



面向“十二五”高等学校精品规划教材◎电气信息类
高等教育课程改革项目研究成果

GUANGXIAN TONGXIN

光纤通信

主 编 聂 兵

副主编 黄廷忠 周向阳 周志强

- **新**: 新思路、新领域、新技术、新变革
- **活**: 模块化、立体化、可扩展
- **精**: 精品、精心、精致

29.11-43



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十二五”高等学校精品规划教材·电气信息类
高等教育课程改革项目研究成果

光 纤 通 信

主 编 聂 兵

副主编 黄廷忠 周向阳 周忠强

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书全面讲述了光纤通信的基本理论和应用, 主要包括: 光纤通信系统的组成; 光纤(光缆)结构、类型与传输特性, 光纤的连接; 光无源器件原理与应用; 光源、光源调制与光发送机原理和性能指标; 光检测器原理, 光接收机的组成、原理和性能; 光放大及其应用; SDH 体系和数字光纤传输系统设计与性能指标; 波分复用的原理与技术; SDH 传送网, 光传送网(OTN), 自动交换光网络(ASON), 光城域网技术, 光接入网结构与应用等。

本书力求在光纤通信系统的原理、应用、设计等方面提供必要的信息, 可以作为通信工程、电子信息工程和光电信息工程等相近专业的本科教学用书和光纤通信的技术培训教材, 也可作为一般工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信 / 聂兵主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2573 - 1

I. 光… II. 聂… III. 光纤通信 - 高等学校 - 教材 IV. TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 225548 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 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13. 75

字 数 / 316 千字

版 次 / 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 28. 00 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

自 20 世纪 70 年代第一根低损耗光纤和半导体激光器出现后, 光纤通信飞速发展, 迅速成熟并得到广泛商用, 成为构建国家基础信息设施的主要信息传输手段, 基于光纤通信技术的通信网络已经成为最主要的信息传输网络。光纤通信网络提供的巨大带宽, 满足了人们日益增长的通信需求, 在人类信息化进程中发挥着重要作用, 也促进了通信技术的不断变革与发展。在我国, 八纵八横的光纤骨干网络建设、城市光纤环网建设, 促进了我国光纤通信技术的发展与进步, 光纤通信技术也成为我国与发达国家差距最小的领域之一。光纤网络将(或正在)延伸到我们的身边 (FTTO、FTTH), 为我们的个人通信提供足够的信息通道。

目前, 我国高校的通信工程、电子信息工程和光电信息工程等相关专业普遍开设有光纤通信方面的课程, 有关这方面的教材也很多。很多教材在理论体系及数学论证方面论述十分详细, 这无疑是正确的, 也是必要的, 能够为全面深入地理解与掌握光纤通信原理与技术打下扎实的基础。同时, 在教学过程中我们也发现, 这些内容的学习对于初学者来说有一定的困难, 在应用型人才培养定位的高校中更为明显。特别是在当前教学学时缩减的背景下, 如何让学生能够较全面地了解光纤通信(网络)的体系结构和应用方法, 而不拘泥于严密的理论推导过程, 使学生不畏惧光纤通信课程的学习。本书试图不以数学论证为基础, 尽可能在光纤通信系统的原理、应用、设计等方面提供必要的信息。本书列出了重要的理论结果和数学结论, 但省去了推导过程, 更多地关注结论的物理含义、工作原理和实际工程应用, 我们认为这是和应用型人才培养定位相一致的。实践证明, 通过加强实践应用理论和知识的教学, 并结合开设光纤与系统测试、网络构建和配置等应用方面的实验, 能够为学生从事光纤通信等相关领域的工作打下必备的基础。

本书共分 9 章。第 1 章介绍了光纤通信的基本概念和特点, 光纤通信的产生和发展, 光纤通信系统的基本组成及相关技术。第 2 章介绍了光纤和光缆的结构, 光纤的传输理论, 光纤的传输特性, 以及光纤的连接。第 3 章介绍了常用的光无源器件的基本结构、原理和应用。第 4 章介绍了光纤通信中的光源——半导体激光器和半导体发光二极管的工作原理与应用, 光源调制, 数字光发送机的组成与工作原理。第 5 章介绍了光检测器的原理、性能参数, 光接收机的工作原理与性能指标, 还介绍了光中继器的组成与应用。第 6 章介绍了光放大器, 主要包括光放大器的应用形式, 掺铒光纤放大器和光纤拉曼放大器的结构、原理以及应用方式。第 7 章介绍了 SDH 体系, 讨论了数字光纤传输系统的设计, 主要是一个再生段的损耗与色散设计, 还介绍了数字光纤系统的性能指标特性。第 8 章介绍了波分复用的基本原理、基本组成和影响 WDM 的关键技术。第 9 章介绍了 SDH 传送网的概念和模型、SDH 自愈环网结构和工作方式、SNCP 保护, 讨论了光传送网 (OTN) 的分层结构和节点功能、自动交换光网络 (ASON) 体系结构和组网方案, 然后介绍了光城域网的特点和传送技术、光接入网的结构和应用。

本书可以作为通信工程、电子信息工程和光电信息工程等相近专业的本科教学用书和光纤通信的技术培训教材, 也可作为一般工程技术人员的参考用书。

本书第1、2、6、8章由聂兵编写，第3、4章由周向阳编写，第5、7章由黄廷忠编写，第9章由周忠强编写，最后由聂兵统稿。

撰写之初的调研阶段，得到中国电信湖北省公司的黄一文、聂友安两位高级工程师的大力支持和协助，使我们能够深入了解光纤通信在我国的实际应用现状和有关实际工程领域的问题，在此深表感谢。编写过程中得到华中科技大学杨坤涛教授、韩晏生教授，武汉理工大学胡家丰教授，武汉大学王思贤教授的悉心指导和帮助，在此一并表示感谢。本书基本成稿后，武汉邮电科学研究院何建明高级工程师提出了许多具体和有价值的意见和建议，在此也深表感谢。

由于作者的水平有限，书中难免存在缺点和错误，请读者批评指正。作者的电子邮箱是：matthew_cn@126.com。

目 录

第1章 概述	1
1.1 光纤通信的发展历程	1
1.1.1 早期的光通信	2
1.1.2 光纤通信技术的发展	3
1.1.3 我国光纤通信的发展	4
1.2 光纤通信的特点与应用	4
1.2.1 光纤通信的优点	5
1.2.2 光纤通信的应用	6
1.3 光纤通信系统的分类与组成	6
1.3.1 光纤通信系统的分类	6
1.3.2 光纤通信系统的基本组成	7
1.3.3 光纤通信的支撑技术	8
小结	10
习题	10
第2章 光纤光缆	12
2.1 光纤结构与类型	12
2.1.1 光纤的结构	13
2.1.2 光纤的分类	13
2.2 光纤的射线传输理论	15
2.2.1 光的射线理论	16
2.2.2 光纤的几何导光原理	16
2.3 光纤的波动传输理论	18
2.3.1 波动方程	18
2.3.2 光纤中的传输模式	19
2.4 光纤传输特性	20
2.4.1 损耗	20
2.4.2 色散	21
2.4.3 单模光纤性能指标	24
2.5 光缆	26
2.5.1 光缆的结构	26
2.5.2 光缆的分类	28
2.5.3 光缆的型号	28



2.6 光纤的连接	31
2.6.1 光纤连接损耗	31
2.6.2 光纤连接方法	32
小结	34
习题	34
第3章 光无源器件	35
3.1 光纤连接器	35
3.1.1 光纤连接器的性能指标	36
3.1.2 光纤连接器的种类	37
3.2 光纤耦合器	39
3.2.1 光纤耦合器类型	40
3.2.2 光纤耦合器的主要性能指标	41
3.3 光衰减器	43
3.4 光隔离器与光环行器	44
3.4.1 光隔离器的工作原理	44
3.4.2 光隔离器的性能指标	45
3.4.3 光环行器	46
3.5 光纤光栅	47
3.5.1 光纤 Bragg 光栅	47
3.5.2 长周期光纤光栅	49
3.6 波分复用器	49
3.6.1 波分复用器的性能指标	49
3.6.2 波分复用器的种类及工作原理	50
3.6.3 几种常用波分复用器的特性比较	54
小结	54
习题	54
第4章 光源与光发送机	56
4.1 物质与光之间的相互作用	57
4.1.1 原子能级和半导体的能带	57
4.1.2 光与物质的相互作用	57
4.1.3 激光器的工作原理	58
4.2 半导体激光器	60
4.2.1 半导体激光器的结构	61
4.2.2 半导体激光器的特性	62
4.2.3 新型半导体激光器	65
4.3 半导体发光二极管	68
4.3.1 半导体发光二极管的结构	68



4.3.2 半导体发光二极管的工作特性	69
4.3.3 半导体光源的应用	70
4.4 数字光发送机	70
4.4.1 光源的调制方式	70
4.4.2 数字光发送机的基本组成	73
4.4.3 光发送机的性能指标	77
小结	78
习题	78
第5章 光检测器与光接收机	80
5.1 光检测器	80
5.1.1 光电转换基本原理	81
5.1.2 PIN 光电二极管	82
5.1.3 雪崩光电二极管 APD	83
5.2 光电二极管特性	85
5.2.1 主要特性参数	86
5.2.2 光检测器的比较	90
5.2.3 光电器件的简易检测	91
5.3 光接收机	91
5.3.1 数字光接收机组成	92
5.3.2 光接收机的主要性能指标	95
5.4 光中继器	97
5.4.1 光电中继器	97
5.4.2 全光中继器	98
小结	98
习题	99
第6章 光放大器	100
6.1 光放大器的基本应用与分类	100
6.1.1 光放大器的基本应用形式	101
6.1.2 光放大器的分类	102
6.2 半导体光放大器	102
6.3 掺铒光纤放大器	103
6.3.1 EDFA 的放大机理	104
6.3.2 EDFA 的结构	105
6.3.3 EDFA 主要特性参数	106
6.3.4 EDFA 的特点与应用	108
6.4 光纤拉曼放大器	109
6.4.1 拉曼放大器工作原理	110



6.4.2 拉曼放大器结构	111
6.4.3 拉曼放大器的特点与应用	111
小结	112
习题	113
第7章 SDH 与数字光纤传输系统	114
7.1 PDH 准同步数字体系	115
7.2 SDH 同步传输体系	116
7.2.1 SDH 的特点	117
7.2.2 SDH 帧结构	118
7.2.3 SDH 的复用结构	121
7.2.4 复用映射过程	124
7.2.5 SDH 设备	127
7.3 数字光纤传输系统的设计	129
7.3.1 总体设计考虑	129
7.3.2 再生段设计	130
7.4 数字光纤系统的性能指标	134
7.4.1 系统参考模型	134
7.4.2 误码特性	136
7.4.3 抖动特性	138
小结	141
习题	141
第8章 光波分复用	143
8.1 波分复用的基本原理	144
8.1.1 WDM 基本概念	144
8.1.2 WDM 工作形式	146
8.1.3 WDM 的技术特性	147
8.2 波分复用系统的构成	147
8.2.1 WDM 系统的基本结构	148
8.2.2 光波长分配	149
8.2.3 SDH 与 WDM 的关系	150
8.3 WDM 的关键技术	151
小结	152
习题	152
第9章 光网络	153
9.1 SDH 传送网	154
9.1.1 SDH 传送网分层模型	154



9.1.2 SDH 传送网的物理拓扑	157
9.1.3 SDH 自愈网	159
9.1.4 SNCP 保护	169
9.1.5 SDH 网同步	173
9.2 光传送网	176
9.2.1 光传送网的分层结构	177
9.2.2 光节点功能与结构	178
9.2.3 WDM 光传送网的波长路由机制	179
9.2.4 WDM 环形网	180
9.3 自动交换光网络	181
9.3.1 ASON 的体系结构	181
9.3.2 ASON 三种连接方式	183
9.3.3 ASON 的组网方案	184
9.3.4 ASON 的特点	184
9.4 光城域网	185
9.4.1 光城域网概述	185
9.4.2 城域传送网分层结构	187
9.4.3 城域传送网技术	187
9.5 光接入网	195
9.5.1 OAN 结构	196
9.5.2 OAN 的应用	198
9.5.3 无源光网络 (PON)	200
9.5.4 光纤同轴混合网 (HFC)	202
小结	204
习题	204
参考文献	206

第 1 章

概 述

本章目的

1. 了解光纤通信技术的发展历程
2. 了解光纤通信的特点、应用与分类
3. 掌握光纤通信系统的基本组成
4. 了解光纤通信的支撑技术

知识点

1. 光纤通信的几个发展阶段
2. 光纤通信的优点、光纤通信的应用
3. 光纤通信系统的分类方法
4. 光纤通信系统的基本组成

光纤通信是 20 世纪 70 年代发展起来的通信技术。光纤通信技术的诞生是通信发展史上的一次革命性进步，促进了人类社会向信息化社会的发展。光纤通信技术主要涉及光信号的产生、传输、检测以及组网技术。本章将简要介绍光纤通信的发展与特点，光纤通信系统的组成等。

1.1 光纤通信的发展历程

光纤通信是以光（波）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 40 年来迅猛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，社会的需求与技术的进步又为光纤通信产业带来广阔的市场前景，光纤通信网的建设规模和水平已经成为衡量国家综合实力的重要方面。经过几十年的努力，我国的光纤产业发展取得了巨大进步，光纤通信技术成为我国与发达国家差距最小的领域之一。我国的高速骨干网络、城市环网已经建成并不断发展，光纤已经开始进入办公室和家庭，在信息社会里，光纤网络将无处不在。



1.1.1 早期的光通信

通信的发展总是和人类文明的发展历程紧密相关的，大家所熟知的烽火台报警通信可以认为是最原始的“光”通信，当然这种“光”通信不是现代意义的“光”通信。

1837 年美国莫尔斯 (Samuel F. B. Morse) 发明了电报，标志着人类进入电通信时代。此后贝尔发明了电话，马可尼、波波夫发明了无线电通信，于是电通信成为最主要的通信方式。直到 20 世纪 60 年代，电通信在通信领域都处于绝对统治地位。

在一个电通信系统中，信息（数据等）通常是加载在一个正弦电磁波（即载波）上，然后通过通信信道传送，在目的端，信息从载波中分离出来，根据需要适当处理后送往接收者。一般来说，传送信息的总量与载波的工作频率直接相关，提高载波频率在理论上可以增加传输带宽，通常也就可以提高信息传输容量。图 1-1 列出了通信应用的电磁频谱，所使用的传输媒介可以是金属导线、微波波导或者大气空间（无线电方式）。

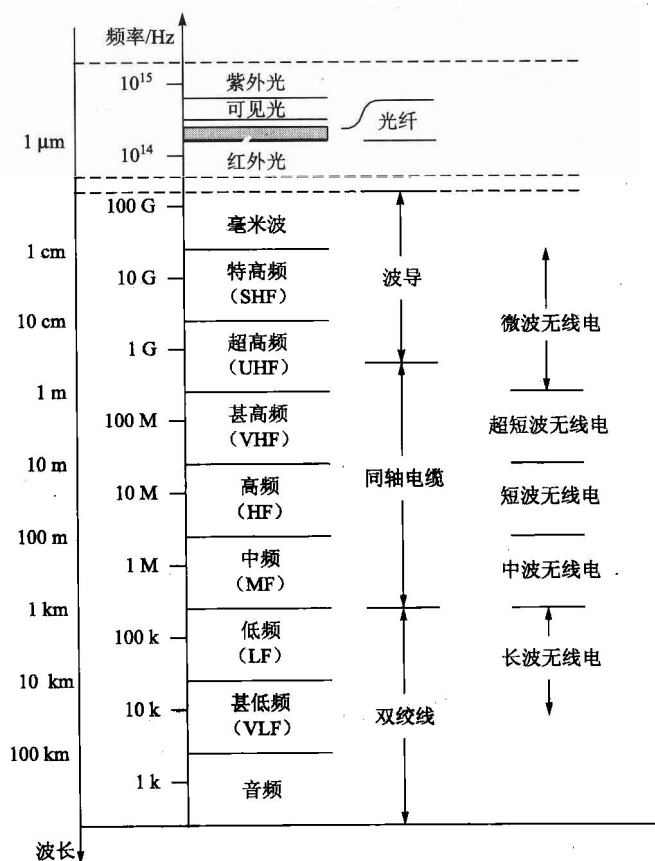


图 1-1 通信应用的电磁波频谱

在图 1-1 所示的电磁波频谱中，一个重要的部分是光频区域。与电通信相比，以光波形式实现信息传输一般不是通过对载波的频率调制完成的，而是通过改变光波的光功率来实现的。光波的传输可以采用大气信道和导波信道。

实际上，早在 1880 年，贝尔就研制成功了光学电话，可以说是现代光通信的开端。如

图 1-2 所示, 将弧光灯的恒定光束投射在话筒的音膜上, 音膜随声音的振动而振动, 从而得到强弱变化的反射光束, 这个过程就是调制。在接收端用一个大型的抛物面反射镜, 把发送端送来的随声音变化的光线反射到硅光电池上, 转变为光电流, 传输给受话器, 这样完成了发送和接收过程。

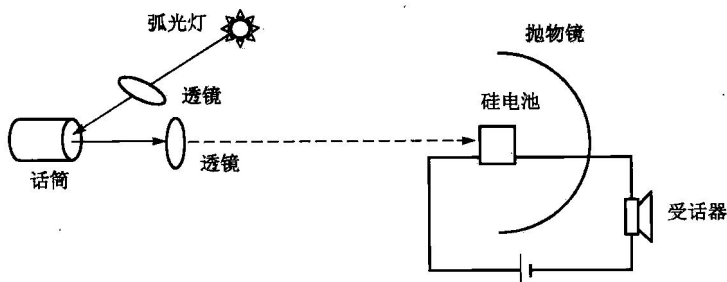


图 1-2 贝尔电话系统

贝尔光电话和烽火报警一样, 都是利用大气作为光通道。光波传播易受气候的影响, 在大雾天气, 它的可见度距离很短, 遇到下雨下雪天也有影响。虽然贝尔认为这是他一生最重要的发明, 但由于诸多的缺点, 并没有像他的其他发明一样得到广泛的应用。历史上也曾研究过反射波导和透镜波导等光信号传输方式, 但是成本极高, 难以实用化。

1.1.2 光纤通信技术的发展

现代意义的光通信系统必须对光波进行高速调制, 使其承载高速数据信息, 经过长距离传输后, 在接收端将其准确再现。所以, 必须解决两个关键问题: 一是合适的光源; 二是理想的传光媒介。

将光注入由透明介质做成的极细的光学纤维——光波导中传输, 这种构想早在 20 世纪初就由德拜提出, 但一直到 60 年代, 用当时最好的光学玻璃做成的光学纤维其损耗也高达 1 000 dB/km。1966 年, 英籍华人高锟 (K. C. Kao) 博士, 当时工作于英国标准电信研究所, 深入研究了光在石英玻璃纤维中的严重损耗问题, 发现这种玻璃纤维引起光损耗的主要原因是其中含有过量的铬、铜、铁与锰等金属离子和其他杂质, 其次是拉制光纤时工艺技术造成了芯、包层分界面不均匀及其所引起的折射率不均匀, 他还发现一些玻璃纤维在红外光区的损耗较小。

在高锟理论的指导下, 1970 年美国的康宁玻璃公司 (Corning Glass Work) 拉出了第一根损耗为 20 dB/km 的光纤。这是向使用光纤作为传输媒介迈出的最重要一步, 它的意义在于: 使光纤通信可以和同轴电缆通信竞争, 从而展现了光纤通信美好的前景, 促进了世界各国相继投入大量人力、物力, 把光纤通信的研究开发推向一个新阶段。

1970 年, 作为光纤通信用的光源也取得了实质性的进展。当年, 美国贝尔实验室、日本电气公司 (NEC) 和苏联先后突破了半导体激光器在低温 ($-200\text{ }^{\circ}\text{C}$) 或脉冲激励条件下工作的限制, 研制成功室温下连续振荡的双异质结半导体激光器 (短波长)。虽然寿命只有几个小时, 但其意义重大, 它为半导体激光器的发展奠定了基础。

由于光纤和半导体激光器的技术进步, 使 1970 年成为光纤通信发展的一个重要里程碑。经过对光纤制造方法的研究和对光纤低损耗区的不断扩展, 先后开发了 850 nm、



1 310 nm 和 1 550 nm 三个波长段, 1 550 nm 波长的衰减可以低于 0.2 dB/km。

光纤通信的发展可以粗略地分为如下几个阶段:

第一阶段 (1966—1976 年), 这是从基础研究到商业应用的开发时期。以 1976 年美国在亚特兰大 (Atlanta) 进行的世界上第一个实用光纤通信系统的现场试验为标志, 光纤通信开始走向实用化, 同期, 欧洲和日本也完成了相应的实验。第一代系统工作在 850 nm 附近, 这是早期石英光纤的一个低损耗窗口, 采用 GaAs 为基础材料制成的激光器作光源, 硅材料制成的光检测器, 多模光纤作传输介质。光纤的模式色散和损耗限制了第一代系统的传输容量, 速率在 45 ~ 140 Mb/s, 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。光源和光检测技术的进步, 使工作波长从 850 nm (短波长) 移至 1 310 nm (长波长)。在 1 310 nm 波长的光纤损耗更小、色散更低, 使得无中继传输距离更长。在这个时期, 光纤也从多模发展到单模, 1984 年, 单模光纤便取代了多模光纤。与多模光纤相比, 单模光纤有大得多的传输带宽。长途干线的传输速率为 140 ~ 565 Mb/s 的单模光纤通信系统, 无中继传输距离为 10 ~ 50 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 1 550 nm 色散移位单模光纤通信系统。工作在 1 550 nm 的系统具有最低的损耗, 但常规光纤 (波长 1 310 nm) 在 1 550 nm 波长的色散要比 1 310 nm 波长大多得多, 为了克服常规光纤的这一缺点, 研制了色散位移光纤, 从而使得 1 550 nm 系统对于高速长距离和海底线路更具吸引力。1988 年, 第一条横跨大西洋 TAT-8 海底光缆通信系统建成, 全长 6 400 km; 1989 年第一条横跨太平洋 TPC-3/HAW-4 海底光缆通信系统建成, 全长 13 200 km。从此, 海底光缆通信系统的建设得到了全面展开, 促进了全球通信网的发展。1989 年, ITU-T 制定了 155 Mb/s、622 Mb/s、2.5 Gb/s 等 SDH 速率标准。

到如今, 光纤通信已经发展到以采用光放大器 (OA, Optical Amplifier) 增加中继距离和采用波分复用 (WDM, Wavelength Division Multiplexing) 增加传输容量为特征的第四代系统。现在, 10 Gb/s、40 Gb/s 系统也已商用化。

1.1.3 我国光纤通信的发展

我国于 1987 年前在市话中继线路上应用光纤通信, 1987 年开始在长途干线上应用光纤通信, 铺设了多条省内二级光缆干线。从 1988 年起, 我国的光纤通信系统由多模向单模发展。

20 世纪 90 年代是我国光纤通信的大发展时期。1998 年 12 月, 贯穿全国的“八纵八横”光纤骨干网建成, 网络覆盖全国省会以上城市和 70% 的地市, 全国长途光缆达到 20 万千米。至此, 我国初步形成以光缆为主、卫星和数字微波为辅的长途干线网络, 为国家的信息化建设提供了坚实的网络基础。

1.2

光纤通信的特点与应用

光纤通信主要用于骨干网通信和城市环网通信等诸多方面, 并且向接入网延伸, 这是和



其显著的特点分不开的。

1.2.1 光纤通信的优点

光纤通信采用光导纤维作为传输媒介实现通信,与其他通信方式相比有明显的优越性,主要表现在传输容量大、传输损耗小、抗干扰能力强、质量轻、耐腐蚀等一系列优点。

1) 速率高,传输容量大

光纤通信是以光纤为传输媒介,光波为载波的通信系统,其载波——光波具有很高的频率(约 10^{14} Hz),波长为 $800 \sim 1\,600$ nm,因此光纤具有很大的通信容量。在常用的 $1\,310$ nm和 $1\,550$ nm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。而几十 Gb/s 的光纤通信系统,它可传输几十万路电话和几千路彩色电视节目。一根光缆(如 $12 \times 12 = 144$ 带状光缆)其容量令人感叹。

2) 损耗低,传输距离远

目前,实用的光纤通信系统使用的光纤多为石英光纤,此类光纤损耗为 0.2 dB/km($1\,550$ nm窗口)和 0.35 dB/km($1\,310$ nm窗口),而且在相当宽的频带内各频率光波的损耗几乎一样,比已知的其他通信线路的损耗都低得多,因此,由其组成的光纤通信系统的中继距离也较其他介质构成的系统长得多。例如,市话电缆的损耗为 20 dB/km(4 MHz),同轴电缆的损耗为 19 dB/km(60 MHz)。

波长为 $1\,550$ nm的色散位移单模光纤通信系统,若传输速率为 2.5 Gb/s,则中继距离可达 150 km;若传输速率为 10 Gb/s,则中继距离可达 100 km;若采用光纤放大器、色散补偿光纤,中继距离还可增加。

3) 抗干扰能力强,保密性好

光纤是由石英(SiO_2)玻璃制成,由于是绝缘材料,不受各种电磁场的干扰。强电、雷击等不会影响光纤的传输性能,甚至在核辐射环境中,光纤通信仍然能够正常进行,这是通常的电缆通信所不能比拟的。电话线和电缆一般是不能跟高压电线平行架设的,也不能在电气化铁路附近铺设。

在光纤中传输的光泄漏非常微弱,即使在弯曲地段也无法窃听。没有专用的特殊工具,光纤不能分接,因此信息在光纤中传输非常安全。

对通信系统的重要要求之一是保密性好。然而,随着科学技术的发展,电通信方式越来越容易被人窃听:只要在明线或电缆附近(甚至几千米以外)设置一个特别的接收装置,就可以获取明线或电缆中传送的信息。更不用说无线通信方式。

保密性能好的这一特点,对军事、政治和经济都有重要的意义。

4) 质量轻,敷设方便

在传输相同信息量时,光缆的质量为电缆质量的 $1/30 \sim 1/10$,其质量要比通信电缆轻得多。每根光纤的直径约为 0.1 mm,制成光缆后可充分利用地下管道。有二次套塑的光纤,即使以几厘米的曲率半径弯曲也不会折断,施工时可以采用与电缆相同的敷设技术。

5) 耐腐蚀,寿命长

石英玻璃耐腐蚀,且熔点在 $2\,000$ °C以上。光纤接头处不产生放电、没有火花。光纤具有更适应环境变化的能力。



1.2.2 光纤通信的应用

光纤可以传送数字信号,也可以传送模拟信号。光纤在通信网、广播电视网和计算机网以及其他数据传输系统都得到广泛应用。

1) 通信网

主要用于电信网中的语音和数据传输。包括全球通信网(国家间的光缆干线、海底光缆)、国家公共电信网(如我国的一级干线、省级干线、市话通信系统等)、专用网(如铁道、电力、军用通信网等的光缆系统)。

2) 计算机局域网和广域网

如光纤以太网、路由器之间的高速传输链路等。

3) 有线电视网

如有线电视的干线和分配网、工业电视系统的监控、自动控制系统的数据传输等。

4) 综合业务的光纤接入网

实现用户的(大)宽带接入,光纤是理想的选择。目前我国,逐步启动光纤入户工程,应用光纤可实现电话、数据、视频及多媒体业务的宽带接入,为用户提供优质的电信服务。

1.3 光纤通信系统的分类与组成

光纤通信系统可以传送数字信号或模拟信号。传送的信息可以是语音、数据、图像、视频等多媒体业务。

1.3.1 光纤通信系统的分类

光纤通信系统有多种不同的应用形式,可以按照不同分类方法进行分类。

1. 按照传输信号类型分

1) 光纤模拟通信系统

用模拟电信号对光源实现强度调制,即传输的是模拟信号,如广播电视节目、工业和交通监控信号等。一般设备简单,但光电变换噪声大,适合短距离传输。

2) 光纤数字通信系统

采用PCM电信号对光源进行强度调制,即传输的是数字信号,如长途骨干网、城市环网等。设备复杂,但抗干扰能力强。适合大容量、远距离传输。

2. 按照光波长和光纤类型分

1) 短波长(850 nm)多模光纤通信系统

通常速率低于34 Mb/s,中继距离在10 km内。

2) 长波长(1310 nm)多模光纤通信系统

速率可以达到140 Mb/s,中继距离20 km。

3) 长波长 (1 310 nm) 单模光纤通信系统

速率为 140 Mb/s, 中继距离为 30 ~ 50 km。

4) 长波长 (1 550 nm) 单模光纤通信系统

速率可以达到 565 Mb/s 以上, 中继距离可达 70 km。

3. 按照调制方式分

1) 直接强度调制光纤通信系统

采用电信号直接对光源强度调制, 在接收端用光检测器直接检测。目前实用的光纤通信系统均采用这类调制方式, 其速率已达 10 Gb/s。

2) 外调制光纤通信系统

在光源发出光后, 在光的输出通路上外加调制器 (如电光晶体等) 对光载波调制。这类调制对光谱线影响小, 适合很高速率的通信, 其实验系统的速率可以达到 20 Gb/s。

此外, 还可以将光纤通信系统分为公用光纤通信系统和专用光纤通信系统, PDH 光纤通信系统和 SDH 光纤通信系统。

1.3.2 光纤通信系统的基本组成

目前实用的光纤通信系统, 常见的是数字编码、强度调制、直接检测的通信系统, 其基本构成框图如图 1-3 所示。主要组成部分包括光纤、光发送器、光接收机、光中继器和适当的接口设备。

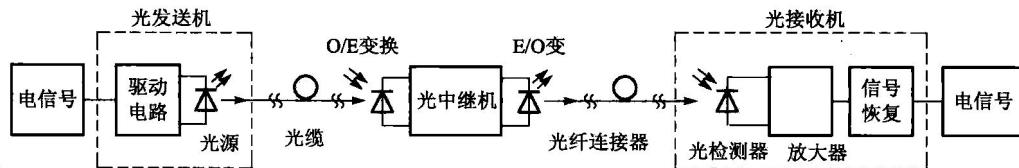


图 1-3 光纤通信系统组成原理方框图

光发送机的作用是将电信号转换为光信号 (E/O 变换), 并将生成的光信号注入光纤。光发送机一般由驱动电路、光源和调制器构成, 其核心是光源。常用的光源有半导体激光器和半导体发光二极管。

将电信号转换成光信号的过程是通过电信号对光源调制而实现的。光调制分为直接调制和间接调制 (也称外调制) 两种。直接调制是利用电信号注入半导体激光器或半导体发光二极管, 以获得相应的光信号, 其输出光功率随着电信号电流的大小而变化。这种调制方式实现简单, 但调制速率受到激光器特性限制。外调制是在激光形成后再加载调制的电信号, 外调制方法在高速光纤通信系统 (如大于 2.5 Gb/s) 和相干光通信中得到应用。

光接收机的作用是将光信号转换为电信号, 通常有放大、再生等功能。光接收机由光检测器、放大器和相关电路组成。光-电信号的转换由光检测器完成, 广泛使用的有 PIN 光电二极管和雪崩光电二极管 (APD)。

光纤线路是光信号的传输媒介, 包括光纤、光纤接头和光纤连接器。光纤线路完成发送机发出的光信号以尽可能小的衰减和脉冲展宽传送到光接收机, 因此要求光纤的传输衰减和