



高等职业教育“十二五”规划教材（通信类）

光传输网络组建 与运行维护

◎ 孙桂芝 孙秀英 主编

按照光纤通信基础篇、光传输网络设备篇、
光传输网络组建与运行维护项目实训篇的次
序编写

以工作岗位应用为目标，项目实训采用“任
务驱动、案例教学”的编写方式

采用的设备为华为公司的光传输设备



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件与练习题答案等

高等职业教育“十二五”规划教材(通信类)

光传输网络组建 与运行维护

主 编 孙桂芝 孙秀英
副主编 吴晓岚 何 野
参 编 姚 伟 肖 山



机械工业出版社

本书针对光纤通信领域中光传输技术的应用,按照光纤通信基础篇、光传输网络设备篇、光传输网络组建与运行维护项目实训篇的次序,由浅入深、循序渐进,系统地介绍了光传输技术在传输网络中的应用过程。项目实训采用“任务驱动、案例教学”的编写方式,配置了大量的图示说明,深入浅出,通俗易懂,便于帮助学生分析、理解,突出应用性、实践性。理论基础以必需、够用为度,力求使教材新颖、全面和实用,容易被学生接受。

本书编写以工作岗位应用为目标,对传统光纤通信技术的内容进行了优化选择,充分体现了高职高专教材的特色,针对性和实用性强,既可以作为高职高专院校通信类和电子信息类专业的教材,也可以作为相关技术人员的培训资料以及光传输技术维护人员的参考书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、练习题答案等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可通过来电(010-88379564)或电子邮件(cmpqu@163.com)索取。有任何技术问题也可通过以上方式进行联系。

图书在版编目(CIP)数据

光传输网络组建与运行维护/孙桂芝,孙秀英主编. —北京:
机械工业出版社, 2011. 12

高等职业教育“十二五”规划教材. 通信类

ISBN 978-7-111-36349-1

I. ①光… II. ①孙…②孙… III. ①光纤通信—同步通信
网—高等职业教育—教材 IV. ①TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 249556 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:曲世海 责任编辑:曲世海

版式设计:霍永明 责任校对:李 婷 贾立萍

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.25 印张·323 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-36349-1

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

自 20 世纪 70 年代以来, 光纤通信技术的发展日新月异, 它以优越的性能成为现代通信网的主要支柱。为满足社会的需求, 高职高专院校纷纷开设光纤通信这门课程, 但是光纤通信既是高新技术, 又是应用性很强的技术, 如何工学结合, 使学生尽快适应工作岗位的需要, 是高职高专院校教学改革的重点。基于这种背景, 编者结合多年教学、科研和生产实践经验编写了本教材。

全书共分为 5 章, 第 1 章概述了光纤通信的发展与现状, 介绍了光纤通信的主要特性、光纤通信系统的基本组成与分类、光纤通信系统的基本应用、光纤与光缆、通信用光器件; 第 2 章主要介绍了 SDH 技术, 简单介绍了 SDH 产生的技术背景、SDH 的优缺点, 重点说明了 SDH 信号的帧结构和复用步骤、SDH 网络结构和网络保护机理等; 第 3 章主要介绍了光传输常用设备, 以华为技术有限公司(以下简称华为公司)的光传输设备为例, 介绍了 OptiX Metro 500、OptiX Metro 1000、OptiX Metro 2050 和 OptiX OSN 2000 等设备的总体结构和各个单板的功能; 第 4 章介绍了光传输网络组建与业务开通的方法, 以华为公司的光传输设备为例, 详细介绍了组建与配置双设备(多设备)无保护链形网、二纤单向通道保护环网络、二纤双向复用段共享保护环网络以及 SNCP 环带链网络的方法和过程, 最后介绍了在光传输网络上接入以太网业务; 第 5 章介绍了光传输网络常见故障的分析与处理。

全书理论联系实际, 配置了大量的图示说明, 深入浅出, 通俗易懂, 便于帮助学生分析、理解并掌握光传输网络组建与运行维护方面的基本技能。

本书由孙桂芝、孙秀英任主编, 吴晓岚、何野任副主编, 参加编写的还有姚伟、肖山。其中, 第 1 章由孙秀英编写, 第 2 章由吴晓岚、肖山编写, 第 3 章由姚伟、孙桂芝编写, 第 4 章由孙桂芝、何野编写, 第 5 章由吴晓岚编写。

由于编者水平有限, 书中难免存在错误和不妥之处, 敬请读者批评指正, 以便进一步提高和完善。

编 者

目 录

前言

单元 1 光纤通信基础篇

第 1 章 光纤通信概述	2
1.1 光纤通信的起源与发展	2
1.1.1 光纤通信的起源	2
1.1.2 光纤通信的发展	2
1.2 光纤通信的主要特性	3
1.3 光纤通信系统的基本组成与分类	5
1.3.1 光纤通信系统的基本组成	5
1.3.2 光纤通信系统的分类	5
1.4 光纤通信系统的基本应用	6
1.5 光纤与光缆	6
1.5.1 光纤的结构与类型	6
1.5.2 光纤的导光原理	8
1.5.3 光缆的典型结构	10
1.5.4 光缆的种类与型号	11
1.6 通信用光器件	14
1.6.1 无源光器件	14
1.6.2 光端机	15
小结	18
练习题	18
第 2 章 SDH 技术	19
2.1 SDH 概述	19
2.1.1 SDH 产生的技术背景	19
2.1.2 与 PDH 相比 SDH 的优势	21
2.1.3 SDH 的缺陷	23
2.2 SDH 信号的帧结构和复用步骤	24
2.2.1 SDH 信号的帧结构	24
2.2.2 SDH 的复用步骤	26
2.2.3 映射、定位和复用的概念	27
2.3 SDH 网络结构和网络保护机理	29
2.3.1 SDH 网络的常见网元	29
2.3.2 基本的网络结构	31
2.3.3 复杂网络的结构及特点	32
2.3.4 SDH 网络的整体层次结构	33

2.3.5 网络保护与恢复	35
2.4 定时与同步	39
2.4.1 SDH 网络的同步方式	39
2.4.2 SDH 网络中常见的定时方式	42
小结	43
练习题	44

单元2 光传输网络设备篇

第3章 光传输常用设备	46
3.1 OptiX Metro 500 设备	46
3.1.1 总体结构	46
3.1.2 单板介绍与功能概述	47
3.2 OptiX Metro 1000 设备	49
3.2.1 总体结构	49
3.2.2 单板介绍与功能概述	50
3.3 OptiX Metro 2050 设备	53
3.3.1 总体结构	53
3.3.2 单板介绍与功能概述	53
3.4 OptiX OSN 2000 设备	56
3.4.1 总体结构	56
3.4.2 单板介绍与功能概述	57
小结	59
练习题	60

单元3 光传输网络组建与运行维护项目实训篇

第4章 光传输网络组建与业务开通	62
4.1 组建与配置双设备无保护链形网	62
4.1.1 工程需求	62
4.1.2 工程规划	62
4.1.3 工程设备	63
4.1.4 知识准备	63
4.1.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	64
4.1.6 检查告警与测试误码	79
4.1.7 工程评价	79
4.2 组建与配置多设备无保护链形网	82
4.2.1 工程需求	82
4.2.2 工程规划	82
4.2.3 工程设备	83
4.2.4 知识准备	83
4.2.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	83
4.2.6 检查告警与测试误码	97
4.2.7 工程评价	97

4.3 组建与配置二纤单向通道保护环网络(低端设备)	97
4.3.1 工程需求	97
4.3.2 工程规划	97
4.3.3 工程设备	99
4.3.4 知识准备	99
4.3.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	99
4.3.6 检查告警与测试误码	121
4.3.7 工程评价	121
4.4 组建与配置二纤单向通道保护环网络(高端设备)	121
4.4.1 工程需求	121
4.4.2 工程规划	121
4.4.3 工程设备	123
4.4.4 知识准备	123
4.4.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	124
4.4.6 检查告警与测试误码	141
4.4.7 工程评价	141
4.5 组建与配置二纤双向复用段共享保护环网络	141
4.5.1 工程需求	141
4.5.2 工程规划	141
4.5.3 工程设备	143
4.5.4 知识准备	143
4.5.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	143
4.5.6 检查告警与测试误码	151
4.5.7 工程评价	151
4.6 组建与配置 SNCP 环带链网络	152
4.6.1 工程需求	152
4.6.2 工程规划	152
4.6.3 工程设备	154
4.6.4 知识准备	154
4.6.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	155
4.6.6 检查告警与测试误码	169
4.6.7 工程评价	169
4.7 在光传输网络上接入以太网业务	169
4.7.1 工程需求	169
4.7.2 工程规划	169
4.7.3 工程设备	170
4.7.4 知识准备	170
4.7.5 工程实施——利用 T2000 网管软件进行业务配置	171
4.7.6 检查告警与测试误码	193
4.7.7 工程评价	193
小结	194
练习题	194

第5章 光传输网络常见故障的分析与处理	195
5.1 故障定位的基本原则与常用方法	195
5.1.1 故障定位的基本原则	195
5.1.2 故障定位的常用方法	196
5.2 故障处理案例分析	198
5.2.1 业务中断类故障处理案例分析	198
5.2.2 误码类故障处理案例分析	199
小结	201
练习题	201
参考文献	202

单元1

光纤通信基础篇

第 1 章 光纤通信概述

目标

- ☐ 掌握光纤通信的概念。
- ☐ 了解光纤通信的起源与发展。
- ☐ 掌握光纤通信系统的组成及特点。
- ☐ 掌握光纤的结构与类型。
- ☐ 了解光纤的导光原理。
- ☐ 掌握光纤的特性。
- ☐ 了解光缆的结构和种类。
- ☐ 了解无源光器件的功能及主要性能。
- ☐ 掌握光发送机和光接收机的组成框图及工作原理。

1.1 光纤通信的起源与发展

光纤通信是以光波作为载波、以光导纤维作为传输介质的一种通信方式。光纤通信是 20 世纪一个划时代的变化,用光纤通信代替电缆和微波通信,信息的传输发生了本质性变革。光纤通信具有很多突出的优点,例如频带宽、通信容量大、损耗低、中继距离长和光纤的原材料资源丰富等。因此,近 30 多年来,光纤通信得到了广泛的应用和迅猛的发展。

1.1.1 光纤通信的起源

人类很早就发现利用光能传递信息,我国早在 3000 多年前就有应用,在战争中利用烽火台的狼烟和火光向远方的人传递信息,这可以说是最早的光通信,属于利用大气作为传输介质的、简单的目视光通信。但是,这种通信传递信息量少,受气候的影响较大,在大雾和阴雨天气,光通信距离缩短或者根本无法进行。

1880 年,贝尔发明了光电话,首次利用光波作为载体传递语音信息。利用弧光灯或太阳光作为光源,将光束通过透镜聚焦在送话器的振动镜片上,镜片随着语音振动,因此,镜片反射光的强度随着语音的大小而改变。在接收端把收到的光信号转变为电信号,最后通过受话器还原为语音信号,从而实现了光通信。

虽然在以后的几十年中,许多研究人员对光电话具有浓厚的兴趣,但由于早期的光通信主要是利用太阳光作为光源,利用大气作为传输介质,衰减严重,在应用上受到很大限制,因此这种利用大气进行通信的光电话未能得到深入发展。

1.1.2 光纤通信的发展

大气光通信虽然方便、灵活、简单易行,但是只适用于视距范围,对于长距离通信显然不理想,那如何利用新的介质传输光信息呢?人们将研究的重点转入到地下光波通信实验,先后出现过反射镜波导和透镜波导等地下通信实验,如图 1-1 所示。在金属或水泥管道内每隔一段距离放置一个反光镜(或透镜),使光线根据镜面反射(或折射)在管道内不断向前传输,这种方法虽然克服了大气光通信的缺点,但是实用性不大,由于镜面多,光在传输中衰减大,不能实现长距离传输,另外工程实施难度大,维修复杂。

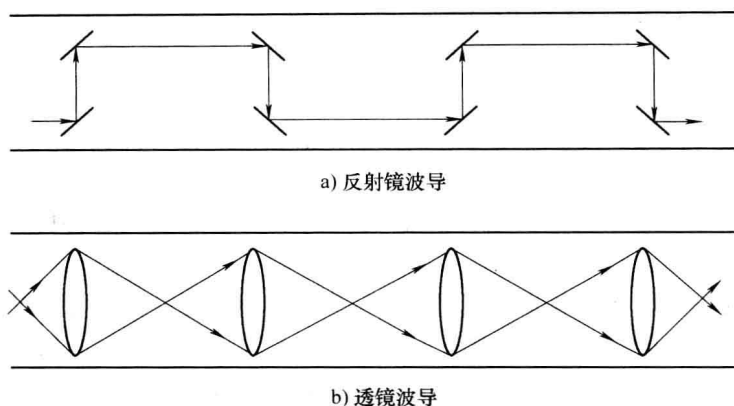


图 1-1 反射镜波导和透镜波导

正当光通信的研究陷入困境时，当时工作于英国标准电信研究所的英籍华人高锟博士提出一个大胆的设想：电信号能沿着电线传输，光信号也可以沿着玻璃纤维（即光纤）传输。20 世纪 60 年代，光导纤维的损耗很大，光通信传输距离短。

1966 年，高锟博士发表了一篇著名的论文《用于光频的光纤表面波导》，他深入研究了光在石英玻璃纤维中的严重损耗问题后，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、铁等杂质，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。高锟博士认为，只要把石英玻璃纤维中的杂质提纯，加入适当掺杂剂，就可以减小损耗，利用石英玻璃可以制成衰减系数为 20dB/km 的通信光导纤维，而当时世界上最优质的光学玻璃衰减系数高达 1000dB/km。论文从理论上分析证明了以光纤作为传输介质来实现光通信的可能性，是光纤通信发展历史上的一个里程碑，因此高锟博士也被称为“光纤之父”。

1970 年，美国的康宁公司基于高锟博士的理论，制造出了第一根损耗为 20dB/km 的光纤。虽然康宁公司制造出的光纤只有几米长，但是证明了高锟博士预言的正确性，这是光纤制造技术的重大突破，从此，光纤进入了实用化的发展阶段，世界各国纷纷开展光纤通信的研究。

20 世纪 60 年代，激光技术的发明解决了光通信的光源问题，随后，人们的注意力集中到寻找用激光进行通信的途径。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钾（GaAs）半导体激光器，为光纤通信找到了合适的光源器件。激光光源和低损耗光纤的问世，在全世界范围内掀起了发展光纤通信的高潮。

20 世纪 90 年代初，光放大器（Optical Amplifier, OA）的问世引起了光纤通信技术的重大变革，它节省了光电变换的中继过程，实现了波长透明、速率透明和调制方式透明的光信号放大，从而诞生了波分复用（WDM）技术。

1.2 光纤通信的主要特性

1. 光纤通信的优点

光纤通信与其它通信手段相比，具有突出的优点。

（1）容量大 光纤通信是以光纤为传输介质、以光波为载波的通信系统，光波和一般

电磁波相比,具有很高的频率(约 10^{14} Hz),波长更短。在载波通信中,若载波的频率越高,则它的信息容量就越大,因此光纤具有很大的通信容量。

(2) 通信带宽宽、传输数据速率高 在光纤通信中,传输介质是光纤,光纤通信带宽可达几千兆赫兹甚至更宽,可以形象地将它比作信息高速公路,路面越宽,车流量就越大,而且也可以允许“大车”通过。

(3) 损耗低、中继距离长 由于目前光纤多采用石英光纤,损耗降得越来越低,几乎接近了理论极限值,比已知的其它通信线路的损耗都低得多,以至于光纤的损耗已不再是阻碍中继距离加长的关键因素,因此,光纤通信系统的中继距离也较其它介质构成的系统长得多。今后如果采用非石英光纤,并工作在超长波长($>2\mu\text{m}$),光纤的理论损耗系数就可以下降到 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ dB/km,此时光纤通信的中继距离可达数千千米,甚至数万千米。

(4) 抗电磁干扰能力强 众所周知,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敷设,其目的是防止电磁干扰,而光波的频谱和一般电磁辐射的频谱相距甚远,电磁辐射的频谱不会叠加到光信号上,也很难进入光纤芯内影响光信号的传送,而光电检测器只对一定波段上的光频信号才响应,对一般的电磁波不响应,因此,光纤通信抗电磁干扰能力很强。这使光纤通信系统特别适合在有强烈电磁干扰的地区或场合中使用,如在电力系统、电气化铁道中的通信系统、计算机系统中使用。

(5) 保密性好、不易被窃听 在信息传输过程中,电通信方式很容易被人窃听,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,无线通信方式更是容易被窃听,而光信号是在光纤芯内传输的,光信号向外辐射、泄漏小,光纤之间串音很小,在传输途中很难被窃听,所以光纤通信保密性很好,这在国防、军事和经济上都有重要意义。

(6) 体积小、重量轻、便于施工和维护 光纤的尺寸小,直径一般只有几微米到几十微米,重量轻,运输和敷设均比铜线电缆方便,因此,光纤通信系统特别适合在一些空间有限的地方使用,像船舶、飞机、车辆、火箭和导弹等场合,这在国防和军事上有十分重要的意义。

(7) 原材料来源丰富、价格低廉 光纤的主要材料是二氧化硅(SiO_2),二氧化硅在地球上资源十分丰富,价格比较便宜。而传统电缆采用的是铜和铝金属材料,是有限的资源,相比之下价格较贵,在光纤通信系统中使用光纤可节省大量的铜和铝材料。

光纤还具有抗腐蚀、不怕潮湿、化学稳定性好、寿命长等优点,可以说光纤通信的优点举不胜举,足以说明它是一种非常有前途的通信方式。事实上,近二十多年来,光纤通信已在全世界范围内得到迅速发展,在各个领域得到了广泛的应用。

2. 光纤通信的缺点

但是,光纤通信也有许多缺点:

- 1) 抗拉强度低。
- 2) 光纤连接困难。
- 3) 需要光/电和电/光变换部分。
- 4) 光纤怕水。
- 5) 光直接放大困难。
- 6) 需要高级的切割接续技术。

7) 分路耦合不方便。

此外, 光纤价格昂贵, 质地脆, 弯曲半径大, 布线时需要小心, 但是这些都不是严重的问题, 随着科技的发展这些问题都能得到解决。

1.3 光纤通信系统的基本组成与分类

1.3.1 光纤通信系统的基本组成

光纤通信系统由光发送机、光接收机、光纤(或光缆)和中继器等组成, 如图 1-2 所示。

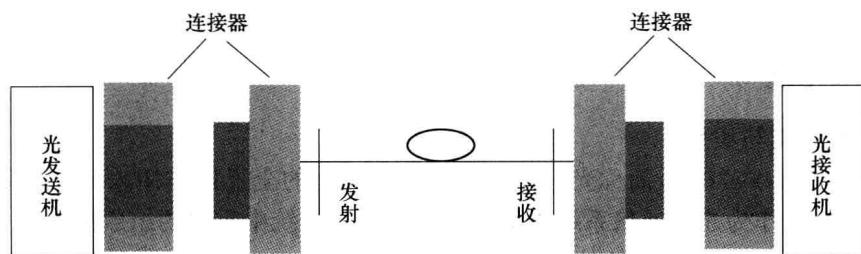


图 1-2 光纤通信系统的基本组成

光发送机的作用是将电信号转换为光信号, 并将生成的光信号耦合进光纤。光发送机一般由驱动电路、光源和调制器构成。光源是发送部分的核心, 目前广泛使用的是半导体注入式激光器和发光二极管。

光纤是信息传输的介质, 其作用是光信号的传输提供传输通道, 将光信号由一处送到另一处。

光接收机的作用是将光纤送来的光信号还原成原始的电信号。它一般由光电检测器和解调器组成, 其核心部件是光电检波器。目前, 实用光纤通信系统使用的是半导体光电检波器, 其核心器件为光敏二极管(PIN)和雪崩光敏二极管(APD)两种。

在长距离光纤通信系统中, 由于光信号经过长距离传输后会发生衰减和失真, 为了补偿光纤的损耗并矫正失真, 光缆经过一定距离需加装中继器。中继器分为电中继器和光中继器(光放大器)两种, 其主要作用是延长光信号的传输距离。

1.3.2 光纤通信系统的分类

根据分类方式不同, 光纤通信系统可以有多种不同的分类:

根据调制信号的不同, 光纤通信系统可以分为模拟光纤通信系统和数字光纤通信系统。

根据光源调制方式的不同, 光纤通信系统可以分为直接调制光纤通信系统和间接调制光纤通信系统。

根据光纤模式的不同, 光纤通信系统可以分为多模光纤通信系统和单模光纤通信系统。

根据通信系统工作波长的不同, 光纤通信系统可以分为短波长光纤通信系统、长波长光纤通信系统和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 800 ~ 900nm, 长波长光纤通信系统的工作波长为 1000 ~ 1600nm, 超长波长光纤通信系统的工作波长为 2000nm 以上。

根据通信距离长短的不同, 光纤通信系统可以分为长距离干线光纤通信系统、中短距离局间光纤通信系统和短距离用户光纤通信系统。

1.4 光纤通信系统的基本应用

光纤通信系统的基本应用包括：

- 1) 应用于公用电信网。
- 2) 应用于局域网。
- 3) 应用于光纤宽带综合业务数字网。
- 4) 满足不同网络层面的应用，如核心网层面、城域网层面和局域网层面等。
- 5) 应用于通信专网。光纤通信系统主要应用于电力、公路、铁路和矿山等通信专网。

1.5 光纤与光缆

1.5.1 光纤的结构与类型

光导纤维(Optical Fiber)简称光纤，是一种能利用光的全反射作用来传导光线的透明度极高的玻璃纤维，作为光纤通信系统中的传输介质，是系统中重要的组成部分。光纤是由多层透明介质构成的多层同心圆柱体，可以分为三部分：折射率较高的纤芯、折射率较低的包层和外面的涂覆层，光纤结构如图 1-3 所示。

纤芯：位于光纤的中心部位，作用是传导光波，纤芯的成分是高纯度的 SiO_2 ，直径为 $4 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

包层：位于纤芯的周围，作用是将光波封闭在光纤中传输。包层的成分是含有极少量掺杂剂的高纯度 SiO_2 ，包层的直径为 $125 \mu\text{m}$ 。掺杂剂的作用则是适当降低包层对光的折射率(n_2)，使之略低于纤芯的折射率(n_1)，即 $n_1 > n_2$ ，这能使光信号封闭在纤芯中传输。

目前广泛应用的掺杂剂主要是二氧化锗(GeO_2)、五氧化二磷(P_2O_5)、三氧化二硼(B_2O_3)和氟(F)，前两种可提高 SiO_2 的折射率，后两种可降低 SiO_2 的折射率。

涂覆层：实用的光纤不是裸露的玻璃丝，而是要在它的最外层附加几层塑料涂层，称为涂覆层。涂覆层的作用是保护光纤不受侵蚀和机械损伤，增加光纤的机械强度和可弯曲性，延长光纤寿命。涂塑层包括一次涂覆层、缓冲层和二次涂覆层，涂覆后的光纤其外径约为 1.5mm 。

一次涂覆层的材料是丙烯酸酯、有机硅或硅橡胶等，缓冲层材料多是填充石膏，二次涂覆层由聚丙烯或尼龙等高聚物构成。

光纤的分类方法很多，既可以按光纤截面上折射率分布来分类，又可以按光纤中传输模式的数量、光纤使用的材料或光纤的工作波长等来分类。

1. 按光纤截面上折射率分布分类

按截面上折射率分布的不同，可以将光纤分为阶跃折射率型光纤(Step-Index Fiber, SIF)和渐变折射率型光纤(Graded-Index Fiber, GIF)，光在这两种光纤中的传输轨迹如图 1-4 所示。

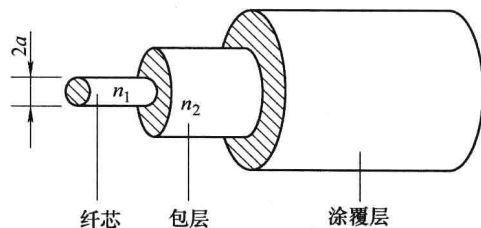


图 1-3 光纤结构

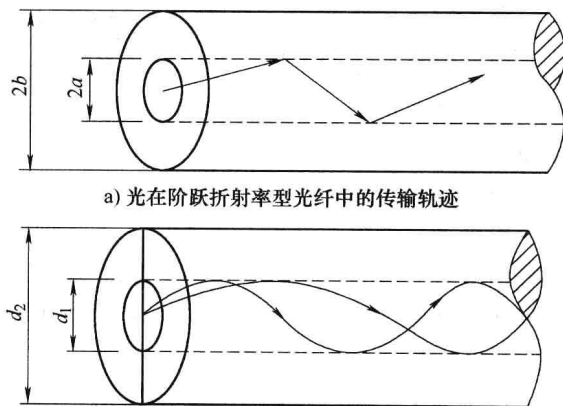


图 1-4 光在两种光纤中的传输轨迹

2. 按光纤中传输模式的数量分类

当光在光纤中传输时,若光纤纤芯的几何尺寸远大于光波波长,则光在光纤中会以几十种乃至几百种传输模式进行传输,这些不同的光束称为模式。光纤的传输模式如图 1-5 所示。

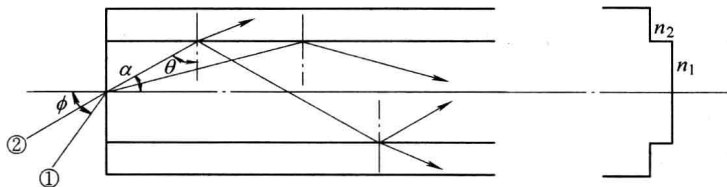


图 1-5 光纤的传输模式

按光纤中传输模式的数量,可以将光纤分为多模光纤 (Multi-Mode Fiber, MMF) 和单模光纤 (Single-Mode Fiber, SMF)。

在一定的工作波长上,当有多个模式在光纤中传输时,则这种光纤称为多模光纤,多模光纤的几何尺寸(主要是纤芯直径 d_1) 远大于光波波长(约为 $1\mu\text{m}$),多模光纤的纤芯直径为 $50\mu\text{m}$ 。

若光纤只允许一种模式(基模,最低阶模)在其中传输,其余的高次模全部截止,则这种光纤称为单模光纤。光在单模光纤中的传输轨迹如图 1-6 所示。单模光纤的几何尺寸(主要是纤芯直径 d_1) 较小,与光波长在同一数量级,纤芯直径 d_1 的范围为 $4 \sim 10\mu\text{m}$ 。

3. 按光纤的工作波长分类

按光纤的工作波长分类,可以将光纤分为短波长光纤、长波长光纤和超长波长光纤。

4. 按 ITU-T 建议分类

按 ITU-T(国际电信联盟远程通信标准化组织)关于光纤类型的建议,可以将光纤分为 G. 651 光纤(渐变折射率型多模光纤)、G. 652 光纤(常规单模光纤)、G. 653 光纤(色散位移光纤)、G. 654 光纤(截止波长光纤)和 G. 655 光纤(非零色散位移光纤)。

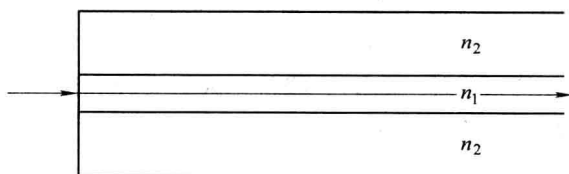


图 1-6 光在单模光纤中的传输轨迹

G. 651 光纤称为渐变折射率型多模光纤,这种光纤在光纤通信发展初期广泛应用于中小容量、中短距离的通信系统中。

G. 652 光纤称为常规单模光纤,其特点是在波长为 $1.31\mu\text{m}$ 处色散为零,系统的传输距离一般只受损耗的限制。

G. 653 光纤称为色散位移光纤,其特点是在波长为 $1.55\mu\text{m}$ 处色散为零,损耗最小,零色散点从 1310nm 移至 1550nm 波长区。

G. 654 光纤称为截止波长光纤,其特点是在波长为 $1.31\mu\text{m}$ 处色散为零,在波长为 $1.55\mu\text{m}$ 处色散为 $17 \sim 20\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$,它的设计重点是降低 1550nm 波长处的损耗,主要应用于需要很长再生段距离的海底光纤通信。

G. 655 光纤称为非零色散位移光纤, 是一种改进的色散位移光纤。零色散点移至 1570nm 或 1510 ~ 1520nm 附近, 使 1550nm 处具有一定的色散值, 色散受限距离达数百千米, 可以有效地减少波分复用系统的四波混频的影响。

5. 按套塑(二次涂覆层)分类

按套塑(二次涂覆层)分类, 可以将光纤分为松套光纤和紧套光纤。

现在实用的石英光纤通常有三种: 阶跃折射率型多模光纤、渐变折射率型多模光纤和单模光纤。

1.5.2 光纤的导光原理

1. 基本光学定义和定律

光线在不同的介质中以不同的速度传输, 描述介质这一特性的参数就是折射率, 或称折射指数。折射率可由下式确定:

$$n = \frac{c}{v}$$

式中, c 是光在真空中的速度, $c = 2.997 \times 10^5 \text{ km/s}$; v 是光在某种介质中的速度, 单位为 m/s ; n 是介质的折射率(空气的折射率为 1.00027, 近似为 1; 玻璃的折射率为 1.5 左右)。

当一条光线照射到两种介质相接的边界时, 入射光线分成两束: 反射光线和折射光线, 如图 1-7 所示。

反射定律: 反射光线位于入射光线和法线所决定的平面内, 反射光线和入射光线位于法线的两侧, 并且反射角 θ_3 等于入射角 θ_1 , 即 $\theta_1 = \theta_3$ 。

折射定律: 折射光线位于入射光线和法线所决定的平面内, 折射光线和入射光线位于法线的两侧, 且满足:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_3 \\ n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \end{aligned}$$

式中, θ_2 是折射角。

全反射: 全反射是一种重要的物理现象, 当光线从光密介质射入光疏介质, 且入射角大于临界角时才能产生全反射, 如图 1-8 所示, 全反射必须满足: $n_2 > n_1$, $\theta_c < \theta_1 < 90^\circ$ 。 θ_c 为临界角。全反射是光信号在光纤中传输的必要条件。

2. 光纤的特性

光纤的特性有很多, 其主要特性有传输特性(包括损耗特性、色散特性)、光学特性、机械特性、温度特性和几何特性(包括纤芯直径、外径、偏心度和椭圆度)。

(1) 光纤的损耗特性 光信号在光纤中传输, 随着传输距离的增加, 光信号功率强度逐渐减弱, 即光纤对光信号产生衰减作用, 称为光纤的损耗。光纤的损耗特性是光纤

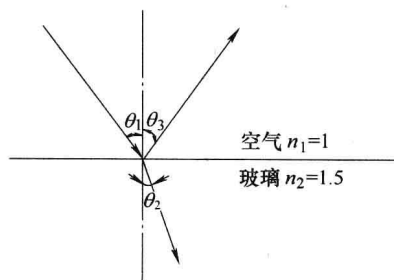


图 1-7 反射光线和折射光线

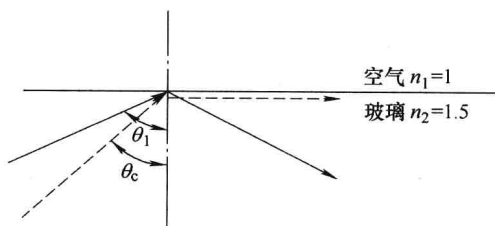


图 1-8 全反射

最重要的传输特性之一。损耗特性与光的工作波长有关,对于不同的波长,光纤有不同的损耗值,在三个工作窗口有相对小的损耗:第一工作窗口光工作波长为 $0.85\mu\text{m}$,损耗稍大;第二工作窗口光工作波长为 $1.31\mu\text{m}$,损耗中等;第三工作窗口光工作波长为 $1.55\mu\text{m}$,损耗最小。

光纤的损耗限制了光信号的传输距离。光纤的损耗主要取决于吸收损耗、散射损耗和弯曲损耗三种损耗。

1) 吸收损耗。光纤吸收损耗是制造光纤的材料本身造成的损耗,包括紫外吸收、红外吸收和杂质吸收。

2) 散射损耗。光在纤芯内传输时,由于折射率变化或在材料不连续点处变更了传输方向,这种现象称为散射。因为散射光方向不确定,比较混乱,使到达终点的光能量减少,由此产生的损耗称为散射损耗。由于材料的不均匀使光信号向四面八方散射而引起的损耗称为瑞利散射损耗,瑞利散射损耗是光纤的主要散射损耗。

3) 弯曲损耗。光纤的弯曲会引起辐射损耗。实际中,光纤有两种情况的弯曲:一种是曲率半径比光纤直径大得多的弯曲;一种是微弯曲。

光纤的衰减系数是指光在单位长度光纤中传输时的损耗量,单位一般用“dB/km”表示。它是描述光纤损耗的主要参数。

决定光纤衰减系数的损耗主要是吸收损耗和散射损耗,弯曲损耗对光纤衰减系数的影响不大。

(2) 光纤的色散特性 当通过光纤传送光脉冲信号时,一方面由于光纤损耗的存在,将使光脉冲的幅度减小,而另一方面,由于光纤色散的结果,将使得光脉冲的波形产生失真、畸变,使光脉冲的宽度变宽,幅度减小,如图 1-9 所示。如果光脉冲的幅度减小,光信号就会被噪声所淹没而无法进行检测。光脉冲宽度变宽,可能使到达接收端的相连的两个脉冲无法分辨开,从而产生误码。

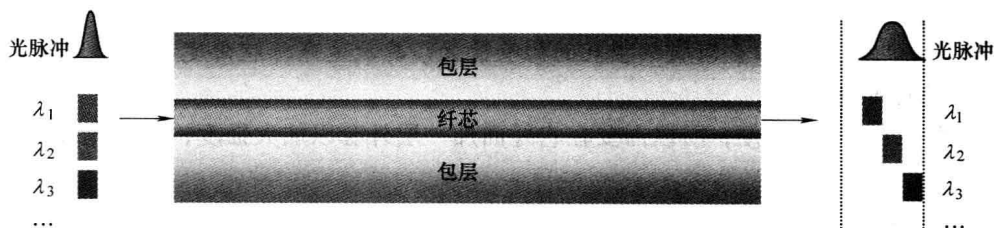


图 1-9 色散引起的光脉冲展宽示意图

光纤的色散有四种:材料色散、波导色散、模式色散和偏振模式色散。

材料色散是由于制作光纤的材料的折射率随波长改变而引起的,也就是说对于不同的波长,光纤材料的折射率是不同的。

波导色散是由于波导的尺寸大小所引起的光的群速度随波长的变化而变化,波导色散不同于材料色散和模式色散,波导色散一般较小,和材料色散相比,可以忽略。

光在多模光纤中传输时有多种传输模式,不同的传输模式有不同的传输速度与相位,因此,不同模式的光脉冲信号到达接收端的时间延迟不同,产生脉冲展宽现象,称为模式色散。模式色散主要存在于多模光纤,单模光纤无模式色散。