

21

世纪

信息与通信技术教程

光纤光学

(第四版)

- Jeff Hecht 著
- 贾东方 余震虹 王肇颖 刘俭辉 等 译
- 李世忱 审校

PEARSON
Prentice
Hall

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪信息与通信技术教程

光 纤 光 学 (第四版)

Jeff Hecht 著

贾东方 余震虹 王肇颖 刘俭辉 等译

李世忱 审校

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

光纤光学：第四版 / (美)赫克特 (Hecht, J.) 著；贾东方，余震虹，王肇颖，刘俭辉等译。
—北京：人民邮电出版社，2004.5

(21 世纪信息与通信技术教程)

ISBN 7-115-12117-6

I. 光... II. ①赫... ②贾... ③余... ④王...

III. 光纤通信—通信光学—教材 IV. TN0438

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004057 号

内 容 提 要

本书系统阐述了光纤光学的基本概念、基本技术及其应用，内容包括：光纤、光缆、激光光源和 LED 光源、光发射机、光探测器、光接收机、光放大器、电—光再生器以及多种光网络器件的知识，光学测量和光纤测量的基本技术，光纤光学在通信中的应用——全球通信、城域通信、本地通信和接入网、计算机通信和局域网、视频通信、光纤通信与远程控制，光纤传感器的原理与应用，光纤光学在成像和照明方面的应用。

本书强调基础，重点突出，内容新颖，覆盖面广，是一本优秀的教材，已被国外的许多高等院校选为电子、信息、通信等专业的高年级本科生或研究生相关课程的教材，同时对从事光通信产业的工程技术人员和从事光纤光学研究的科技人员来说，本书也是一本非常有用的参考书。

21 世纪信息与通信技术教程

光纤光学 (第四版)

-
- ◆ 著 Jeff Hecht
译 贾东方 余震虹 王肇颖 刘俭辉 等
审 校 李世忱
责任编辑 陈万寿

 - ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：40
字数：973 千字 2004 年 5 月北京第 1 版
印数：1—3 000 册 2004 年 5 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记 图字：01-2002-4340 号

ISBN 7-115-12117-6/TN · 2253

定价：66.00 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010) 67129223

版 权 声 明

Simplified Chinese edition Copyright ©2004 by PEARSON EDUCATION LIMITED and
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS.

UNDERSTANDING FIBER OPTICS, Fourth Edition

By Jeff Hecht

ISBN 0-13-027828-9

Copyright ©2002,1987,1993,1999 by Jeff Hecht

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as
Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the
Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

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。
北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2002-4340 号

译者前言

光纤通信的诞生和发展是电信史上的一次重要革命，与卫星通信、移动通信并列为 20 世纪 90 年代三大通信技术，并得到迅猛发展。近几年来，由于技术上的重大突破和市场的驱动，Tbit/s 级高速光纤通信系统发展迅速。目前 1.6Tbit/s 的波分复用 (WDM) 系统已经开始大量商用。日本 NEC 和法国阿尔卡特公司的 WDM 系统分别在 100km 距离上创造了总容量为 10.9Tbit/s (273×40Gbit/s) 和 10.2Tbit/s (256×40Gbit/s) 的最新世界记录。日本 NTT 也报道了 1.2Tbit/s×70km 的光时分复用 (OTDM) 传输实验。预计到 2005 年左右，光传输链路的实用化容量有可能实现 5~10Tbit/s 乃至 20Tbit/s。现在可以这样认为，近几年来 Tbit/s 超大容量光纤传输系统的发展是光纤通信发展史上的又一里程碑，是光纤通信技术继续发展的一个主要标志，它不仅彻底开发了光纤传输链路的容量，而且也成为 IP 业务爆炸式发展和下一代光传送网灵活光节点的基础。

随着光纤技术的迅速发展，特别是光纤通信的广泛应用，使“光纤光学”这一研究光导纤维的光学特性及其应用的学科分支的内容越来越丰富。目前国内已经出版了许多有关光纤光学的专著和教材，但由于出版较早，未能包括最新的研究成果，对光纤光学介绍也不够全面。我们读过 Jeff Hecht 所著的“Understanding Fiber Optics”一书后，感觉该书别具特色。首先，该书特别强调基础，叙述深入浅出、通俗易懂、重点突出，基本概念和基本原理准确清晰，书中还配有丰富的图表配合文字的叙述，使读者更容易接受；其次，内容新，该书所涉及内容大部分为光纤光学领域中的热点或最新发展点，在很大程度上反映了该领域的最新进展和新动向；第三，覆盖面广，对问题的论述系统全面。此外，本书还有题材新颖、内容丰富的习题，并列出了一些可供读者深入学习的参考文献。任课老师可获得《教师指导手册》。总之，这是一本优秀的教材，国外的许多高等院校采用它作为电子、信息、通信等专业的高年级本科生或研究生相关课程的教材，同时对从事光通信产业的工程技术人员和从事光纤光学研究的科技人员来说也是一本非常有用的参考书。

我们特此将它翻译出来介绍给国内读者。翻译工作是由天津大学精仪学院光电技术二室的同仁参与进行的。具体分工如下：李智勇译第 1~4 章和术语；贾东方译第 5~10 章、第 12 章、第 29 章和第 30 章；王肇颖译第 11 章、第 14~17 章和第 21 章；胡智勇译第 18 章；刘俭辉译第 13 章、第 19 章和第 20 章。余震虹译第 22~28 章和附录。由贾东方和李世忱负责全部书稿的审校。由于原书内容涉及面广，译者较多，虽经多次核校仍难免在翻译风格上有不统一之处，希望读者谅解。

中国工程院副院长邬贺铨院士热情推荐本书翻译出版，特此致谢！

鉴于译者水平所限，译文的不当之处，欢迎广大读者批评指正。

译者

前 言

自从“Understanding Fiber Optics”第一版出版以来，光纤光学理论与技术已经走过了较长的一段路程。那时，光纤通信作为一种全新的技术，主要用于大容量、长距离传输电话信号。而当完成“Understanding Fiber Optics”的第四版时，我透过办公室的窗户就可以看见传输电话、因特网数据和有线电视信号的光缆。

多年来，人们在开发实用化光纤设备方面取得了巨大进步，这些给我留下了深刻印象。这些技术不但有趣和精湛，而且很重要。我努力使自己赶上这一不断前进的领域，就像一位体育记者采访踏上争夺冠军道路的运动队一样。技术的进步让我们这些工程技术人员激动不已，就像胜利对于运动员一样。

尽管我写第一版的主要目的是为了自学，该书现在已用于课堂教学。我的目的是对光纤光学的基本原理而不是细节过程做出解释。当你读完这本书时，你确实应该了解了光纤光学，你应可以拿起诸如 Lightwave 或 Fiberoptic Product News 之类的刊物，并能读懂它们，就像你能理解光纤工程师、网络计划者或光缆敷设者的职责一样。尽管你不能做他们所做的工作，但你会成为该领域的一位学者。你可以把此书视为光纤光学 101，它是你了解不断变化的光纤技术的基础。

为了解释光纤光学的原理，我从在一些读者看起来非常基本的概念入手。当介绍相对新一些 的领域时，我做出了更多解释，这样效果会更好一些。

为了使概念更容易理解，书中含有大量插图，所用数学知识仅限制在简单代数学领域，并有一些计算实例。另外，我还比较了光纤光学和其他通用技术，强调了它们的相似之处和区别，而且本书的编排使概念的相互对照和回顾非常方便。

本书首先向读者介绍光纤光学的基本概念，然后更深入地介绍光纤硬件及其应用。各章节安排如下。

前 3 章是概论。其中第 1 章是一般性的介绍，第 2 章介绍光学、光和光传导的概念，第 3 章介绍通信系统和光纤传输。尽管这 3 章假定读者没有这一领域的背景知识，但即使读者认为自己已有足够的背景知识，它们还是值得一读的。

第 4 章到第 8 章介绍了光纤、光纤特性以及它们是如何装配成光缆的。这部分内容分为 5 章，以使读者消化起来更加容易。第 4 章到第 6 章对于理解本书中其他部分出现的光纤概念是必需的，第 7 章中介绍了用于光纤放大器、光纤光栅和几种独特应用（如建筑照明）的特种光纤，第 8 章概述了光纤成缆的知识。

第 9 章到第 12 章介绍了激光光源和 LED 光源、光发射机、光探测器、光接收机、光放大器以及电—光再生器的知识，第 12 章比较和对照了光放大器和电—光再生器的工作情况。

第 13 章到第 16 章介绍了用于光纤系统中的其他器件。其中第 13 章介绍了连接光纤的连接器和接头；第 14 章介绍了用于简单光纤系统中的光耦合器和其他无源光器件；第 15 章介绍了用于波分复用系统中的光器件，这些器件复合和分离同一光纤传输的不同波长；第 16 章介

绍了光调制和光开关，这是光网络的关键器件。

第 17 章介绍了光学测量和光纤测量的基本知识，同时描述了光学测量是如何不同于其他测量的；随后的第 18 章介绍了光纤测试设备和故障诊断。

第 19 章到第 22 章介绍了光纤通信的原理。其中第 19 章描述了光纤系统和光网络的基本原理；第 20 章介绍了主要通信标准；第 21 章简述了点对点单波长系统的设计，并有简单的计算，因此读者可以理解这些系统是如何装配在一起的；第 22 章将设计概念延伸到波分复用和新兴网络。

第 23 章到第 27 章介绍了各种电信系统，解释了光纤光学器件是如何适用于全球和本地电话以及因特网传输、有线电视和数据网络的。这些章节着重于全球网络的不同层次和方面，使各种概念更易于处理。第 28 章介绍了一些特殊系统，如自动运载工具的远程控制，以及飞机和汽车内部的网络。

最后两章介绍了光纤光学的非通信应用，其中第 29 章介绍了光纤传感器的原理和工作，第 30 章介绍了光纤光学在成像和照明方面的应用。

本书大部分章节包括深入阅读的建议，同时本书后面列出了光纤光学参考资料的资源。读者还可以链接到我的 Web 站点 <http://www.fiberhome.com>，我欢迎读者提出的任何建议或评论，请发送邮件到 jeff@fiberhome.com 或 [fiber@jeffhecht.com](mailto:jeff@fiberhome.com)。

书后面的术语表对一些特殊术语和缩写词做了解释。

本版本还包括将一些有用信息列表的附录，如重要物理常数、转换因子、标准数据率和波长，以及几个关键方程。

我已经努力使所有内容都是目前时兴的，但技术发展的是如此之快，有些细节一定是要被废弃的。当读者学习完本书后，应该准备跟踪光纤光学技术的进展，而且有可能为它们的发展做出贡献。

致 谢

许多年来，光纤光学工业的许多同行花费了大量时间来耐心回答我的问题，我特别要感谢 Kevin Able、Bill Chang、Erich Dzakler、Jim Hayes、Dennis Horwits、Jim Masi、Nick Massa、Jim Refi 和 Wayne Siddall，他们校订了本版的部分章节，清楚解释了一些复杂的概念，同时向我提供了一些有用的资源。感谢 ITT 技术学院的 Prentice Hall 评论家 Richard J. White、St. Philips 学院的 Stanley M. Krause、Nash 社区学院的 Kenneth E. Windham 和纽约 Bronx 社区学院的 Dr. Jalil Moghaddasi，他们也为这一版本提供了有益的反馈信息。David Charlton、Marc Duchesne、Robert Gallawa、Mike Repper 和 John Schlager 为以前的版本提供了帮助。感谢 Prentice Hall、*Laser Focus World* 和 *Integrated Communications Design* 的编辑们，还要感谢在万维网上张贴论文、操作说明书、指南、标准和数据表单的公司、大学和个人，同时还要特别感谢那些为本书做出贡献但在此未提及他们的名字的人们。

本书奉献给 Heather Williamson Messenger——一位天才的编辑、朋友和家庭暴力的受害者。

Jeff Hecht

作者简介

Jeff Hecht，毕业于（美国）加州理工学院，获理学学士学位，后在（美国）马萨诸塞大学获教育学硕士学位。现为 *Laser Focus World* 杂志特约编辑，*New Scientist* 杂志通讯作者，*Fiberhome.com* 主席。**Jeff Hecht** 涉猎了很多研究领域，尤其对光纤光学和激光感兴趣，迄今已经有“*Understanding Fiber Optics*”、“*City of Light: The Story of Fiber Optics*”、“*Introduction to Laser Technology*”等十本著作出版。

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 光纤光学简介 | 1 |
| 1.1 个人观点 | 1 |
| 1.2 本章简介 | 2 |
| 1.3 光纤光学基础 | 2 |
| 1.4 光纤和通信 | 5 |
| 1.5 光纤基本知识 | 6 |
| 1.6 新兴光网络 | 9 |
| 1.7 光纤术语和专业称谓 | 12 |
| 1.8 本章小结 | 13 |
| 1.9 下章内容 | 13 |
| 1.10 深入阅读 | 13 |
| 1.11 本章思考题 | 13 |
| 1.12 本章测验 | 14 |
| 第 2 章 光纤器件基础 | 16 |
| 2.1 本章简介 | 16 |
| 2.2 光学基础 | 16 |
| 2.3 光传导 | 22 |
| 2.4 光纤传输 | 24 |
| 2.5 其他光学器件 | 28 |
| 2.6 本章小结 | 29 |
| 2.7 下章内容 | 30 |
| 2.8 深入阅读 | 30 |
| 2.9 本章思考题 | 30 |
| 2.10 本章测验 | 31 |
| 第 3 章 通信基础 | 33 |
| 3.1 本章简介 | 33 |
| 3.2 通信概念 | 33 |
| 3.3 系统功能 | 37 |
| 3.4 信号格式 | 40 |
| 3.5 模拟通信和数字通信 | 41 |
| 3.6 通信业务 | 45 |
| 3.7 光纤通信设备 | 49 |
| 3.8 本章小结 | 50 |

| | | |
|------------|------------------------|------------|
| 3.9 | 下章内容 | 51 |
| 3.10 | 深入阅读 | 51 |
| 3.11 | 本章思考题 | 51 |
| 3.12 | 本章测验 | 52 |
| 第4章 | 光纤类型 | 54 |
| 4.1 | 本章简介 | 54 |
| 4.2 | 光的传导 | 54 |
| 4.3 | 阶跃折射率多模光纤 | 56 |
| 4.4 | 模式及其相关效应 | 60 |
| 4.5 | 渐变折射率多模光纤 | 63 |
| 4.6 | 单模光纤 | 65 |
| 4.7 | 色散位移单模光纤 | 68 |
| 4.8 | 单模光纤中的偏振 | 72 |
| 4.9 | 其他类型的光纤 | 74 |
| 4.10 | 本章小结 | 74 |
| 4.11 | 下章内容 | 75 |
| 4.12 | 深入阅读 | 75 |
| 4.13 | 本章思考题 | 75 |
| 4.14 | 本章测验 | 76 |
| 第5章 | 光纤特性 | 78 |
| 5.1 | 本章简介 | 78 |
| 5.2 | 光纤衰减 | 78 |
| 5.3 | 光的收集和传输 | 82 |
| 5.4 | 色散 | 86 |
| 5.5 | 非线性效应 | 96 |
| 5.6 | 机械特性 | 99 |
| 5.7 | 本章小结 | 100 |
| 5.8 | 下章内容 | 101 |
| 5.9 | 深入阅读 | 101 |
| 5.10 | 本章思考题 | 101 |
| 5.11 | 本章测验 | 102 |
| 第6章 | 光纤材料和光纤制造 | 105 |
| 6.1 | 本章简介 | 105 |
| 6.2 | 光纤制造的要求 | 105 |
| 6.3 | 玻璃光纤 | 106 |
| 6.4 | 熔石英光纤 | 107 |
| 6.5 | 塑料光纤 | 113 |
| 6.6 | 特种光纤和光导 | 115 |
| 6.7 | 本章小结 | 119 |

| | | |
|------------|----------------------|------------|
| 6.8 | 下章内容 | 119 |
| 6.9 | 深入阅读 | 119 |
| 6.10 | 本章思考题 | 120 |
| 6.11 | 本章测验 | 120 |
| 第7章 | 特殊用途光纤 | 123 |
| 7.1 | 本章简介 | 123 |
| 7.2 | 光纤光栅 | 123 |
| 7.3 | 用于放大器和激光器的掺杂光纤 | 129 |
| 7.4 | 侧面发光装饰性光纤 | 132 |
| 7.5 | 光子带隙或“多孔”光纤 | 133 |
| 7.6 | 渐变折射率光纤透镜 | 134 |
| 7.7 | 传感光纤 | 135 |
| 7.8 | 本章小结 | 135 |
| 7.9 | 下章内容 | 136 |
| 7.10 | 深入阅读 | 136 |
| 7.11 | 本章思考题 | 136 |
| 7.12 | 本章测验 | 137 |
| 第8章 | 光纤成缆 | 139 |
| 8.1 | 本章简介 | 139 |
| 8.2 | 成缆基础 | 139 |
| 8.3 | 成缆原因 | 140 |
| 8.4 | 光缆类型 | 143 |
| 8.5 | 构成光缆结构的元素 | 147 |
| 8.6 | 光缆敷设 | 153 |
| 8.7 | 光缆变化和光缆故障 | 153 |
| 8.8 | 本章小结 | 154 |
| 8.9 | 下章内容 | 155 |
| 8.10 | 深入阅读 | 155 |
| 8.11 | 本章思考题 | 155 |
| 8.12 | 本章测验 | 155 |
| 第9章 | 光源 | 158 |
| 9.1 | 本章简介 | 158 |
| 9.2 | 对光源的考虑 | 158 |
| 9.3 | LED光源 | 161 |
| 9.4 | 激光原理 | 164 |
| 9.5 | 半导体激光光源 | 167 |
| 9.6 | 垂直腔半导体激光器 | 170 |
| 9.7 | 二极管激光器的波长和材料 | 172 |
| 9.8 | 半导体光放大器 | 177 |

| | | |
|---------------|---------------------------|------------|
| 9.9 | 光纤激光器和放大器 | 178 |
| 9.10 | 其他固态激光源 | 182 |
| 9.11 | 本章小结 | 182 |
| 9.12 | 下章内容 | 183 |
| 9.13 | 深入阅读 | 183 |
| 9.14 | 本章思考题 | 183 |
| 9.15 | 本章测验 | 184 |
| 第 10 章 | 发射机 | 186 |
| 10.1 | 本章简介 | 186 |
| 10.2 | 发射机术语 | 186 |
| 10.3 | 功能上的考虑 | 187 |
| 10.4 | 复用 | 190 |
| 10.5 | 调制 | 191 |
| 10.6 | 单信道发射机设计 | 194 |
| 10.7 | 取样发射机 | 197 |
| 10.8 | 本章小结 | 199 |
| 10.9 | 下章内容 | 199 |
| 10.10 | 深入阅读 | 200 |
| 10.11 | 本章思考题 | 200 |
| 10.12 | 本章测验 | 200 |
| 第 11 章 | 接收机 | 203 |
| 11.1 | 本章简介 | 203 |
| 11.2 | 定义接收机 | 203 |
| 11.3 | 探测器基础 | 205 |
| 11.4 | 性能考虑 | 211 |
| 11.5 | 电子功能 | 216 |
| 11.6 | 接收机电路举例 | 218 |
| 11.7 | 本章小结 | 220 |
| 11.8 | 下章内容 | 220 |
| 11.9 | 深入阅读 | 220 |
| 11.10 | 本章思考题 | 221 |
| 11.11 | 本章测验 | 221 |
| 第 12 章 | 中继器、再生器和光放大器 | 224 |
| 12.1 | 本章简介 | 224 |
| 12.2 | 距离问题 | 224 |
| 12.3 | 放大类型 | 226 |
| 12.4 | 对放大的要求 | 227 |
| 12.5 | 电-光中继器和再生器 | 228 |
| 12.6 | 掺铒光纤放大器 | 229 |

| | | |
|---------------|-------------------|------------|
| 12.7 | 其他掺杂光纤放大器 | 234 |
| 12.8 | 光纤中的喇曼放大 | 234 |
| 12.9 | 半导体光放大器 | 236 |
| 12.10 | 光放大器中的再生 | 240 |
| 12.11 | 本章小结 | 240 |
| 12.12 | 下章内容 | 241 |
| 12.13 | 深入阅读 | 241 |
| 12.14 | 本章思考题 | 241 |
| 12.15 | 本章测验 | 242 |
| 第 13 章 | 连接器与接头 | 244 |
| 13.1 | 本章简介 | 244 |
| 13.2 | 连接器与接头的应用 | 244 |
| 13.3 | 光纤到光纤的衰减 | 245 |
| 13.4 | 内反射 | 250 |
| 13.5 | 连接器中机械方面的考虑 | 251 |
| 13.6 | 连接器的结构 | 252 |
| 13.7 | 连接器的安装 | 254 |
| 13.8 | 连接单纤和多纤光缆 | 254 |
| 13.9 | 标准连接器的类型 | 255 |
| 13.10 | 接合及其应用 | 260 |
| 13.11 | 接合问题及性能 | 261 |
| 13.12 | 接合类型 | 262 |
| 13.13 | 本章小结 | 266 |
| 13.14 | 下章内容 | 266 |
| 13.15 | 深入阅读 | 267 |
| 13.16 | 本章思考题 | 267 |
| 13.17 | 本章测验 | 268 |
| 第 14 章 | 耦合器和其他无源器件 | 271 |
| 14.1 | 本章简介 | 271 |
| 14.2 | 耦合器的概念和应用 | 271 |
| 14.3 | 耦合器的特性 | 274 |
| 14.4 | 耦合器的类型和技术 | 277 |
| 14.5 | 衰减器 | 282 |
| 14.6 | 光隔离器 | 283 |
| 14.7 | 光环行器 | 284 |
| 14.8 | 本章小结 | 287 |
| 14.9 | 下章内容 | 287 |
| 14.10 | 深入阅读 | 287 |
| 14.11 | 本章思考题 | 288 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 14.12 | 本章测验 | 288 |
| 第 15 章 | 波分复用光学 | 291 |
| 15.1 | 本章简介 | 291 |
| 15.2 | WDM 的要求 | 291 |
| 15.3 | 光滤波器和 WDM | 295 |
| 15.4 | WDM 技术 | 299 |
| 15.5 | 构建复用器和解复用器 | 307 |
| 15.6 | 本章小结 | 308 |
| 15.7 | 下章内容 | 309 |
| 15.8 | 深入阅读 | 309 |
| 15.9 | 本章思考题 | 309 |
| 15.10 | 本章测验 | 310 |
| 第 16 章 | 光开关、调制器和其他有源器件 | 312 |
| 16.1 | 本章简介 | 312 |
| 16.2 | 定义有源器件 | 312 |
| 16.3 | 调制器和调制 | 313 |
| 16.4 | 光网络中的交换 | 316 |
| 16.5 | 光开关技术 | 321 |
| 16.6 | 波长变换 | 326 |
| 16.7 | 集成光学 | 327 |
| 16.8 | 光控调制和交换 | 328 |
| 16.9 | 本章小结 | 328 |
| 16.10 | 下章内容 | 329 |
| 16.11 | 深入阅读 | 329 |
| 16.12 | 本章思考题 | 329 |
| 16.13 | 本章测验 | 330 |
| 第 17 章 | 光纤光学测量 | 333 |
| 17.1 | 本章简介 | 333 |
| 17.2 | 光功率测量基础 | 333 |
| 17.3 | 波长和频率测量 | 339 |
| 17.4 | 相位和干涉测量 | 342 |
| 17.5 | 偏振测量 | 343 |
| 17.6 | 时间和带宽测量 | 343 |
| 17.7 | 信号质量测量 | 346 |
| 17.8 | 光纤精确测量 | 347 |
| 17.9 | 本章小结 | 351 |
| 17.10 | 下章内容 | 352 |
| 17.11 | 深入阅读 | 352 |
| 17.12 | 本章思考题 | 353 |

| | | |
|---------------|------------------|------------|
| 17.13 | 本章测验 | 353 |
| 第 18 章 | 故障诊断和测试设备 | 356 |
| 18.1 | 本章简介 | 356 |
| 18.2 | 光纤光学故障诊断 | 356 |
| 18.3 | 测试和测量设备 | 358 |
| 18.4 | 故障诊断步骤 | 368 |
| 18.5 | 本章小结 | 371 |
| 18.6 | 下章内容 | 371 |
| 18.7 | 深入阅读 | 371 |
| 18.8 | 本章思考题 | 372 |
| 18.9 | 本章测验 | 372 |
| 第 19 章 | 系统和光网络的概念 | 375 |
| 19.1 | 本章简介 | 375 |
| 19.2 | 演进的网络 | 375 |
| 19.3 | 电信网络结构 | 376 |
| 19.4 | 传输拓扑 | 378 |
| 19.5 | 传输格式 | 385 |
| 19.6 | 传输容量 | 389 |
| 19.7 | 本章小结 | 396 |
| 19.8 | 下章内容 | 396 |
| 19.9 | 深入阅读 | 396 |
| 19.10 | 本章思考题 | 397 |
| 19.11 | 本章测验 | 397 |
| 第 20 章 | 光纤系统标准 | 400 |
| 20.1 | 本章简介 | 400 |
| 20.2 | 为什么需要标准 | 400 |
| 20.3 | 标准家族 | 401 |
| 20.4 | 标准层 | 402 |
| 20.5 | 传输格式概念 | 405 |
| 20.6 | 交换标准 | 407 |
| 20.7 | 光纤传输标准 | 409 |
| 20.8 | 视频标准 | 412 |
| 20.9 | 光网络标准 | 413 |
| 20.10 | 本章小结 | 413 |
| 20.11 | 下章内容 | 414 |
| 20.12 | 深入阅读 | 414 |
| 20.13 | 本章思考题 | 415 |
| 20.14 | 本章测验 | 415 |
| 第 21 章 | 单信道系统设计 | 418 |

| | | |
|---------------|----------------|------------|
| 21.1 | 本章简介 | 418 |
| 21.2 | 变量 | 418 |
| 21.3 | 功率预算 | 420 |
| 21.4 | 损耗预算的例子 | 424 |
| 21.5 | 传输容量预算 | 429 |
| 21.6 | 成本/性能权衡 | 436 |
| 21.7 | 本章小结 | 438 |
| 21.8 | 下章内容 | 438 |
| 21.9 | 深入阅读 | 439 |
| 21.10 | 本章思考题 | 439 |
| 21.11 | 本章测验 | 439 |
| 第 22 章 | 光网络系统设计 | 443 |
| 22.1 | 本章简介 | 443 |
| 22.2 | WDM 与高速 TDM | 443 |
| 22.3 | 光信道的密度 | 444 |
| 22.4 | 光纤的性质和 WDM | 447 |
| 22.5 | WDM 系统中的非线性效应 | 450 |
| 22.6 | 光放大和 WDM 设计 | 451 |
| 22.7 | 交换和光网络 | 453 |
| 22.8 | 本章小结 | 457 |
| 22.9 | 下章内容 | 458 |
| 22.10 | 本章思考题 | 458 |
| 22.11 | 本章测验 | 458 |
| 第 23 章 | 全球电信应用 | 461 |
| 23.1 | 本章简介 | 461 |
| 23.2 | 电信的定义 | 461 |
| 23.3 | 全球电信网 | 464 |
| 23.4 | 组网 | 466 |
| 23.5 | 海底光缆 | 469 |
| 23.6 | 远程地面系统 | 477 |
| 23.7 | 远程业务的类型 | 480 |
| 23.8 | 本章小结 | 481 |
| 23.9 | 下章内容 | 482 |
| 23.10 | 深入阅读 | 482 |
| 23.11 | 本章思考题 | 482 |
| 23.12 | 本章测验 | 483 |
| 第 24 章 | 区域和城域通信 | 486 |
| 24.1 | 本章简介 | 486 |
| 24.2 | 区域网的结构 | 486 |