

面向21世纪高等学校精品规划教材
电子信息类

GUANGXIAN
TONGXIN

光 纤

通 信

主 编 黄一平
副主编 赵彦晓 姚 伟

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TN929.11/75

2008

面向 21 世纪高等学校精品规划教材·电子信息类

光 纤 通 信

主 编 黄一平

副主编 赵彦晓 姚 伟

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书比较全面地介绍了光纤通信系统和 SDH 光传输系统的基本理论和主要技术。主要包括: 光纤通信系统组成、光纤和光缆、有源光器件和无源光器件、光端机的组成、SDH 和 PDH 数字光纤系统的两种传输体制、光纤通信新技术、光纤通信实训。重点论述光纤通信系统、SDH 传输系统、光端机的基本原理和光传输网络基本结构、业务应用。全书共分 7 章: 数字光纤通信系统概述、光纤与光缆、通信光器件、光端机、数字光纤系统的两种传输体制、光纤通信新技术、光纤通信实训。

本书是高等院校通信类、电子信息类专业教学用书, 也可以作为通信工程技术人员的技术参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信/黄一平主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 1
ISBN 978 - 7 - 5640 - 1375 - 2

I. 光… II. 黄… III. 光纤通信 IV. TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 206091 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 267 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 21.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

电子信息技术的发展水平是衡量一个国家现代化水平和综合国力的重要标志,是我国今后 20 年高科技发展的重点。目前,随着我国电子信息技术及理论研究的快速发展,电子信息技术的各个领域急需大量的应用型工程技术人才。他们既掌握着比较丰富的基础理论知识,又具有比较强的动手能力和一定的专业实践经验,能够在实际工作中比较好地分析问题、解决问题;有较高的综合素质,能够在基层一线对自己所从事的工作和工程实际问题进行研究、探索,能够组织工程项目的实施。

近年来新建本科院校大都以应用型为办学定位,形成了一批占全国本科高校总数近 30% 的、与传统本科院校不同的应用型本科院校。教材是教学的主要依据,也是教学改革的重要组成部分。教学改革的种种设想和试验,大多要通过教材建设来具体体现;教材建设反过来又推动和促进教学改革。面对高等教育对象的扩展、教学模式的变革、教材内容需求的变化,为了更好地适应当前我国高等教育这种发展的需要,满足我国高校对电子信息类应用型人才培养的各种要求,北京理工大学出版社组织知名专家、学者,以培养应用型人才为主题进行深入的研讨,确立了电子信息类应用型本科教材的出版规划。

本套教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 定位明确。针对应用型本科“理论基础扎实,专业知识面广,实践能力强,综合素质高,并有较强的科技运用、推广、转换能力”的特点,在选择教材内容和确立编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(2) 注重培养学生职业能力。电子信息类专业学生要能紧跟电子信息产业的迅

速发展,要有较强的适应工作的能力,具备使用先进应用软件的能力,在此套教材中强调培养学生利用诸如 protel、maxplusII、multisim、matlab 等工具软件进行电路设计和仿真调试的能力。

(3) 体系完整。此套教材包括了电子信息工程和通信工程的专业基础课和部分专业选修课。

(4) 保证质量。本套教材大多是在已经在学生中用过几轮并且经实际验证比较优秀的课程讲义的基础上形成的。在教材出版后我们将选择并安排一部分比较好的优秀教材修订再版,逐步形成精品教材。

(5) 提供教学软件包。可在北京理工大学出版社网站 [www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn) 下载。

本套教材可作为应用型本科院校电子信息工程、通信工程等专业的课程教学用书,也可以作为电子信息技术的技能培训用书。

前言

现代社会已经进入了信息时代,随着通信技术的飞速发展,通信类的应用型本科教育应以适应通信技术发展,培养通信生产和服务一线的高级技术型人才为目的,但当前适应应用型本科教育通信类学生学习特点的教材却十分紧缺,因此,编写一本以重视理论与实际的结合,避免烦琐的数学推导,着重于应用,注重实际操作技能,力求通顺易懂的通信技术类教材,是当今应用型本科教学上的一个迫切要求。为了适应这一要求,本书从学生认知水平出发,从光纤通信系统基本组成和概念着手,结合光端机设备进行了较详细的讲述;之后,详细介绍 SDH 技术的原理,通过学习光纤通信系统和 SDH 光传输网的基本原理、实际动手测试光纤通信系统和 SDH 传输通信网设备,使学习者掌握光纤通信系统和 SDH 传输技术原理、相关设备的测试及维护知识,对将来从事通信行业的运营部门或设备商工作都会打下良好的基础。

本教材共分为 7 章:

第 1 章 数字光纤通信系统概述 介绍光纤通信系统的基本组成、光纤通信的特点与应用、光纤通信发展趋势。

第 2 章 光纤与光缆 介绍光纤的结构和类型、光纤的传输特性,包括光纤的几何特性、光学特性和传输特性、单模光纤结构、特性参数和分类、光缆的结构、型号和规则。

第 3 章 通信光器件 介绍光源的种类、各种光源的工作原理、基本结构和工作特性;光电检测器的种类、各种光电检测器的工作原理、基本结构和工作特性;光无源器件种类、各种光无源器件的功能与应用。

第 4 章 光端机 介绍光发送机的功能、电路组成和工作原理;光接收机的功能、电路组成和工作原理;光通信常用线路码型。

第 5 章 数字光纤系统的两种传输体制 介绍 SDH 信号帧结构和复用步骤、开销字节的类型和作用、SDH 网络常见网元功能和特点、SDH 基本网络拓扑功能特点、各种自愈网的保护机理及实现。

第 6 章 光纤通信新技术 介绍 DWDM 的基本概念;DWDM 的产生背景、技术特点;光接入网的基本概念和分类;光接入网的应用类型。

第 7 章 光纤通信实训 包括 3 个实训项目:光通信器件的认识与测试、光纤通信系统综合测试、光传输网的组网与调测。

《光纤通信》课程的结构是通过围绕 3 个实训项目进行教学的,本书以该课程的知识结

构体系为基础，理论知识依据 3 个实训项目所需用到的光纤通信基本原理，理论内容以够用为度，注意实际应用。

本书由黄一平任主编，赵彦晓、姚伟任副主编。其中第 1、4、7 章由黄一平编写，第 2、3 章由赵彦晓编写，第 5、6 章由姚伟编写。本书得到了刘连青和熊伟林老师的全力指导，提出了许多建设性建议并审阅了全稿，在此表示最诚挚的谢意。

由于通信技术发展迅猛，作者水平有限，加上时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 数字光纤通信系统概述	(1)
1.1 光纤通信发展现状	(1)
1.2 光纤通信的特点和应用	(6)
1.3 光纤通信系统的基本组成	(8)
1.4 光纤通信系统的发展趋势	(11)
本章小结	(15)
思考与练习题	(15)
第2章 光纤与光缆	(16)
2.1 光纤的导光原理	(16)
2.2 光纤的结构和类型	(18)
2.3 光纤特性	(21)
2.4 单模光纤	(31)
2.5 光缆的结构和种类	(34)
本章小结	(39)
思考与练习题	(39)
第3章 通信光器件	(40)
3.1 光源	(40)
3.2 半导体光电检测器	(48)
3.3 无源光器件	(51)
本章小结	(59)
思考与练习题	(59)
第4章 光端机	(61)
4.1 光发送机	(61)
4.2 光接收机	(68)
4.3 线路编码	(72)



本章小结	(79)
思考与练习题	(79)
第5章 数字光纤系统的两种传输体制	(80)
5.1 数字复接原理	(80)
5.2 准同步数字系列 PDH	(84)
5.3 同步数字系列 SDH	(86)
本章小结	(123)
思考与练习题	(124)
第6章 光纤通信新技术	(126)
6.1 DWDM 概述	(126)
6.2 光接入网	(131)
本章小结	(137)
思考与练习题	(137)
第7章 光纤通信实训	(139)
7.1 实训项目一 光器件的认识与测试	(139)
7.2 实训项目二 光纤通信系统综合测试	(150)
7.3 实训项目三 光传输网的组网与调测	(178)
参考文献	(198)

第 1 章 数字光纤通信系统概述

本章简要介绍数字光纤通信系统的基本概念，光纤通信系统的基本组成，光纤通信的特点与应用和光纤通信的发展现状与发展趋势。

本章要求掌握的重点内容是：

- ❖ 光纤通信系统的基本组成。
- ❖ 光纤通信的特点与应用。
- ❖ 光纤通信发展趋势。

1.1 光纤通信发展现状

1.1.1 光纤通信发展的历史

中国古代用“烽火台”报警，欧洲人用旗语传送信息，这些都可以看作是原始形式的光通信。望远镜的出现，又极大地延长了这种目视光通信的距离。

1880 年，美国人贝尔（Bell）发明了用光波作载波传送话音的“光电话”。这种光电话利用太阳光或弧光灯作光源，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，用抛物面反射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，传送到受话器。由于当时没有理想的光源和传输介质，这种光电话的传输距离很短，并没有实际应用价值，因而进展很慢。然而，光电话仍是一项伟大的发明，它证明了用光波作为载波传送信息的可行性。因此，可以说贝尔光电话是现代光通信的雏形。

1960 年，美国人梅曼（Maiman）发明了第一台红宝石激光器，给光通信带来了新的希望，和普通光相比，激光具有波谱宽度窄，方向性极好，亮度极高，以及频率和相位较一致的良好特性。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。继红宝石激光器之后，氦-氖（He-Ne）激光器、二氧化碳（CO₂）激光器先后出现，并投入实际应用。激光器的发明和应用，使沉睡了 80 年的光通信进入一个崭新的阶段。

虽然，固体激光器的发明大大提高了发射光功率，延长了传输距离，使大气激光通信可



以在江河两岸、海岛之间和某些特定场合使用，但是大气激光通信的稳定性和可靠性仍然没有解决。

1.1.2 现代光纤通信

1966 年出生在中国上海的英籍华人高锟，发表论文《光频介质纤维表面波导》，提出用石英玻璃纤维（光纤）传送光信号来进行通信，可实现长距离、大容量通信。他指出了利用光纤（Optical Fiber）进行信息传输的可能性和技术途径，奠定了现代光通信——光纤通信的基础。当时石英纤维的损耗高达 1 000 dB/km 以上，高锟等人指出：这样大的损耗不是石英纤维本身固有的特性，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（Rayleigh）散射决定，它随波长的四次方而下降，其损耗很小。因此有可能通过原材料的提纯制造出适合于长距离通信使用的低损耗光纤。

光纤的发明，引起了通信技术的一场革命，是构成 21 世纪即将到来的信息社会的一大要素。

1970 年损耗为 20 dB/km 的光纤研制出来了。据说康宁公司花费 3 000 万美元，得到 30 m 光纤样品，认为非常值得。这一突破，引起整个通信界的震动，世界发达国家开始投入巨大力量研究光纤通信。

1976 年，美国贝尔实验室在亚特兰大到华盛顿间建立了世界第一条实用化的光纤通信线路，速率为 45 Mb/s，采用的是多模光纤，光源用的是发光管 LED，波长是 0.85 μm 的红外光。

在 20 世纪 70 年代末，大容量的单模光纤和长寿命的半导体激光器研制成功。光纤通信系统开始显示出长距离、大容量无比的优越性。按理论计算：就光纤通信常用波长 1.31 μm 和 1.55 μm 波长窗口的容量至少有 25 000 GHz。自然会想到采用多波长的波分复用技术 WDM（Wavelength Division MultiPlex）。

1996 年 WDM 技术取得突破，贝尔实验室发展了 WDM 技术，美国 MCI 公司在 1997 年开通了商用的 WDM 线路。光纤通信系统的速率从单波长的 2.5 Gb/s 和 10 Gb/s 爆炸性地发展到多波长的 Tb/s（1 Tb/s = 1 000 Gb/s）传输。当今实验室光系统速率已达 10 Tb/s，几乎是用之不尽的，所以它的前景辉煌。

我国光纤通信发展开始于改革开放之后，这个时期光纤通信的研发工作大大加快。上海、北京、武汉和桂林都研制出光纤通信试验系统。1982 年邮电部重点科研工程在武汉开通。该工程被称为实用化工程，要求一切是商用产品而不是试验品，要符合国际 CCITT 标准，要由设计院设计、工人施工，而不是科技人员施工。从此中国的光纤通信进入实用阶段。

在 20 世纪 80 年代中期，我国数字光纤通信的速率已达到 144 Mb/s，可传送 1 980 路电



话,超过同轴电缆载波。光纤通信作为主流被大量采用,在传输干线上全面取代电缆。经过国家“六五”、“七五”、“八五”和“九五”计划,中国已建成“八纵八横”干线网,连通全国各省区市。现在,中国已敷设光缆总长约250万千米。光纤通信已成为中国通信的主要手段。

1999年中国生产的 $8 \times 2.5 \text{ Gb/s WDM}$ 系统首次在青岛至大连开通,随后沈阳至大连的 $32 \times 2.5 \text{ Gb/s WDM}$ 光纤通信系统开通。

2005年 3.2 Tb/s 超大容量的光纤通信系统在上海至杭州开通,是至今世界容量最大的实用线路。

中国已建立了一定规模的光纤通信产业。中国生产的光纤光缆、半导体光电子器件和光纤通信系统能供国内建设,并有少量出口。

自从1966年高锟提出光纤作为传输介质的概念以来,光纤通信从研究到应用,发展非常迅速。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。光纤通信的发展可以粗略地分为三个阶段:

第一阶段(1966—1976年),这是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(45 或 34 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),这是以提高传输速率和增加传输距离为研究目标和大力推广应用的大发展时期。在这个时期,光纤从多模发展到单模,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 $1.55 \mu\text{m}$),实现了工作波长为 $1.31 \mu\text{m}$ 、传输速率为 $140 \sim 565 \text{ Mb/s}$ 的单模光纤通信系统,无中继传输距离为 $50 \sim 100 \text{ km}$ 。

第三阶段(1986—1996年),这是以超大容量超长距离为目标、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 $2.5 \sim 10 \text{ Gb/s}$,无中继传输距离可达 $100 \sim 150 \text{ km}$ 。实验室可以达到更高水平。

之后开展研究的光纤通信新技术,例如,超大容量的波分复用(WDM, Wavelength Division Multiplexing)光纤通信系统和超长距离的光孤子(Soliton)通信系统。

1.1.3 国内外光纤通信发展的现状

1976年美国在亚特兰大进行的现场试验,标志着光纤通信从基础研究发展到了商业应用的新阶段。

此后,光纤通信技术不断创新。光纤从多模发展到单模,工作波长从 $0.85 \mu\text{m}$ 发展到 $1.31 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$,传输速率从几十 Mb/s 发展到几十 Gb/s 。

另一方面,随着技术的进步和大规模产业的形成,光纤价格不断下降,应用范围不断扩大。从初期的市话局间中继到长途干线进一步延伸到用户接入网,从数字电话到有线电视



(CATV), 从单一类型信息的传输到多种业务的传输。

目前光纤已成为信息宽带传输的主要媒质, 光纤通信系统将成为未来国家信息基础设施的支柱。下面介绍当今发展较快的几项光纤通信技术。

1. 波分复用技术

光纤通信的多路复用技术, 一开始是采用原来铜缆沿用的 PCM 脉冲编码调制方式, 把模拟信号变换为数字信号, 再应用时分多路 (TDM, WTBX Time Division Multiplexing) 技术组成一次群即基群 (2 Mb/s)、二次群 (8 Mb/s)、三次群 (34 Mb/s) 和四次群 (140 Mb/s) 等, 这种系列被称为准同步数字系列 (PDH, WTBX Plesiochronous Digital Hierarchy)。各国现有的 PDH 有三种系列, 互不兼容, 而且没有统一的标准接口规范, 各个厂家生产的设备不能互通, 另外还存在上下电路困难等问题。后来改用新的同步数字系列 (SDH, WTBX Synchronous Digital Hierarchy), 即 STM - 1 (155 Mb/s), STM - 4 (622 Mb/s) 和 STM - 16 (2.5 Gb/s) 等。SDH 所采用的复用技术, 仍然属于 TDM 技术。

目前, SDH 系列在国内外已大量使用, 我国干线上主要使用 STM - 16, 相当于可复用 3 万多个话路。高于 2.5 Gb/s 以至更高速率的研究工作已在我国和其他许多国家展开, 其间碰到的最大问题是光纤色散的限制, 而要克服这些限制在技术上、成本上都十分困难。因此, 当前实际应用的大都只限于 2.5 Gb/s, 不超过 10 Gb/s 的传输速率。

近年来, WDM 技术的进展, 为光纤通信的发展开辟了另一个十分广阔的前景。WDM 是在一根光纤上同时利用多个波长进行传输的技术。比如, 目前我国开发的在一根光纤上同时传送 8 个波长系统, 每个波长的速率可达 2.5 Gb/s, 即所谓 8×2.5 Gb/s 系统。这样, 一根光纤的总速率可达 20 Gb/s。若每个波长的速率为 10 Gb/s, 则一根光纤的总速率就可达 80 Gb/s。这将大量节省光纤的数量。最近我国正在全国长途骨干光缆网上进行升级改造, 也就是利用 WDM 8×2.5 Gb/s 光传输系统使一对光纤可同时传送 24 万路电话或 2 400 套电视节目。据报道, 国外已出现 206 个波长的 WDM 系统试验样机。可见 WDM 技术的发展前景很好。

WDM 技术的发展, 不但大量节省光纤数目和以后扩容的工程费用, 而且在长途干线上还可以大量节省掺铒光纤放大器 (EDFA, Er-Doped Fiber Amplifier) 的数目。因为目前掺铒光纤放大的带宽达 30 nm, 足以使多个波长一起得到放大增益, 不必每个波长配置单独的掺铒光纤放大器。当波长更多时, 掺铒光纤放大器必须有更宽的平坦带宽增益。

2. 光纤接入网 (OAN, WTHX Optical Access Network) 技术

10 多年来, 由于各种通信业务的迅猛发展, 对通信容量的需求急剧增加, 光纤干线的建设应运而生, 各国先后建成全国的光缆骨干网。随后出现的问题是用户接入网仍保留着旧的铜缆网, 不能适应发展需要, 必须加以改造。改造的方案很多, 首先考虑到的是开发利用铜缆的潜力, 进一步提高其带宽来满足一定时期的需要, 然后再过渡到光缆。比如, 当前不少国家都在采用的线对增容系统、高比特率数字用户环路 (HDSL, High-Bit-Rate Digital



Subscriber Loop)、不对称数字用户环路 (ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Loop)、混合光纤与同轴电缆系统 (HFC, WTBX Hybrid Fiber and coaxial Cable) 等都属于一些过渡性措施, 应用广泛。

近年来, Internet 的崛起大大超出人们原来的估计, 目前它的年增长率已达 300%, 形成爆炸性的增长, 并促使电信、计算机、有线电视等技术的融合, 走向三网合一。三网合一意味着数据、话音、视像等各种业务都综合起来进行传送。这种综合必将大大促进在接入网中大量使用光纤, 促进光纤用户接入网的发展, 加速光纤到户 (FTTH, Fiber to the Home) 的实现。

在实现光纤到户前, 首先采用交换式数字图像 (SDV, WTBX Switched Digital Video) 系统是一种较好的方案。数字图像系统由一个以光源光网络 (PON, WTBX Passive Optical Network) 为基础的数字光纤到路边 (FTTC, WTBX Fiber to the Curb) 系统与一个单向的混合光纤与同轴电缆有线电视系统叠加而成。数字图像系统主干传输部分采用共缆分纤的空分复用 (SDM, WTBX Space Division Multiplexing) 方式分别传送双向数字信号和单向模拟视像信号。

上述两种信号由设置于路边的光网络单元 (ONU, WTBX Optical Network Unit) 分别恢复成各自的基带信号, 其中语音信号经双绞线送往用户, 数字和模拟视像信号经同轴电缆送往用户。光网络单元由同轴电缆负责供电。

数字图像技术的优点是数字视像和模拟视像可以兼容, 较好地解决光纤到路边的供电问题, 能可靠地传送电信业务, 对已有的混合光纤与同轴电缆网不必加以改造。因此, 采用数字图像技术作为实现光纤到户前的过渡方案是可行的。

3. 全光网技术

光纤通信技术是以光纤代替电缆, 以光波代替原来频率较低的电磁波发展起来的。因此, 至今在光纤通信系统上仍需用大量的电信设备, 甚至本来的光信号源也要变换成电信号源, 然后进入光纤通信系统。在传输过程中的放大、交换及接入设备终端等基本上全是电设备。这是由于电系统比较成熟、应用比较方便所造成的。但这些电设备会带来许多限制和干扰因素, 而这些因素在光的系统中原本是可以避免的。

建立全光网的设想很早就提出来了, 但困难很多, 最关键的技术问题是解决光信号在传输过程中的损耗和光的交换问题。

20 世纪 80 年代出现了光纤放大器以后, 研究工作的进展就比较快了。目前, 光的交换技术研究也有了很大的进展, 其中进展较快、较实际的是基于 WDM 技术的全光网。

迄今比较成熟的光放大器是掺铒光纤放大器, 它的带宽通常在 1 530 ~ 1 560 nm 之间, 在单模光纤上开通 4, 8, 16 个波长是比较方便的。

光路交换可以有: 针对光纤在不同空间位置的空分交换方式; 控制不同时延进行的时分交换方式; 转换不同波长/频率的波分/频分交换方式; 或综合其中两种及两种以上的综合交



换方式。

近年来,美国、欧洲、日本等一些国家已先后建立全光网的现场试验。比如美国组成的多波长全光通信试验网(MONET),泛欧光纤传输叠加网(PHOTON)等,其中还用到一些光器件,如光的交叉连接器(OXC, Optical Cross Connector)、波长路由器(Wavelength Router)、波长转换器(Wavelength Converter)、插分复接/分接复用器(ADM, Add-Drop Multiplexer-Demultiplexer)等。当波分复用系统的光纤进入本局的插分复接/分接复用器后,可以让部分波长从中分出,其他波长则直通,分出的部分波长负载上的信号进入本局,而由本局引出的信号荷载于同样波长进入插分复接/分接复用器。其工作原理与电的ADM原理相仿。随着各种光器件和光交换技术的不断完善,全光网技术也将日趋成熟。

1.2 光纤通信的特点和应用

1.2.1 光通信与电通信

任何通信系统追求的最终技术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。通信技术发展的历史,实际上是一个不断提高载波频率和增加传输容量的历史。20世纪60年代,微波通信技术已经成熟,因此开拓频率更高的光波应用,就成为通信技术发展的必然。

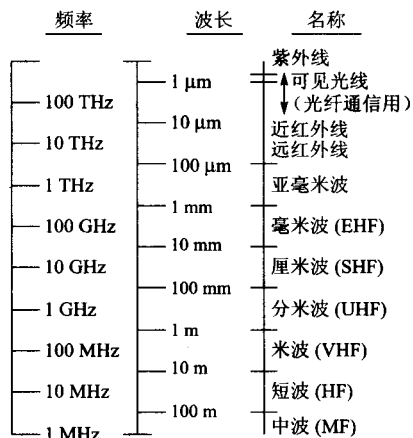


图 1-1 部分电磁波频谱

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。光纤通信用的近红外光(波长约 1 μm)的频率(约 300 THz)比微波(波长为 0.1 m ~ 1 mm)的频率(3 ~ 300 GHz)高 3 个数量级以上。

图 1-1 给出相关部分的电磁波频谱。光纤通信用的近红外光(波长为 0.7 ~ 1.7 μm)频带宽度约为 200 THz,在常用的 1.31 μm 和 1.55 μm 两个波长窗口频带宽度也在 20 THz 以上。由于光源和光纤特性的限制,目前,光强度调制的带宽一般只有 20 GHz,因此还有 3 个数量级以上的带宽潜力可以挖掘。

1.2.2 光纤通信的特点

在光纤通信系统中,作为载波的光波频率比电波频率高得多,而作为传输介质的光纤又比同轴电缆或波导管的损耗低得多,因此相对于电缆通信或微波通信,光纤通信具有许多独特的优点。



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 1 000 亿个话路。虽然目前远远未达到如此高的传输容量,但用一根光纤同时传输 24 万个话路的试验已经取得成功,它比传统的明线、同轴电缆、微波等要高出几十乃至上千倍以上。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甚至上千根光纤,如果再加上波分复用技术把一根光纤当作几根、几十根光纤使用,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耗系数(目前商用石英光纤已达 0.19 dB/km 以下),若配以适当的光发送与光接收设备,可使其中继距离达数百千米以上。这是传统的电缆(1.5 km)、微波(50 km)等根本无法与之相比拟的。因此光纤通信特别适用于长途一、二级干线通信。用一根光纤同时传输 24 万个话路、100 km 无中继的试验已经取得成功。此外,已在进行的光孤子通信试验,已达到传输 120 万个话路、6 000 km 无中继的水平。因此,在不久的将来实现全球无中继的光纤通信是完全可能的。

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“泄露”出去,因此其保密性能极好。

4. 适应能力强

适应能力强是指:不怕外界强电磁场的干扰、耐腐蚀,可挠性强(弯曲半径大于 25 cm 时其性能不受影响)等。

5. 体积小、质量轻、便于施工维护

光缆的敷设方式方便灵活,既可以直埋、管道敷设,又可以水底和架空敷设。

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即沙子,而沙子在大自然中几乎是取之不尽、用之不竭的。因此其潜在价格是十分低廉的。

光纤通信也有以下缺点:

光纤弯曲半径不宜过小;光纤的切断和连接操作技术复杂;分路、耦合麻烦。

总之,光纤通信不仅在技术上具有很大的优越性,而且在经济上具有巨大的竞争能力,因此其在信息社会中将发挥越来越重要的作用。

1.2.3 光纤通信的应用

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网上,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系统。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。



光纤可以传输数字信号，也可以传输模拟信号。光纤在通信网、广播电视网与计算机网，以及其他数据传输系统中，都得到了广泛应用。光纤宽带干线传送网和接入网发展迅速，是当前研究开发应用的主要目标。

光纤通信的各种应用可概括如下：

通信网，包括全球通信网（如横跨大西洋和太平洋的海底光缆和跨越欧亚大陆的洲际光缆干线）、各国的公共电信网（如我国的国家一级干线、各省二级干线和县以下的支线）、各种专用通信网（如电力、铁道、国防等部门通信、指挥、调度、监控的光缆系统）、特殊通信手段（如石油、化工、煤矿等部门易燃易爆环境下使用的光缆，以及飞机、军舰、潜艇、导弹和宇宙飞船内部的光缆系统）。

构成因特网的计算机局域网和广域网，如光纤以太网、路由器之间的光纤高速传输链路。

有线电视网的干线和分配网，工业电视系统，如工厂、银行、商场、交通和公安部门的监控，自动控制系统的数据传输。

综合业务光纤接入网，分为有源接入网和无源接入网。可实现电话、数据、视频（会议电视、可视电话等）及多媒体业务综合接入核心网，提供各种各样的社区服务。

1.3 光纤通信系统的基本组成

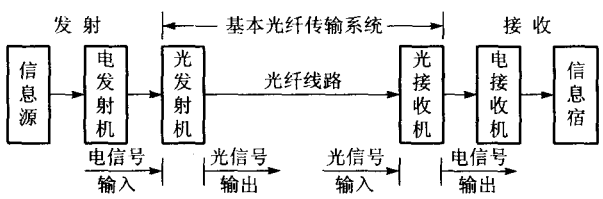


图 1-2 光纤通信系统的基本组成（单向传输）

光纤通信系统可以传输数字信号，也可以传输模拟信号。用户要传输的信息多种多样，一般有话音、图像、数据或多媒体信息。为叙述方便，这里仅以数字电话和模拟电视为例。图 1-2 示出单向传输的光纤通信系统，包括发射、接收和作为广义信道的基

本光纤传输系统。

1.3.1 发射和接收

如图 1-2 所示，信息源把用户信息转换为原始电信号，这种信号称为基带信号。电发射机把基带信号转换为适合信道传输的信号，这个转换如果需要调制，则其输出信号称为已调信号。

对于数字电话传输，电话机把话音转换为频率范围为 0.3 ~ 3.4 kHz 的模拟基带信号，电发射机把这种模拟信号转换为数字信号，并把多路数字信号组合在一起。模/数转换目前普遍采用脉冲编码调制（PCM）方式，这种方式是通过模拟信号进行抽样、量化和编码