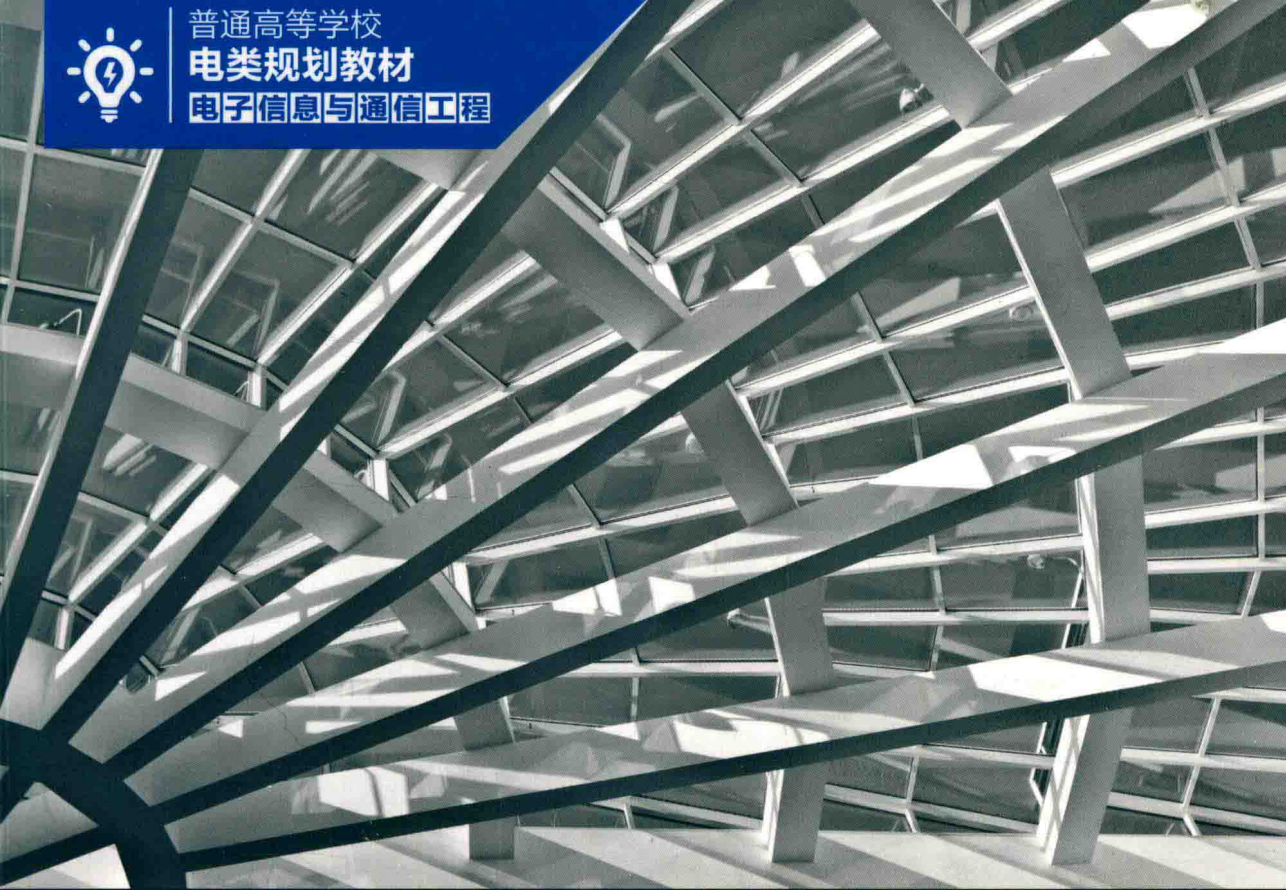




普通高等学校
电类规划教材
电子信息与通信工程



光纤通信 技术基础

◎孙学康 张金菊 编著

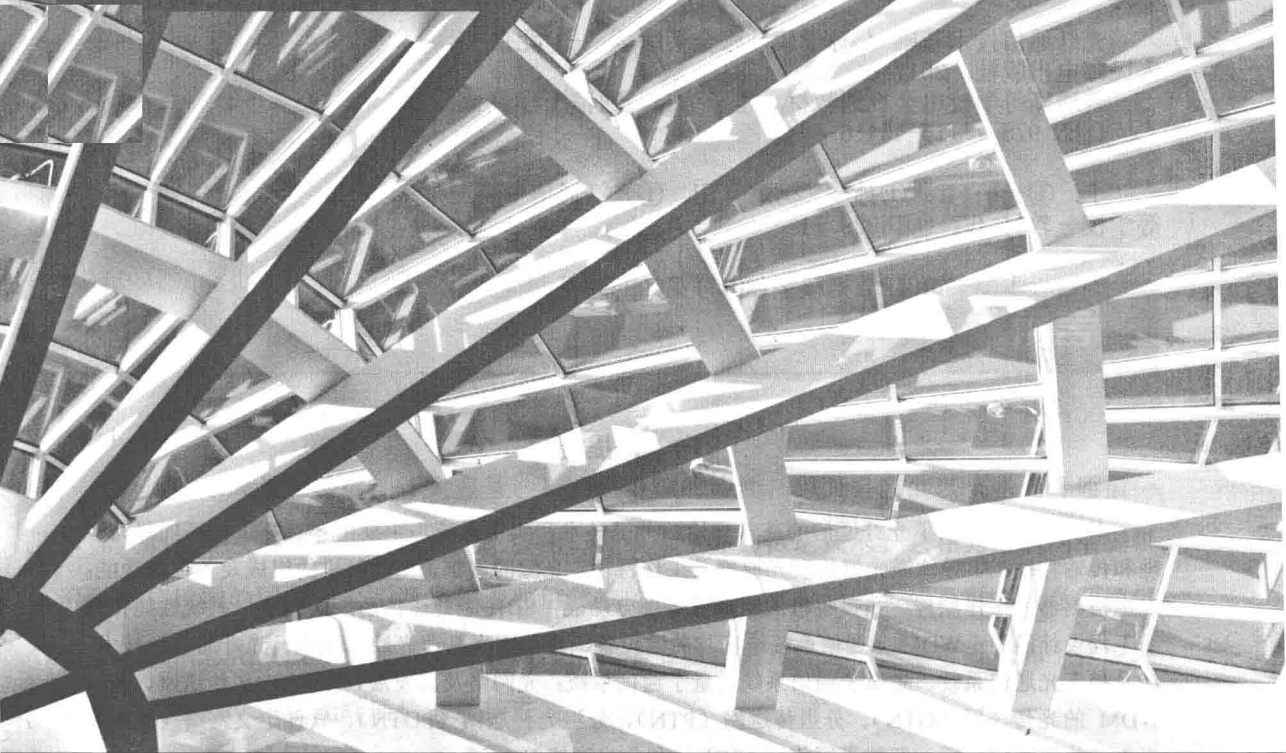
- 理论内容前沿，注重严谨性
- 实际案例丰富，注重启发性
- 体例便于教学，注重实用性

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学校
电类规划教材
电子信息与通信工程



光纤通信 技术基础

◎孙学康 张金菊 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信技术基础 / 孙学康, 张金菊编著. — 北京:
人民邮电出版社, 2017.6
普通高等学校电类规划教材. 电子信息与通信工程
ISBN 978-7-115-45416-4

I. ①光… II. ①孙… ②张… III. ①光纤通信—高等
学校—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第099599号

内 容 提 要

本书系统地介绍了光纤通信的基本理论、关键技术和实用系统, 主要内容包括: 光纤的导光原理和传输特性; 半导体激光器的发光原理及工作特性、光源的调制、光发射机的组成及各部分功能; 光电检测器的工作原理、光接收机的组成及各部分功能; SDH 光纤通信系统的组成、系统性能和系统工程设计问题; WDM 光通信系统结构与关键设备、超长距离高速光通信系统; 光纤通信新技术, 涉及相干光通信系统、光孤子通信系统、量子通信系统; 光网络及其发展, 涉及 SDH 传送网、基于 WDM 的光传送网(OTN)、分组传送网(PTN)、分组光传送网(POTN)、软件定义网络(SDN)引入光传送网的应用、智能光网络(ASON)和全光网络等。

本书系统性强, 便于阅读, 可作为高等院校通信工程、计算机和电子信息等相关专业本、专科教材, 也可供从事通信工程方面的技术人员参考。

-
- ◆ 编 著 孙学康 张金菊
责任编辑 李 召
责任印制 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.25 2017年6月第1版
字数: 394千字 2017年6月北京第1次印刷
-

定价: 44.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

光纤通信系统具有低损耗、大容量、长距离传输的特性，因而自问世以来，光纤通信一直以惊人的速度发展，得到迅速的广泛应用，并成为主导的传送技术。它在为通信网络提供大容量信息传输的同时，也不断地促进通信领域的各种新技术应用的实现，可见，光纤通信技术在通信信息化发展方面起到了重要的作用。本书在介绍光纤通信的基本概念和工作原理的基础上，重点介绍了光纤通信的最新进展。

本书在内容取材和编写上具有以下特点。

(1) 内容全面。本书内容包括光纤导光原理分析、主要光器件（半导体激光器、光电检测器和光放大器）的工作原理及性能分析、光收/发端机的结构及工作原理、光中继器的工作原理、SDH 光纤通信系统结构及性能介绍、WDM 光纤通信系统的结构及工作过程、超长距离高速光纤通信系统；从应用的角度，详细介绍了几种常用的光纤通信网络，光同步网、基于 WDM 的光传送网（OTN）、分组传送网（PTN）等。

(2) 内容先进。本书包括光纤通信新技术以及实用先进技术，如光传送网的体系结构及客户信号的映射和复用过程、POTN 技术在城域传送网中的应用、软件定义网络（SDN）在光传送网络中的应用、光孤子通信系统、相干光通信系统、量子通信系统、智能光网络（ASON）、全光网络等。

(3) 循序渐进。本书部分内容理论性较强，如光纤的导光原理、光器件的工作原理、光孤子通信、量子通信等，为此本书中加入了射线光学基础、电磁场基础、半导体发光原理、光纤非线性分析等内容，使其内容由浅入深、层次分明。

为了便于学习，本书在每一章中提供了内容摘要、小结和习题。

本书的第 1、2、3 章由张金菊编写，第 4、5、6、7、8、9 章由孙学康编写由孙学康进行统稿。

在本书的编写过程中，编者得到北京邮电大学李文海、段炳毅、张政教授和马牧燕、王晓勤、段玫、宋立、王琪老师的热心指导，在此表示衷心的感谢；同时，还要感谢周日康、吴宏星、苏坤等对本书编写所提供的帮助。

由于时间紧迫，编者学识有限，书中难免存在不足之处，请读者不吝指正。

编者

2017.5

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 光纤通信的基本概念	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 光纤通信系统的基本组成	1
1.1.3 光纤通信的优越性	2
1.2 光纤通信的现状与发展趋势	3
1.2.1 光纤通信技术的现状	3
1.2.2 光纤通信技术的发展趋势	3
第 2 章 光纤	5
2.1 光纤的结构和分类	5
2.1.1 光纤的结构	5
2.1.2 光纤的分类	5
2.2 用射线理论分析光纤的导光原理	7
2.2.1 平面波在两介质交界面的反射与折射	7
2.2.2 阶跃型光纤的导光原理	11
2.2.3 渐变型光纤的导光原理	13
2.3 用波动理论分析光纤的导光原理	18
2.3.1 麦克斯韦方程及波动方程	18
2.3.2 阶跃型光纤的标量近似解法	20
2.3.3 渐变型光纤的标量近似解法	28
2.4 单模光纤	29
2.4.1 单模光纤的特性参数	29
2.4.2 单模光纤的双折射	30
2.4.3 其他常用单模光纤	32
2.5 光纤的传输特性	33
2.5.1 光纤的损耗特性	34
2.5.2 光纤的色散特性	35
2.6 光纤的非线性效应	36
2.6.1 受激光散射效应	36
2.6.2 光纤折射率随光强度变化而引起的非线性效应	37
小结	39
习题	39

第3章 端机与光中继设备	41
3.1 光源和光发射机	41
3.1.1 半导体激光器	41
3.1.2 光源的调制	54
3.1.3 传输线路码型	57
3.1.4 光发射机的组成和各部分功能	58
3.2 光接收机	60
3.2.1 半导体光电检测器	60
3.2.2 光接收机组成及各部分的功能	66
3.3 光中继器	71
3.3.1 基于光放大器的光中继技术	71
3.3.2 基于 OEO 的电再生中继器	76
小结	76
习题	77
第4章 光纤通信系统	78
4.1 IM-DD 光通信系统结构	78
4.2 SDH 光纤通信系统	80
4.3 SDH 光纤传输系统设计中的工程问题	81
4.4 超长距离高速光通信系统	87
4.4.1 传输通道特性	87
4.4.2 高速光传输系统中的关键技术	88
4.4.3 超长距离光纤通信系统中的光放大技术	91
4.5 SDH 光纤通信系统性能	94
4.5.1 光接口、电接口的界定	94
4.5.2 误码性能	95
4.5.3 抖动性能	96
小结	97
习题	98
第5章 SDH/MSTP	99
5.1 SDH 的基本概念	99
5.1.1 SDH 的网络节点接口、速率和帧结构	99
5.1.2 SDH 网的特点	101
5.2 SDH 中的基本复用、映射结构	101
5.2.1 SDH 复用结构	101
5.2.2 映射方法	104
5.3 SDH 光传输系统	105
5.3.1 系统结构	105
5.3.2 SDH 网元	105

5.4 SDH 传送网	108
5.4.1 传送网的分层结构	109
5.4.2 传送网的节点和节点设备	110
5.4.3 SDH 传送网	110
5.5 SDH 网络保护	114
5.5.1 自动线路保护倒换	114
5.5.2 环路保护	115
5.6 基于 SDH 的多业务传送平台 (MSTP)	119
5.6.1 MSTP 的基本概念及特点	119
5.6.2 MSTP 中的关键技术	120
5.6.3 多业务传送平台	122
小结	124
习题	125
第 6 章 分组传送网	126
6.1 PTN 的基本概念及特点	126
6.1.1 PTN 的基本概念	126
6.1.2 PTN 标准	126
6.1.3 PTN 的特点	127
6.2 PTN 网络的体系结构	127
6.2.1 分层结构	127
6.2.2 PTN 的功能平面	129
6.2.3 PTN 网元结构与分类	130
6.3 T-MPLS 的业务承载与数据转发	131
6.3.1 T-MPLS 与 MPLS 的区别	131
6.3.2 T-MPLS 帧格式	133
6.3.3 T-MPLS 各层的适配过程	134
6.3.4 T-MPLS 的数据转发原理	135
6.4 T-MPLS 的 OAM 技术	135
6.5 T-MPLS 网络中的安全性问题——保护与同步	137
6.5.1 网络保护	137
6.5.2 同步技术	141
6.6 PTN 在 3G 传输承载网络中的应用	144
6.6.1 3G 网络对传输承载的要求	144
6.6.2 PTN 应用定位	144
6.6.3 3G 传输承载网络应用	146
小结	148
习题	149
第 7 章 基于 WDM 的光传送网	150
7.1 光传送网的基本概念及特点	150

7.2	波分复用系统	151
7.2.1	光波分复用的基本概念	151
7.2.2	波分复用系统	155
7.2.3	WDM 网络的关键设备	157
7.2.4	WDM 系统设计中的工程问题	161
7.3	光传送网 (OTN)	164
7.3.1	WDM 光传送网的体系结构	164
7.3.2	OTN 帧结构和开销	165
7.3.3	客户信号的映射和复用	166
7.3.4	光通道网络	168
7.3.5	OTN 关键设备	171
7.3.6	OTN 网络的保护方式	173
7.4	分组光传送网 (POTN) 技术与应用	177
7.4.1	POTN 技术	177
7.4.2	城域传送网中引入 POTN 技术的组网应用	181
	小结	185
	习题	185
第 8 章	光纤通信新技术	187
8.1	相干光通信技术	187
8.1.1	相干光通信的基本概念及特点	187
8.1.2	相干光通信的基本原理	187
8.1.3	相干光通信系统	188
8.1.4	相干光通信中的关键技术	189
8.2	光孤子通信	190
8.2.1	光孤子的基本概念	190
8.2.2	光孤立子的产生机理	191
8.2.3	光孤子通信系统的基本组成及通信特点	191
8.2.4	光孤子通信系统中的关键技术	193
8.3	量子通信	197
8.3.1	量子通信的概念及特点	197
8.3.2	量子信息基础理论	198
8.3.3	量子通信系统	199
8.3.4	量子通信关键技术	200
	小结	202
	习题	203
第 9 章	光网络及其发展	204
9.1	光网络技术综述	204
9.1.1	光网络的概念	204

9.1.2	光网络的组网技术现状	204
9.1.3	光纤通信网络的发展趋势	205
9.2	光传送网的 SDN 化趋势及影响	206
9.2.1	SDN 体系结构	206
9.2.2	软件定义传送平面	208
9.2.3	软件定义控制平面	209
9.2.4	SDN 在光传送网中的应用	210
9.2.5	SDN 在 IP 层与光融合中的应用	211
9.3	智能光网络	213
9.3.1	智能光网络的概念、特点及功能	213
9.3.2	ASON 的网络体系结构	214
9.3.3	ASON 控制平面及其核心技术	216
9.4	全光网	225
9.4.1	全光网的概念、结构及其特点	225
9.4.2	全光网中的关键技术	226
	小结	232
	习题	232
附录 A	双曲正割型折射指数分布光纤可以获得自聚焦的证明	233
附录 B	标量场方程解的推导	235
附录 C	标量亥姆霍兹方程解的推导	239
附录 D	缩略语英汉对照表	242
	参考文献	250

光纤通信作为现代通信的主要传输手段，在现代通信网中起着重要的作用。自 20 世纪 70 年代初光纤通信问世以来，整个通信领域发生了革命性的变革，使高速率、大容量的通信成为现实。

为了使读者在深入学习之前对光纤通信有个基本的了解，本章将对光纤通信的基本概念、光纤通信发展现状及其发展趋势作一概括介绍。

1.1 光纤通信的基本概念

1.1.1 引言

利用光导纤维传输光波信号的通信方式称为光纤通信。

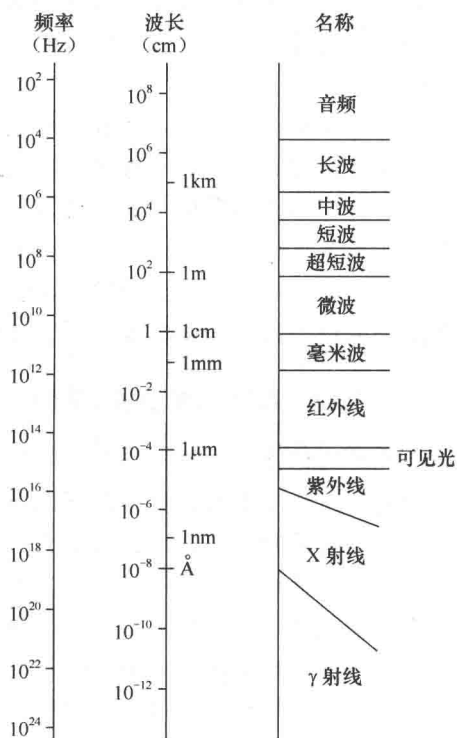
光波属于电磁波的范畴，按照波长的不同（或频率的不同），电磁波的种类不同，可分为若干种，具体名称如图 1-1 所示。其中属于光波范畴之内的电磁波主要包括紫外线、可见光和红外线。

目前光纤通信的实用工作波长在近红外区，即 $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 的波长区，对应的频率为 $167 \sim 375 \text{THz}$ 。

光导纤维（简称为光纤）本身是一种介质，目前实用通信光纤的基础材料是 SiO_2 ，因此它是属于介质光波导的范畴。对于 SiO_2 光纤，在上述波长区内的 3 个低损耗窗口，是目前光纤通信的使用工作波长，即 $0.85 \mu\text{m}$ ， $1.31 \mu\text{m}$ 及 $1.55 \mu\text{m}$ 。

1.1.2 光纤通信系统的基本组成

根据不同的用户要求、不同的业务种类以及不同阶段的技术水平，光纤通信系统的形式可多种多样。



注: $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$

图 1-1 电磁波的种类和名称

目前采用比较多的系统形式是强度调制/直接检波 (IM/DD) 的光纤数字通信系统。该系统主要由光发射机、光纤、光接收机以及长途干线上必须设置的光中继器组成。如图 1-2 所示。

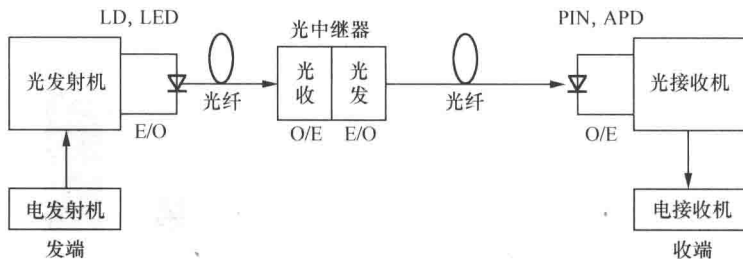


图 1-2 光纤数字通信系统示意图

在点到点的光纤通信系统中，信号的传输过程如下。

由电发射机输出的脉冲调制信号送入光发射机，光发射机的主要作用是将电信号转换成光信号耦合进光纤，因此光发射机中的重要器件是能够完成电—光转换功能的半导体光源。目前主要采用单色性、方向性和相干性极强的半导体激光器 (LD)。

通信系统的线路目前主要采用由单模光纤制成的不同结构形式的光缆，这是因为其具有较好的传输特性。

光接收机的主要作用是将通过光纤传送过来的光信号转换成电信号，然后经过对电信号的处理，使其恢复为原来的脉冲调制信号送入电接收机。可见光接收机中的重要器件是能够完成光—电转换功能的光电检测器。目前主要采用光—电二极管 (PIN) 和雪崩光电二极管 (APD)。

为了保证通信质量，在收发端机之间适当距离上必须设有光中继器。光纤通信中光中继器的主要形式有两种，一种是采用光—电—光转换形式的中继器，其可提供电层面上的信号放大、整形和定时提取功能；另外一种是在光层面上直接进行光信号放大的光放大器，但其并不具备波形整形和定时信号提取功能。

以上介绍的是目前采用比较多的一种系统构建形式，随着光通信技术的不断发展，一些新的光通信系统的不断涌现，例如波分复用光通信系统、光孤子光通信系统等。

1.1.3 光纤通信的优越性

光纤通信技术从 20 世纪 70 年代初到现在，之所以能够得到迅速的发展，主要是由其无比优越的特性决定的，具体包括以下几点。

(1) 传输频带宽，通信容量大

通信容量和载波频率成正比，通过提高载波频率可以达到扩大通信容量的目的。光波的频率要比无线通信的频率高很多，因此其通信容量也要增大很多。

光纤通信的工作频率为 $10^{12} \sim 10^{16}$ Hz，如设一个话路的频带为 4kHz，则在一对光纤上可传输 10 亿路以上的电话。目前采用的单模光纤的带宽极宽，因此用单模光纤传输光载频信号可获得极大的通信容量。

(2) 传输损耗小，中继距离长

传输距离和线路上的传输损耗成反比，即传输损耗越小，则中继距离就越长。目前，

SiO_2 光纤线路如工作在 $1.55\mu\text{m}$ 波长时, 传输损耗可低于 0.2dB/km , 系统最大中继距离可达 200km , 在采用光放大器实现中继放大的系统中, 无电再生最大中继距离可达 600km 以上。这样在保证传输质量的条件下, 长途干线上无电中继的距离就越长, 则中继站的数目就可以越少, 这对于提高通信的可靠性和稳定性具有特别重要的意义。

(3) 抗电磁干扰的能力强

由于光纤通信采用介质波导来传输信号, 而且光信号又是集中在纤芯中传输的, 因此光纤通信具有很强的抗干扰能力, 而且保密性也好。

另外, 光纤线径细、重量轻, 而且制作光纤的资源丰富。

光纤通信由于具有以上优越性, 因此发展速度非常快, 在 21 世纪的信息社会中, 占有非常重要的地位。

1.2 光纤通信的现状与发展趋势

1.2.1 光纤通信技术的现状

光纤通信的发展依赖于光纤通信技术的进步, 为了适应网络发展和传输容量不断提高的需求, 人们在传输系统的技术开发上做出了不懈的努力。目前 100Gbit/s 技术及其产业链已完全成熟, 全球各大运营商已开始 100Gbit/s 系统的规模部署。随着 100Gbit/s 干线系统如火如荼地敷设, 目前速率更高的 400Gbit/s 技术逐渐成为业界的热点。据试验研究资料显示, 当前单信道的最高传输速率可达 640Gbit/s , 即使采用 OTDM 和 WDM 技术来提高光纤通信系统容量, 其程度仍然有限, 目前随着“光进铜退”的实施, 在我国光纤逐步取代传统的有线传输方式, 从而进一步加快光纤化比例, 促进光网络的发展。

1.2.2 光纤通信技术的发展趋势

光纤通信技术作为信息技术的重要支撑平台, 在未来信息社会中将起到重要的作用。超低损耗、超高速、超大容量以及超长距离传输的光纤一直是人们追求的目标, 而全光网络更是人们希望能够早日实现的梦想。

在超低损耗光纤研发方面, 尽管国内外各大光纤厂商已取得突破性进展, 但因其制棒工艺与传统光纤不同, 因此未能迅速大规模投放市场。而目前国内三大运营商的主干通信网络仍主要使用 G.652 光纤, 低损耗光纤仅仅在部分主干网得以部分应用, 在适应超高速长距离传送网络的发展需要方面已显露出力不从心的态势。特别是随着 IP 业务的迅猛增长, 要求电信网向新的目标发展以满足不同用户的不同需求。据系统试验数据显示, 更低损耗光纤可有效延伸传输距离达 1 倍以上。加上 100Gbit/s 速率系统应用, 使系统容量更高, 低损耗、超低损耗光纤的使用将能大大节约再生中继站的数量, 而即将到来的 400Gbit/s 时代, 相比普通光纤, 低损耗光纤可减少 20% 的再生站, 而超低损耗光纤则可减少 40% 的再生站, 可见超低损耗光纤所带来的巨额成本优势必将引起人们的重点关注。

随着 100Gbit/s 标准的不断完善, 相关产业链也将更加完整。特别是在生产的 WDM/OTN 产品中, 100Gbit/s 将占很大的比例。随着 100Gbit/s 系统的商用部署, 国内外研究机构又已将目光聚焦在 400Gbit/s 、 1Tbit/s 甚至更高速率的超 100Gbit/s 传输技术上。当前业内综合考虑 400Gbit/s 各种调制码型的频谱效率, 认为采用 4SC-PM-QPSK 能够支持干线长

距离传输 ($\leq 2000\text{km}$), 而采用 2SC-PM-16QPSK 能够支持城域传输 ($\leq 700\text{km}$)。

未来的高速通信网将是全光网。全光网络是以光节点代替电节点, 节点之间也是全光化, 即信息始终以光的形式进行传输与交换。全光网络具有良好的透明性、开放性、兼容性以及可靠性, 并且能够提供巨大的带宽, 网络结构简单, 组网非常灵活。目前全光网络的发展仍处于初级阶段, 从发展趋势上看, 要形成一个以 WDM 技术与光交换技术为主的光网络层, 建立起真正的全光网络, 必须要解决电光瓶颈的问题, 这也是未来信息网络的核心。

光纤通信是利用光导纤维来传输光波信号的，因此，关于光纤的结构及导光原理的分析是光纤通信原理的重要部分。

本章首先简单介绍光纤的结构与分类，对光纤的导光原理将采用射线法和标量近似解法进行重点分析，然后在此基础上对单模光纤的结构特点、主模及单模传输条件进行讨论，最后介绍光纤的传输特性及光纤的非线性效应。

2.1 光纤的结构和分类

2.1.1 光纤的结构

光纤有不同的结构形式。目前，通信用的光纤绝大多数是用石英材料做成的横截面很小的双层同心圆柱体，外层的折射率比内层低。折射率高的中心部分叫做纤芯，其折射率为 n_1 ，直径为 $2a$ ；折射率低的外围部分称为包层，其折射率为 n_2 ，直径为 $2b$ 。光纤的基本结构如图 2-1 所示。

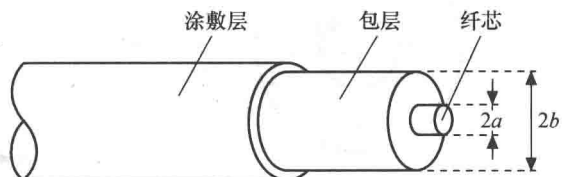


图 2-1 光纤的结构

2.1.2 光纤的分类

光纤的分类方法很多，可以按照横截面上折射率的分布不同来分类，也可以根据使用材料的不同来分类。

如果按照制造光纤使用材料的不同来分，则可分为玻璃光纤、全塑光纤及石英系列光纤等。在光纤通信中，目前主要采用石英材料制成的光纤，因此，在这一节中，将对石英光纤按照横截面上折射率的分布不同及光纤传输模式的多少进行分类，并作简单介绍。

1. 按照光纤横截面折射率分布不同来划分

光纤按照横截面折射率分布不同来划分，一般可以分为阶跃型光纤和渐变型光纤两种。

(1) 阶跃型光纤

纤芯折射率 n_1 沿半径方向保持一定，包层折射率 n_2 沿半径方向也保持一定，而且纤芯

和包层的折射率在边界处呈阶梯型变化的光纤称为阶跃型光纤，又称为均匀光纤。它的剖面折射率分布如图 2-2 (a) 所示。

(2) 渐变型光纤

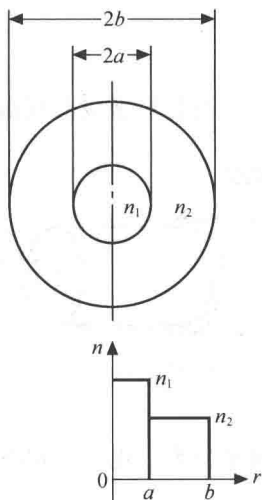
如果纤芯折射率 n_1 随着半径加大而逐渐减小，而包层中折射率 n_2 是均匀的，这种光纤称为渐变型光纤，又称为非均匀光纤。它的剖面折射率分布如图 2-2 (b) 所示。

2. 按照纤芯中传输模式的多少来划分

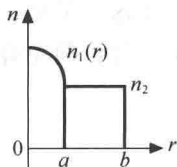
模式实质上是电磁场的一种场结构分布形式。模式不同，其场型结构不同。根据光纤中传输模式数量，光纤可分为单模光纤和多模光纤。

(1) 单模光纤

光纤中只传输一种模式时，叫做单模光纤。单模光纤的纤芯直径较小，为 $4 \sim 10 \mu\text{m}$ 。通常，纤芯的折射率被认为是均匀分布的。由于单模光纤只传输基模，从而完全避免了模式色散，使传输带宽大大加宽，因此它适用于大容量、长距离的光纤通信。单模光纤中的光射线轨迹如图 2-3 (a) 所示。

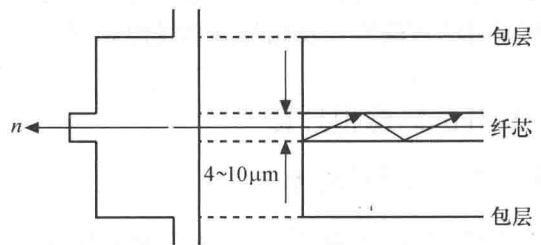


(a) 阶跃型光纤的剖面折射率分布

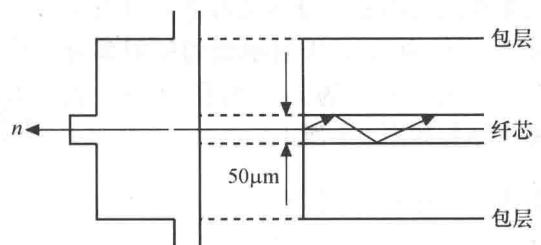


(b) 渐变型光纤的剖面折射率分布

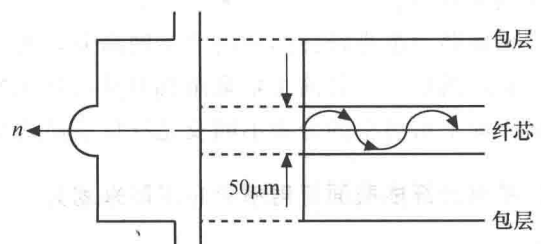
图 2-2 光纤的剖面折射率分布



(a) 单模光纤



(b) 多模阶跃型光纤



(c) 多模渐变型光纤

图 2-3 光纤中的光射线轨迹

(2) 多模光纤

在一定的工作波长下，多模光纤是能传输多种模式的介质波导。多模光纤可以采用阶跃型折射率分布，也可以采用渐变型折射率分布，它们的光波传输轨迹分别如图 2-3 (b)、图 2-3 (c) 所示。多模光纤的纤芯直径约为 $50\mu\text{m}$ ，模色散的存在使得多模光纤的带宽变窄，但其制造、耦合及连接都比单模光纤容易。

2.2 用射线理论分析光纤的导光原理

分析光纤导光原理有两种基本的研究方法。

1. 射线理论法

射线理论法简称为射线法，又称几何光学法。当光波波长 λ 远小于光纤（光波导）的横向尺寸时，光可以用一条表示光波的传播方向的几何线来表示，这条几何线即称为光射线。用光射线来研究光波在光纤中的导光原理的分析方法，即称为射线法。显然，这是一种比较简单、直观的分析方法。

2. 波动理论法

波动理论法又称波动光学法。这种方法是一种较为严格、全面的分析方法，根据电磁场理论对光波导的基本问题进行求解。

本节将主要利用射线法分析光纤的导光原理，2.3 节将采用波动理论法进行分析。

2.2.1 平面波在两介质交界面的反射与折射

本章在分析光波在光纤中的导光原理及传输特性时，经常要遇到平面波向两种介质的交界面斜射的问题，所以在这一节里首先研究一下关于平面波的基本概念。

1. 均匀平面波的一般概念

平面波是指在与传播方向垂直的无限大平面的每个点上，电场强度 E 的幅度相等、相位相同，磁场强度 H 的幅度也相等、相位也相同。或者说，这种波的等幅、等相位面是无限大的平面。

用直角坐标系把这些含义用图画出来，如图 2-4 所示。

从图 2-4 中可以看出， E 和 H 与坐标 x 和 y 无关，即在沿 x 和 y 方向上，矢量 E 和 H 是不随 x 和 y 的位置改变而改变的，即

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial x} = 0 & \quad \frac{\partial E}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial H}{\partial x} = 0 & \quad \frac{\partial H}{\partial y} = 0 \end{aligned}$$

均匀平面波在均匀理想介质中的传播特性可通过以下 3 个参量来描述。

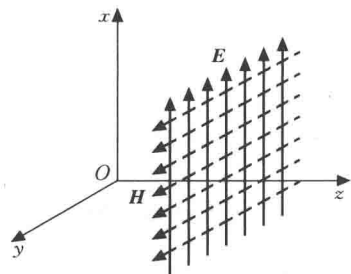


图 2-4 沿正 z 轴方向传播的均匀平面波