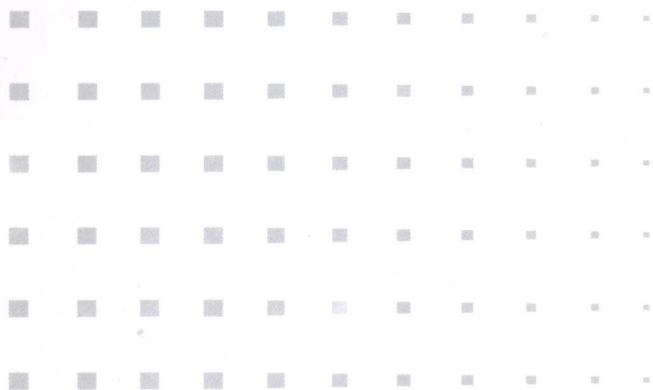


- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

光纤通信技术与设备

主编 杜庆波 曾庆珠
李 洁 王文轩
主审 张立中



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

光纤通信技术与设备

主编 杜庆波 曾庆珠

李 洁 王文轩

主审 张立中

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本教材包括光纤通信基本理论、光纤线路工程和设备应用三部分。基本理论部分知识点通俗易懂、循序渐进；光纤线路工程部分主要强调工程应用；设备应用部分的实践与技能主要借助中兴 S320 光端机组成的传输网络来完成，内容丰富，实用性强。

本书可作为高职高专通信、电子等专业的教材，也可供电大、函大、成人自考等有关专业选用，对光纤通信工程技术人员也有一定的参考价值。

★ 本书配有电子教案，需要者请与出版社联系，免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信技术与设备/杜庆波等主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2008.2

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1965 - 1

I. 光… II. 杜… 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(2008)第 003891 号

策 划 张 媛

责任编辑 张 媛

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.875

字 数 371千字

印 数 1~4000册

定 价 23.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1965 - 1/TN · 0402

XDUP 2257001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和就业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

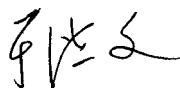
为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主任: 温希东 (深圳职业技术学院副校长 教授)

副主任: 马晓明 (深圳职业技术学院通信工程系主任 教授)

余 华 (武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授)

电子组 组长: 余 华(兼) (成员按姓氏笔画排列)

于宝明 (南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员)

马建如 (常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授)

刘 科 (苏州职业大学信息工程系 副教授)

刘守义 (深圳职业技术学院 教授)

许秀林 (南通职业大学电子系副主任 副教授)

高恭嫻 (南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授)

余红娟 (金华职业技术学院电子系主任 副教授)

宋 烨 (长沙航空职业技术学院 副教授)

李思政 (淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院 教授)

张宗平 (深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师)

陈传军 (金陵科技学院电子系主任 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电信学院院长 副教授)

徐丽萍 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

涂用军 (广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授)

郭再泉 (无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授)

曹光跃 (安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授)

梁长垠 (深圳职业技术学院电子工程系 副教授)

通信组 组长: 马晓明(兼) (成员按姓氏笔画排列)

王巧明 (广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授)

江 力 (安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授)

余 华 (南京信息职业技术学院通信工程系 副教授)

吴 永 (广东科学技术职业学院电子系 高级工程师)

张立中 (常州信息职业技术学院 高级工程师)

李立高 (长沙通信职业技术学院 副教授)

林植平 (南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师)

杨 俊 (武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授)

俞兴明 (苏州职业大学电子信息工程系 副教授)

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

目前, 光纤光缆在我国通信网中已成为主流传输介质, 光缆线路工程、光纤通信设备投资比重也越来越大, 光纤通信技术已成为支撑通信业务网最重要的通信技术之一。近年来, 由于国家电信改革的需要, 电信运营行业一分为六, 越来越多的社会资源参与到电信行业的工程建设、运行维护等环节。通信行业的竞争越来越激烈, 导致企业不得不关注“岗位成本”。因此, 社会急需既具有一定的基础理论, 又掌握实用技能的光纤通信工程技术人员。

本教材在讲述光纤通信基本原理的基础上, 着重强调其概念和工程应用, 在教材编排上具有精内容重技能, 先理论后实践的特点。本教材的工程部分涉及到的各类光纤通信设备和应用方案, 都是作者长期经验的积累, 非常实用。教材中涉及的各类实验的过程和结论都已通过验证。教材在编排上力求通俗易懂、循序渐进, 为便于理解和记忆, 书中还配有大量的插图和图片。

本书共 7 章。第 1 章主要介绍光纤通信技术的发展、特点及系统组成; 第 2 章主要介绍光纤光缆的结构、导光原理及传输特性、光缆线路的敷设及熔接、光纤光缆的发展现状等; 第 3 章主要介绍光源器件、光检测器及光无源器件的结构、特点、工作原理及应用; 第 4 章主要介绍光发射机与光接收机的结构、原理及技术指标; 第 5 章主要介绍 SDH 特点、帧结构、复用原理、开销、设备的逻辑组成及 SDH 自愈网等; 第 6 章主要介绍 ZTE ZXMP S320 光端机设备的结构组成、设备维护及常用故障排除操作等; 第 7 章主要介绍光纤通信工程中涉及的仪器与仪表。

本书的第 1、3、7 章及第 4 章的部分内容由曾庆珠编写, 第 2 章由王文轩编写, 第 5、6 章由李洁编写, 第 4 章的部分内容由杜庆波编写, 全书由杜庆波统稿。

限于编者的水平, 书中难免存在错误及不妥之处, 敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 光纤通信发展史	1
1.2 光纤通信系统的结构与分类	2
1.3 光纤通信的特点	3
1.4 光纤通信网涉及的器件与产品	4
1.5 光纤通信的应用与发展	4
本章小结	5
复习思考题	6
第 2 章 光纤与光缆工程	7
2.1 光纤结构	7
2.2 光纤的导光原理	12
2.3 光纤的传输特性	16
2.4 光缆的结构与分类	20
2.5 光缆的敷设与接续	28
2.5.1 光缆的敷设	28
2.5.2 光缆的接续	32
2.6 光纤光缆的发展现状	35
本章小结	42
复习思考题	42
实验与实训	44
实验一 光纤参数的测量	44
实验二 光缆的识别与测量	47
实验三 光纤接续与光缆接头盒制作	49
第 3 章 光纤通信的基本器件	53
3.1 光源	53
3.1.1 半导体激光器(LD)	56
3.1.2 半导体发光二极管(LED)	62
3.1.3 半导体激光器(LD)与发光二极管(LED)的比较	65
3.2 光检测器	65
3.3 光放大器	70
3.3.1 光放大器的类型	70
3.3.2 掺铒光纤放大器的组成	71
3.3.3 掺铒光纤放大器的工作原理	71
3.3.4 光放大器的应用场合	71
3.4 光无源器件	72

3.4.1 光纤连接器	72
3.4.2 光衰减器	76
3.4.3 光波分复用器	77
3.4.4 光耦合器	79
3.4.5 光隔离器	80
3.4.6 光开关	82
本章小结	84
复习思考题	84
实验与实训	86
实验一 光无源器件的认识	86
实验二 光信号传输系统课程设计	88
 第4章 光发射机与光接收机	 89
4.1 光发射机原理	89
4.2 线路码型	89
4.3 光发射机的主要指标	92
4.4 数字光接收机的组成及主要指标	92
4.4.1 光接收机的组成	92
4.4.2 光接收机的主要指标	94
4.5 光-电-光中继器的原理	95
4.6 PDH 传输体制及长途光缆系统的构成	96
4.6.1 两种传输体制(PDH 与 SDH)	96
4.6.2 数字光纤通信系统的构成	97
4.6.3 PDH 的复接系列	97
4.6.4 PDH 长途光缆通信系统的构成	97
4.6.5 SDH 概述	98
本章小结	103
复习思考题	103
实验与实训	104
实验一 光端机指标(收、发)测试	104
实验二 2M 塞绳的制作	106
实验三 PDH 通信设备现场教学	109
实验四 基于 PDH 设备的语音及数据接入	110
实验五 数字配线架(DDF)简介	113
 第5章 同步(SDH)光纤通信系统原理及应用	 116
5.1 PDH 与 SDH	116
5.1.1 PDH 存在的问题	116
5.1.2 SDH 的技术参数与特点	117
5.2 STM 帧结构及复用原理	119
5.2.1 STM 基本帧结构	119
5.2.2 STM - N 的帧结构	122
5.2.3 STM 复用原理	122

5.3 SDH 的开销	141
5.4 SDH 设备的逻辑组成	145
5.4.1 SDH 设备功能描述	145
5.4.2 常见 SDH 网元结构	148
5.5 SDH 自愈网	150
5.5.1 自愈网的含义	150
5.5.2 自愈网的原理	150
5.5.3 自愈网的类型	150
5.6 光波分复用原理	154
5.6.1 概述	154
5.6.2 光波分复用的基本原理	155
5.6.3 密集型波分复用(DWDM)	158
本章小结	160
复习思考题	161
实验与实训	162
实验一 光纤配线架(ODF)简介	162
实验二 误码测试	163
实验三 抖动测试	165
第 6 章 ZTE ZXMP S320 光端机设备	168
6.1 设备简介	168
6.2 设备系统结构	171
6.2.1 设备外形	171
6.2.2 系统总体结构	171
6.2.3 设备结构组件	173
6.3 网管软件简介	178
6.4 维护及故障排除	179
6.4.1 维护	179
6.4.2 故障排除	180
本章小结	181
复习思考题	181
实验与实训	182
实验一 传统 SDH 业务组网配置	182
实验二 保护配置	187
实验三 虚拟局域网业务配置	190
实验四 维护操作	194
实验五 NCP 数据管理	196
实验六 告警管理	198
第 7 章 仪器及仪表	200
7.1 光纤熔接机	200
7.1.1 概述	200
7.1.2 吉隆 KL-260 型全自动光纤熔接机	201

7.2 光时域反射仪(OTDR)	214
7.2.1 概述	214
7.2.2 光时域反射仪(OTDR)的原理	215
7.2.3 EFXO FTB - 100B 光时域反射仪	215
7.3 PCM 综合测试仪	226
7.3.1 概述	226
7.3.2 LP3120 综合测试仪	226
7.3.3 测试应用	231
7.3.4 Test Manager 软件使用	235
7.4 SDH 测试仪	239
本章小结	242
复习思考题	243
参考文献	244

第1章 概 论

★ 本章目的

了解光纤通信的发展
了解光纤通信系统的基本组成
掌握光纤通信的特点

☆ 知识点

光通信与光纤通信
光纤通信系统构成
光纤通信特点

1.1 光纤通信发展史

在世界技术革命的浪潮中, 光纤数字通信技术异军突起, 迅猛发展, 它的发展速度超出了人们的预想, 光纤通信被誉为通信工具中的王牌。

1880年, 贝尔发明了光话系统, 但光通信的关键性困难——光源和传光介质没有解决, 所以长达80年左右的时间内, 光通信没有多大的进展。

1960年美国科学家梅曼发明了世界上第一台红宝石激光器, 1960年贝尔实验室又发明了氯-氟激光器。激光器的发明使光通信的研究有了进展。对于传光介质, 在20世纪60年代初出现了研究大气激光通信的热潮。这种通信方式的优点是无须敷设线路, 经济方便; 缺点是受自然条件的影响太大, 难于实现。在大气激光通信的研究受阻之后, 又有人进行地下光波通信的实验。但这种通信方式系统复杂、造价高、测试困难, 也无法实现。

1964年, 高琨博士根据介质波导理论, 提出光纤通信的概念。他指出: 只要设法消除玻璃中的杂质, 就完全有可能做出衰减低于20 dB/km的光纤, 并且光纤损耗极限还远低于这个数值。这一重大研究成果使光纤通信的研究出现了生机。因此英籍华人高琨博士被誉称为“光纤通信之父”。

1970年是光纤通信史上闪光的一年。这一年美国康宁玻璃公司拉制出了衰减为20 dB/km的低损耗光纤。同一年, 贝尔实验室又研究成功了在室温下可连续工作的激光器。此后, 光纤的损耗也在不断下降, 1972年降至4 dB/km, 1973年降至1 dB/km, 1976年降至0.5 dB/km。1970年, 美国首先在亚特兰大成功地进行了速率为44.763 Mb/s、距离为10 km的光纤通信系统的现场试验, 使光纤通信向实用化迈进了第一步。1980年, 多

模光纤通信系统投入了商用,单模光纤通信系统也进入现场试验阶段。1983年,美、日、德、法、英、荷、意等国都先后宣布以后不再使用电缆,而改用光缆。

随着光纤通信技术的日益发展,光缆不仅敷向陆地,而且敷向海底。美、日、英联合建立的太平洋海底光缆,全长 8300 km,使用 840 Mb/s 系统,连接美、日、新西兰等国。由美、英、法联合建设的横跨大西洋的海底光缆,全长 6000 km。使用 560 Mb/s 系统,1991 年开通使用。

在光纤通信领域,我国从研制到推广应用用了不到 15 年的时间,其发展之快、应用范围之广、规模之大、所涉及学科之多是前所未有的。

光纤通信目前已经经历了三代。第一代使用 PDH 技术,那时的网络比较简单,适合于小容量传输,传输速率为 2.048/8.448/34.368/139.264 Mb/s;第二代使用 SDH 技术,是宽带传输。速率为 155/622/2500 Mb/s,适合于用户传输网络建设和市话传输网络建设;第三代使用 SDH + DWDM 技术,性能卓越,其中光中继传输的使用,使通信方式向全光通信迈进了一大步,波分复用技术使通信容量达到 10 Gb/s、20 Gb/s、40 Gb/s、80 Gb/s 和 320 Gb/s。现在,光纤通信正在向高速率、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三大支柱,其中光纤通信是主体。

1.2 光纤通信系统的结构与分类

现代的光纤通信系统主要分为准同步光纤通信系统(PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy)、同步光纤通信系统(SDH, Synchronous Digital Hierarchy)和密集波分复用系统(DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing)等。

最基本的光纤通信系统组成如图 1-1 所示。它由电端机、光端机、光纤、中继器等组成。通信是双方向的,现在仅以一个方向为例,说明其工作的主要过程。一个方向包括 6 个部分,即电发送侧、光发送侧、光纤、中继器、光接收侧、电接收侧。电发送侧和电接收侧属于电端机(多路调制解调设备),同理,光发送侧和光接收侧属于光端机。此外还有一些附属设备,如光纤配线架等。



图 1-1 光纤通信系统模型

① 电发送侧。其主要任务是将电信号进行放大、复用、成帧等处理,然后输送到光发送侧。

② 光发送侧。其主要任务是将电信号转换为光信号,并进行处理,然后耦合到光纤。

③ 光纤。其主要任务是传送光信号。

④ 中继器。其主要任务是放大和整形。它将接收的光信号转换为电信号,然后进行处理,处理结束后,又将电信号转换为光信号,继续向前传送。

⑤ 光接收侧。其主要任务是接收光信号,并将光信号转换为电信号。

⑥ 电接收侧。其主要任务是对电信号进行解复用、放大等处理。

经过上述处理后,就可以进行双向通信了。

1.3 光纤通信的特点

光纤通信之所以成为通信工具中的王牌,是因为它具有以往的任何通信方式不可比拟的优越性。与电缆或微波通信相比,光纤通信具有许多的优点,表现如下。

(1) 通信容量大。理论上,如头发丝粗细的光纤可同时传输 1000 亿路语音,实际应用中可同时传输 24 万路。这比传统的电缆或微波通信高出了几百、甚至上千倍。而且一根光缆中可包含多根、甚至几十根光纤,如果再使用复用技术,其通信容量之大十分惊人。

(2) 传输损耗小,中继距离长。目前,光纤的衰减被控制在 0.19 dB/km 以下,其衰减系数很低,可使中继距离延长到数百千米。有关资料显示,已经进行了的光孤子通信试验,可达到传输 120 万话路、6000 km 无中继。而电缆或微波通信,其中继距离则分别是 1.5 km 和 50 km。可见光纤通信用于通信干线、长途网络是十分合适的。

(3) 抗干扰性强。

① 光波信号在光纤中传输的时候,只在光纤的“纤芯”中进行,不同光纤芯线之间几乎不存在相互间的串扰,无光泄漏,因此保密性好。

② 光纤通信不受外界的电磁干扰,而且耐腐蚀、可挠性强(弯曲半径大于 25 cm 时性能不受影响)。

③ 由于光纤信道带宽很大,特别适合于采用数字通信方式,而抗干扰性强又正是数字通信的一大优点。

(4) 可节省大量的金属材料。制造电缆使用铜材料,但地球上的铜资源非常有限,而制造光纤用的二氧化硅材料则非常丰富。据测算,使用 1000 km 的光缆,可节省 150 吨铜、500 吨铅。

(5) 体积小、重量轻、便于施工和维护。光纤的重量轻,如军用的特制轻质光缆只有 5 kg/km 。光缆的施工方式也很灵活,维护也比较方便。

光纤通信也存在一些不足,主要表现为:光直接放大难,弯曲半径不宜太小,分路耦合不方便,需要高级的切断接续技术等。

【知识扩展】

光孤子通信 光孤子是一种特殊的超短光脉冲,经光纤长距离传输后,波形和速度都保持不变。光孤子通信就是利用光孤子作为载体实现长距离无畸变的通信,在零误码的情况下信息传递可达万里之遥。其特点是高容量、长距离、误码率低、抗噪声能力强。1973 年,美国贝尔实验室证实了光孤子的存在。1983 年,贝尔实验室首次研制成功了第一支孤子激光器。随后该实验室检测出,脉冲为 10 ps 的光孤子经过 10 km 传输无明显变化,首次从实验上证实了光孤子传输的可能性。目前,该实验室已经成功实现了将激光脉冲信号传输 5920 km,还利用光纤环实现了 5 Gb/s 、传输 15 000 km 的单信道孤子通信系统和 10 Gb/s 、传输 11 000 km 的双信道波分复用孤子通信系统。在我国,光孤子通信技术的研究也有一定的成果,国家“863”研究项目成功地进行了 OTDM 光孤子通信关键技术的研究。

究, 实现了 20 Gb/s、105 km 的传输。光孤子通信已经成为光纤通信领域的一大研究热点。

1.4 光纤通信网涉及的器件与产品

从图 1-1 可以看出, 光纤通信就是指利用光纤作为传输介质, 实现光信号传输的通信方式。它是由电端机、光端机(光发射机、光接收机)、光纤等部件组成的。一部分属于电子电路, 传输电信号; 一部分属于光域, 传输光信号。用来传输光信号的有光纤、光源、光电检测器、光放大器和光无源器件。

(1) 光纤。光纤是光纤通信的传输媒质, 其任务是传送光信号。光纤通信系统波长在近红外波长。光纤通信的传输媒质材料是石英, 它属于介质波导, 是一个圆柱体, 由纤芯和包层组成。纤芯折射率为 n_1 , 包层的折射率为 n_2 , 且 $n_1 > n_2$ 。当满足全反射条件时, 就可将光限制在纤芯中传播。

光纤的主要特性是损耗和色散。损耗用衰减系数表示, 其单位为 dB/km。光纤有三个低损耗窗口, 波长为 $\lambda_0 = 0.85 \mu\text{m}$ (短波长波段)、 $\lambda_0 = 1.31 \mu\text{m}$ (长波长波段)、 $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$ (长波长波段)。

光纤的色散是指由于在光纤中不同频率成分和不同模式成分的光信号的传输速度不同而使光脉冲展宽的现象。色散用色散系数表示, 其单位为 ps/nm · km。信号的散开, 即色散的存在影响传输带宽, 进而影响光纤的传输容量和传输距离。

(2) 光端机。光源的作用是将电转换为光, 即完成电/光转换。常用的光源有激光器(LD)和发光二极管(LED), 它们是光发送侧的主要器件。激光器性能较好, 价格较贵。发光二极管性能稍次, 价格较低。

光电检测器的作用是将光转换为电, 即完成光/电转换。常用的光电检测器有 PIN 光电二极管和 APD 光电二极管, 其中 APD 有放大作用。

(3) 电端机。电端机的作用是对来自光源的信号进行处理, 如: 模/数转换、多路复用等处理。

(4) 光放大器。光放大器的作用是放大光信号, 它接收来自光纤的光信号, 将光信号放大后, 又送至下一段光纤, 继续进行传送。它将置换中继器, 在全光通信中起到重要作用。

光放大器的种类有半导体光放大器、非线性光纤放大器和掺杂光纤放大器。其中最重要的是掺铒光纤放大器。

(5) 光无源器件。光无源器件与电无源器件一样重要, 光无源器件是为光路服务的。在光纤通信中除了使用上述光器件之外, 还使用了如下的一些光无源器件, 有光纤活动连接器、固定连接器、光衰减器、无源光耦合器、光波分复用器、光隔离器和光开关等。

1.5 光纤通信的应用与发展

1. 光纤通信在我国的应用

1973 年, 我国开始研究光纤通信, 主要集中在石英光纤、半导体激光器和编码制式通信机等方面。

1978年改革开放后,我国的光纤通信研发工作大大加快。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“八二工程”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,并由工人施工,而不是科技人员施工。从此中国的光纤通信进入实用阶段。

进入 20 世纪 80 年代后,数字光纤通信的速率已达到 144 Mb/s,可传送 1980 路电话。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,我国已建成“八纵八横”干线网,连通全国各省区市,敷设光缆总长约 250 万千米。光纤通信已成为我国通信的主要手段。

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。

2. 光纤通信的发展趋势

(1) 向超长距离传输发展。无中继传输是骨干传输网的期望,目前已能够实现 2000~5000 km 的无中继传输。通过采用如拉曼光放大技术等新的技术手段,有望更进一步延长光传输的距离。

(2) 向超高速系统发展。高比特率系统的经济效益大致按指数规律增长,这促使光纤通信系统的传输速率在近 30 年来一直持续增加,增加了约 2000 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可靠的保证。

(3) 向超大容量波分复用(WDM)系统发展。如果将多个发送波长、适当错开的光源信号同时在光纤上传送,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。采用波分复用系统可以充分利用光纤的巨大带宽资源,使容量迅速扩大几倍、甚至上百倍,也可在大容量长途传输时节约大量光纤和再生器,从而大大降低了传输成本。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。

其他方面,如光纤入户(FTTH)技术、光交换技术、新的光电器件、光孤子技术等,都是当前光纤通信的重点发展方向。

【知识扩展】

1991 年至 1995 年期间,我国开始建设包含 22 条光缆干线、总长达 33 000 km 的“八横八纵”大容量光纤通信干线传输网。1998 年 12 月,全国“八纵八横”格状形光缆骨干网提前两年建成,网络覆盖全国省会以上城市和 70% 地市,全国长途光缆达到 200 000 km。我国已经形成以光缆为主,卫星和数字微波为辅的长途骨干网络。

本章小结

1. 1960 年梅曼(T. H. Maiman)发明了红宝石激光器,产生了单色相干光为光纤通信提供了合适的光源。1966 年,英籍华人科学家高锟博士(C. K. Kao)提出了利用玻璃制作通信光导纤维(即光纤)的可行性。随后美国康宁公司首先研制出损耗为 20 dB/km 的光纤,证实了高锟的理论。激光器及光纤的出现,为光纤通信的实用化奠定了基础。

2. 最基本的光纤通信系统由电端机、光端机、光纤(光缆)和中继器组成。电端机主要用来进行复用和解复用处理,光端机主要用来进行 E/O 或 O/E 处理,光纤用来传送光信

号,中继器用来进行 E/O 和 O/E 转换、放大、整形处理。

3. 光纤通信具有通信容量大,传输损耗小,中继距离长,抗干扰能力强,节省资源,体积小,重量轻,便于施工和维护等优点。

4. 光纤通信已经成为我国通信网的主体,“八纵八横”光纤干线网基本形成。

5. 光纤通信自身的巨大技术优势以及网络应用的要求,使光纤通信技术向超长距离传输、超高速系统、超大容量波分复用(WDM)方向发展。光纤入户(FTTH)技术、光交换技术、新的光电器件、光孤子技术等新技术、新器件、新标准的研发,必将极大地促进光纤通信技术的发展及应用,极大地影响人类生活的各个领域。

复习思考题

1. 什么是光纤通信?举例说明光纤通信的应用。
2. 简述光纤通信系统的基本组成及各部分的作用。
3. 简述光纤通信的特点。
4. 光纤通信的发展主要遇到什么困难和解决了什么问题?

本章小结

第2章 光纤与光缆工程

★ 本章目的

掌握光纤、光缆的结构及类型
了解光纤的导光原理
掌握光纤的传输特性
了解光缆的敷设和熔接

☆ 知识点

光纤、光缆的结构和类型
全反射、矢量模求解
损耗、色散特性
MCVD 法
光缆接续操作

光纤是通信网络的优良传输介质，是构成光纤通信系统的重要组成部分，它提供了光信号传输的信道。光纤具有信息传输容量大，中继距离长，不受电磁场干扰，保密性能好和使用轻便等优点。为保证光纤性能稳定，系统运行可靠，必须根据实际使用环境设计各种结构的光纤和光缆。本章从应用的观点概述光纤的导光原理、光纤和光缆的类型和特性，以供设计光纤系统时选择。

2.1 光纤结构

1. 光纤结构

光纤是光导纤维的简称，它是一种新的导光材料。现在实用的光纤是一根比人的头发丝稍粗的玻璃丝。光纤外径一般为 $125\sim 140\ \mu\text{m}$ ，芯径一般为 $3\sim 100\ \mu\text{m}$ 。光纤在光通信系统中的作用是在不受外界干扰的条件下，低损耗、小失真地将光从一端传送到另一端。

光纤的基本结构一般是双层或多层的圆柱体，如图 2-1 所示。中心部分是纤芯，纤芯以外的部分称为包层。纤芯的作用是传导光，包层的作用是将光波封闭在光纤中传播。为了达到传导光波的目的，需要使纤芯材料的折射率 n_1 大于包层的折射率 n_2 。为了实现纤芯与包层的折射率差，需要使纤芯与包层的材料有所不同。目前实际纤芯的主要成分是石英。如果在石英中掺入一定的掺杂剂，就可作为包层材料。经这样的掺杂后，上述目的就可达到了。目前