

高等学校应用型通信技术系列教材

光纤通信技术

强世锦 李方健 黄艳华 何川 编著



清华大学出版社

高等学校应用型通信技术系列教材

光纤通信技术

强世锦 李方健 黄艳华 何川 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书重点介绍光纤通信的基本原理,是一本基础性教材。全书共分9章,前4章为基础篇,介绍光和光电子的基础知识、理想的传输介质——光纤、各种常用的无源器件和有源器件的基本原理;后5章为系统、网络及应用篇,介绍典型的光纤通信系统的构成、特点和应用。参考学时为70学时。

本书注重基础理论与概念、技术应用与操作,以及指标要求的介绍,内容上避繁求明,深入浅出,通俗易懂。通过对核心技术的深入阐述,使读者能迅速了解光纤通信的技术主体。本书在每章前、后分别设有内容提要、小结和习题与思考题。书后的附录中列出了光通信专业缩略语。

本书可作为高职高专通信、光电子、电子、信息工程专业的教材,也可供应用型本科、电大、函大及自考等相关专业的学生选用,还可作为相关专业技术人员的参考书。

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

光纤通信技术/强世锦等编著. —北京:清华大学出版社,2011.2

(高等学校应用型通信技术系列教材)

ISBN 978-7-302-24518-6

I. ①光… II. ①强… III. ①光纤通信—高等学校—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 007577 号

责任编辑:刘 青

责任校对:袁 芳

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.75 字 数:372千字

版 次:2011年2月第1版 印 次:2011年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00元

产品编号:021457-01

随着我国国民经济的持续增长,信息化的全面推进,通信产业实现了跨越式发展。在未来几年内,通信技术的创新将为通信产业的良性、可持续发展注入新的活力。市场、业务、技术等持续拉动,法制建设的不断深化,这些也都为通信产业创造了良好的发展环境。

通信产业的持续快速发展,有力地推动了我国信息化水平的不断提高和信息技术的广泛应用,同时刺激了市场需求和人才需求。通信业务量的持续增长和新业务的开通,通信网络融合及下一代网络的应用,新型通信终端设备的市场开发与应用等,对生产制造、技术支持和营销服务等岗位的应用型高技能人才在新技术适应能力上也提出了新的要求。为了培养适应现代通信技术发展的应用型、技术型高级专业人才,高等学校通信技术专业的教学改革和教材建设就显得尤为重要。为此,清华大学出版社组织了国内近 20 所优秀的高职高专院校,在认真分析、讨论国内通信技术的发展现状、从业人员应具备的行业知识体系与实践能力,以及对通信技术人才教育教学的要求等前提下,成立了系列教材编审委员会,研究和规划通信技术系列教材的出版。编审委员会根据教育部最新文件政策,以充分体现应用型人才培养目标为原则,对教材体系进行规划,同时对系列教材选题进行评审,并推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。本系列教材涵盖了专业基础课、专业课,同时加强实训、实验环节,对部分重点课程将加强教学资源建设,以更贴近教学实际,更好地服务于院校教学。

教材的建设是一项艰巨、复杂的任务,出版高质量的教材一直是我们的宗旨。随着通信技术的不断进步和更新,教学改革的不深入,新的课程和新的模式也将不断涌现,我们将密切关注技术和教学的发展,及时对教材体系进行完善和补充,吸纳优秀和特色教材,以满足教学需要。欢迎专家、教师对我们的教材出版提出宝贵意见,并积极参加教材的建设。

清华大学出版社

2006 年 6 月

光纤通信自问世以来就以它自身的优越性以及与其他相关学科的支持,成为现代通信网络中传输信息的最佳选择。光纤通信是信息社会的支柱,是“信息高速公路”的骨干网,是用户的接入网,也是通信系统发展的主体。光纤通信技术在 20 多年中发展迅速,越来越引起人们的兴趣,受到普遍关注。

本书共分 9 章两个部分。第一部分为基础篇,涉及前 4 章的内容。第 1 章是绪论,介绍光纤通信的概念、光信号的频谱、光纤通信的优点及光波技术基础;第 2 章介绍光纤与光缆的结构与简单的制造工艺、光纤传输特性,以及光纤中的光学现象;第 3 章介绍构成光纤通信系统的无源器件,如光纤连接器、波分复用器、光开关、光滤波器等;第 4 章阐述半导体的发光机理,介绍 LD 和 LED 发光器件的基本工作原理以及两种常用的光检测器,同时阐述光迁通信中的另一个重要器件——光放大器,以 EDFA 为例介绍其工作原理。第二部分为系统、网络及应用篇,涉及后 5 章的内容。第 5 章着重介绍 IM-DD 光纤通信系统的构成、特点和应用;第 6 章详细阐述 SDH 体制所涉及的各种复用技术;第 7 章对 SDH 光同步数字传送网的组成结构、特点和应用所涉及的技术作深入、详细的阐述;第 8 章介绍光传输设备的结构和功能,以及维护、安装与调试事项(可作为选学内容);第 9 章介绍常用的光纤通信仪表,如光功率计、光衰减器、波长测试仪、OTDR、光谱分析仪、误码分析仪、抖动分析仪和数字传输分析仪等的工作原理及测试。

本书有以下几个特点。

(1) 侧重物理概念的阐述,力求通俗易懂,尤其是在介绍光纤导光原理中涉及波动理论方面的知识以及激光原理中有关原子能级的概念时,尽量避免过多的数学描述,而采用形象的物理感性描述。

(2) 在光纤及其相关器件的介绍中加入实际的产品图片,以代替烦琐的文字描述,使学生能在比较经济的教学条件下获得尽可能多的感性认识。

(3) 通过介绍光纤通信系统的组成,使学生建立起光纤传输体系的整体框架概念,为进一步学习光纤通信系统相关设备的技术奠定基础。

(4) 学生在学习这门课程之前,对于光纤通信及相关的常用仪器等

方面的知识几乎是空白的。通过本书对光纤通信常用测量仪表的工作原理及测试的介绍,学生将对光纤通信仪器有基本的认知。

本书由强世锦组织编写,其中第1章和第4章由强世锦编写,第2章和第3章由黄艳华编写,第5章由李方健编写,第6章和第7章由李方健和强世锦共同完成,第8章和第9章由何川编写。全书由强世锦完成统稿和定稿。

本书能够编写完成,在于编写组成员齐心协力、团结互助,大家孜孜不倦、不厌其烦地反复修改,为此深感欣慰。另外,由衷地感谢清华大学出版社的编辑,他们本着严谨的治学态度,对书稿给予了中肯的意见,为我们提供了极大的支持和帮助,使本书终于顺利完稿。由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年8月

第 1 章 绪论	1
1.1 光纤通信的发展概况	1
1.2 光纤通信的特点	4
1.3 光纤通信系统及相关技术产品	7
1.3.1 光纤通信系统的组成	7
1.3.2 光纤通信技术涉及的产品	8
1.4 光的基础知识	9
1.4.1 光的本质	9
1.4.2 原子、电子及其他	10
1.4.3 光的反射与折射	11
1.4.4 波的干涉	12
1.4.5 波的衍射和散射	14
小结	15
习题与思考题	16
第 2 章 光纤	17
2.1 光纤与光缆	17
2.1.1 光纤的结构	17
2.1.2 光纤的主要成分	18
2.1.3 光纤的分类	18
2.1.4 光缆的结构	19
2.2 光纤的导光原理与传播特性	21
2.2.1 光纤的导光原理	21
2.2.2 光的偏振	24
2.2.3 光的色散	25
2.3 多模光纤和单模光纤	25
2.3.1 模的概念	25
2.3.2 多模光纤中的模式数目	26
2.3.3 单模光纤的截止波长	27
2.3.4 偏振模	27

2.3.5 模场直径	27
2.4 光纤的传输特性	28
2.4.1 光纤的损耗特性	28
2.4.2 光纤的色散特性	30
2.4.3 光纤的带宽和冲激响应	33
2.4.4 光纤的非线性效应	34
2.5 光纤的选用	35
小结	37
习题与思考题	38
第3章 光纤通信中的无源器件	39
3.1 光纤的连接与耦合	39
3.1.1 光纤连接器	39
3.1.2 接头	42
3.1.3 光纤耦合器	43
3.2 光损耗器	44
3.3 光纤光栅	45
3.4 光滤波器	46
3.4.1 法布里—珀罗滤波器	46
3.4.2 马赫—曾德尔滤波器	47
3.5 WDM 合波器/分波器	48
3.5.1 多层介质薄膜	48
3.5.2 熔拉双锥型	49
3.5.3 光纤光栅型	49
3.6 光隔离器和光环形器	50
3.7 光开关	51
小结	51
习题与思考题	52
第4章 光纤通信中的有源器件	53
4.1 半导体的发光机理	53
4.1.1 晶体能级、能带及其他	53
4.1.2 光与物质的相互作用	55
4.1.3 粒子数的反转分布	56
4.2 半导体光源	56
4.2.1 发光二极管	57
4.2.2 激光二极管	61
4.2.3 DFB 和 DBR 半导体激光器	67

4.2.4 半导体光源的一般性能和应用	70
4.3 光源的调制	71
4.3.1 光源的内调制	71
4.3.2 光源的外调制	73
4.4 半导体光检测	77
4.4.1 光电效应和光检测原理	78
4.4.2 PIN 光电二极管	80
4.4.3 雪崩光电二极管(APD)	81
4.4.4 光检测器的比较	83
4.5 光放大器	83
4.5.1 EDFA 的工作原理	84
4.5.2 掺铒光纤放大器的特性	86
4.5.3 掺铒光纤放大器的优点和应用	88
4.6 波分复用技术	88
4.6.1 波分复用的概念	88
4.6.2 WDM 系统的基本形式	90
4.6.3 光波分复用器的性能参数	91
4.6.4 WDM 系统的基本结构	92
小结	93
习题与思考题	94
第 5 章 光纤通信系统	96
5.1 光发射机	96
5.1.1 要求	97
5.1.2 光发送机的基本组成	98
5.2 光接收机	101
5.2.1 光接收机的基本组成	102
5.2.2 光接收机的主要指标	103
5.3 光中继器	104
5.3.1 光—电—光中继器	104
5.3.2 全光中继器	105
5.4 线路编码	105
5.4.1 加扰二进制码	106
5.4.2 $mBnB$ 码	106
5.4.3 插入比特码	108
小结	109
习题与思考题	109

第 6 章 SDH 复用原理	110
6.1 SDH 的产生和特点	110
6.1.1 SDH 的技术特点	112
6.1.2 SDH 存在的问题	113
6.2 SDH 信号的帧结构和复用步骤	114
6.2.1 SDH 信号——STM-N 的帧结构	114
6.2.2 SDH 的复用结构和步骤	116
6.2.3 映射、定位和复用的概念	130
6.3 开销和指针	132
6.3.1 开销	132
6.3.2 指针	137
小结	144
习题与思考题	144
第 7 章 SDH 传送网	146
7.1 SDH 网元设备	147
7.1.1 SDH 设备的逻辑功能块	147
7.1.2 SDH 网络的常见网元	152
7.2 SDH 网络结构和网络保护机理	157
7.2.1 基本的网络拓扑结构	157
7.2.2 链网和自愈环	159
7.2.3 SDH 网络的整体层次结构	166
7.3 标准化的物理接口	167
7.3.1 SDH 的电接口	168
7.3.2 光接口分类	168
7.4 定时与同步	170
7.4.1 同步方式	170
7.4.2 主从同步网中从时钟的工作模式	172
7.4.3 SDH 的引入对网同步的要求	172
7.4.4 SDH 网的同步方式	173
7.4.5 S1 字节和 SDH 网络时钟保护倒换原理	175
7.5 传输性能	178
7.5.1 误码性能	178
7.5.2 抖动性能	181
7.5.3 漂移性能	185
小结	185
习题与思考题	186

第 8 章 光传输系统的操作与维护	187
8.1 SDH 光传输设备系统结构	187
8.2 SDH 的硬件系统	188
8.2.1 系统功能框图	188
8.2.2 硬件单板联系	189
8.2.3 单板结构排列图	190
8.3 SDH 的网管系统	190
8.3.1 网管软件层次结构	190
8.3.2 网管的组网方式	191
8.3.3 网管的运行环境	193
8.4 SDH 网管系统的功能	193
8.4.1 系统管理	194
8.4.2 配置管理	194
8.4.3 告警管理	199
8.4.4 性能管理	201
8.4.5 安全管理	201
8.4.6 维护管理	204
8.5 SDH 设备的安装、调试流程	205
8.5.1 安装准备	206
8.5.2 硬件安装	207
8.5.3 软件安装	208
8.5.4 单点调试流程	209
8.5.5 系统联调	209
8.6 SDH 设备调测	209
8.6.1 系统调测流程	210
8.6.2 配置并连接网元	211
8.6.3 光口测试	211
8.6.4 电接口测试	214
8.6.5 抖动测试	215
8.6.6 时钟性能测试	215
8.6.7 设备自环测试	216
8.6.8 连通光路	216
8.6.9 公务电话和业务检查	216
8.6.10 保护功能和同步检查	216
8.6.11 性能及网管功能检查	217
小结	217
习题与思考题	217

第9章 光纤通信常用仪表及应用	218
9.1 光时域反射仪(OTDR)	218
9.1.1 OTDR的工作原理	218
9.1.2 OTDR的使用方法	218
9.2 光功率计的使用	223
9.2.1 光功率计简介	223
9.2.2 光功率计的使用	225
9.3 误码测试仪及系统误码性能测试	226
9.3.1 误码测试仪简介	226
9.3.2 系统误码性能测试	228
9.3.3 光端机灵敏度性能测试	229
9.4 数字传输分析仪及应用	229
9.4.1 SDH/PDH 传输分析仪简介	229
9.4.2 SDH/PDH 传输分析仪的抖动测试	240
9.4.3 SDH/PDH 传输分析仪的其他运用	243
小结	245
习题与思考题	246
 附录 专用词汇及缩略语	247
 参考文献	254

绪 论

内容提要:

- 光纤通信的概念及技术的发展
- 光纤通信的特点
- 光纤通信系统的基本组成
- 光波的特性

1.1 光纤通信的发展概况

伴随社会的进步与发展,以及人们日益增长的物质与文化需求,通信向大容量、长距离的方向发展是必然趋势。光波具有极高的频率(大约 3 亿兆赫[兹]),也就是说,它具有极高的宽带可以容纳巨大的通信信息,所以用光波作为载体来通信是人们追求的目标。烽火台和旗语都可以看做是原始形式的光通信。

1880 年,贝尔发明了用光波作为载波传送话音的“光电话”,如图 1.1 所示。这种光电话利用太阳光或弧光灯作为光源,通过透镜把光束聚焦在送话器前的振动镜片上,使光强度随话音的变化而变化,实现话音对光强度的调制。在接收端,用抛物镜把从大气传来的光束反射到硅光电池上,使光信号变换为电流,然后传送到受话器。由于这种光电话的传输距离很短,没有实用价值,但光电话的发明证实了用光波作为载波传送信息具有可行性,关键在于要找到理想的光源和传输介质。

1960 年,美国人梅曼发明了第一台红宝石激光器,给光纤通信带来了新的希望。和普通光相比,激光是一种高度相干光,它的特性和无线电波相似,是一种理想的光载波。随后,各种激光器相继问世。在此期间,美国麻省理工学院利用氦-氖(He-Ne)激光器和二氧化碳(CO₂)激光器模拟无线电通信进行了大气激光通信的研究,证实采用承载信息的光波,通过大气的传播,能实现点对点的通信,但是通信能力和质量受气候的影响十分严重。大气信道衰减的随机变化量大,譬如,雨能造成 30dB/km 的衰减,浓雾的衰减高达 120dB/km,灰尘和自然辐射也会造成对光能的吸收和散射,使光能迅速衰减;再有,大气的密度和温度不均匀(湍流现象),使介质折射率发生不均匀的随机变化,使接收光斑发生闪烁和漂移,使通信的距离和稳定性受到极大的限制,要建立“全天候”大气激光通信有许多问题需要探索。

大气激光通信的研究受阻之后,为了克服大气对激光束的影响,人们想到把激光束

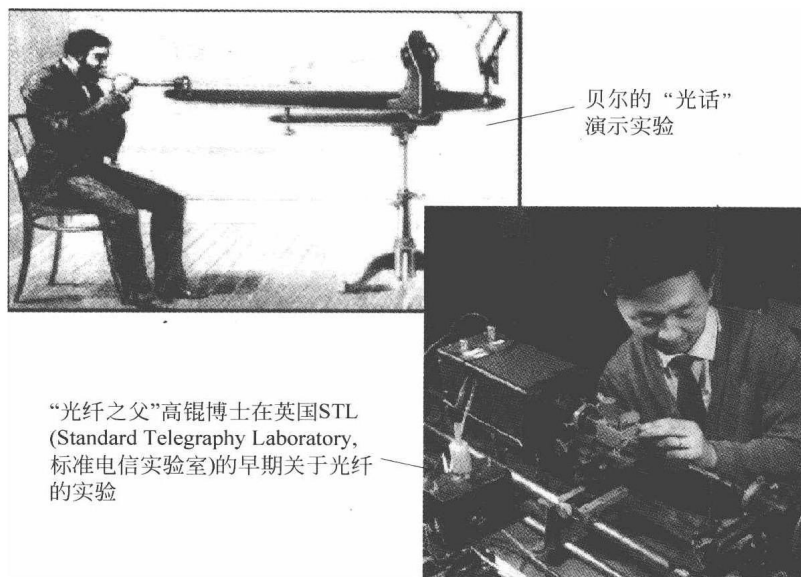


图 1.1 贝尔的光电话和高锟博士在英国关于光纤的实验

限制在特定的空间内传输,将光波的传输转移到地下,提出了透镜波导和反射镜波导的光波传输系统,例如,在金属或水泥管道内每隔一段距离安放一个反射镜,通过反射镜的反射使光波限制在光管道内向前传输。但是采用这种方法,系统复杂、造价高,并且施工、测试及维护都很不方便,没有实际应用的价值。显然,寻找稳定、可靠的低损耗传输介质成为激光通信发展的瓶颈。早在 1954 年,人们就尝试过传光用的玻璃(石英纤维),但其损耗高达 1000dB/km 以上,无法实用。

1966 年,英籍华裔学者高锟博士等人根据介质波导理论,提出光纤通信的概念,如图 1.1 所示,指出不是石英纤维本身固有的特性而造成 1000dB/km 以上的损耗,而是由于材料中的杂质,例如过渡金属(Fe、Cu 等)离子的吸收产生的。材料本身固有的损耗基本上由瑞利散射决定,它随波长的 4 次方而下降,其损耗很小。他们指出,只要设法消除材料中的杂质,做出损耗低于 20dB/km 的光纤是完全可能的。通过改进光纤制造过程中的热处理工艺,提高材料的均匀性,可以把损耗减小到几 dB 每千米。这一重大成果使光纤通信研究出现了生机,由此,高锟被誉为“光纤通信之父”。

1970 年,美国康宁玻璃公司根据高锟博士的设想拉制出了 20dB/km 的低损耗光纤。同年,贝尔实验室研制成功了在室温下可连续工作的激光器。此后,光纤的损耗不断下降,1972 年降至 4dB/km ,1974 年降至 1.1dB/km ,1976 年降至 0.5dB/km ,1979 年降至 0.2dB/km ,1990 年降至 0.14dB/km ,接近石英光纤的理论损耗极限值 0.1dB/km 。在此期间,对于作为光纤通信的光源的研究也取得了实质性的进展。1973 年,半导体激光器的寿命达到 7000 小时;1977 年,半导体激光器寿命达到 10 万小时(约 11.4 年),外推寿命达到 100 万小时(约 100 年),完全满足实用化的要求。

1980 年,多模光纤通信系统投入商用,单模光纤通信系统进入现场试验。人们不断改进光纤制造工艺,以降低光纤损耗,开发出 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 三个波段的光

纤。其中, $0.85\mu\text{m}$ 段多模光纤的损耗最大, $1.31\mu\text{m}$ 段单模光纤损耗居中, $1.55\mu\text{m}$ 段单模光纤的损耗最低, 在 0.2dB/km 以下。

到 1983 年, 欧美各国先后宣布主干网不再使用电缆, 而改用光缆。

光纤是现代通信网中传输信息的介质。随着光纤通信技术的发展, 光缆不仅敷设在陆地, 而且敷向海底。由于光纤具有频带宽、容量大、中继距离长、抗干扰性好、保密性强、成本低、传输质量高等优点, 使得光纤通信成为当今世界上最有发展前途的通信技术。一根头发粗细的光纤, 理论上可以传送 100 万路高质量的电视节目或 100 亿路电话; 从实际上讲, 可同时提供几百万对电话通路。如果把几十根或几百根光纤制成一条光缆, 其直径不过 $1\sim 2\text{cm}$, 而它的通信容量非常大。在世界技术革命的浪潮中, 光纤数字通信技术异军突起, 成为现代通信工具中的主力。

在我国, 1982 年原邮电部重点科研项目“82 工程”在武汉开通, 使中国的光纤通信技术进入实用阶段。经过近 20 年的发展, 中国已建成不仅仅是简单的“八纵八横”光缆主干线网, 而是覆盖全国, 包括“世界屋脊”青藏高原在内的比较完善的网状网, 已敷设光缆总长约 250 万千米。1999 年, 中国生产的 $8\times 2.5\text{Gb/s}$ WDM (Wavelength Division Multiplexing, 波分复用) 系统首次在青岛至大连之间开通, 然后沈阳至大连的 $32\times 2.5\text{Gb/s}$ WDM 光纤通信系统开通。2005 年, 3.2Tb/s ($80\times 40\text{Gb/s}$) 超大容量光纤通信系统在上海至杭州之间开通, 这是到目前为止世界上容量最大的实用光纤通信线路。光纤通信已成为中国通信网络中采用的主要手段。

光纤通信的发展大致分为以下四个阶段。

第一个阶段(1970—1979 年): 光导纤维与半导体激光器研制成功, 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为世界上第一个光纤通信系统。它是短波长($0.85\mu\text{m}$)、低速率(45Mb/s 或 34Mb/s)多模光纤通信系统, 无中继传输距离约 10km 。

第二个阶段(1980—1986 年): 光纤技术取得进一步突破, 光纤损耗降至 0.5dB/km 以下。骨干网由多模光纤转向单模光纤, 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 $1.55\mu\text{m}$)。在这一阶段, 数字通信系统的速率不断提高, 光纤连接技术与器件的寿命问题都得到解决。由于采用 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, 准同步数字体系) 技术, 网络结构比较简单, 其传输速率为 $2.048/8.448/34.368/139.264\text{Mb/s}$, 无中继传输距离为 $100\sim 50\text{km}$, 适用于用户传输网络和市话传输网络。光传输系统与光缆线路建设逐渐进入高潮。

第三个阶段(1987—1996 年): 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, 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。光纤数字通信系统由 PDH 向 SDH (Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字体系) 过渡。SDH 是宽带传输技术, 速率为 $155/622/2500\text{Mb/s}$, 无中继传输距离为 $150\sim 100\text{km}$ 。

第四个阶段(1997 年至今): 1997 年, 采用波分复用技术(WDM)的 20Gb/s 和 40Gb/s

SDH 产品试验取得重大突破。采用 SDH+EDFA+DWDM(Dense WDM, 密集型波分复用)技术, 一根光纤上的传输容量每 9~12 月翻一番。在交换技术方面, 电路交换逐渐被具有路由器功能的分组交换(IP over ATM)所取代, 使光中继传输向全光网络大步迈进, 通信容量达到 10Gb/s、20Gb/s、40Gb/s、80Gb/s、320Gb/s 及 3.2Tb/s, 无中继传输距离为 2415~3000km。

此外, 人们在光孤子通信、超长波长通信和相干光通信方面的研究也取得巨大进展, 未来实现全球无中继的光纤通信是完全可能的。

随着数据业务爆炸式增长, 通信道路越来越拥挤, 电子传输设备的速度高速增长, 只有光纤线路的容量才能满足需求。光纤通信成为所有通信系统的最佳技术选择。光纤通信继续向着高速率、大容量和智能化的方向发展。光纤通信、卫星通信和无线通信是现代化通信的三大支柱, 其中光纤通信是主体。随着各种新技术、新器件、新工艺的深入研究, 光纤传输将进入光放大、光集成、光分插复用、光交叉连接和光交换的全光网时代。图 1.2 为用户终端现代通信方式示意图。

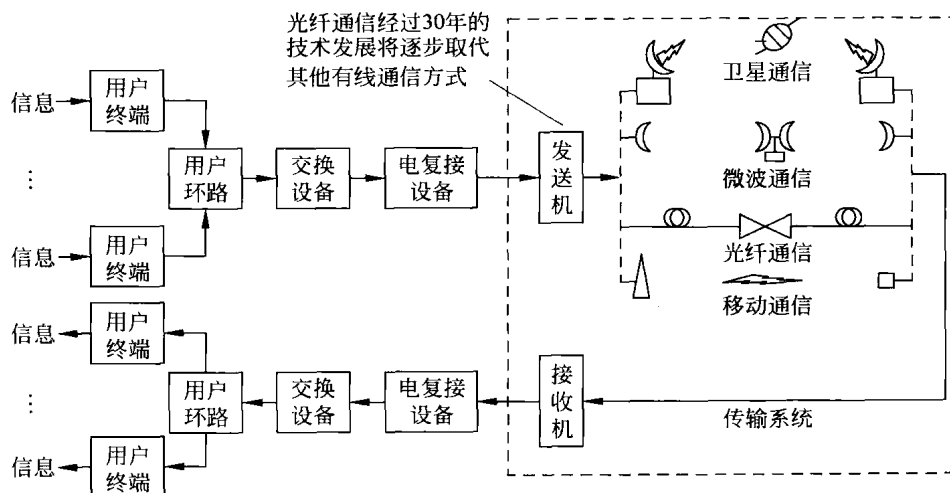


图 1.2 用户终端现代通信方式示意图

1.2 光纤通信的特点

任何一种通信系统追求的目标都是要可靠地实现最大可能的信息传输容量和传输距离。通信系统的传输容量取决于对载波调制的频带宽度, 载波频率越高, 频带宽度越宽。通信技术发展的历史就是一个不断提高载波频率, 增加传输容量和传输距离的历史。

电缆通信和微波通信的载波是电波, 光纤通信的载波是光波。虽然光波和电波都是电磁波, 但是频率差别很大。图 1.3 给出了通信所用的电磁波谱。在电磁波谱中, 传输介质有毫米波、微波波导、金属导线及传送无线电波的大气。使用这些介质进行传输的通信系统, 是我们熟悉的电话、电报、调幅和调频无线电广播、电视、雷达及卫星通信系

统。可以看出,随着通信技术的发展,传输频率从音频的数百赫[兹]逐渐扩展到毫米波带中的 90GHz。对于更高的频率,用波长表示更方便。波长 $1\mu\text{m}$ 相当于频率 300THz,即 $3\times 10^{14}\text{Hz}$ 。因此,开拓频率更高的光波应用成为通信技术发展的必然。光纤通信用的近红外光(波长为 $0.8\sim 1.7\mu\text{m}$)的频带宽度约为 200THz。按理论计算,常用的 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 两个波长窗口的容量至少有 25000GHz。

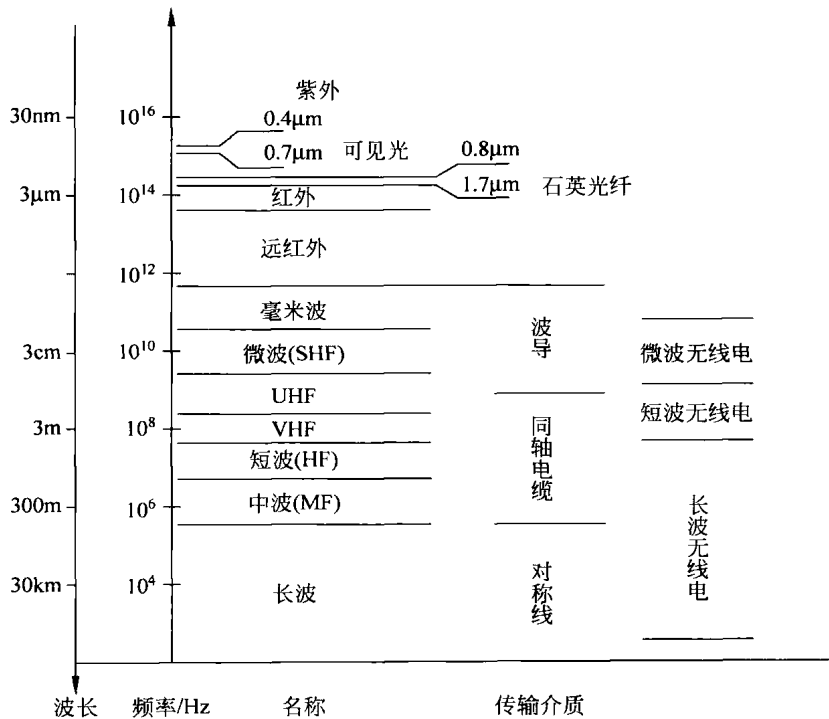


图 1.3 通信用电磁波波谱图

表 1.1 给出了电缆和光纤的损耗与频带比较。从表 1.1 可以看出,电缆基本上只适用于数据速率较低的局域网(LAN),对于高速($\geq 100\text{Mb/s}$)局域网和城域网(MAN),必须采用光纤。

表 1.1 电缆和光纤的损耗与频带比较

类 型	频带(或频率)	损耗/(dB/km)
对称电缆	4kHz	2.06
细同轴电缆	1MHz	5.24
	30MHz	28.70
粗同轴电缆	1MHz	2.42
	60MHz	18.77
0.85 μm 波长多模光纤	(200~1000)MHz·km	≤ 3
1.3 μm 波长多模光纤	$\geq 1000\text{MHz}\cdot\text{km}$	≤ 1.0
1.31 μm 波长单模光纤	$>100\text{GHz}$	0.36
1.55 μm 波长单模光纤	10~100GHz	0.2