长飞公司研制的非零色散位移光纤已经实用。其他如色散补偿光纤、偏振保持光纤、掺铒光纤、数据光纤、塑料光纤等均能达到生产水平。

光有源器件的研制在掺铒光纤激光器、主动锁模光纤环形激光器、被动锁模光纤环形激光器、光纤光栅激光器、增益平坦 EDFA、高增益低噪声 EDFA、掺铒光纤均衡放大器、DFB-LD 与 EA 型外调制器的集成器件等方面都有显著进展。

目前光无源器件研制的热点在于光纤光栅做成各种光无源器件等方面。

光传输设备和系统的研究进展更快，对光 CDMA、光 ATM 交换机、光孤子传输等研究也有很大进展。

光纤通信的发展方向主要表现在以下几个方面。

1. 向超高速系统发展

从过去 20 多年的电信发展史看，网络容量的需求和传输速率的提高一直是一对主要矛盾。传统光纤通信的发展始终按照电的时分复用（TDM）方式进行，每当传输速率提高 4 倍，传输每比特的成本大约下降 30%~40%，因而高比特率系统的经济效益大致按指数规律增长，这就是光纤通信系统的传输速率在过去 20 多年来一直在持续增加的根本原因。目前商用系统已从 45Mbit/s 增加到 10Gbit/s，其速率在 20 年时间里增加了 200 多倍，比同期微电子技术的集成度增加速度还快得多。高速系统的出现不仅增加了业务传输容量，而且也为各种各样的新业务，特别是宽带业务和多媒体业务提供了实现的可能。目前 10Gbit/s 系统已开始大批量装备网络，全世界安装的终端和中继器已超过 5 000 个，主要在北美，在欧洲、日本和澳大利亚也已开始大量应用。我国也将在近期开始现场试验。

2. 向超大容量 WDM 系统演进

如前所述的采用电的时分复用系统的扩容潜力已尽，然而光纤的 200nm 可用带宽资源仅仅利用了不到 1%，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根光纤上传送，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。采用波



分复用系统的主要好处是：(1) 可以充分利用光纤的巨大带宽资源，使容量可以迅速扩大几倍至上百倍；(2) 在大容量长途传输时可以节约大量光纤和再生器，从而大大降低了传输成本；(3) 与信号速率及电调制方式无关，是引入宽带新业务的方便手段；(4) 利用 WDM 网络实现网络交换和恢复可望实现未来透明的、具有高度生存性的光联网。可以认为近两年来超大容量密集波分复用系统的发展是光纤通信发展史上的又一里程碑，不仅开发了光传输链路的容量，而且也成为 IP 业务爆炸式发展的催化剂和下一代光传送网灵活光节点的基础。

3. 向光传送网方向发展

未来的高速通信网将是光传送网。预计在未来 10 年内的超高速网络中，若继续采用原来网络的 DXC 和 ATM DXC 设备，节点设备将变得复杂且实现难度很大，超高速带来的经济效益将被反复转接所抵消，唯一的解决方法是走向光传送网，即在未来的骨干传送网的主要节点引入光分/插复用器 (OADM) 和光交叉连接设备 (OXC)。20 世纪 90 年代初期，为了网络的可靠，在光纤通信网中引入了自愈环。国外在 1995 年就引入了 DWDM 建设国家干线。我国 1998 年建设了武汉—西安（进口）和济南—青岛（国产）两条 DWDM 干线。各省市也在用 WDM 规划本地网的升级。大城市城域网也在计划引入 OADM，形成 DWDM 环，以增加本地网的灵活性和可靠性。我国的长途骨干网也将逐步引入 OADM 和 OXC，逐渐形成长途 DWDM 环，组成光传送网。光传送网具有超大容量（80~320Gbit/s），可消除电节点设备的瓶颈，网络很容易扩展，允许节点数和业务量不断增长，并具有可重构性。光传送网的透明性好，允许混合不同体制、格式和速率的信号，能够互联现有系统及任何未来的新系统，光网络还能够实现快速恢复，恢复时间为 10~100ms，比电网络恢复快 2 到 4 个量级。光传送网络已经成为继 SDH 网络以后的又一次新的光通信发展高潮，其标准化工作已于 1999 年基本完成，其设备的商用化时间在 2000 年以后。

4. 向 G.655 光纤发展

近几年来随着 IP 业务量的爆炸式增长，电信网正开始向下一代可持续发展的方向发展，而构筑具有巨大传输容量的光纤基础设施是下一代网络的物理基础。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）。非零色散光纤（G.655 光纤）的基本设计思想是在 1550 窗口工作波长区具有合理的较低色散，足以支持 10Gbit/s 的长距离传输而无须色散补偿，从而节省了色散补偿器及其附加光放大器的成本；同时，其色散值又保持非零特性，具有一起码的最小数值（如 $2\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ 以上），足以压制四波混合和交叉相位调制等非线性影响，适宜开通具有足够多波长的 DWDM 系统，同时满足 TDM 和 DWDM 两种发展方向的需要。为了达到上述目的，可以将零色散点移向短波长侧（通常 1510~1520nm 范围）或长波长侧，使之在 1550nm 附近的工作波长区呈现一定大小的色散值以满足上述要求。典型 G.655 光纤在 1550nm 波长区的色散值为 G.652 光纤的 $1/6\sim 1/7$ ，因此色散补偿距离也大致为 G.652 光纤的 6~7 倍，色散补偿成本（包括光放大器，色散补偿器和安装调试）远低于 G.652 光纤。全波光纤与长途网相比，城域网面临更加复杂多变的业务环境，要直接支持大用户，因而需要频繁的业务量疏导和带宽管理能力。但其传输距离却很短，通常只有 50~80km，因而很少应用光纤放大器，光纤色散也不是问题。显然，在这样的应用环境下，怎样才能最经济



有效地使业务量上下光纤成为网络设计至关重要的因素。采用具有数百个复用波长的高密集波分复用技术将是一项很有前途的解决方案。此时,可以将各种不同速率的业务量分配给不同的波长在光路上进行业务量的选路和分插。在这类应用中,开发具有尽可能宽的可用波段的光纤成为关键。目前影响可用波段的主要因素是 1385nm 附近的水吸收峰,因而若能设法消除这一水峰,则光纤的可用频谱可望大大扩展。全波光纤就是在这种形势下诞生的。

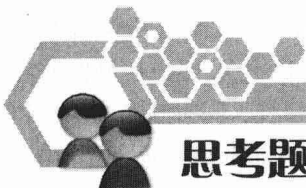
5. 向宽带光纤接入网方向发展

接入网是信息高速公路的最后一公里。以铜线组成的接入网是宽带信号传输的瓶颈。为适应电信发展的需要,我国正在加紧改造和建设接入网,逐渐用光纤取代铜线,将光纤向家庭延伸。信息时代对电信的要求,除了提供窄带语音和低速数据外,还要求提供高速宽带业务,如计算机和因特网所需的高速数据、多媒体、VOD、远程医疗诊断、远程教学、居家办公、家庭银行以及交互式图像传输和高清晰度电视等。因此现在建设的接入网一方面要满足当前业务的需要,另一方面还要便于向宽带业务升级。实现宽带接入网有各种不同的解决方案,有基于铜线双绞线的 xDSL,基于同轴电缆的 HFC,光纤接入 (FTTx) 以及无线接入 (WLL) 等。其中光纤接入是最能适应未来发展的解决方案,以 ATM 为基础的无源光纤网 (ATM-PON) 已被证明是当前一种经济有效而较成熟的方案。另外,吉比特以太网也可能作为一种宽带接入技术发挥作用。在宽带业务发展的初期,采用 FTTC/B 将光纤引入用户附近,利用已有的铜线双绞线和 xDSL 技术,将宽带信号送入用户,是一种经济的方案。特别是宽带 PON 加上低速率 ADSL 是当前最有竞争力和推广价值的方案。从窄带向宽带发展,光纤与铜线、同轴电缆及无线相结合,因地制宜地发展宽带接入网,逐渐将光纤向用户延伸,最终实现光纤到家庭,是接入网的发展方向。



本章小结

本章介绍了光纤通信技术的产生背景、发展、应用等情况,重点介绍了光纤通信的概念、光纤通信的组成、光纤通信的优缺点,通过本章的学习为后续课程打好基础。



思考题与练习题

- 1-1 什么是光纤通信?
- 1-2 光纤通信的 3 个传输窗口是什么?
- 1-3 光纤通信系统分为哪几类?
- 1-4 光纤通信有哪些特点?
- 1-5 光纤通信向哪些方向发展?