

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuān Diānzi Xīnxīlei Guīhuà Jiāocái

国家精品课程配套教材 国家示范性高职院校建设项目成果

光传输线路与设备维护 (华为版)

陈海涛 主编

许俊义 副主编 张建超 王贵 编著

- 源于工作岗位典型工作任务
- 线路与设备维护全景式学习
- 融入维护规范强化安全意识



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

国家精品课程配套教材 国家示范性高职院校建设项目成果

光传输线路与设备维护 (华为版)

陈海涛 主编

许俊义 副主编 张建超 王贵 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

光传输线路与设备维护：华为版 / 陈海涛主编. --
北京：人民邮电出版社，2011.12
21世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-25725-3

I. ①光… II. ①陈… III. ①光缆—通信线路—高等
职业教育—教材 IV. ①TN913.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第175613号

内 容 提 要

本书是编者以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的意见》(教高[2002]2号)，以及《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)为依据，结合多年教学改革的实践经验编写的。

本书以光传输专业实际工作岗位必备业务技能为主线，将光纤通信原理与工作任务有机融合，涵盖了光传输线路与设备维护两大领域，主要内容包括光纤通信概述、光纤光缆基本知识、光缆线路日常维护、光缆接续及成端、光缆线路抢修、维护工作安全知识、SDH 基本原理、SDH 典型设备配置与维护基础、光传送网、光传输系统维护故障管理以及以华为设备为对象的实践训练项目等 11 个部分。书中附录部分收集了光传输常用专用词汇及缩略语，光传输线路与设备维护常用记录表格和部分常用光纤光缆及 SDH 国家和行业有关标准。

本书针对职业特点，选材适当，结构完整，实用性强，配有常用表格和案例，突出应用和工作维护实践。本书可作为应用型本科通信和高职通信类专业相关课程的教材使用，也可供从事通信技术服务的工程技术人员学习参考。

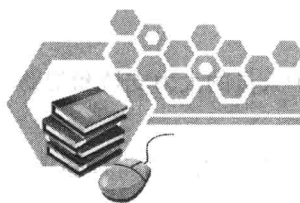
21 世纪高职高专电子信息类规划教材 光传输线路与设备维护 (华为版)

-
- ◆ 主 编 陈海涛
 - 副 主 编 许俊义
 - 编 著 张建超 王 贵
 - 责任编辑 贾 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：20.5 2011 年 12 月第 1 版
字数：527 千字 2011 年 12 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-25725-3

定价：45.00 元

读者服务热线：(010)67170985 印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154



为了适应光纤通信技术应用的普及化,更好地培养光纤通信技术应用型人才,根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作的意见》(教高[2002]2号),以及《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)等文件精神,在教育部高职高专通信类教学指导委员会的关心和指导下,结合我院国家示范性高职院校校重点专业建设项目,在多年课程教学改革与实践的基础上,以培养学生的职业能力为出发点编写了本套教材。

本套教材立足于高等职业教育的人才培养目标,遵循主动适应社会发展需要,突出职业性和应用性,加强实践能力培养的原则,通过校企合作的方式,组织了一批具有丰富教学经验的教师、具有丰富工程实践经验的企业工程师,编写了课程的理论教材,并开发了实训项目。实训项目均来自实际岗位的工作任务,集技能训练与职业能力培养为一体,体系新颖,内容可选择性强。同时提出实训硬件设备的标准配置和最低配置,以方便各校选用。

本书在编写过程中,形成了下列特点。

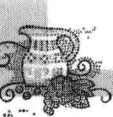
(1) 针对实践工作岗位。本书取名“光传输线路与设备维护”其意有二:一是在主要通信运营商专业岗位设置上,传输专业是一个主要岗位,有的更细分为光缆线路和光端设备两个专业,“光传输”更能体现职业岗位的特点和要求;二是线路与设备是光传输系统的有机组成,维护人员应建立全程全网概念。

(2) 配套企业培训。我们是在广泛的调研以及调查基础上,分析职业岗位要求,提炼典型工作任务,比较学校教学环节与企业培训的异同,基于工作过程设计教学模式,然后通过校企合作的形式,结合了教学经验和维护岗位实践经验,针对通信企业用人的实际要求,参照国家通信行业职业资格标准,编写出本教材。

(3) 内容实用性强。本书针对职业岗位特点,选材适当,结构完整,实用性强,配有常用表格和案例,突出应用和工作维护实践。本书可作为应用型本科通信和高职通信类专业相关课程的教材,也可供从事通信技术服务的工程技术人员学习参考。如结合光传输线路与设备维护学习工作页使用,更有助于增强读者的学习效果。

本书以光传输专业实际工作岗位必备业务技能为主线,将光纤通信原理与工作任务有机融合,涵盖了光传输线路与设备维护两大领域,主要内容包括光纤通信概述、光纤光缆基本知识、光缆线路日常维护、光缆接续及成端、光缆线路抢修、维护工作安全知识、SDH 基本原理、SDH 典型设备配置与维护基础、光传送网和光传输系统维护故障管理、实践训练项目等 11 个部分。书中附录部分收集了光传输常用专用词汇及缩略语,光传输线路与设备维护常用记录表格和部分常用光纤光缆及 SDH 国家和行业有关标准,供读者参考。

参加本书编写的有:陈海涛(第 1、2、8、9 章,第 7 章(7.1 节、7.2 节),第 11 章(训练项目一至训练项目三),附录 A、B、C)、许俊义(第 3 章~第 6 章)、张建超(第 7 章(7.3 节~7.6 节,第 10 章,第 11 章(训练项目四至训练项目六),附录 D、E)、王贵(训练项目七至训练项目



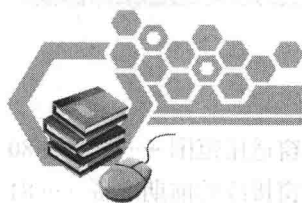
目十二)。全书由陈海涛任主编，许俊义任副主编。

本书在编写过程中得到李斯伟教授、李云飞工程师和各运营公司维护人员的大力支持和帮助，在此致以衷心的感谢。

由于作者的水平和学识有限，书中难免存在不妥和错误之处，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

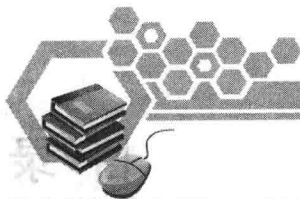
2011 年 8 月



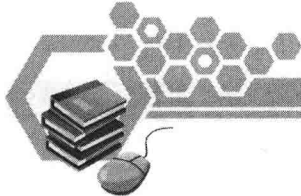
第 1 章 光纤通信概述	1
1.1 光纤通信的发展概况	1
1.2 光波波谱	3
1.3 光纤通信系统的基本构成	5
1.4 光纤通信的特点和系统分类	6
1.4.1 光纤通信的主要优点	6
1.4.2 光纤通信的主要缺点	7
1.4.3 光纤通信系统的分类	7
习题	9
第 2 章 光纤光缆	10
2.1 光纤的结构和分类	10
2.1.1 光纤的结构	10
2.1.2 光纤的种类	11
2.1.3 光纤的结构参数	13
2.1.4 带状光纤简介	13
2.2 光纤传输原理	15
2.3 光纤的主要特性	16
2.3.1 传输特性	16
2.3.2 机械特性	17
2.3.3 温度特性	18
2.4 光纤标准	18
2.4.1 光纤标准分类	18
2.4.2 光纤的演进	20
2.5 光缆的种类与结构	22
2.5.1 光缆的种类	23
2.5.2 光缆的型号	23
2.5.3 几种典型的光缆结构	26
2.5.4 新型光缆的发展	29
2.6 光缆的性能与测试	30
2.6.1 成缆光纤的要求	30

2.6.2 光缆结构和机械性能	31
2.6.3 光学和传输性能测量方法	32
2.7 光缆的端别识别	33
习题	33
第 3 章 光缆线路日常维护	35
3.1 光缆线路维护的管理和要求	35
3.2 光缆线路维护标准	37
3.3 光缆线路维护的目的和 维护工作分类	39
3.3.1 光缆线路维护工作的目的	39
3.3.2 光缆线路维护工作分类	40
3.4 维护工作的主要项目和周期	40
3.5 几种常见的日常维护工作	42
3.5.1 巡线的目的、要求及方法	42
3.5.2 路面维护的主要工作	42
3.5.3 管道线路的主要维护工作	43
3.5.4 架空光缆线路、水线和 海缆的维护	43
3.5.5 护线宣传	44
3.5.6 光缆线路隐患防范	45
3.5.7 “三盯”工作	46
习题	47

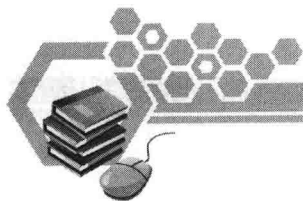
第 4 章 光缆接续及成端	49
4.1 光纤连接的方式	49
4.1.1 光纤连接方式的分类	49
4.1.2 光纤的固定连接	50
4.1.3 光纤的活动连接	50
4.1.4 光纤的临时连接	53
4.2 光缆接续安装的一般要求	53
4.2.1 光缆接续工序所包括的内容	53
4.2.2 光缆接续的一般要求	54



4.2.3 对光缆接头盒性能的要求	54	5.2.1 光缆开天窗适用范围	80
4.2.4 常用光缆接头盒介绍	55	5.2.2 光缆开天窗接续的前期准备	81
4.3 光缆的接续方式	56	5.2.3 光缆开天窗接续的分类及 操作方法	82
4.3.1 光缆护套的接续方式	56	5.2.4 光缆开天窗接续的注意事项	83
4.3.2 光缆加强芯及金属护套的接续	56	习题	83
4.4 光缆接续的基本方法和步骤	57	第6章 维护工作安全知识	85
4.4.1 光缆接续前的准备	57	6.1 一般安全要求	85
4.4.2 光缆外护套的开剥	58	6.1.1 人身安全	85
4.4.3 加强芯和外护套的固定、连接	59	6.1.2 场地及行车安全	86
4.4.4 光纤熔接的方法和步骤	59	6.1.3 器材搬运	87
4.4.5 带状光纤的接续	62	6.1.4 消防设施	89
4.4.6 光纤接续的现场监测	62	6.1.5 野外工作	90
4.4.7 光纤预留的收容处理	62	6.1.6 其他注意事项	90
4.4.8 光缆接头盒的封装、固定	63	6.2 登高作业	91
4.5 光纤的连接损耗	63	6.2.1 登高作业的一般要求	91
4.5.1 光纤连接损耗产生的原因	63	6.2.2 架空杆路登高	91
4.5.2 降低接续损耗的方法	65	6.2.3 吊线作业	92
4.6 接头盒的封装及固定	66	6.2.4 其他登高	93
4.6.1 接头盒的封装	66	6.3 在电力线附近工作	93
4.6.2 接头盒的固定	66	6.4 在人孔内工作	94
4.6.3 接头盒固定应注意的事项	68	6.4.1 地下室内工作	94
4.7 光缆的成端操作	68	6.4.2 启闭人孔盖	94
习题	70	6.4.3 人孔内工作	94
第5章 光缆线路抢修	71	6.5 工具和仪器的使用	95
5.1 光缆线路故障的判断和处理	71	6.5.1 一般安全规定	95
5.1.1 光缆线路故障的分类及 故障处理方法	71	6.5.2 梯子	95
5.1.2 造成光缆线路故障的原因分析	72	6.6 有害气体和易燃气体的预防方法	96
5.1.3 部分特殊故障处理建议	73	6.6.1 有害气体的知识	96
5.1.4 故障处理目标和原则	73	6.6.2 易燃气体的预防	97
5.1.5 光缆线路故障点的判断	74	习题	98
5.1.6 光缆线路障碍点的处理	76	第7章 SDH 基本原理	99
5.1.7 光缆故障判断和处理时 应注意的事项	79	7.1 准同步数字体系	100
5.2 光缆开天窗接续操作方法	80	7.1.1 准同步数字体系简介	100



7.1.2 PCM 的基本原理	100	8.3.3 创建网元	172
7.1.3 PCM30/32 路系统	101	8.3.4 创建单板	173
7.1.4 数字复接技术	102	8.4 OptiX 2500+设备硬件配置	176
7.2 SDH 的基本原理	104	8.4.1 硬件结构	176
7.2.1 基本概念	104	8.4.2 接口单元和配置容量	178
7.2.2 SDH 帧结构	107	8.4.3 创建网元	181
7.2.3 复用结构	110	8.4.4 创建单板	183
7.2.4 映射、定位和复用	113	8.4.5 创建光纤连接	186
7.3 SDH 网络结构	130	8.5 OptiX 传输设备维护	189
7.3.1 SDH 网络常见网元	130	8.5.1 OptiX 传输设备例行维护	190
7.3.2 SDH 传送网	132	8.5.2 日常维护基本操作与 注意事项	191
7.3.3 SDH 网络拓扑结构	134	习题	195
7.4 SDH 自愈网	137	第 9 章 光传送网	196
7.4.1 自愈网的概念	137	9.1 基于 MSTP 技术的传送网特点	196
7.4.2 自动线路保护倒换	138	9.2 传送网的物理拓扑结构	198
7.4.3 环路保护	139	9.3 传送网的发展趋势	199
7.4.4 DXC 保护	144	9.3.1 OTN 的优劣势	200
7.4.5 混合保护	145	9.3.2 全光 OXC 的发展	200
7.4.6 各种自愈网的比较	145	9.3.3 MSTP 技术演进	201
7.5 SDH 的网同步	146	习题	201
7.5.1 网同步的基本概念	146	第 10 章 光传输系统维护故障管理	202
7.5.2 SDH 的网同步	148	10.1 故障分级与处理	202
7.6 SDH 传输性能	151	10.1.1 故障等级划分	202
7.6.1 误码	151	10.1.2 故障的上报和处理原则	204
7.6.2 可用性参数	153	10.2 应急预案管理	205
7.6.3 抖动和漂移	153	习题	208
习题	154	第 11 章 光传输线路与设备维护实践	209
第 8 章 SDH 典型设备配置与维护基础	158	训练项目	209
8.1 SDH 网管的基本概念	158	训练项目一 SDH 设备硬件总体介绍	212
8.2 T2000 网管软件	160	训练项目二 T2000 网管软件介绍及 安装	219
8.2.1 T2000 网管软件安装	161	训练项目三 T2000 网管软件基本操作	223
8.2.2 T2000 网管软件基本操作	165		
8.3 OptiX 155/622H 设备硬件配置	168		
8.3.1 硬件结构	168		
8.3.2 接口单元和配置容量	169		



训练项目四	2Mbit/s 接口的点对点 组网操作.....	226
训练项目五	2Mbit/s 业务链形 组网操作.....	233
训练项目六	单向通道保护环形 组网操作.....	237
训练项目七	以太网链形组网操作.....	241
训练项目八	以太网单向通道保护 组网操作.....	250
训练项目九	以太网复用段环组网操作...	260
训练项目十	SNCP 单向通道保护 环带链组网操作.....	269
训练项目十一	相切环组网操作.....	278
训练项目十二	时钟及公务电话 配置操作.....	289

附录 A	专用词汇及缩略语	299
附录 B	光传输线路与设备维护常用 记录表格	302
附录 C	光通信有关行业标准目录	311
附录 D	数据完成后业务是否正常的 检测操作方法	316
附录 E	实训报告要求及样例	319
参考文献		320

第1章

光纤通信概述

引言 光纤通信作为现代通信的主要传输手段，在现代通信网中具有重要的作用。

光纤通信就在我们身边，例如，每次拿起电话、打开电视、用传真机发送文件、在商场使用信用卡、使用银行 ATM 或是在互联网上冲浪，你就在使用光纤通信技术。像头发丝一样细的光纤的传输容量，每 10 年增加 100 倍，光纤通信的前景无限光明。

本章介绍了光纤通信的发展概况、光波波谱、光纤通信的特点以及光纤通信系统的模型和分类。熟悉和掌握光纤通信的光波波谱、光纤通信系统组成、光纤通信系统的分类是我们后续学习的基础。

【本章学习重点】

- 光波波谱
- 光纤通信的特点
- 光纤通信系统的分类
- 光纤通信系统组成

光纤通信是利用光波作为载波，用光纤作传输介质传递信息的有线光通信。光纤通信除了可以用来传送声音以外，还可以传送电视图像、数据等。光纤通信应用的场合很多，除了通信行业外，还可以用在计算机网络、厂矿内部的通信，如广播、电视，电力、铁道系统的通信等。光通信技术的进步，推动了整个信息产业的飞速发展，已成为当前远距离、大容量信息传输的最重要的基础设施。

1.1 光纤通信的发展概况

学习要点：现代光纤通信发展史

光通信可追溯到我国古代 3 000 多年前的烽火台，这是一种可视光通信。此后数千年间，远距离通信一直是用目视光通信来实现的。直到现在仍然在使用的信号弹、旗



语、交通信号灯等，都属于可视光通信的范畴。现代光通信起源于1960年，梅曼（T.H.Maiman）发明了红宝石激光器，产生了单色相干光，实现了高速的光调制。美国林肯实验室首先研制出利用氦氖激光器通过大气传输彩色电视信号。但利用大气传输光信号具有以下缺点：气候严重影响通信，如雾天；大气的密度不均匀，传输不稳定；传输设备之间要求没有阻隔。

利用光纤作为光传输介质的光纤通信，其发展只有40多年的历史。1966年7月，英籍华裔学者高锟博士（K.C.Kao）和霍克哈姆（C.A.Hockham）在PIEE杂志上发表了一篇十分著名的文章《用于光频的光纤表面波导》，该文从理论上分析证明了用光纤作为传输介质以实现光通信的可能性，并设计了通信用光纤的波导结构（即阶跃光纤）。更重要的是科学地预言了制造通信用的超低耗光纤的可能性，即加强原材料提纯，加入适当的掺杂剂，可以把光纤的衰减系数降低到20dB/km以下。以后的发展事实雄辩地证明了高锟博士文章的理论性和科学预言的正确性，所以该文被誉为光纤通信的里程碑（高锟博士等人因此获得2009年诺贝尔物理学奖）。

1970年美国康宁玻璃公司根据高锟文章的设想，用改进型化学相沉积法（MCVD法）制造出当时世界上第一根超低耗光纤，成为使光纤通信爆炸性竞相发展的导火索。

要实现长距离的光纤通信，必须减少光纤的衰减。高锟指出减少石英玻璃内的过度金属杂质离子是降低光纤衰减的主要因素，1974年，光纤衰减降低到2dB/km。1976年通过研究发现降低石英玻璃内的OH离子含量就会出现衰减的长波长双窗口：1.3 μm 和1.55 μm 。在1980年，1.55 μm 波长光纤衰减达到0.2dB/km，接近理论值。20世纪80年代中，又发现水分和潮气长期接触光纤会扩散到石英光纤内，从而使光纤衰减增大且强度降低。于是注入油膏于光纤套管中隔绝水汽，制成品质完善的光缆用于工程。

要实现大容量的通信，要求光纤有很宽的带宽。单模（Single Mode, SM）光纤的带宽最宽，是理想的传输介质。但是单模光纤纤芯很细，20世纪70年代工艺无法做到，因此，多模（Multi Mode, MM）光纤较早应用。光在多模光纤里各模式间存在光程差，造成输出的光信号带宽不宽。1976年日本研制成渐变型（又称自聚焦型，SELFCO）光纤，光纤的带宽达到kHz/km数量级。20世纪80年代，单模光纤研制成功，带宽增大到10kHz/km，这一成就使大容量光纤通信成为可能。20世纪80年代中期，零色散波长为1.55 μm 的光纤研制成功，光纤通信实现长距离、超大容量传输成为可能。

光纤通信还要有合适的光器件。1970年，美国贝尔实验室研制出世界上第一只在室温下连续工作的砷化镓铝半导体激光器，为光纤通信找到了合适的光源器件。后来逐渐发展到性能更好、寿命达几万小时的异质结条形激光器和现在的分布反馈式单纵模激光器（DFB）以及多量子阱激光器（MQW）。光接收器件也从简单的硅PIN光电二极管发展到量子效率达90%的III-V族雪崩光电二极管（APD）。从此以后，光纤通信在世界范围内得到迅猛发展，从20世纪80年代以来，光纤通信应用已从850nm、1310nm、1550nm3个低损耗波长窗口发展到全波段波长，同时开发出许多新型光电器件，激光器（CD）寿命已达数十万小时甚至百万小时。光纤通信逐渐普及并快速发展起来。

由于工程上的需要，各式各样的光无源器件和光仪表也相应出现，如光活动连接器、光衰减器、光纤熔接机、光时域反射测试仪等。

20世纪90年代以来，通信技术高速发展，移动通信、卫星传输和光纤通信将通信演变为高速、大容量、数字化和综合的多媒体业务。在ITU-T的推动下，光纤通信的各种标准纷纷制定，

FTTA、FTTB、FTTC 构成当前的光纤接入网络,最终将实现光纤到户、光纤到桌面,如图 1.1 所示。

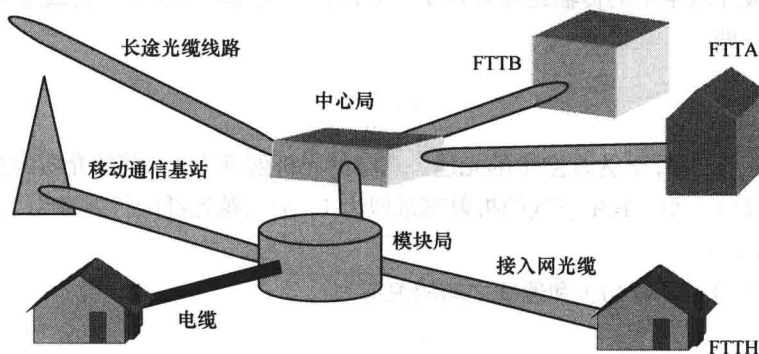


图 1.1 光纤接入网络

1.2 光波波谱

光波是电磁波，其波长在微米级、频率为 $10^{13} \sim 10^{14} \text{Hz}$ 数量级。一般无线电磁波可用作广播电台、电视、移动通信的信号传输，光波也可以，而且是大容量、高速度、数字化和综合业务的通信传输，所不同的是：一般无线电波通过空气传输，而通信用光波是通过光纤（Optic Fiber）来实现的，是一种有线传输。

图 1.2 所示为光波在电磁波谱中的位置, 可见光的波长在 $0.39\sim 0.76\mu\text{m}$, 包括红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫, 混合而成白光。可见光中红光的波长最长。比红光波长更长的光, 即波长大于 $0.76\mu\text{m}$ 的光是不可见的红外光, 在 $0.76\sim 15\mu\text{m}$ 的光波称为近红外波, 在 $15\sim 25\mu\text{m}$ 的光波称为中红外波, 在 $25\sim 300\mu\text{m}$ 的光波称为远红外波。比紫光波长更短的波为不可见的紫外光, 紫外光的范围为 $0.39\sim 0.006\mu\text{m}$, 紫外光、可见光和红外光统称光波。

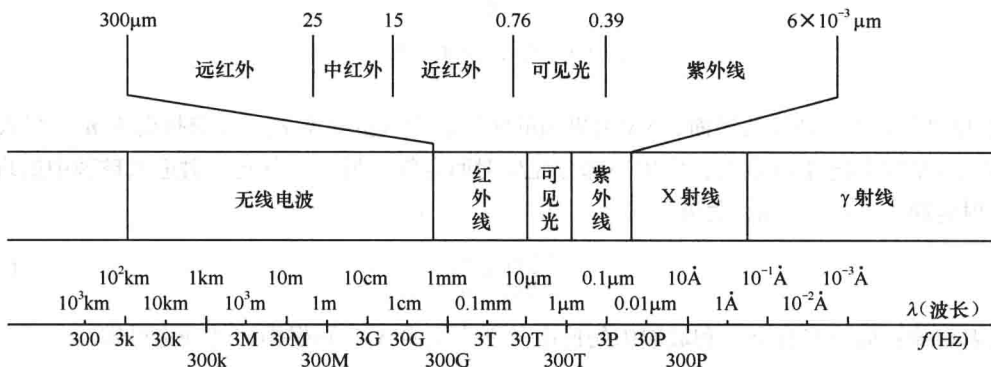


图 1.2 光电磁波波谱图

目前, 光纤使用的波长范围是在近红外区内。光纤通信初期, 根据光纤的本征特性, 光纤通信波长使用 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 3 个窗口。由于光纤技术的飞速发展, 新一代光纤已突破了 3 个低衰耗窗口的瓶颈, 实现了全波段使用 ($1260\sim 1625\text{nm}$)。光纤通信新材料和新技术的应用, 提高了光波可利用率, 使光纤通信容量大幅度提高。

1. 光波速度

光波与电磁波在真空中的传输速度为 $c=3\times 10^5\text{km/s}$ 。光在均匀介质中直线传播, 速度与介质的折射率成反比, 即

$$v = \frac{c}{n} \quad (1.1)$$

式中, n 为介质光折射率, c 为真空中的光速。真空的光折射率为 1, 其他介质的折射率大于 1, 因此传输速度比真空中小。其中空气的折射率近似为 1, 而石英光纤的折射率为 1.458, 则光波速度为 $v=2\times 10^5\text{km/s}$ 。

光波的波长 (λ)、频率 (f) 和速度之间的关系为

$$c = f\lambda$$

或

$$v = \frac{f\lambda}{n} \quad (1.2)$$

2. 光波的折射与反射

光在同一均匀介质中是直线传播的, 但在两种不同的介质的交界处会发生反射和折射现象, 如图 1.3 所示。

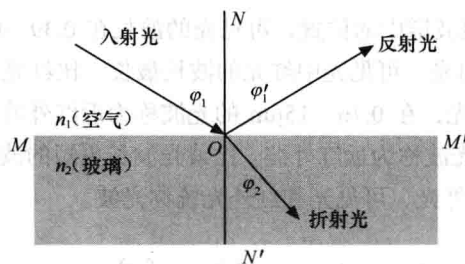


图 1.3 光的反射和折射

设 MM' 为空气与玻璃的界面, NN' 为界面的法线, 空气折射率 $n_1 <$ 玻璃折射率 n_2 。当入射光到 MM' 与 NN' 的交接处 O 点时, 发生一部分光反射回空气, 另一部分光折射进入玻璃中的现象。

反射定律, $\angle \varphi'_1 = \angle \varphi_1$, 另外

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.3)$$

折射定律: 假设光在空气和玻璃中的速度分别为 v_1 和 v_2 , 则根据波动理论可知

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1.4)$$

因此,可推导出

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

3. 光波的全反射

根据折射理论,光从折射率大的介质进入折射率小的介质时,折射角大于入射角,并随入射角增大而增大。当入射角增大到临界角 φ_0 时,折射角 $\angle\varphi_2=90^\circ$,如图1.4所示,这时光以 φ_1 角全反射回去,从能量角度看,折射光能量越来越小,反射光能量逐渐增大,直到折射光消失。

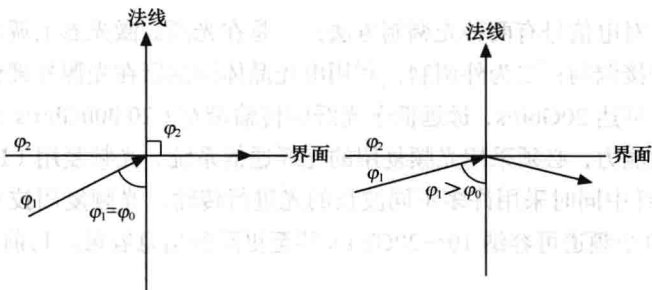


图 1.4 光波的全反射

这种情况下

$$\frac{\sin \varphi_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

即

$$\sin \varphi_0 = n_2 / n_1 \quad (1.5)$$

1.3 光纤通信系统的基本构成

学习要点: 光纤通信定义、光纤通信系统的基本构成

所谓光纤通信,就是利用光纤来传输携带信息的光波以达到通信的目的。数字光纤通信系统由光发射机、光纤和光接收机构成。

光发射机的作用就是进行电/光转换,并把转换成的光脉冲信号码流输入到光纤中进行传输。光源器件一般是 LED 和 LD。

光纤的作用即完成光波的传输。

光接收机的作用就是进行光/电转换。光接收器件一般是 PIN 和 APD。

光纤通信过程:光发射机将已调制的光波送入光纤,经光纤传送至光接收机。

光信号经过光纤传输到达接收端,首先经光电二极管(PIN)或雪崩光电二极管(APD)检波变为电脉冲,然后经放大、均衡、判断等适当处理,恢复为送入发送端时的电信号,再送至接收电端机。它与一般通信过程所不同的主要有两点:一是传输光信号;二是利用光纤作为传输介质。基本光纤通信系统构成如图1.5所示。

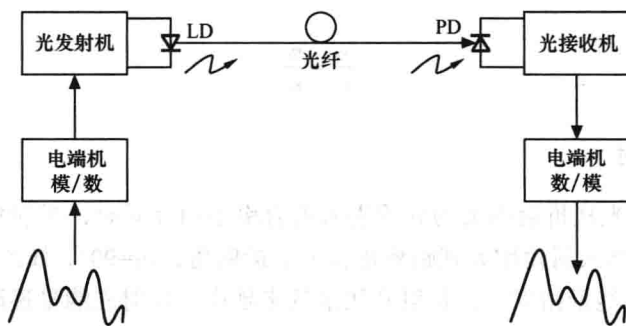


图 1.5 基本光纤通信系统组成图

在光发射机中，对电信号有两种光调制方法：一是在光源如激光器上调制，产生随电信号变化的光信号，此为直接调制；二为外调制，利用电光晶体调制器在光源外部调制，调制速率高。所有的调制速率最多可达 20Gbit/s，远远低于光纤的传输带宽（20 000Gbit/s），要充分发挥光纤的超大容量的通信传输能力，必须采用光频复用的光纤通信系统。光频复用（FDM）又称光波复用（WDM），就是在光纤中同时采用许多不同波长的光进行传输，光频复用技术可在光纤中开发出 8~200 个光频道，每个频道可容纳 10~20Gbit/s 甚至更高的信息容量。目前，WDM 通信技术已得到广泛应用。

1.4 光纤通信的特点和系统分类

□ 学习要点：光纤通信的特点

光纤通信能够飞速发展是因为和其他通信手段相比，具有无以伦比的优越性。

1.4.1 光纤通信的主要优点

1. 频带宽、通信容量大

一根光纤的带宽在理论上能容纳 10^7 路 4MHz 的视频或 10^{10} 路的 4kHz 的音频，而同轴电缆带宽为 60MHz，能传输 10^4 路 4kHz 的音频，光纤带宽为同轴电缆的 10^6 倍。按话路计算一对光纤按目前常见的 2.5Gbit/s 的通信系统计算，就可达到 28 800 个话路，加上密集波分后话路将非常可观。

2. 损耗低，传输距离远

目前，光纤采用的石英玻璃，纯净度很高，光纤损耗极低。光纤平均损耗在 0.2~0.4dB/km，中继距离达几十、上百千米。

3. 信号串扰小，保密性能好

由于光波具有良好的相干性，随着光器件的不断进步，不同光纤的光信号、同根光纤的不同波长间不会产生干扰，因此，光纤通信比传统的无线和其他有线通信具有更好的保密效果。



4. 抗电磁干扰, 传输质量佳

由于光纤是非金属的介质材料, 且传输的是光信号, 因此, 它不受电磁干扰, 传输质量较好。

5. 尺寸小、重量轻, 便于敷设和运输

由于光纤的纤芯直径仅 $125\mu\text{m}$, 经过表面涂覆后尺寸为 0.25mm , 制成光缆后, 直径一般为十几毫米; 要比电缆线径细、重量轻, 这样在长途干线或市内线路上, 空间利用率高, 且便于制造多芯光缆。

6. 材料来源丰富, 环境适应性强

光纤的制造材料石英玻璃在自然界中的含量非常丰富, 这与电缆制造中大量消耗铜这种有色金属有着天壤之别。

由于光纤是由石英玻璃制成, 石英玻璃的熔点在 $2\,000^\circ\text{C}$ 以上, 而一般明火的温度在 $1\,000^\circ\text{C}$ 左右, 因此, 光纤耐高温, 化学稳定性好, 抗腐蚀能力强, 不怕潮湿, 可在有害气体环境下工作。

1.4.2 光纤通信的主要缺点

光纤通信与传统的电缆通信相比, 也存在以下几个特殊问题。

① 光纤性质脆, 需要涂覆加以保护。此外, 为了能承受一定的敷设张力, 在光纤结构上需要多加考虑。

② 切断和连接光纤时, 需要高精度技术和仪表器具。

③ 光路的分路、耦合不方便。

④ 光纤不能输送中继器所需要的电能。

⑤ 弯曲半径不宜太小。

尽管存在上述问题, 但是从目前的技术来说, 都是可以克服的, 不影响光纤的广泛应用。

1.4.3 光纤通信系统的分类

从相对论观点研究, 物质无不具有双重性, 即波动性与微粒性。物质的波动理论认为光是一种电磁波, 因此电磁场理论也适于光波。从微粒论观点出发, 光是由一种具有一定能量的光子流组成的。根据光波的双重性, 可将光纤通信系统分为经典光纤通信和量子光纤通信两大类。经典光纤通信涉及的方式包括 IM/DD (强度调制/直接检测) 方式、相干光纤通信、光孤子通信、全光纤通信、光波长复用通信等。所谓量子光纤通信, 是以光子作为信息载体、以光纤作为传输介质的通信手段。量子通信论的优点在于其通信容量可超过经典光通信几个数量级。

从原理上看, 构成光纤通信的基本物质要素有光纤、光源和光电检测器。光纤通信系统可根据所使用的光波长、传输信号形式、传输光纤类型和光接收方式不同, 分成各种类型。

1. 按传输光波长划分

根据传输的波长, 可以将光纤通信系统分为短波长光纤通信系统、长波长光纤通信系统以及超长



波长光纤通信系统。短波长光纤通信系统的工作波长为 $0.7\sim 0.9\mu\text{m}$ ，中继距离小于或等于 10km ；长波长光纤通信系统的工作波长为 $1.1\sim 1.6\mu\text{m}$ ，中继距离大于 100km ，是现在普遍采用的光纤通信系统，其损耗小，中继距离长；超长波长光纤通信系统的工作波长大于或等于 $2\mu\text{m}$ ，中继距离大于或等于 $1\,000\text{km}$ ，采用非石英光纤，具有损耗极低、中继距离极长的优点，是光纤通信的发展方向。

目前，短波长光纤通信系统早已被长波长光纤通信系统所代替，长波长光纤通信系统是目
前光纤通信系统应用的主流。超长波长光纤通信系统具有传输衰减极小等特点，是目前一个重要研究方向。

2. 按调制信号形式划分

根据调制信号的类型，可以将光纤通信系统分为模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统。模拟光纤通信系统使用的调制信号为模拟信号，它具有设备简单的特点，一般多用于广电系统传送视频信号，如有线电视的 HFC 网。数字光纤通信系统使用的调制信号为数字信号，它具有传输质量高、通信距离长等特点，几乎适用于各种信号的传输，目前已得到广泛的应用。

3. 按传输信号的调制方式划分

根据光源的调制方式，可以将光纤通信系统分为直接调制光纤通信系统和间接调制光纤通信系统。直接调制光纤通信系统具有设备简单的特点，因此在目前的光纤通信中得到了广泛的应用。间接调制光纤通信系统具有调制速率高的特点，因此是一种有发展前途的光纤通信系统，在实际中已得到了部分应用。

4. 按光纤传导模式数量划分

根据光纤的传导模式数量，可以将光纤通信系统分为多模光纤通信系统和单模光纤通信系统。多模光纤通信系统是早期采用的光纤通信系统，目前主要用于计算机局域网中。单模光纤通信系统是目前广泛应用的光纤通信系统，它具有传输衰减小、传输带宽大等特点，目前被广泛应用于长途以及大容量的通信系统中。

5. 其他划分

其他类型的光纤通信系统如表 1.1 所示。

表 1.1 其他类型的光纤通信系统

类别	特点
相干光通信系统	光接收灵敏度高，光频率选择性好，设备复杂
光波分复用通信系统	一根光纤中传输多个单/双向波长，超大容量，经济效益好
光频分复用通信系统	可大大增加复用光信道，各信道间干扰小，实现技术复杂
光时分复用通信系统	可实现超高速传输，技术先进
全光通信系统	传输过程无光电变换，具有光交换功能，通信质量高
副载波复用光纤通信系统	数模混传，频带宽，成本低，对光源线性度要求高
光光子通信系统	传输速率高，中继距离长，设计复杂
量子光通信系统	量子信息论在光通信中的应用