

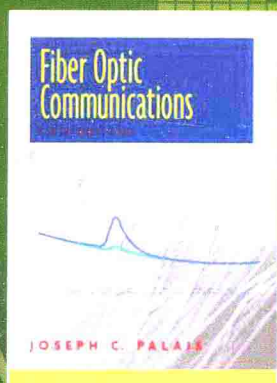
国外电子与通信教材系列

PEARSON

光纤通信

(第五版)(本科教学版)

Fiber Optic Communications, Fifth Edition



[美] Joseph C. Palais 著
王江平 刘杰 闻传花 等译
李玉权 审校



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

光纤通信

(第五版) (本科教学版)

Fiber Optic Communications
Fifth Edition

[美] Joseph C. Palais 著

王江平 刘 杰 闻传花 等译

李玉权 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书全面讲述光纤通信用到的主要器件、光纤传输原理、光信号的产生和接收、光纤通信系统的设计以及光纤通信网络。内容主要涉及光纤通信系统的构成、光学和波动学的简单回顾、光学技术的基础知识、光纤和光缆、光源和光检测器、无源器件、光源的调制技术、光信号的检测和噪声对光通信的影响,以及系统设计中涉及的主要问题。本书对光纤通信基础知识的讲授全面、系统而又深入浅出,同时也非常注重近年来光纤通信中出现的最新技术。

这是一本适合于电子工程以及通信工程专业高年级本科生的优秀教材。对于从事通信工程的技术人员,也不失为一本优秀的参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Fiber Optic Communications*, Fifth Edition, 9780130085108 by Joseph C. Palais, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2005 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2015.

本书中文简体版专有出版权由Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2005-0324

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信:第5版:本科教学版 / (美)帕勒里斯(Palais, J. C.)著;王江平等译.

北京:电子工业出版社,2015.6

国外电子与通信教材系列

书名原文: *Fiber Optic Communications*, Fifth Edition

ISBN 978-7-121-25967-8

I. ①光… II. ①帕… ②王… 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(2015)第089305号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚 特约编辑:赵晓温

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:570千字

版 次:2015年6月第1版(原著第5版)

印 次:2015年6月第1次印刷

定 价:59.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

译 者 序

近年来，通信业在我国超常发展，取得了举世瞩目的进步。通信工程以及相关专业成为高等院校中发展最快的工科专业。光纤通信是构建现代通信网最主要的传输手段，所以光纤通信也就成为这类专业的必修课程。适时引进国外著名大学的教科书对于提高国内院校的教学水平大有助益。美国亚利桑那州立大学的Joseph C. Palais教授编著的《光纤通信》是一本享有盛誉的名著，至今已出第五版，很多著名院校选其作为教科书。为方便国内的教学，我们将本书的最新版本，也就是第五版，译成了中文。这个中译本可以作为高年级本科生的教科书，对于硕士研究生、工程技术人员而言，则是一本很好的参考书。

本书的主要内容包括：光纤通信概述；与光纤通信相关的光学基础；光集成技术基础；光纤、有源和无源光器件；光信号的发送与检测；光网络以及光纤通信系统的设计等。注重工程实践是本书的主要特点。书中有大量的例题，一部分例题的目的是为加深理解，另一部分则与工程紧密结合，可以作为学生日后参与实际工程设计的参考。每一章的末尾都附有习题，大部分习题的答案附在书末。

参与本书翻译工作的人员除王江平、刘杰、闻传花以外，还有解放军理工大学通信工程学院光纤通信教研室的博士研究生苏洋，硕士研究生梁明晓、彭晖、龚坚、欧阳俊、聂辰等。全书由李玉权审校。

本书的译稿虽经仔细斟酌、多次修改，但疏漏乃至错误在所难免，热诚希望本书的读者批评指正。

作者简介

Joseph C. Palais 于1959年在亚利桑那大学获得学士学位，1962年和1964年分别在密歇根大学获得硕士和博士学位。此后他执教于亚利桑那州立大学，是该校电气、计算机及能源工程学院教授，负责该学院的研究生课程教学。

Palais教授曾以顾问身份为摩托罗拉公司和斯坦福研究所工作。1967年曾用近一年时间组建了全息电子光学学会，为此而获得福特基金会的奖励。1973年作为访问教授在以色列理工学院执教。近年来发表了70多篇学术论文，涉及天线、微波、全息学、光纤通信等领域。曾合作编写过可在微型计算机上应用的光纤系统和器件方面的多种软件工具。此外，还参与编写了《电气工程手册》和《通信手册》中的部分章节。自1977年以来曾为150多个班次提供了有关光纤通信的短期课程。

Palais教授因其在光纤通信领域为大学和继续教育所做出的贡献而成为IEEE终身会士。1999年获得华盛顿继续教育学会的年度奖，还曾因其在继续教育领域的贡献于1993年获得IEEE的奖励。1974年因其对继续教育、学术和产业界的贡献而获得IEEE菲尼克斯分部的年度奖。2007年富尔顿学院授予他丹尼尔扬科夫斯基遗产奖。

主要译者简介

王江平 江苏南通人，1986年毕业于西安交通大学获学士学位，2000年在北京邮电大学获工学硕士学位，2008年在中国人民解放军理工大学通信工程学院获工学博士学位。现为南京晓庄学院信息技术学院教授，与他人合著的《光通信原理与技术》入选“十一五”国家级规划教材。主要研究方向为光纤通信、传感技术与计算机网络等。近年来主持、参与江苏省科技厅重大项目、国家自然科学基金等多个科研项目的工作，发表学术论文50余篇。

前 言

自1970年世界上第一根低损耗光纤问世以后,光纤通信得到了飞速发展。正在运行的光纤通信系统比比皆是,新的设备、新的应用还在不断涌现。光纤通信所能实现的功能早已大大超过基于铜缆传输的系统。光纤通信技术使得我们身处其中的社会发展至信息社会成为可能。光纤通信与尚存的铜线应用以及正在快速增长的无线系统共同构建了信息基础架构,满足了人们日益增长的通信需求。

光纤通信技术已经非常成熟,因而以此为题材的书籍很多。在众多的著作中,有相当一部分在理论体系及数学论证方面论述得十分详细。但这对于初学者来说却相当困难。本书试图在降低难度的同时,尽可能为读者理解光纤通信系统的设计、工作原理以及系统容量等内容提供必要的信息。书中列出了重要的理论结果及数学结论,但省略了冗长的推导过程。在适当的情况下,尽可能用物理概念对这些理论结果加以解释,并用大量的图表说明这些结果的用途。为了使提供的知识更接近于实际,书中还给出了典型器件特性参数的数值范围。

本书的第一版于1984年问世时,在美国及其他一些国家已经建成了纵横交错的光纤线路,用于交换局之间的电话信息传输。到1988年本书的第二版出版时,陆地长途光纤电话网的建设已接近完成,而在世界主要的海洋中正铺设海底光缆。与此同时,光纤局域网(local area network, LAN)也正在发展之中。1992年本书第三版出版时,世界范围内已铺设超过1000万千米的光纤线路。海底光缆建设也加紧进行,光纤局域网则快速增长。到1998年本书第四版问世时,多条跨越大西洋、太平洋及其他海洋的光缆已经投入运行。同时,各种光纤入户的试验也已完成,以便为各种不同的用户提供更加广泛的业务。在本版,也就是第五版出版时,我们注意到了光纤通信的几个新的发展方向。更大的传输带宽需求(尤其是因特网和商业应用),要求设计出信息速率超过太比特每秒(Tbps)的长距离光纤通信系统。城域网(metropolitan area network, MAN)在光纤业界扮演更加重要的角色。光纤入户仍然是一个目标,但并未引起人们的特别关注,经济上的考虑使得这方面的进展步履维艰。

对于反映无止境的更高的带宽需求,本书的基础内容不会有所变动,但第五版突出了新的技术进步来展现这一点。我试图尽可能完整地将这些新的发展纳入第五版。

本书是一本为不具备光纤光学和通信方面基础知识的读者撰写的导论性著作。书中用来解释光纤系统特性的简单概念只涉及代数和三角学。必要的时候,书中适当地引入有关光学、电子学和通信方面的基础知识。

本书的原稿是以我从事研发工作的记录及一系列有关光纤通信短期课程的讲稿为基础写成的。这些课程的听众包括攻读技术学院二年制博士学位的人员,他们担负着从设计师到部门主管的各种职责,同时还包括工业界、政府和科学界的人士。所涉及的内容包括化学、物理学和多方面的工程技术知识。同时,我还用这些短期课程的讲稿作为教材,为超过1500名电气工程专业的高年级本科生和一年级硕士研究生讲授课程。这一课程通过电视讲授20多年,最近几年又作为因特网课程在更广泛的范围内传播。

可以从本书获益的专业人士包括从事实际工程设计的工程师,他们往往关注元器件、设备的选择和应用以及系统的设计计算。关于整个系统方面的知识对于器件设计师也很有用。

其他从事与光纤通信事业有关工作的读者，例如高级工程决策人员、项目经理、技术人员、市场和销售人员以及教师，都可以从本书中获得很有价值的信息。

本书是按以下结构来组织的。本书开篇给出了整个光纤通信系统的结构框图，指出了构成光纤通信系统的主要单元。这可以激发读者学习后续各章的动力。第2章和第3章回顾了有关光学和波动学领域的一些重要成果，这些基础知识对于理解光纤器件及光纤系统是十分必要的。第4章讲述集成光学，介绍将光器件集成在同一基片上的技术。集成光波导技术为在光纤中光波的传播提供了优异而简单的模型。第5章至第9章讲授用于构建光纤通信系统的主要器件，包括光纤、光源、光检测器、耦合器以及分布式光网络。有关系统方面的考虑在第10章至第12章中讲授，包括调制方式、噪声对信息传输质量的影响以及系统设计等重要内容。

我希望读者在掌握本书的这些知识以后，能够设计和规划光纤系统，以及选择和评估构成该系统的诸如光纤、光源、光检测器和耦合器等元器件。掌握本书中的知识以后，读者也可以胜任对一些商用子系统，例如光发射机和光接收机的评估工作。

本书包含了自本书第四版出版以来光纤业界已有的重要进展。新的或扩展的论题包括拉曼（Raman）放大器、掺铒波导（erbium-doped waveguide）放大器、阵列波导光栅、电吸收式调制器、光微机械（micro-electro-mechanical, MEM）元件、色散补偿、可调谐光源、可调谐滤波器、光时分复用、密集波分复用及稀疏波分复用等，增加了光谱利用，更强调了视光的外调制技术。在书中加进了一个新流行的光谱带分割表，对小形状因子连接器和无胶连接进行了描述。另外，还有很多细微之处的论述也有所改进，以便使概念更加清晰。

由于很多院校选用本书作为研究生的光纤光学课程教材，所以从第二版起添加了一个习题集。此次又添加了一些新的习题，同时对部分旧的习题进行了修改，使新版本更适合课堂教学的需要。有一些习题相对简单，主要是使学生对书中的知识掌握得更加熟练，从而更有把握。另一些习题则涉及更深入的考虑，同时还需要回顾其他相关课程的内容。大多数习题的答案附在本书末尾，采用本书作为教材的授课教师可获得本书的习题解答（申请Email: te_service@phei.com.cn）。

本书的前七章可以作为一个学期的课程。作为入门课，首先引进光纤通信系统中的主要元器件。学完这门课的学生可掌握进入光纤业界的必要知识。本书的后五章讲述一些更为高深的课题，可以作为第二学期的课程。为了进行数学方面的简化以及扩大本书的读者群，书中列出的许多结论没有加以详细推导。如果授课对象训练有素，例如是电气工程专业的高年级学生，则授课教师可以补充讲解一些详细的推导过程，使学生加深理解。

光纤光学软件

很多技术人员和学生都拥有个人计算机，并接入了因特网。正因为如此，许多研究组都致力于研发解释光纤相关现象、辅助分析和设计光纤系统的计算机软件。相关内容可参阅网页（<http://faculty.engineering.asu.edu/palais>）。

Joseph C. Palais
亚利桑那州立大学

目 录

第1章 光纤通信系统	1
1.1 历史回顾	1
1.2 基本通信系统	2
1.2.1 信源	2
1.2.2 调制器	3
1.2.3 载波源	4
1.2.4 信道耦合器	5
1.2.5 信道	5
1.2.6 检测器	6
1.2.7 信号处理器	7
1.2.8 信宿	7
1.2.9 一些数据	8
1.2.10 以分贝表示的功率	12
1.3 光的属性	14
1.3.1 光的波动性	14
1.3.2 光的粒子性	16
1.4 光纤的优点	17
1.5 光纤通信的应用	21
1.6 总结和讨论	25
习题	28
参考资料	30
第2章 光学概要	31
2.1 射线理论及其应用	31
2.2 透镜	33
2.3 成像	36
2.4 数值孔径	39
2.5 衍射	40
2.6 总结和讨论	43
习题	44
参考资料	45
第3章 波动学基础	46
3.1 电磁波	46
3.2 色散、脉冲畸变和信息速率	48

3.2.1	材料色散和脉冲畸变	49
3.2.2	光孤子	53
3.2.3	信息速率	54
3.3	偏振	58
3.4	谐振腔	58
3.5	平面边界上的反射	61
3.6	全反射临界角	64
3.7	总结和讨论	66
	习题	67
	参考资料	68
第4章	集成光波导	69
4.1	电介质平板波导	69
4.2	对称平板波导中的模式	70
4.2.1	模式条件	71
4.2.2	TE偏振和TM偏振	72
4.2.3	TE模式图	72
4.2.4	高阶模	73
4.2.5	TM模式图	75
4.2.6	模式场分布图	76
4.3	非对称平板波导中的模式	76
4.4	波导的耦合	77
4.4.1	边耦合	77
4.4.2	棱镜耦合	80
4.4.3	光栅耦合	81
4.5	平板波导的色散和失真	82
4.5.1	波导色散	82
4.5.2	多模失真	83
4.6	集成光器件	84
4.6.1	无源器件	84
4.6.2	有源器件	85
4.6.3	光电子集成光学	87
4.7	总结和讨论	87
	习题	88
	参考资料	89
第5章	光纤波导	90
5.1	阶跃折射率光纤	90
5.2	渐变折射率光纤	92
5.3	损耗	95
5.3.1	玻璃	96

5.3.2	吸收	96
5.3.3	瑞利散射	98
5.3.4	不均匀性	99
5.3.5	几何效应	99
5.3.6	总损耗	99
5.4	阶跃折射率光纤中的模式和场	103
5.4.1	模式	103
5.4.2	光斑尺寸	104
5.4.3	单模传播	105
5.4.4	双折射和偏振	105
5.4.5	阶跃折射率光纤中的电场	106
5.5	渐变折射率光纤中的模式和场	107
5.6	光纤中的脉冲畸变和信息速率	109
5.6.1	阶跃折射率光纤中的畸变	109
5.6.2	单模光纤中的畸变	111
5.6.3	渐变折射率光纤中的畸变	114
5.6.4	脉冲展宽与传输光纤长度之间的关系	114
5.7	光纤的制造	116
5.7.1	双坩埚法	116
5.7.2	管中棒法	116
5.7.3	掺杂沉积石英法	117
5.7.4	外部沉积法	117
5.7.5	轴向沉积法	117
5.7.6	内部沉积法	118
5.7.7	光纤的拉制	119
5.7.8	塑料包层石英光纤	120
5.8	光缆	120
5.9	总结和讨论	125
	习题	127
	参考资料	129
第6章	光源和光放大器	131
6.1	发光二极管	131
6.2	发光二极管的工作特性	134
6.3	激光器原理	138
6.4	半导体激光器	141
6.5	半导体激光器的工作特性	142
6.6	窄谱宽和可调谐半导体激光器	146
6.6.1	分布反馈式半导体激光器	146
6.6.2	可调谐半导体激光器	148

6.7	光放大器	149
6.7.1	半导体光放大器	149
6.7.2	掺铒光纤放大器	150
6.7.3	掺铒波导光放大器	151
6.7.4	拉曼放大器	152
6.7.5	噪声系数	154
6.7.6	光放大器的应用	155
6.8	光纤激光器	155
6.9	垂直腔面发射激光器	156
6.10	总结和讨论	157
	习题	158
	参考资料	160
第7章	光检测器	161
7.1	光检测原理	161
7.2	光电倍增器	162
7.3	半导体光电二极管	164
7.4	PIN型光电二极管	165
7.4.1	截止波长	166
7.4.2	材料	166
7.4.3	电流-电压特性	167
7.4.4	响应速度	169
7.4.5	电流-电压转换器	170
7.4.6	封装	171
7.5	雪崩光电二极管	171
7.6	总结和讨论	172
	习题	173
	参考资料	175
第8章	耦合器与连接器	176
8.1	连接器原理	176
8.1.1	横向错位	177
8.1.2	角度错位	179
8.1.3	光纤端面分离	181
8.1.4	平滑而且平行的光纤端面	183
8.1.5	不同光纤之间的连接	183
8.1.6	连接点的反射	184
8.2	光纤头预处理	184
8.3	接头	186
8.3.1	熔接	186
8.3.2	粘接	187

8.3.3	无胶粘快速接头	189
8.3.4	带状连接	189
8.3.5	连接头的损耗和选择	190
8.4	连接器	190
8.4.1	连接器要求	190
8.4.2	常规连接器	191
8.4.3	小尺寸连接器	193
8.4.4	交叠型连接器	194
8.4.5	透镜式连接器	194
8.4.6	多通道连接器	195
8.4.7	连接器损耗	196
8.5	光源耦合	196
8.5.1	反射损耗	197
8.5.2	面积失配损耗	197
8.5.3	封装比损耗	197
8.5.4	数值孔径损耗	197
8.5.5	单模光纤耦合	201
8.6	总结和讨论	201
	习题	201
	参考资料	202
第9章	分布式网络与光纤器件	204
9.1	分布式网络	204
9.1.1	双工网络	206
9.1.2	T形网络	206
9.1.3	星形网络	207
9.1.4	环形网络	209
9.1.5	混合分布式系统	210
9.1.6	多纤系统	210
9.2	定向耦合器	211
9.3	星形耦合器	214
9.4	开关	215
9.5	光纤隔离器	217
9.6	波分复用	219
9.6.1	波分复用基础	220
9.6.2	复用器的设计	222
9.6.3	四波混频	224
9.7	光纤布拉格光栅	225
9.8	阵列波导光栅	226
9.8.1	器件工作原理	226
9.8.2	路由器的物理实现	227

9.8.3	AWG的制作	228
9.8.4	器件的性能	228
9.8.5	器件的应用	229
9.9	MEMS开关	229
9.9.1	MEMS	229
9.9.2	MEMS 反射镜	229
9.9.3	MEMS开关	230
9.9.4	MEMS开关性能	231
9.9.5	MEMS的应用	232
9.10	其他元件：衰减器、环行器和偏振控制器	233
9.10.1	衰减器	233
9.10.2	环行器	233
9.10.3	偏振控制器	234
9.11	总结和讨论	234
	习题	235
	参考资料	238
第10章	调制	239
10.1	发光二极管的调制及其电路	239
10.1.1	模拟调制	239
10.1.2	数字调制	242
10.2	半导体激光器的调制及其电路	244
10.2.1	模拟调制	244
10.2.2	数字调制	245
10.3	模拟调制格式	245
10.3.1	AM/IM副载波调制	245
10.3.2	频分复用	246
10.3.3	FM/IM副载波调制	247
10.4	数字调制格式	248
10.4.1	脉冲编码调制	248
10.4.2	其他数字格式	251
10.4.3	电域时分复用	252
10.4.4	光域时分复用	253
10.5	电吸收式调制器	254
10.6	光外差接收机	256
10.6.1	外差检测	257
10.6.2	半导体激光器的频率调制	259
10.6.3	光频分复用	260
10.6.4	外差检测的优点和问题	261
10.7	总结和讨论	261

习题	263
参考资料	264
第11章 噪声与检测	266
11.1 热噪声与散弹噪声	266
11.1.1 热噪声	266
11.1.2 散弹噪声	267
11.2 信噪比	268
11.2.1 恒定功率	269
11.2.2 雪崩光电二极管的过剩噪声	272
11.2.3 等效噪声功率	273
11.2.4 模拟调制信噪比	275
11.2.5 外差信噪比	276
11.3 误码率	276
11.3.1 受限于热噪声的误码率	277
11.3.2 散弹噪声极限误码率	279
11.4 模式噪声、模分配噪声、放大器噪声、激光器噪声和抖动	282
11.4.1 模式噪声	282
11.4.2 模分配噪声	283
11.4.3 电放大器噪声	283
11.4.4 光放大器噪声	286
11.4.5 激光器噪声	287
11.4.6 抖动和眼图	288
11.5 其他噪声源	289
11.5.1 电流噪声	289
11.5.2 背景噪声	289
11.6 接收电路设计	289
11.6.1 双极晶体管和FET放大器	289
11.6.2 高阻抗放大器	290
11.6.3 跨阻抗放大器	291
11.6.4 集成的检测器前置放大器	291
11.6.5 混合接收机模块	292
11.7 总结和讨论	292
习题	293
参考资料	296
第12章 系统设计	297
12.1 模拟系统的设计	297
12.1.1 系统性能指标	297
12.1.2 功率预算	298
12.1.3 带宽预算	299

12.2	数字系统的设计	300
12.2.1	系统性能指标	300
12.2.2	上升时间的预算	301
12.2.3	功率预算	303
12.2.4	量子噪声极限接收机灵敏度	303
12.2.5	受限于热噪声的接收机灵敏度	305
12.2.6	受限于广义热噪声的接收机灵敏度	306
12.3	总结和讨论	309
	习题	309
	参考资料	310
	部分习题答案	311
	参考文献	321
	索引	328

第1章 光纤通信系统

本章将阐述有关光纤通信的主要内容，探讨学习这些知识的方法，扼要介绍所选择技术的优点并讨论其典型应用。此前，读者可能不具有光纤光学方面的知识，所以本书还将介绍作为光纤通信技术基础的几个主题。其中包括光纤、光学、通信和光通信等方面的问题。最后，介绍完整的光纤通信系统。本章将对光纤通信系统进行整体描述，随后介绍每部分的特性及各部分之间的关系，并将介绍实际系统设计的相关问题。

1.1 历史回顾

光总是与我们如影随形。在人类发展的早期光通信就已经产生了，当时人们使用手势实现了最早的通信。显然，这是一种目视形式的光通信。这种形式的通信不能在黑暗中进行。白天，太阳充当了这个通信系统中的光源。发送者的信息通过反射的太阳辐射携带，从发送者传送到接收者。手的运动改变或调制光波，眼睛则是信息的检测装置，大脑处理这个系统传送的信息。这种系统的信息传输速度很低，传输距离有限，而且发生错误的概率很大。

后来的光波系统使用烟作为信息载体，这对远距离的传输十分有用。用改变烟火形态的方法来实现信息的传送。这种烟火形态的改变通过反射太阳光携带可以再次传送，从而到达接收者。这种系统所需要的编码方法，通过通信员和信息用户的学习、培训，也在使用中得到了发展。这种方法可与现代数字通信系统中使用的脉冲编码相比较。

1880年，贝尔发明了一种称为“光电话”的光通信系统^[1]。这种系统使用从一个调制声音的薄膜镜面反射的太阳光携带双方的通话信息。在接收端，被调制的光波投射到一个光导电的硒电池上，可以将信息转换成电流信号。于是，一个电话接收过程在该系统中就完成了。尽管光电话工作得相当好，但从来没有获得商业上的成功。

灯的发明使人们可能构造简单的光通信系统，例如闪光、船只到船只和船只到陆地的通信链路、汽车转向信号以及交通管制灯光等。事实上，任何类型的指示灯都是一个基本的光通信系统。

上述所有系统的信息容量都很低。1960年激光器的发明，是实现大容量光通信的一个主要突破。激光器提供了窄带光辐射源，适于用做信息载体。激光器可以与传统电信系统中的射频信号源相比较。在发明激光器以后，非导引的光通信系统（无光纤）很快得到了发展。通过光束在大气中传输进行的通信很容易实现。但是，这种系统的正常工作要取决于洁净的大气、在发送机和接收机之间需要可直视的传输路径，在不知不觉的情形下看到光束时，可能对人的眼睛造成伤害，这些都是这种形式的光通信的缺点。尽管非导引光通信的使用受到上述因素的制约，但是早期的应用却激起了人们对可以引导光束传输的光系统的兴趣，从而克服了上述困难。另外，被导引光束可以在拐角处转弯，并且可以埋于地下。早期基于大气激光通信系统的工作为光纤通信提供了理论基础，以及许多可以实际使用的元件。当然，正如我们现在知道的，并不是所有的光纤通信系统都需要激光器作为光源。在许多情况下，使用宽谱的发光二极管是合适的（有关合适光源的选择问题是本书中要讨论的一个主题）。

20世纪60年代，实际的光纤通信系统中一直缺少一个关键部件，那就是有效的光纤。尽管可以将光导入玻璃纤维，但当时玻璃纤维的衰减太大。早期，古埃及制造的玻璃是不透明的。在中世纪，威尼斯的艺术家们已能制造出非常纯净的玻璃。威尼斯玻璃的透明性相当好，但是对现代的远距离通信来说，损耗值仍然太大。直到1970年，在发明了第一根真正意义上的低损耗光纤以后，光纤通信才得以实现^[2]。这刚好发生在英国物理学家John Tyndall，在皇家学会证实通过弯曲的水流可以导引光这一现象的100年之后。玻璃纤维和水流导引光为相同的物理现象（内全反射）提供了证据。

1.2 基本通信系统

基本通信系统由发送机、接收机和信道构成，如图1.1所示。在发送机端产生信息并将其转换成适合在信道上传送的形式。信息通过信道由发送机传送到接收机。信道可以分为两类，即非导引信道和被导引信道。大气即是波可以传播的非导引信道的实例。使用大气信道的系统包括无线电广播、电视广播以及微波接力链路。被导引信道包括各种导电传输结构。图1.2所示就是被导引信道的几个实例，其中包括双导线传输线、同轴电缆以及矩形波导。在制造、铺设和服务方面，被导引线路要比大气信道的成本更高。但是，被导引信道有许多非导引信道不具有的优点：可以保密，不受制于天气，而且有能力将传送的信息置于物理结构的内部、其下或其周围。光纤波导则不仅仅限于这些优点，在本章的后面将列举光纤波导的其他优点。接收机从信道中提取信息，并将其转换成最终的形态。

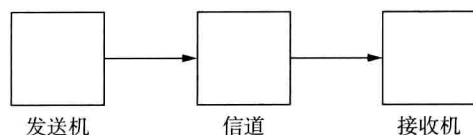


图1.1 基本通信系统

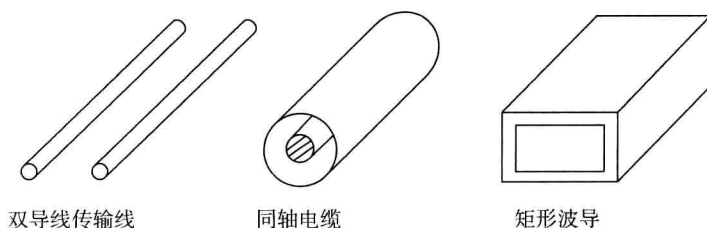


图1.2 部分导体传输线

相对来说，更具体但仍然具有普遍性的光纤通信系统方框图如图1.3所示。通过对图中的每个模块进行简单讨论，可以对通信系统的主要单元有很好的了解。对这些单元的描述，重点是指出哪些对于光纤系统是合适的。对许多问题的简明描述稍后将在本节中展开。现在，我们对本专题做概要介绍，而将基础知识留在后面做进一步的讨论。

1.2.1 信源

信源可以有多种物理形式，最常见的是一个将非电信号转换成电信号的变换器。常见的例子包括用于将声波转换成电流信号的麦克风，以及将图像转换成电流信号的视频（电视）摄像机。在一些情况下，诸如计算机之间或计算机部件之间的数据传送，其信息已经是电形态。用光纤链路构建一些较大系统时，类似的情形也会发生。例如，将光纤用于卫星通信系