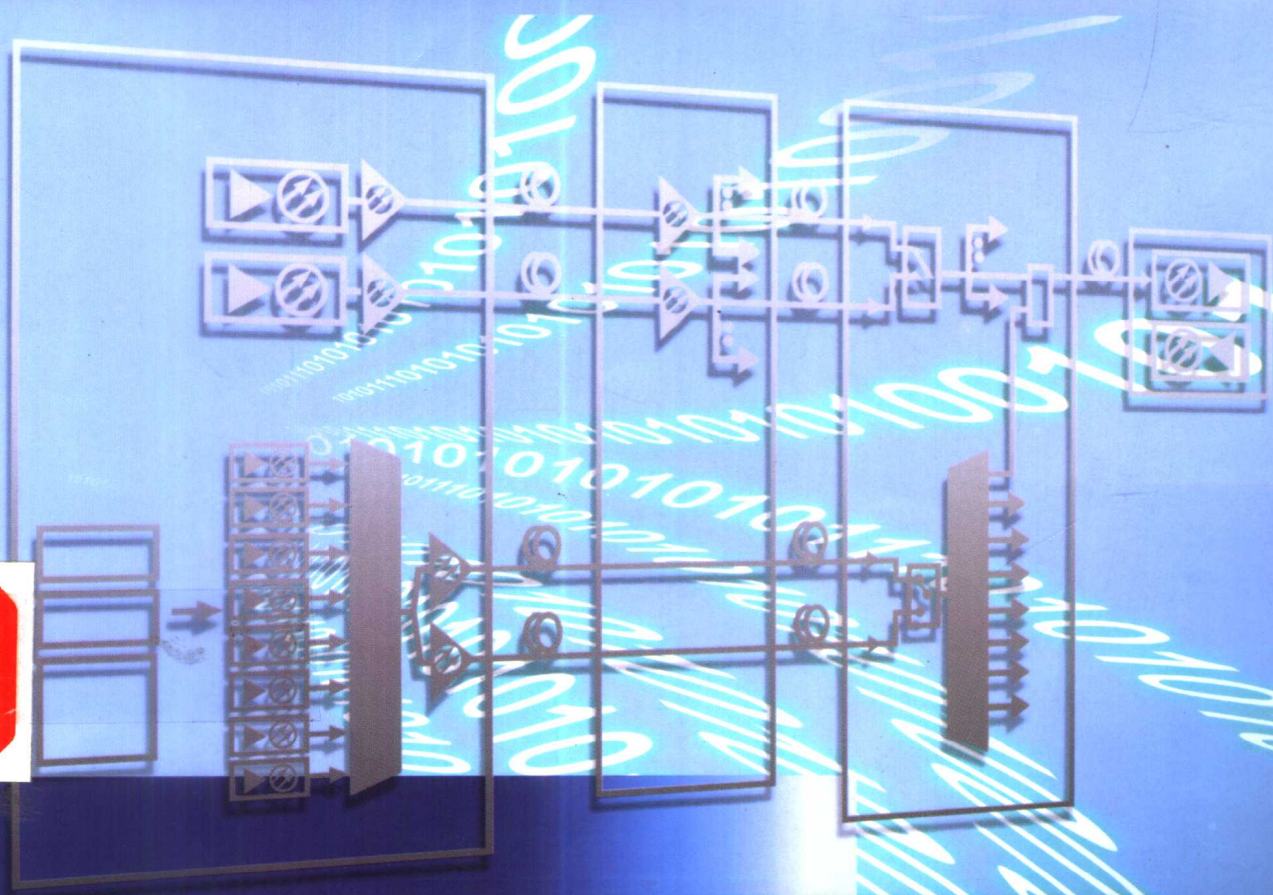


徐宝强 等 编著

國防工業出版社

宽带互动网络及其 接入技术

KUAI HU DONG WANG LUO JI QI
JIE RU JI SHU



3.142

宽带互动网络及其接入技术

徐宝强 袁其平 林航友 等编著
童峥嵘 王德会 王建国

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书图文并茂地对宽带网络的接入技术、电视接收新技术,数字电视、有线电视和网络技术等最新领域的技术做了详细的介绍。尤其是对电视组网技术做了理论与实践性的叙述,为推动电视的联网提供了理论及实践依据。此外,对光纤技术的深入介绍,可让广大从事光纤通信技术的技术人员、管理人员以及从事CATV和网络技术的工程技术人员和管理人员能够了解并掌握光纤通信技术及其网络技术的基本原理和工程应用,进一步推动光纤通信、网络技术和信息高速公路的迅猛发展。

全书共分11章,分别是:绪论、光纤和光缆、光纤网络的关键器件、光发射机和光接收机、光纤激光器与光放大器、宽带网络中的多媒体技术、光纤网络技术、宽带网络接入技术、有线电视技术的发展、宽带网络技术应用、光纤网络的设计、施工与测试。

图书在版编目(CIP)数据

宽带互动网络及其接入技术/徐宝强等编著. —北京:
国防工业出版社,2003.1
ISBN 7-118-03053-8

I. 宽... II. 徐... III. ①宽带通信系统—计算机
通信网②宽带通信系统—接入网—通信技术
IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 105375 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23¼ 536 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

伴随着信息技术的发展,宽带接入技术随着人们对多媒体和宽带通信服务需求的增加而越来越受到人们的关注,人们对信息的需求已不满足于传统的电报电话业务,甚至传统的文件传输、电子邮件等数据业务,而是追求更高品质的集视频、图像、声音、文字甚至动画等为一体的多媒体应用服务。

随着国际互联网的普及和应用,人们正在构建“信息高速公路”,信息高速公路的核心就是光纤通信技术。为克服各种“瓶颈”的障碍,让多媒体信息高速可靠地进入每个用户,作者编写了此书。旨在让更多的从事光纤通信工作的技术人员、管理人员以及从事CATV(有线电视)和网络技术的工程技术人员与管理人员,能够了解光纤通信技术及其网络技术的基本原理及工程应用,以推动光纤通信、网络技术和信息高速公路迅猛发展。

本书对宽带网络的接入技术、电视接收新技术、数字电视、有线电视和网络技术等最新领域的技术做了详细的介绍,尤其是对电视组网技术做了理论与实践性的叙述,为推动电视的联网提供了理论及实践依据。对光纤技术的深入介绍,可让广大从事光纤通信工作的技术人员、管理人员以及从事CATV和网络技术的工程技术人员及管理人员,能够了解并掌握光纤通信技术及其网络技术的基本原理和工程应用,进一步推动光纤通信、网络技术和信息高速公路的迅猛发展。

在本书编写中,作者力求将基本原理和实际应用有机地结合起来,尽量把最新的技术介绍给读者。

本书是集体劳动的结晶,主要作者有:童峥嵘(第2章、第4章),林航友(第3章、第5章),姜道连(第6章),徐宝强、王建国(第1章、第7章、第8章),袁其平(第9章、第10章),王德会(第11章)。全书由吕联荣校阅,徐宝强教授定稿。另外,李小冬、许世勋、石磊等同志为本书的编写做了大量工作,在此表示由衷地感谢。

在编写过程中,作者参考了国内许多优秀的同类教材和书籍,并结合了编者的多年教学经验。但是,由于光纤通信及网络技术发展日新月异,加之我们的水平有限和编写时间仓促,书中难免会出现一些错误和不完善之处,恳请广大读者不吝指正。

本书可作为大专院校相关专业的广大师生以及社会上举办的各类相关培训班的教材或教学参考书,还可供各有关企业和科研院所的广大工程技术人员阅读参考。

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 光纤和光缆	4
2.1 光纤的结构和分类	4
2.1.1 光纤的结构	4
2.1.2 光纤的分类	4
2.1.3 光纤的制造工艺	6
2.2 光纤的传输原理	8
2.2.1 阶跃型光纤中的射线光学分析	8
2.2.2 渐变型光纤中的射线光学分析	10
2.2.3 光纤的波动理论	11
2.3 光纤的传输特性	16
2.3.1 光纤的损耗特性	17
2.3.2 光纤的色散	18
2.3.3 光纤的传输带宽	20
2.4 光缆	21
2.4.1 光缆的基本结构	21
2.4.2 光缆的分类	21
第 3 章 光纤网络的关键器件	26
3.1 波分复用器和解复用器	26
3.1.1 光栅型波分复用器	27
3.1.2 介质薄膜滤波器型波分复用器	27
3.1.3 光纤型 WDM 器件	28
3.1.4 波导型 WDM 器件	29
3.1.5 平板阵列波导光栅(AWG)器件	30
3.1.6 各种 WDM 器件的性能比较	30
3.2 光开关	31
3.2.1 $1 \times N$ 微光机械光开关	32
3.2.2 MEMS 光开关	32
3.2.3 喷墨气泡光开关	34
3.2.4 液晶光开关	35
3.2.5 热光效应光开关	35

3.3 定向耦合器	35
3.3.1 2×2 耦合器	36
3.3.2 Y 耦合器	38
3.3.3 星形耦合器	38
3.4 光隔离器	40
3.5 光环行器	43
3.6 光衰减器	44
3.7 起偏器	47
3.8 固定滤波器	48
3.9 光纤连接器	49
3.9.1 光纤连接器的定义与分类	49
3.9.2 光纤连接器的基本结构	50
3.10 调制器	51
3.11 可调谐滤波器	52
3.11.1 Fabry-Perot 滤波器	53
3.11.2 Mach-Zehnder 滤波器(MZF)	55
3.11.3 电光类滤波器	56
3.11.4 声光类滤波器	56
3.11.5 半导体基底型滤波器	57
3.11.6 光纤—布里渊散射型滤波器	57
3.12 路由和交换器件	58
3.12.1 光交叉连接器	58
3.12.2 非构造型波长路由器	59
3.12.3 构造型波长路由器	59
3.12.4 光分插复用器	60
3.12.5 光子包交换器	61
3.13 波长转换器	62
3.13.1 光电型	62
3.13.2 全光型	63
第4章 光发射机和光接收机	65
4.1 光源	65
4.1.1 发光机理	65
4.1.2 半导体激光器	66
4.1.3 半导体发光二极管	72
4.1.4 半导体光源的一般性能	76
4.2 光发射机	77
4.2.1 光源的调制	78
4.2.2 LED 的调制和驱动电路	78
4.2.3 LD 的调制和驱动电路	79

4.3 光电检测器	86
4.3.1 PIN 光电二极管(PIN-PD)的工作原理	86
4.3.2 雪崩光电二极管(APD)的工作原理	87
4.3.3 工作特性和参数	88
4.3.4 光接收组件	90
4.4 接收机	91
4.4.1 光接收机的基本组成	91
4.4.2 光接收机的主要技术指标	95
4.4.3 数字光接收机的噪声	96
4.4.4 数字光接收机的误码率及灵敏度	97
4.4.5 光收发一体模块	99
第 5 章 光纤激光器与光纤放大器	101
5.1 光纤激光器	101
5.1.1 光纤激光器的基本工作原理	101
5.1.2 光纤激光器的优点	101
5.1.3 掺杂光纤	102
5.1.4 光纤激光器的谐振腔	108
5.1.5 各种光纤激光器	108
5.2 光放大器	113
5.2.1 光放大器的种类	113
5.2.2 半导体激光放大器	114
5.2.3 掺铒光纤放大器	116
5.2.4 掺镨光纤放大器	120
5.2.5 掺铥光纤放大器(TDFA)	120
5.2.6 喇曼光纤放大器	121
5.2.7 布里渊光纤放大器	122
5.2.8 光放大器的特性参数	122
5.2.9 光放大器的性能比较	123
5.2.10 光放大器的应用	124
第 6 章 宽带网络中的多媒体技术	128
6.1 媒体信息	128
6.1.1 多媒体的定义及特征	128
6.1.2 文本	128
6.1.3 音频	128
6.1.4 图像	129
6.1.5 动画	130
6.1.6 视频	130
6.2 数字化多媒体的压缩	131
6.2.1 数据压缩技术基础	131

6.2.2 数据压缩技术分类	132
6.2.3 音频压缩技术	138
6.2.4 视频压缩技术	138
6.3 压缩技术标准	138
6.3.1 压缩标准概述	138
6.3.2 主要压缩标准	139
6.3.3 JPEG 静态图像压缩标准	140
6.3.4 MPEG 动态图像压缩标准	142
6.3.5 MPEG-1 数据压缩标准	143
6.3.6 MPEG-2 数据压缩标准	146
6.3.7 MPEG-3 标准	147
6.3.8 MPEG-4 标准	147
6.3.9 MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 之间的差别	149
第7章 光纤网络技术	150
7.1 同步数字系列(SDH)	150
7.1.1 数字复接系列	150
7.1.2 同步数字序列(SDH)	152
7.1.3 SDH 设备的新形态——下一代 SDH	157
7.2 异步传输模式(ATM)	157
7.2.1 ATM 的基本概念	157
7.2.2 ATM 的技术特点	158
7.2.3 ATM 的应用领域	161
7.2.4 ATM 技术的发展趋势	162
7.3 宽带 IP 网络	163
7.3.1 宽带 IP 网络概述	164
7.3.2 TCP/IP 网络技术	165
7.3.3 IP 电话	167
7.3.4 实现宽带 IP 网络的主要技术	172
7.3.5 宽带 IP 网络在中国的发展	175
第8章 宽带网络接入技术	176
8.1 宽带网络的有线接入技术	178
8.1.1 宽带有线网络概述	178
8.1.2 DSL 技术	179
8.2 宽带无线接入技术	188
8.2.1 无线接入系统概述	188
8.2.2 GSM 数字蜂窝系统	188
8.2.3 码分多路访问(CDMA)数字蜂窝移动通信	190
8.2.4 2.5G——GPRS 技术	195
8.2.5 固定无线接入——LMDS 和 MMDS	198

8.2.6 无线局域网标准——IEEE802.11	201
8.2.7 无线家用网络	215
8.2.8 下一代无线局域网技术——HiperLAN/2	219
8.2.9 蓝牙技术	223
8.2.10 几种无线技术的比较	229
8.2.11 无线局域网的应用	233
第9章 有线电视技术的发展	235
9.1 光纤有线电视系统	235
9.1.1 铜光纤有线电视系统	235
9.1.2 光纤同轴电缆混合接入网	238
9.2 光纤有线电视系统的扩展业务	246
9.2.1 对现有系统的改造	246
9.2.2 有线电视网的扩展业务	250
9.2.3 数字MMDS系统	263
9.2.4 数字视频广播(DVB)系统	268
第10章 宽带网络技术应用	275
10.1 宽带网络技术在智能化社区服务中的应用	275
10.1.1 智能建筑概述	275
10.1.2 智能建筑的发展过程	275
10.1.3 智能建筑的概念	276
10.1.4 智能建筑的分类	277
10.1.5 智能建筑的现状	278
10.1.6 智能建筑发展的未来	280
10.2 智能化社区服务的实现	282
10.2.1 楼宇自动化系统(BAS)	282
10.2.2 办公自动化系统(OAS)	291
10.2.3 通信自动化系统(CAS)	304
第11章 光纤网络的设计、施工与测试	327
11.1 光缆工程设计与施工	327
11.1.1 光缆的分类与结构	327
11.1.2 光缆的敷设	329
11.2 系统测试和调整	343
11.3 光缆线路工程竣工验收	344
11.4 光缆线路的维护	347
11.4.1 日常维护	347
11.4.2 技术维护	347
11.5 光纤测量中的常用仪器	348
11.5.1 光纤熔接机	348
11.5.2 光时域反射计	349

11.5.3 光功率计·····	351
11.5.4 数字传输性能测试仪·····	352
11.6 光纤传输特性测试·····	355
11.6.1 衰减的测量·····	356
11.6.2 色散的测量·····	358
参考文献·····	361

第 1 章 绪 论

网络技术近 10 年来得到了飞速发展,随着技术的进步,人们对信息量的要求越来越大,不仅要求网络传递文字和图片信息,而且要求网络能够传递高质量的动态图像,但传统的窄带网络已经不能满足社会发展的这些需求,于是宽带网络及其接入技术应运而生。目前宽带接入有 3 种方案,首先是已经得到大量应用的有线(电缆)接入方案,其次是飞速发展的无线接入方案,第 3 是光纤接入(入户)方案。随着技术的不断发展,在不远的将来光纤接入将会取代有线(电缆)接入。下面就对这 3 种方案所涉及到的技术分别作出介绍。

光纤通信是以光作为信息载体,以光纤作为传输媒介的通信方式。光纤通信技术是近 30 年发展起来的高新技术,给世界通信技术乃至国民经济、国防事业和人民生活带来了巨大变革。为了使读者对光纤通信的发展历程有个基本了解,现将该技术的进程简要介绍如下。

1966 年,英籍华人高锟(C. K. Kao)预见利用玻璃可以制成衰减为 20dB/km 的通信光导纤维(简称光纤)。当时,世界上最优秀的光学玻璃衰减达 1000dB/km 左右。1970 年,美国康宁公司首先研制成衰减为 20 dB/km 的光纤。从此,光纤就进入了实用化的发展阶段,世界各国纷纷开展光纤通信的研究。

光纤的主要作用是引导光在纤芯内传播。为了实现长距离的光纤通信,必须减小光纤的衰减。C. K. Kao 早就指出降低玻璃内的过渡金属杂质离子是降低光纤衰减的主要因素。通过研究,1974 年光纤衰减降低到 2dB/km。另一方面,玻璃内的 OH 离子对衰减也有严重的影响。到了 1976 年,人们设法降低 OH 含量后发现低衰减的长波长窗口有: $1.31\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 。

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、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日臻成熟。这都为光纤光缆作为新的通信传输媒介奠定了良好的基础。

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 44.736Mb/s 且传输 110km 的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。

1981 年以后,用光纤通信技术大规模地制成商品并推向市场。历经近 20 年突飞猛进的发展,光纤通信速率由 1978 年的 45Mb/s 提高到目前的 40Gb/s。

我国自 20 世纪 70 年代初就开始了光纤通信技术的研究。1977 年,武汉邮电研究院研制成功中国第一根折射率阶跃分布的波长为 $0.85\mu\text{m}$ 的多模光纤,后来又研制成单模光纤和特殊光纤以及光通信设备。

现在,我国光纤通信产业已初具规模,能够生产光纤光缆、光电器件、光端机及其他工程应用方面的配套仪表器件等。由此可见,中国已具有大力发展光纤通信的综合实力。

20 世纪 80 年代,光纤通信得到飞速发展,从多模光纤发展到单模光纤,由短波长发展到长波长,即 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$,其损耗降到了 0.2dB/km 以下,并制造了零色散的 $1.31\mu\text{m}$ 波段的光纤。各种传输速率的光纤通信系统在世界各地建立起来,很快替代了电缆通信和微波通信。

20 世纪 80 年代末期,掺铒光纤放大器问世并很快进入了实用化阶段。由于掺铒光纤放大器是工作在 $1.55\mu\text{m}$ 波段,在这一波段光纤的损耗最低,因此长距离的光纤通信都应用 $1.55\mu\text{m}$ 波段。随着 CATV(有线电视)的大发展,由于电缆传输损耗比较大,大约每 500m 要加一个干线放大器,于是人们就开始考虑用光纤取代干线电缆,这样就出现了 HFC(混合光纤同轴)技术;而由于 $1.31\mu\text{m}$ 波段的色散小,意味着带宽要宽,所以 HFC 网络采用 $1.31\mu\text{m}$ 波段的光缆干线。为了延长距离和增加光功率,人们便研制出了 $1.31\mu\text{m}$ 波段的掺镨光纤放大器。

随着社会信息化时代的临近,通信容量剧增,为了满足带宽和容量的要求,一条途径是不断提高单信道系统的传输速率,1993 年推出了 2.5Gb/s 的系统,后来又推出 40Gb/s 以上的系统。另一条途径是发展 WDM(波分复用)技术。由于一般掺铒光纤放大器的带宽仅有 $35\mu\text{m}$ 左右,于是人们就开始研究开发 DWDM(密集波分复用)技术,这一技术在 20 世纪 90 年代已进入实用化。

目前,一根光纤中已经能够传输几百 Gb/s 到 Tb/s 的数字信息,这样给电子交换系统和信息处理系统带来了巨大的压力,形成了电子瓶颈。人们开始在交换系统中引入光子技术,从而引发了全光通信的发展。在传输网中加上光层,在光上进行交叉连接和分叉复用,从而彻底解决了电子瓶颈问题,促使光纤通信的全面发展。

所谓多媒体传输,就是同时传输声音、数字和图像。要传输活动的图像画面,需要很高的传输速度才行,人们为了快速传输信息,研究了对图像的数字信号进行压缩编码,如 MPEG-I、MPEG-II 等技术相继问世。同时压缩和解压缩的电子设备也得到了迅速发展。

在数字通信系统中,为了扩大传输容量和提高传输效率,常常需要将若干个低速数字信号合并成一个高速数字信号流,以便在高速信道中传输。利用数字复接技术就可以解决这一问题。随着光纤通信的发展,4 次群速率已不能满足大容量高速传输的要求。原 CCITT 建议 4 次群以上采用同步数字系列(SDH),以适应未来全球宽带综合业务数字网的传输要求。随着 SDH 技术的引入,传输系统不仅具有提供信号传播的物理过程的功能,而且提供对信号的处理、监控等过程的功能。SDH 可以支持多种电路层的业务,如各种速率的异步数字系列、DQDB、FDDI、ATM 等,以及将来可能出现的各种新业务。段开销中大量的备用通道增强了 SDH 网的可扩展性。通过软件控制使原来 PDH 中人工更改配线的方法实现了交叉连接和分插复用连接,提供了灵活的上/下电路的能力,并使网络拓扑动态可变,增强了网络适应业务发展的灵活性和安全性,可在更大几何范围内实现电路的保护、高可靠性和通信能力的优化利用,从而为增强组网能力奠定基础。SDH 的这些优势使它成为宽带业务数字网的基础传输网。

ATM 是实现 B-ISDN 的一项技术基础,它在信息格式和交换方式上与分组交换类似,在网络构成和控制方式上与电路交换类似。ATM 具有电路交换的时延小、时延固定和分组交换动态分配信道、信道利用率高的优点。ATM 是一种传输方式,在这种方式中,

信息被组织成信元;说它是异步的,是因为来自一个特定用户信息的信元的重复出现不必具有周期性。以前,人们把传输方式定义为在网络中发送、复用、交换和接收信息的主要技术。在某种意义上,从电话到计算机网络的每一种通信技术都有它自己的传输方式。电话的传输方式用于语音,计算机网络的分组方式用于数据。ATM 则根本不是基于在数据流中的位置,它独立于服务,它既可以很好地传输数据,也可以同样很好地传输语音和视频信息。ATM 提供服务的方式很灵活,而且效率也高。

目前,路由器和窄带通信线路互联起来的因特网还是一个窄带 IP 网络,例如 ISP(因特网服务提供者)网络结构,其主干带宽为 2Mb/s 或 512kb/s,接入带宽为 64kb/s。在这样一个窄带因特网中,只能传送一些文字和简单图形信息,无法传送图像、视频、音频和多媒体等宽带业务。

从光纤这个“信息高速公路”到千家万户各个终端,怎样接入,这是很困难的事情,人们研究了两种接入方式:

(1) 有线接入方式。可以采用宽带 IP 的接入方式,保证桌面上可以达到 2Mb/s 的速率。所谓宽带 IP 网络是指因特网的交换机、中继通信线路、用户接入线路和用户终端都是宽带的,通常中继带宽为几 Gb/s 至几十 Gb/s,接入带宽为 1Mb/s~100Mb/s。在这样一个宽带 IP 网络上能传送各种音、视频业务和多媒体业务。另外邮电系统积极推广的 ADSL 也是一种比较好的技术。ADSL 即非对称数字用户环路,是一种上、下行传输速率不相等的 DSL 技术。这里,上行传输是从用户到中心局方向的传输,下行传输是从中心局到用户方向的传输。理论上,ADSL 在 5km 的范围内,可以在一对双绞铜线上实现下行速率 8Mb/s,上行速率达 1Mb/s 的数据传输,能同时提供话音和数据业务。由于 ADSL 的下行速率不等于且远远大于上行速率,因此被称为非对称 DSL。

(2) 无线接入方式。随着信息技术的飞速发展,人们对网络通信的需求不断提高,希望不论在何时、何地,与何人能够进行包括数据、话音、图像等任何内容的通信,并希望实现主机在网络中漫游。无线局域网是实现移动计算机网络的关键技术之一,它是实现移动计算机网络中移动站的物理层与链路层功能,为移动计算机网络提供必要的物理接口的网络。

虽然无线通信的历史悠久,但无线计算机通信的历史却很短,只是在近十几年才发展起来,特别是最近几年才形成了无线局域网的概念。无线局域网(WLAN)表示一种通信系统,它可以通过无线电技术建立连接,是现有有线局域网的扩展。本书中将对几种无线接入技术如 802.11、蓝牙、HomeRF、HiperLAN 等作详细的介绍。

总之,目前各种技术发展都在不断完善。因为 21 世纪是信息的时代,数字信息量越来越大,电视将从模拟进入到数字化电视时代,可以想象当每个家庭要收看几十至几百套电视节目的时候,需要多么大的带宽,而随着计算机不断普及和不断更新,人们有可能实现更多的办公自动化功能和信息家电功能。所以宽带网络技术是 21 世纪的一个研究的热点。

第 2 章 光纤和光缆

光纤是光纤通信系统中的传输介质,是光纤通信系统的重要组成部分。在实际的通信中,为了保证光纤在各种情况下长期稳定、可靠地工作,光纤以光缆的形式出现。光纤特性包括它的结构特性、光学特性及传输特性。结构特性主要指光纤的几何尺寸(芯径等);光学特性包括折射率分布、数值孔径等;传输特性主要是损耗及色散特性。本章在简要介绍光纤结构和分类的基础上,分别用射线光学理论和波动理论分析光纤的传输原理;着重讨论传输特性;最后介绍光缆的基本结构。

2.1 光纤的结构和分类

2.1.1 光纤的结构

光纤有不同的结构形式,其典型结构是多层同轴圆柱体,如图 2-1 所示,自内向外为纤芯、包层和涂覆层。核心部分是纤芯和包层,其中纤芯由高度透明的材料制成,折射率为 n_1 ,直径为 $2a$,是光波的主要传输通道;包层的折射率为 n_2 ,略小于纤芯的折射率,直径为 $2b$,使光的传输性能相对稳定。纤芯粗细、纤芯材料和包层材料的折射率对光纤的特性起决定性的影响。涂覆层包括一次涂覆、缓冲层和二次涂覆,能保护光纤不受水汽的侵蚀和机械的擦伤,同时又加强机械强度,起着延长光纤寿命的作用。



图 2-1 光纤的结构

2.1.2 光纤的分类

光纤的种类很多,可以根据光纤横截面折射率分布、光纤的传输模式、光纤的材料成分以及工作波长进行分类,下面分别简单介绍一下:

(1) 根据光纤折射率在横截面上的分布形状划分,有阶跃型光纤和渐变型(梯度型)光纤两种。阶跃型光纤(Step Index Fiber)简称 SIF,在纤芯和包层交界处的折射率呈梯形突变,纤芯的折射率 n_1 和包层的折射率 n_2 是均匀常数。渐变型光纤(Graded Index Fiber)简称 GIF,其纤芯的折射率 n_1 随着半径的增加而按一定规律(如平方律、双正割曲线等)逐渐下降,到纤芯与包层交界处为包层折射率 n_2 ,纤芯的折射率不是均匀常数,但包层的折射率分布是均匀的。

(2) 根据光纤中传输模式的多少,可分为单模光纤和多模光纤两类。单模光纤只传输一种模式,纤芯直径较细,通常在 $4\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 范围内。由于单模光纤只传输一个模式,从而避免了模式色散,因此传输频带宽,可达到 1000GHz ,传输容量大,适用于大容量、长距离的光纤通信系统或网络中。典型的应用有传输干线、SDH 网络、WDM 网络等。而多模光纤可传输多种模式,纤芯直径较粗,典型尺寸为 $50\mu\text{m}$ 左右,因此制造、连接、耦合、使用起来比单模光纤方便。但这种光纤的传输性能较差,带宽比较窄,一般只有 GHz 或者百 MHz 数量级,传输容量比较小,适用于小容量、短距离的光纤通信系统或网络中。典型的应用如计算机局域网、光纤用户接入网等。

(3) 按制造光纤所使用的材料分,主要有以二氧化硅为主要成分的石英光纤、塑料包层石英纤芯的光纤、多组分玻璃纤维的玻璃光纤、塑料光纤等多种。光通信中主要用石英光纤,以后所说的光纤也主要是指石英光纤。另外,若按工作波长来分,还可分为 $1\mu\text{m}$ 以下的短波长光纤(例如 $0.85\mu\text{m}$ 光纤)和 $1\mu\text{m}$ 以上的长波长光纤(包括 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 光纤)。

多模光纤可以采用阶跃折射率分布,也可以采用渐变折射率分布;单模光纤多采用阶跃折射率分布。因此,石英光纤大体可以分为多模阶跃折射率光纤、多模渐变折射率光纤和单模阶跃折射率光纤等几种。它们的结构、尺寸、折射率分布及光传输的示意如表 2-1 所列。

表 2-1 3 种主要类型的光纤

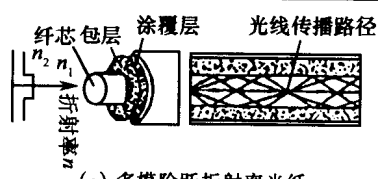
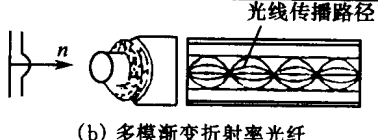
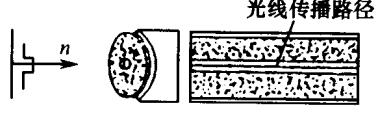
光纤类型与折射率分布、光的传输	芯径 (μm)	包层直径 (μm)	频带宽度	标准代号
 (a) 多模阶跃折射率光纤	50	125	较大 $< 200\text{MHz}\cdot\text{km}$	G.651
 (b) 多模渐变折射率光纤	50	125	大 $200\text{MHz}\cdot\text{km}$ $\sim 3\text{GHz}\cdot\text{km}$	G.651
 (c) 单模阶跃折射率光纤	< 10	125	很大 $> 3\text{GHz}\cdot\text{km}$	G.652, G.653, G.654 等

表 2-1 中光纤的编号是由国际组织 ITU-T 制定的。其中 G.651 光纤包括 $0.85\mu\text{m}$ 和 $1.31\mu\text{m}$ 的多模光纤。G.652 光纤为常规单模光纤,目前世界上绝大多数国家的光缆都采用该型号的光纤,可工作在 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 两个波段。G.653 光纤为色散位移光纤,该光纤在波长 1550nm 附近的色散为零,且损耗最小。G.654 光纤为 $1.55\mu\text{m}$ 损耗最小的单模光纤,是一种用于 $1.55\mu\text{m}$ 改进的常规单模光纤。

另外,新型光纤如色散平坦光纤、色散补偿光纤等在目前的系统设计中尚未使用,但是这些光纤代表了光纤的发展方向。

2.1.3 光纤的制造工艺

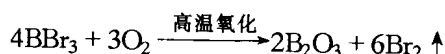
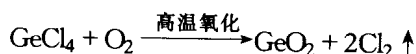
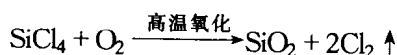
不同材料的光纤,其制造工艺也不同。但不论采用哪一种方法,从原材料到制成光纤都要经过材料制备与提纯、熔炼、拉丝和套塑 4 个过程。这里主要对石英光纤的制造工艺作一简单介绍。

1. 材料制备与提纯

生产石英光纤的主要原料为一些高纯度的卤化物,例如四氯化硅(SiCl_4)、四氯化锗(GeCl_4)、三氯氧磷(POCl_3)、三溴化硼(BBr_3)等。此外还有发生氧化反应的气体氧(O_2)和石英管等。为了得到低损耗的光纤,必须采取一些提纯方法降低光纤中的过渡金属离子和氢氧根离子等杂质。

2. 熔炼

熔炼就是把制作光纤的原料经化学反应制成低损耗的一根拉光纤的预制棒或称坯棒。在熔炼中,一般掺少量杂质以改变石英玻璃的折射率。在制备芯玻璃时要掺入少量的比石英折射率稍高的二氧化锗(GeO_2),在制备包层玻璃时,则要掺入少量的比石英折射率稍低的三氧化二硼(B_2O_3),其氧化反应的化学方程式如下:



熔炼工艺很多,主要有化学汽相沉积法(MCVD)、微波腔体等离子体法(PCVD)、轴向汽相沉积法(VAD)、多元素组分玻璃法等。

化学汽相沉积法,通常又叫做“改进的化学汽相沉积法”——MCVD(Modified Chemical Vapour Deposition)。用 MCVD 法制备光纤预制棒的示意图如图 2-2 所示。一根外径为 18 mm~25 mm,壁厚 1.4 mm~2 mm 的石英反应管夹到玻璃车床上,用超纯氧气 O_2 作为载运气体把四氯化硅、四氯化锗和其他掺杂试剂等按比例送进石英管。当玻璃车床均匀旋转时,用 1400℃~1600℃ 的高温氢氧火焰加热于石英反应管外壁,在高温下管内发生氧化还原反应形成石英,经过多次沉积形成实心预制棒。

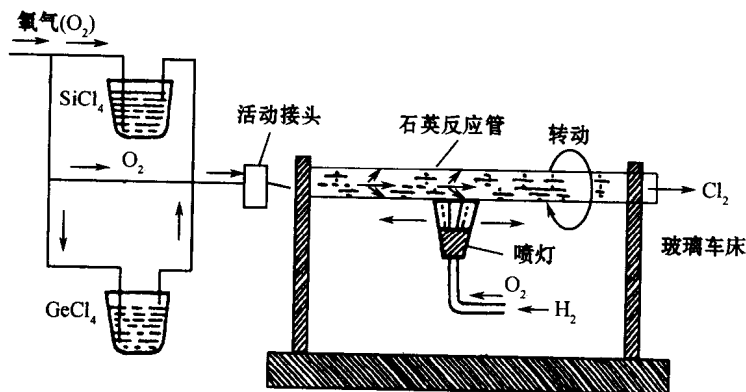


图 2-2 用 MCVD 法制备光纤预制棒

MCVD法的优点是方法简单,整个系统处于封闭的超提纯状态下,适合制造低损耗的光纤。其缺点是很难生产尺寸很大的预制棒。另外光纤的折射率分布有烧缩管孔形成的凹陷,对传输带宽有一定的影响。尽管如此,它被广泛应用在许多国家的光纤制造中。我国目前仅有 MCVD 光纤生产工艺。

微波腔体等离子体法(PCVD)的熔炼示意图如图 2-3 所示。此方法只是将 MCVD 法中的氢氧焰喷灯改用微波腔体加热,使谐振腔中的石英管内的低压气体受激产生等离子体,用以实现低温下的氧化还原反应,产生微粒沉积玻璃。PCVD 工艺的优点是:不用氢氧火焰加热沉积,沉积温度低于相应的热反应温度,反应管不易变形。沉积层厚度可小于 $1\mu\text{m}$,从而制备出接近理想分布的折射率剖面,以获得宽的带宽。光纤的几何特性和光学特性的重复性好,适于批量生产。其缺点是设备比 MCVD 复杂。

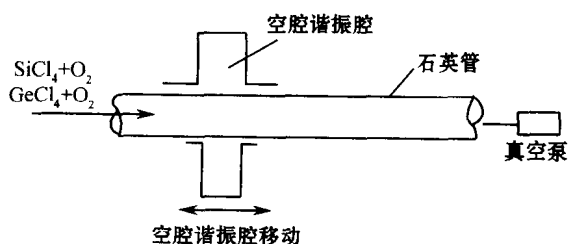


图 2-3 微波腔体等离子体法(PCVD)熔炼

3. 拉丝

拉丝就是把石英预制棒放入高温拉丝炉中加温软化,以相似比例的尺寸,拉成芯径符合要求的光纤。此时光纤中的芯和包层的厚度比例及折射率分布,与原始的光纤预制棒体材料一样。预制棒拉丝示意图见图 2-4。预制棒由送料机构以一定的速度均匀地送

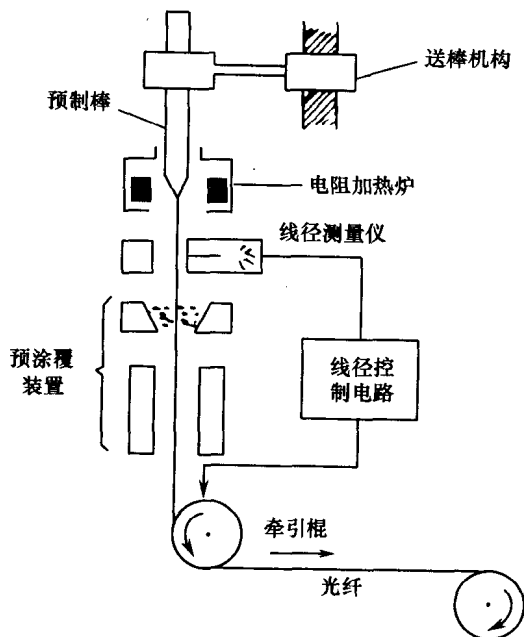


图 2-4 拉丝示意图