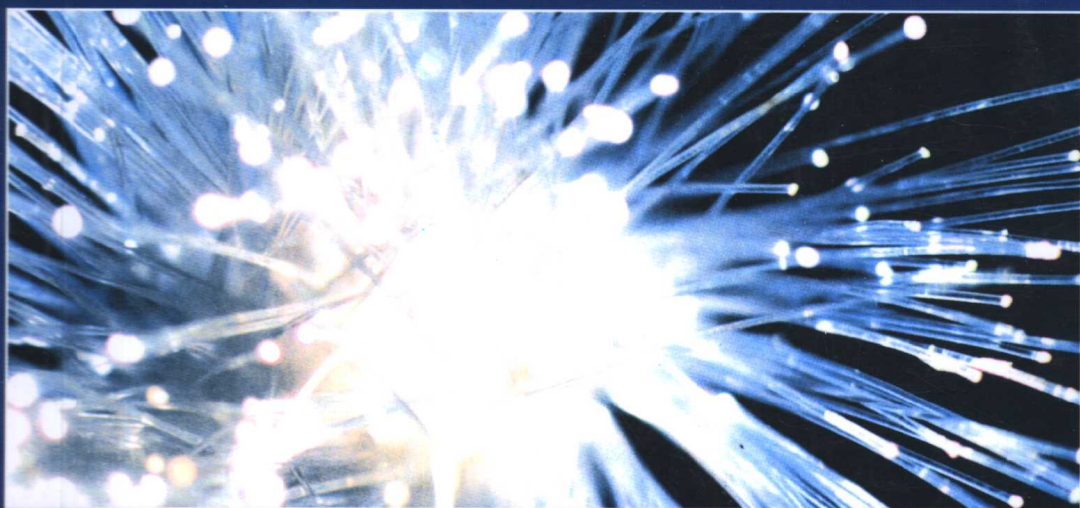


光纤通信技术

Fiber-Optic Communications Technology



(美) Djafar K. Mynbaev 著
Lowell L. Scheiner

徐公权 段鲲 廖光裕 陈亚华 等译
吴时霖 审校



机械工业出版社
China Machine Press

Prentice
Hall

通信技术丛书

光纤通信技术

(美) Djafar K.Mynbaev 著
Lowell L.Scheiner

徐公权 段 鲲 廖光裕 陈亚华 等译
吴时霖 审校



机械工业出版社
China Machine Press

近二十年来, 光纤从一个研究热点迅速发展为强大的商业应用实体, 而本书正是国外介绍其从入门理论到中级知识的优秀教材。本书首先通过示例、图解和问题解答对光纤的工作原理、制造、布线和安装进行了清晰的论述, 然后进一步阐述了光纤通信的有关器件、系统和网络的最新革新。书中的内容分成了两个级别: “基础篇”扼要地介绍了基本概念, “深入篇”对理论性强的问题进行了细致的讨论。

作为一本为学生而编写的教材, 本书主要面向通信技术和工程相关专业的本科生, 而工作在光纤领域的工程师和技术员也可以将其作为工作手册和日常参考。

Djafar K.Mynbaev, Lowell L.Scheiner: Fiber-Optic Communications Technology.

Authorized translation from the English language edition published by Prentice Hall.

Copyright © 2001 by Prentice Hall, Inc.

All rights reserved.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2002 by China Machine Press.

本书中文简体字版由美国Prentice Hall公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

本书版权登记号: 图字: 01-2001-2208

图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信技术/(美) 门巴耶夫 (Mynbaev, D.K.), (美) 沙伊纳 (Scheiner, L.L.)
著; 徐公权等译. -北京: 机械工业出版社, 2002.8

(通信技术丛书)

书名原文: Fiber-Optic Communications Technology

ISBN 7-111-09981-8

I. 光… II. ①门… ②沙… ③徐… III. 光纤通信 IV. TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字 (2002) 第014183号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 杨海玲

北京牛山世兴印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·44.5 印张

印数: 0 001 - 4 000 册

定价: 78.00 元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换

译者序

21世纪被称为信息化时代，现代科学技术的核心是信息科学。知识经济和经济全球化必然依靠国际范围的信息网络化；显然，海量信息的高速传输是它的技术基础。利用光的奇异特性，由玻璃或塑料制成并以光波形式传输信息的光纤无疑是通信介质的最佳选择。光纤传输中的良好噪声控制、更小的信号衰减、更高的带宽以及光纤尺寸小和重量轻等无与伦比的优点，使光纤通信技术在几十年里从研究热点迅速成为极具活力的庞大产业。通信用的光纤在全球正在以每秒约1000米的惊人速度增长，2.5~10 Gbps(10^9 bps)的光信息传输系统已经实用化，千吉网(Tbps, 10^{12} bps)传输速率已实验成功，千太网(Pbps, 10^{15} bps)正在加速研究中。像头发丝一样细的单根光纤的传输容量，每10年增加100倍。光纤通信的应用前景无限光明。

在这样的背景下，有一本内容全面、能满足不同需求、面向各层次读者的光纤通信技术的书是十分必要的。本书首先是一本适用于工程技术类学生的教科书；技术应用类学生可以学习本书中的“基础篇”章节；工程设计类的学生可进一步选读“深入篇”章节，以此同时掌握应用和理论方面的重要知识。本书也是一本专业人员的技术参考书，有大量的例子、图解和有关器件、系统等最新资料的来源与说明。对只需一般了解光纤通信知识的读者，可以不学习专业性强的章节和部分理论较深的内容。本书也可成为一本技术入门的普及书。

为了适应我国光纤通信技术发展的需要，作为借鉴，我们在较短的时间内完成了本书的翻译工作。参加翻译工作的有复旦大学计算机科学与工程系教师徐公权、廖光裕、周正康、吴永辉、胡建勇以及博士生和硕士生段鲲、陈亚华、瞿瑾、朱东来、王有为等，全书由吴时霖教授审校。由于时间仓促，参加翻译的人员较多，译书中难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

译者

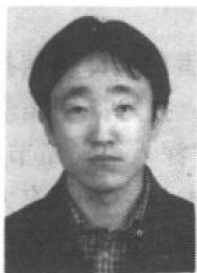
复旦大学计算机科学与工程系

2002年1月18日

译者简介



徐公权，1941年生，1964年毕业于复旦大学，现为复旦大学计算机科学与工程系教授、复旦大学信息科学与工程学院常务副院长。曾领导多项重要科研项目，并多次获得省部级科技进步奖，发表科研论文约40篇。



段 鲲，1976年生，分别于1998年和2001年毕业于北京邮电大学计算机工程系和复旦大学计算机科学与工程系，获得学士和硕士学位。现就职于朗讯公司。曾参与VOIP与ATM网络的研究与开发，现从事无线网络方面的工作。



廖光裕，1944年生，1965年毕业于复旦大学物理系，现为复旦大学计算机科学与工程系副教授，长期从事计算机图形和图像、数据通信和网络等方面的教学和科研工作，发表论文30多篇，曾获省部级科技进步奖。



吴时霖，1935年生，毕业于复旦大学，复旦大学计算机系教授、博士生导师、全国Petri网学术委员会委员。长期从事网络与通信技术研究，着重于Petri网理论以及宽带高速网络技术研究。领导多项国家重点项目，是网络与数据通信领域的学术带头人。

前言

致读者

光纤通信技术在过去二十年里有了惊人的进展，其发展速度之快，使得当今所有的通信技术领域都受到了它的冲击。只不过二十年，光纤就从一个研究热点成为强大的商业应用实体，至今，即使一般公众对光纤在通信中所起的作用也有了一定认识。尽管光纤技术已经在电信领域中占有应有的（在很多方面具有很大利润的）位置，但这并不意味着这项技术将停止发展。正如我们所见到的，全球电信网络上的传输需求以指数速率增长，只有光纤才能适应这一挑战。（无线通信与光纤不同，有其自己的理论与实践，更详细的内容可参阅1.3节和第15章。）

当前，大概有上百种关于光纤通信的书籍，从基本原理到理论专著。还有一些适合不同读者水平的书籍。那么，你肯定会问：为什么还要出这本书呢？

目的

本书面向广大的读者群。首先，也是最重要的，本书对技术和工程学生可作为学习光纤通信课程的入门教材。本书也是为以下这些人员写的：已经步入光纤通信领域想要通过相应考试的读者，想要获得对光纤技术的一定了解从而可以在专业水平上和承包商进行合作的终端用户，正在进一步学习光纤技术的高级课程而想要对一些基本理论进行深入了解的学生。对这些读者来说，本书是一本很有帮助的指南。

另外，工作在光纤领域的工程师和技术员可以把本书作为日常工作中所需资料的来源。最后，对于那些进行过其他课程培训的人，如果想简单地了解一下光纤技术到底是什么（这样的人很多），也会发现本书是一个全面的最新资料来源。

作为一本主要为学生而写的书，我们相信本书会使你受益匪浅。按照传统的观点，技术学院被分为工程院校和技术院校，就职业而言，前者更着重于理论方面而后者偏向于更多的实用知识。针对这种情况，我们把书中的讨论分为两个层次。这样，技术院校的学生可以只学习标为“基础篇”的各章，工程院校的学生可将重点放到标为“深入篇”的各章。当然，因为每个班（不论是工程院校还是技术院校）都是由个人组成的，所以我们更希望老师根据学生的特定需要来制定教学提纲。

本书的特点在于它响应了大多数想要进入此领域的学生的需要和兴趣，使他们能够在理论和应用领域内都获得重要的知识。

那么，本书如何能帮助你获得想要在这一快速发展的领域内取得成功所必需的知识呢？首先，通过对基本概念进行清晰的逻辑性的叙述，再辅以大量的例子、图解以及对在工作中将会遇到的问题的解答，为你奠定一个坚实的基础。其次，本书还包含有关部件、系统和网络的最新技术革新的内容。我们将把工作集中于最新和最有发展前途的技术成果，我们相信在你的职业生涯中将会遇到这些内容，我们相继对这两方面进行了讨论。

面对当前如此多的商业行为和大量令人兴奋的研究成果，我们认为用做一本书来满足读者需求的办法就是在书中包含商业上可行的技术革新和应用，或者根据我们的判断，在未来几年中将在商业上可行的技术。光纤领域的发展如此迅速，所以发现昨天的研发项目已经成为今天的商业产品不必感到惊奇。出于这一原因，本书对当前网络和技术的发展趋势进行了讨论，以使读者了解一些当前的研发项目，因为它们在你开始工作时，可能已经变成商业产品了。

学生研究

本书的一个关键特征是它向技术和工程学生介绍了进行研究的准则。现在，越来越多的大学（不论是高级学院还是低级学院）都鼓励学生把研究作为一项强有力的教学工具来帮助他们掌握一门技术学科。美国国家科学基金会每年花大量美元来支持低级（社区）学院开展学生研究工作。

那么，本书是如何帮助你发展研究技能的呢？

首先，书中提供了一系列已应用于研究活动的课题。例如，对于光纤的色散的考虑，关于此课题的一个研究项目要求你来决定单模光纤中色散的实际模式，非线性效应是如何影响单模光纤中的色散，以及在单模光纤和多模光纤中色散的理论极限值是多少。还有其他许多用于研究的创意会在你读本书的时候自然而然地出现。

另外，因为本书的范围包括从入门理论到中等水平的知识，所以可以在一个很大的范围内向学生开放，让学生进行探讨。当一个问题出现的时候，喜欢独立思考的学生希望自己作为一个研究小组的一名成员来探究问题的答案和解决方法。因为本书对理论和实践方法都进行了讨论，所以对学生研究也成为支撑点，本书甚至可以帮助学生根据他们的背景、兴趣甚至将来的工作来改变自己的研究课题。

学习多少

如果你想成为一个元件领域的专业人员，并且专门研究光纤、发送器、接收器、放大器以及有源和无源元件，就需要对该技术有深入的理解。这一知识只有在你首先在物理学、数学和电子学上建立坚实的基础以后才可能获得。要想获得这些知识基础，没有任何捷径。

另一方面，如果你想成为一个光纤通信系统专家，你就需要掌握电子通信和电信的知识。其中，那些想要在光纤网络领域工作的人必须掌握两门学科：光纤技术和电信网络。最后，有兴趣成为电信管理人员的学生还需要将技术性知识和对复杂的法律法规的洞察力相结合，并且还要对商业上如何运作有敏锐的理解。

光纤通信技术是一个特殊的领域，它将不同领域的知识相结合，并在此基础上发展出新的知识。因此，工作时所拥有的背景知识和经验越广，作为专业人员的价值也就越高。

工作机会

你已经选择进入了一个真正令人兴奋的行业。在这个行业里，企业都努力使自己在前沿科技中保持最领先地位；在这个行业里，昨天最新的革新技术在今天就会显得陈旧；在这个行业里，即使是有远见的专业人员仍有无限的机会来同这个年轻的、快速发展的、

高速扩张的产业共同发展；在这个行业里，天才和成功必然会得到丰厚的酬劳。对于这些，丝毫不用怀疑。

不管你是打算以工艺专家、工程师、技术人员还是产品经理的身份进入这一领域，未来都赋予了这个极具活力的技术无限的潜力，而这一技术在二十五年前不过是一个具有远见的科学家们眼中的一道微光，而今天却成为爆炸性的技术产业。这一领域发展如此迅速，以致于在短短几年内它就成为庞大的电信产业中的关键，同时电信业已经占据了全美经济的六分之一，而且这一比例仍在增加——现在仍没有看到停止增长的迹象。

实际上，你要成为电信业某个领域的专业人员的决定——这也就意味着你要成为光纤通信技术领域内的专业人员——预示着你职业生涯的美好未来。我们的经验已经表明，即使是对于刚毕业的大学生而言，他所面临的问题不是找工作，而是如何在很多已经很好的工作中找一个最好的工作。现在，电信业中的企业相互竞争工艺专家、工程师和产品经理，他们甚至比那些急于寻找工作的求职者表现得更为积极。所以，光纤技术的专业人员属于美国工业中最高收入的阶层。

致教师

告诉一名教师如何去使用这本教材或任何一本教材都是不合适的。因此，我们只简单地同教师分享本书的计划，帮助教师制定教学大纲。

总体结构

内容分成两个级别：“基础篇”和“深入篇”。在基础篇，我们主要介绍设备所涉及到的主要思想和基本原理。基础理论的章节对于缺乏光纤通信技术背景的学生来说是很必要的，它可以帮助学生具有对光纤通信技术的基本了解。为了让初学的学生能够容易并且迅速地掌握相关内容，这些章节写得简单明了。

在深入篇，我们包括了同一材料的更理论性、更细致的讨论，并增加一些新的论题。这样，教师就具有了相当的灵活性，可以根据班上学生的能力和课程的时间来安排讲课的内容。深入篇的章节有两个目的：第一，深入篇对相关内容做了更深的论述，也涉及到了更多的理论和假设，当然这也就要求在物理学和数学方面有更好的基础；第二，深入篇为学生进一步学习复杂理论和在工作中承担相关的专业责任做了准备。这些章节将学生带入光纤通信技术的更高级别并提供了对光纤通信技术的更深入的理解。如果教师想在课程中进行进一步研究的话，这些章节也为学生提供了许多研究课题，这也是课程的组成部分。

应该强调的是，“基础篇”和“深入篇”的章节是紧密相关的，而且，如果优秀的学生想要学习“更新的课程”，我们建议在学习更复杂的内容前先对那些介绍性的章节重新阅读一下。

关于例子

我们使用例子不仅是用来说明如何用公式来计算某些数值，而且是用来说明以一种合理的、全面的方式来展开讨论，同时提供一些额外的有用信息。

查阅数据表单

对于一个进行实际工作的工程师来说，阅读数据表单的能力十分重要。这种能力可使

他们吸收已经获得的知识。从某种意义上讲，这也是一种很好的衡量一个人专业能力的方式。因此，每一个论题都是以对某个特定的数据表单的讨论来总结的。另外，规格说明表可用做给出的例子中进行各种计算的数据源，或用来解释相关内容和解答散布全书的问题和各章最后的习题。

教学大纲

我们不能想像一个全面的教学大纲就能满足所有使用本书的每个班级的需要。显然，我们提供的材料已经超过两学期的课程的需要，更不要说对于一个只有一学期的课程。本书给你很大的自由来编写自己的教学大纲。

在纽约城市技术学院，我们在学期中总是要留一定的时间给学生，让他们自己提出或询问论题。例如，许多业余来上课的学生会在课上讲述自己在工作中的经验或需要，我们以开放式的讨论来研究这些内容。最近几年，对局域网的安装设计成为最频繁被问到的论题，这也反映了通信领域一个重要的趋势。另一个由学生提出的重要论题是光纤网络和相关器件，尤其是掺铒光纤放大器。在安排教学内容时具有适当的灵活性而不是一味地受教学大纲的束缚，可以使班上的学生具有一定的创造性。

在学习的过程中另一个很关键的因素是上课形式。在纽约城市技术学院，每周一次课，每次五个小时，每次课堂上把理论学习与实验室实验结合起来。其他学校大概每周两到三次课，实验与授课分开来进行。正如你所看到的，向每个教师都提供一个现成的教学大纲是不可能的。我们的教学大纲是为一学期的工程技术类课程准备的，附在本书的《教师指导手册》上。《教师指导手册》还为教师准备了其他一些可能在编制特定的课程纲要时可能会需要的内容。

关于实验练习

书中对于测试和测量过程的描述可用做进行实验课程的指导。在纽约城市技术学院已经这样做了。同时，这些实验既简单易行又能在实验过程中传达很多信息，它们可以作为一系列小的彼此独立的项目而不是作为按部就班的练习。例如，其中的一个项目要求学生去测量某些特性参数，如多模光纤的衰减，但它并没有明确地告诉学生要达到这一目的要经过的特定的顺序。我们建议用这种形式，因为它可以让学生感受到真实的工作环境。任课老师可登记读取《教师指导手册》，其中包含对如何进行实验练习的详细建议。

总之，对于那些要安排和制定适合班上学生技术水平的光纤通信课程的老师来说，我们相信本书向你们提供了你们所需的全面的内容。

致谢

我非常感谢许多在我准备这本书时给予我帮助的人们。

我首先向合著者Lowell Scheiner教授表达我的谢意。他和我共同承担了这个漫长的、艰难的但最后也是值得的经历中的每一步工作。

纽约城市技术学院的管理人员与我充分合作，为我提供充足的时间来完成这项艰巨的工作，我尤其要感谢Emilie Cozzi博士——本书完成过程中学院的院长。

在整个写书的过程中，我在电子工程与电信技术系的同事们给予了我支持和鼓励。

我深深地感谢我亲密的朋友和导师Alex Gelman博士给我提出的意见，而且是他把我介绍到Bellcore，在那里我获得了无价的专业经验，而这些背景知识在我著书时发挥了巨大的作用。Bellcore 的Paul Shumate博士在我写作期间向我提出了许多建设性的意见，而且当问题出现时，他总能予以我帮助。Bellcore的David Waring也提供了非常宝贵的意见与建议。

Mikhail Levit博士非常友好，对我同他讨论的不少问题给出了解决方案。

Karim Mynbaev博士审阅了第9、10和11章。他的努力明显地改善了这几章的内容。

为将粗糙的图画变成漂亮的作品，Andrei Basov付出了艰辛的劳动。

在授课过程中，我在纽约城市技术学院的学生始终激励着我，他们建设性的反馈意见提出了许多新的题材，而我相信这些题材会使这门课和这本书获得全面改进。

我感谢以下审阅者向我提出的宝贵的反馈意见：Eugene Bartlett, ITT Tech-Florida；Joan Nawn，大洋城学院；Thomas Shay，Chris Wernichi，纽约理工学院。

最后，Scheiner教授和我都非常感谢各个公司向我们提供的帮助，他们为我们提供的资料，尤其是图表资料，对说明书中讨论的内容有很大帮助。

D.K.M

目 录

译者序	
译者简介	
前言	
第1章 电信和光纤的介绍	1
1.1 电信	1
1.1.1 电信是什么	1
1.1.2 电信：点到点系统和网络	1
1.1.3 运载信息能力	3
1.1.4 对光纤通信系统的需要	5
1.2 光纤通信系统：基本块	6
1.2.1 基本框图	6
1.2.2 光纤通信技术的作用	15
1.3 回顾与展望	15
1.3.1 历史注释	15
1.3.2 光纤工业的现状与未来趋势	18
1.3.3 关注发展	24
习题	24
参考文献	25
第2章 光物理学：简要概述	26
2.1 电磁波	26
2.2 光束（光线）	28
2.3 光子流	32
2.3.1 能级图	32
2.3.2 光子	33
2.3.3 辐射与吸收	34
小结	36
习题	37
参考文献	38
第3章 光纤——基础篇	39
3.1 光纤如何对光进行传导	39
3.1.1 阶跃折射率光纤：基本结构	39
3.1.2 发射光：理解数值孔径	42
3.2 衰减	45
3.2.1 弯曲损耗	45
3.2.2 散射	48
3.2.3 吸收	48
3.2.4 对总衰减的计算	49
3.2.5 对衰减进行测量	51
3.3 模间色散和色度色散	52
3.3.1 模式	52
3.3.2 模式（模间）色散	55
3.3.3 对模式色散问题的第一种解决 方案——渐变折射率光纤	57
3.3.4 对模式色散问题更好的解决 方案——单模光纤	59
3.3.5 色度色散	61
3.4 比特率和带宽	63
3.4.1 比特率和带宽定义	63
3.4.2 色散和比特率	64
3.5 查阅数据表单	65
3.5.1 从哪里开始	65
3.5.2 常规部分	65
3.5.3 光特性部分	66
3.5.4 几何特性部分	69
3.5.5 环境说明部分	70
3.5.6 机械说明部分	70
3.5.7 其他特性	71
3.5.8 结论	72
小结	72
习题	74
参考文献	76
第4章 光纤——深入篇	77
4.1 麦克斯韦方程	77
4.1.1 麦克斯韦方程组	77
4.1.2 对麦克斯韦方程的解释	78
4.1.3 波方程	80

4.1.4 求解波方程	81	5.2 衰减	132
4.2 EM波的传播	83	5.2.1 弯曲损耗	132
4.2.1 时间谐波EM场的波方程	83	5.2.2 散射	134
4.2.2 EM波在一个有损介质中传播	84	5.2.3 吸收	134
4.2.3 EM波在波导中传播	86	5.3 色散和带宽	135
4.3 再论全内反射	89	5.3.1 色度色散	135
4.3.1 边界条件	89	5.3.2 传统光纤、色散偏移光纤和 色散平滑光纤	139
4.3.2 反射	90	5.3.3 偏振模式色散	142
4.4 再论模式	93	5.3.4 单模光纤的带宽(比特率)	144
4.4.1 关于模式理论及其重要结果的 几点说明	93	5.4 查阅数据表单	145
4.4.2 线性偏振模式	94	5.4.1 常规部分	145
4.4.3 三类模式: 导向模式、辐射模 式和泄漏模式	98	5.4.2 规格部分	148
4.4.4 相位和群速度	99	小结	150
4.4.5 能量限制	100	习题	151
4.4.6 截止波长(频率)	101	参考文献	152
4.4.7 计算机仿真	105	第6章 单模光纤——深入篇	153
4.5 多模光纤中的衰减	105	6.1 模场	153
4.5.1 一般方法	105	6.1.1 高斯模型和真实的模场分布	153
4.5.2 内部损耗	106	6.1.2 截止波长和V值	155
4.5.3 外部损耗——吸收	108	6.2 再论单模光纤中的衰减	157
4.5.4 外部损耗——弯曲损耗	108	6.3 克服单模光纤中的色散	162
4.5.5 模式、衰减和衰减常数	110	6.3.1 色度色散	162
4.6 多模光纤中的色散	112	6.3.2 克服色度色散	163
4.6.1 一般注释	112	6.3.3 用色散补偿光纤对色度色散 进行补偿	164
4.6.2 模间(模式)色散——更详细 的讨论	114	6.3.4 色散补偿光栅	168
4.6.3 色度色散——材料色散	115	6.3.5 色散补偿: 系统的观点	170
4.6.4 波导色散	121	6.3.6 克服偏振模式色散	171
4.6.5 多模光纤的带宽	121	6.3.7 偏振相关损耗	176
小结	124	6.3.8 简短的总结	176
习题	124	6.4 单模光纤中的非线性效应	177
参考文献	126	6.4.1 非线性折射效应	178
第5章 单模光纤——基础篇	128	6.4.2 四波混合	182
5.1 单模光纤如何工作	128	6.4.3 受激散射	184
5.1.1 工作原理	128	6.5 光纤设计的趋势	186
5.1.2 高斯光束	129	小结	187
5.1.3 纤芯、包层和模场直径	130	习题	189
5.1.4 截止波长	132	参考文献	190
		第7章 制纤、制缆和安装	192

7.1 制纤	192	8.5.2 我们需要测试什么	279
7.1.1 两个主要阶段	192	8.5.3 网络衰减测试	280
7.1.2 气相沉积法	194	8.5.4 网络带宽测试	282
7.1.3 涂敷层	200	8.5.5 连接器和接合测试	282
7.2 光纤光缆	201	8.5.6 故障诊断	284
7.2.1 光缆	201	小结	285
7.2.2 查阅数据表单	223	习题	286
7.3 安装——放置光缆	224	参考文献	287
7.3.1 分类	224	第9章 光源和发送器——基础篇	289
7.3.2 安装过程	225	9.1 发光二极管	289
小结	226	9.1.1 半导体的光辐射	289
习题	227	9.1.2 综合考虑	293
参考文献	227	9.1.3 查阅数据表单——LED的特性	298
第8章 光缆连接与测试	229	9.2 激光二极管	307
8.1 接合	229	9.2.1 工作原理	307
8.1.1 连接损耗	229	9.2.2 超发光二极管	320
8.1.2 接合过程	233	9.3 查阅激光二极管特性数据表单	320
8.1.3 结论	237	9.3.1 宽域激光二极管	320
8.2 连接器	237	9.3.2 查阅分布反馈激光二极管的 数据表单	327
8.2.1 连接器的基本结构	238	小结	332
8.2.2 主要特性	239	习题	334
8.2.3 连接器类型的过去、现在和未来	241	参考文献	338
8.2.4 标准	244	第10章 光源和发送器——深入篇	339
8.2.5 查阅数据表单	244	10.1 再论半导体	339
8.2.6 端接过程	245	10.1.1 本征半导体：费米能级和 载流子数	339
8.2.7 插座、适配器和专用连接器	245	10.1.2 掺杂半导体	341
8.2.8 测试和测量	246	10.1.3 p-n结	342
8.3 安装硬件	248	10.1.4 偏移	344
8.3.1 为什么安装硬件	248	10.1.5 对带隙的进一步研究	345
8.3.2 硬件系统及部件	250	10.2 激光二极管的效率	347
8.3.3 结论	260	10.2.1 输入输出关系	348
8.4 局域网的安装设计	260	10.2.2 三种效率	349
8.4.1 链路考虑——功率预算和上升 时间预算（带宽）	261	10.2.3 再论激光二极管工作效率	353
8.4.2 局域网	265	10.3 激光二极管的特征	357
8.4.3 局域网的布线	267	10.3.1 阈值电流与工作电流	357
8.4.4 基本的建议	269	10.3.2 辐射波长和光谱宽度	359
8.4.5 塑料（聚合物）光纤	271	10.3.3 辐射模式	361
8.5 测试、故障诊断及测量	271	10.3.4 激光器调制	363
8.5.1 测试仪器	272		

10.3.5 啁啾现象	369	12.2.1 发送器	475
10.3.6 噪声	369	12.2.2 接收器	483
10.4 发送器组件	371	12.3 半导体光放大器	486
10.4.1 发送器的功能框图和典型电路	371	12.3.1 光放大器概述	486
10.4.2 封装与可靠性	380	12.3.2 SOA的工作原理	488
10.4.3 查阅发送器的数据表单	383	12.3.3 SOA的增益	489
10.4.4 外部调制器	388	12.3.4 SOA的带宽	494
小结	396	12.3.5 串音	496
习题	397	12.3.6 偏振相关增益	497
参考文献	401	12.3.7 噪声	498
第11章 接收器	403	12.3.8 查阅SOA数据表单	501
11.1 光电二极管	403	12.3.9 SOA应用	502
11.1.1 p-n光电二极管是如何工作的	403	12.3.10 SOA的优缺点	502
11.1.2 功率关系	405	12.4 掺铒光纤放大器	502
11.1.3 带宽	409	12.4.1 如何产生放大	502
11.1.4 p-i-n光电二极管	412	12.4.2 C-波段和L-波段	505
11.1.5 雪崩光电二极管	414	12.4.3 掺铒光纤的增益和噪声	505
11.1.6 MSM光电探测器	417	12.4.4 EDFA模块的元件	510
11.2 查阅光电二极管的数据表单	418	12.4.5 查阅EDFA的数据表单	529
11.2.1 p-i-n光电二极管的数据表单	418	12.4.6 其他类型的光纤放大器	536
11.2.2 雪崩光电二极管的数据表单	424	小结	537
11.2.3 硅光电二极管	425	习题	540
11.2.4 结论	426	参考文献	543
11.3 再论光电探测器	426	第13章 光纤网络的无源元件、交换机 和功能模块	546
11.3.1 光电二极管中的噪声源	426	13.1 耦合器/分离器	546
11.3.2 信噪比和噪声等效功率	431	13.1.1 熔接双锥渐细耦合器——工作原理	546
11.3.3 灵敏度和量子限	434	13.1.2 查阅数据表单	549
11.4 接收部件	440	13.1.3 FBT耦合器：如何做WDM 耦合器	556
11.4.1 接收器的功能框图和典型电路	440	13.1.4 相位不匹配	560
11.4.2 判别电路的设计	446	13.2 波分多路复用器和多路分解器	561
11.4.3 查阅接收器的数据表单	450	13.2.1 WDM MUX/DEMUX和耦合器	562
11.4.4 光电集成电路	454	13.2.2 WDM MUX和DEMUX：它们 如何工作	563
小结	455	13.2.3 WDM MUX/DEMUX应用—— 增/删和路由器	573
习题	457	13.3 滤波器	574
参考文献	462	13.3.1 光滤波器：它们是什么	574
第12章 光纤网络元件	464	13.3.2 固定滤波器	576
12.1 光纤网络概述	464		
12.1.1 点到点链路	464		
12.1.2 网络	466		
12.2 光纤网络的收发器	475		

13.3.3 可调谐滤波器	578	14.3 网络管理和光纤网络的未来	640
13.4 隔离器、环形器和衰减器	583	14.3.1 网络管理的功能	640
13.4.1 隔离器	583	14.3.2 如何实现网络管理	641
13.4.2 环形器	588	14.3.3 光纤网络生存性（网络保护和恢复）	642
13.4.3 衰减器	589	14.3.4 结论：光纤网络的未来	648
13.5 光交换机和功能模块	591	小结	650
13.5.1 光交换机	591	习题	654
13.5.2 波长转换器	595	参考文献	658
13.5.3 功能模块	597	第15章 结论	662
13.5.4 结论	600	15.1 带宽：业界的“圣杯”	662
小结	600	15.2 部署新光纤线路	662
习题	601	15.3 光纤：难题很多，要寻求解决方案	663
参考文献	602	15.4 光纤器件	664
第14章 光纤网络介绍	605	15.5 波分复用：满足惊人的需求	666
14.1 传输什么数据和怎么传输数据	605	15.6 网络	666
14.1.1 传输语音、视频和数据	605	15.7 无线通信和光纤网络	667
14.1.2 电话网	606	小结	668
14.1.3 计算机网络	615	参考文献	668
14.1.4 有线电视	620	附录A 常量表、10的幂表、国际单位制表、分贝单位和希腊字母表	671
14.2 光纤网络结构的基本要素	624	附录B 本书中使用的缩写、简写、符号和单位	674
14.2.1 网络、协议和服务	624	附录C 参考文献精选	683
14.2.2 开放系统互连参考模型	624	附录D 产品、服务和标准	693
14.2.3 SONET网络和分层	629		
14.2.4 ATM网络和分层	632		
14.2.5 光纤网络的分层结构	634		
14.2.6 光层	636		

第1章 电信和光纤的介绍

本章介绍了电信的基本理论，描述了一个典型的光纤通信系统，还揭示了一些有关早期光纤通信技术的一些有趣的事实。本章以对光纤技术当前状态的回顾和对未来的展望作为总结。

1.1 电信

1.1.1 电信是什么

电信（telecommunication）一词由两部分组成：希腊词“tele”（意思是“远距离的”）和词communications（意思是“信息的交换”）。我们当然早就熟悉了“tele”一词的意思，因为现实生活中有很多例子：像电话（telephone），意思是“远距离的话音”；电视（television），意思是“远距离的图像”。因此，电信字面的意思就是“远距离的信息交换”。因为在相隔一定距离时，我们无法直接面对面地进行信息交流，所以我们必须借助诸如电话系统、无线电系统或电视系统这样的设备。综上所述，我们可以说电信是借助某种设备在相隔一定距离的条件下进行信息交换。

被交换的信息有三种基本类型：语音、视频和数据。在不久前，电信分成彼此独立的几个分支：提供话音传输的电话和无线电，传送图像的电视，处理数据的计算机。现在，这些系统已经相互结合。电话以数字形式传输语音信号并且在电话网络的各个层次（在接入、传输、交换和信令系统）使用计算机。另一方面，有线电视厂商在他们追求成为重要的因特网提供商的过程中，在提供电话和计算机服务方面扮演着日益显著的角色。计算机产业也在提供越来越多的语音和视频传输业务。例如，现在人们可以通过因特网打电话——尤其是国际长途——这样要比通常的电话费用便宜很多。不仅如此，今天的计算机还提供多媒体服务（一种音乐、图片、文字和语音的结合体）。所以，当今的电信业已经成为一个复杂的行业，它在全球范围内提供各种类型的信息传送。

1.1.2 电信：点到点系统和网络

图1-1给出了一个电信系统的总体框图。信息以其最初的形式——语音、视频和数据——进入发送器。发送器将信息转换成适合发送的形式（例如电信号），为了发送对这些传送的信号进行处理（换句话说，对这些信号进行调制和多路复用），然后发送这些信号。信号在通信链路（也称做传输介质）中进行传输。通信链路可以是铜线、同轴电缆、空间或者光纤。接收器识别这些信号，为了进行信号转换再对这些信号进行处理（解调和多路分解），然后将信号转换成它所需要的信息格式，换句话说，把信号从电信号的形式转换回最初的形式（语音、图像或字符集）。

作为电信系统的一个例子，我们可以看一下典型的电话系统。麦克风将我们的语音转化为模拟的电信号；电信号通过铜线被传到最近的交换局（一个中心局），在那里，对模拟信号进行数字化、复用，然后发送——通过光纤——到目的交换局；在目的交换局，信号直接或通

过远程终端传送到呼叫另一端的电话，在那里信号通过扬声器转换回语音。尽管现在的电话网络体系结构多种多样，但这个过于简化的例子可用于集中表现电信系统的基本功能。

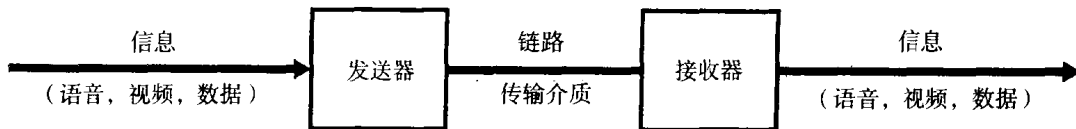


图1-1 一个点到点的电信系统

应当说明的是，这里用到的名词“发送器”和“接收器”比通常的发送器和接收器具有更普遍的意义。在图1-1中，发送器和接收器包含多个部件，而在某些特定的电信系统，它们是只负责发送操作和接收操作的设备。

图1-1描述了一个典型的点到点电信系统。第一根电话线，也就是那根连接电话发明家贝尔的家中的地下室和二楼的那根线，就是我们今天所说的点到点连接的一个例子，就是这根线诞生了现代电信。实际上，对于任何有关电信的讨论，我们都要记住点到点的通信是典型的形式。但是，只要在通信中涉及到第三方或更多方（节点），我们就需要一个网络来连接它们。网络就是以链路相连的节点的结合体。从简单的由并串联电路中的电阻、电容和电感构成的无源电子网络到复杂的因特网都是网络的例子。图1-2给出了电信网络的几种不同的配置或拓扑。

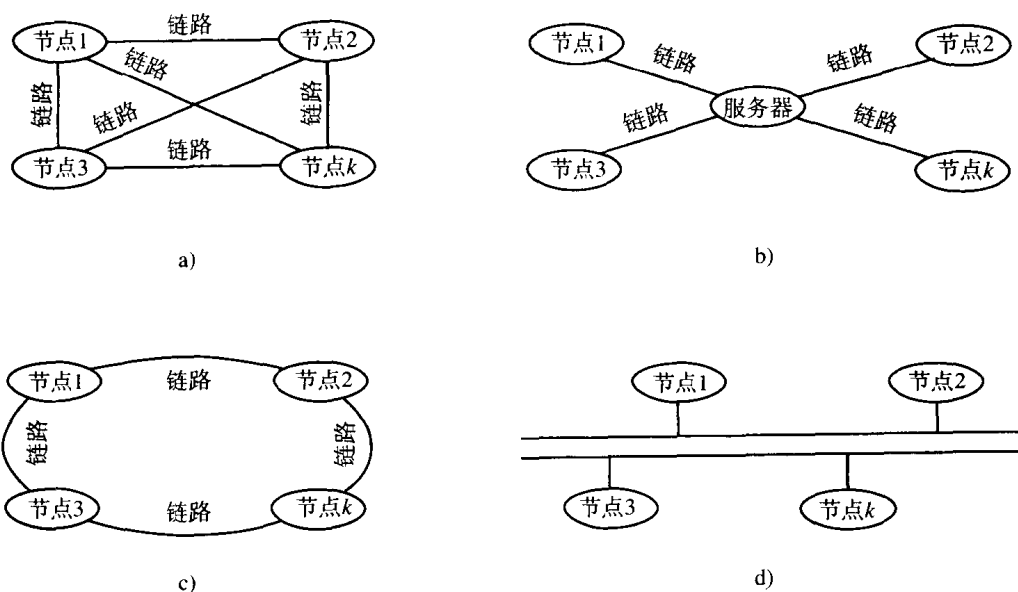


图1-2 电信网络

a) 网状拓扑 b) 星形拓扑 c) 环拓扑 d) 总线拓扑

因特网是网络的网络，在全世界范围内连接计算机。因特网用户能够在全球范围内同任何一个节点的用户交换语音、视频和数据消息。为了使这些奇迹般的东西变为可能，网络不仅要包含物理的连接，还要结合某种智慧。这就像计算机在把软件和硬件以适当的方式进行结合后才变得可用一样，今天的网络也是在把物理线路和逻辑层相结合才发挥出这么大的功能的。网络中的逻辑成分为网络提供了通过复杂的物理线路将你的呼叫——实际上就是你的