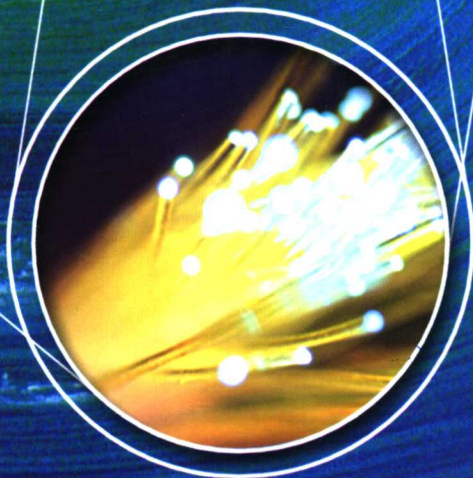


光通信系列丛书

原 荣 编著

光纤通信 (第2版)



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

光通信系列丛书

光 纤 通 信

(第 2 版)

原 荣 编著

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是在作者编著的《光纤通信》(第1版)基础上,根据光纤通信技术的最新进展,为满足广大读者的需求重新编写的。本书共9章,全面介绍光纤通信技术,内容包括光波基础,光纤光缆,光无源有源器件,光接收、发射和放大,调制编码、复用/解复用技术;接着阐述了几种光纤传输系统——如电频分复用(SCM)系统,电时分复用的典型应用SDH系统,光时分复用系统,光波分复用系统,光码分复用系统,以及近来又受到关注的相干光波系统和光纤孤子通信系统;然后介绍了光纤传输系统设计所必须考虑的几个问题;最后指明了光纤色散对系统性能的限制和人们对色散补偿管理的方法。为使读者深入理解书中的内容,每章均插有例题和习题,并在书末给出部分习题答案。

本书可供本科生和研究生使用,也可供从事光纤通信系统和网络研究、教学、规划、设计、使用、管理和维护的有关人员参考,还可作为培训教材使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信 / 原荣编著. —2版. —北京:电子工业出版社, 2006.9

(光通信系列丛书)

ISBN 7-121-03121-3

I. 光… II. 原… III. 光纤通信 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 100674 号

责任编辑:王春宁

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:787×980 1/16 印张:30.25 字数:669 千字

印 次:2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

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,联系电话:(010) 68279077;邮购电话:(010) 88254888。

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

服务热线:(010) 88258888。

前 言

《光纤通信》一书自 2002 年 10 月出版以来, 由于该书内容全, 素材新, 概念解释清楚, 分析深入浅出, 叙述通俗易懂, 简明扼要, 图文并茂, 注重实用, 适合不同层次读者的需要, 受到了读者的厚爱。值此再版之际, 特对第 1 版中的部分内容进行了增删和修订。

在 20 世纪 80 年代中期, 相干光接收技术的研究非常火热。后来, 由于 DWDM 技术的出现, 加之当时相干光接收技术所需要的光器件不成熟, 所以 DWDM 成为光纤通信发展的焦点。现在, 波长稳定、谱线狭窄的光源已经出现, 同时波长可调谐的 LD 也已研制成功, 它们可以基本满足相干光接收的要求, 所以相干光接收技术的研究又开始受到人们的关注。为此, 第 2 版增加了有关内容, 并单独列为一节。

第 1 版第 6 章内容有点凌乱, 重点不太突出, 这次再版, 作者重新组织, 删除了陈旧的内容, 补充了最新的技术, 重点突出了波分复用和光时分复用的基本原理和相关系统的介绍。

为了使本书更系统全面, 第 2 版增加了光纤制造工艺、光纤传输特性测量和 TDM 的典型应用——SDH 传输系统。为了使读者在学完每章后自己测试对基本概念的理解, 同时也为了教学的需要, 这次在习题前增加了复习思考题。

另外, 对光纤通信史的回顾、光纤通信的优点和部分插图文字等处的内容进行了修改。修订后的插图和文字比原来更清楚, 表达更完善规范。

为了不增加篇幅, 对原书不太重要的部分内容, 如电缆网络的缺点、脉冲编码调制、FDM 互调产物和载频间距进行了删除。

为了教师和工程技术人员电子教学的需要, 这次再版提供了一张光盘, 内有书中各章的所有插图, 另外还提供了一套供短训班(约一周学习时间)所使用的 PowerPoint 文件。本书的所有插图都是作者用 Msdraw 一点一线画出来的, 它花费了作者许多时间, 但它清晰紧凑, 可以放大或缩小, 易于修改引用和制作成 PowerPoint 文件。作者愿意提供出来供大家分享。

本书可供本科生和研究生使用, 也可作为培训教材使用。教师可根据教学对象和教学时间进行适当的安排。对于研究生, 如果时间允许可以全部采用; 对于本科生, 如果时间所限可以只讲基础和概念部分。比如, 光纤色散和带宽可以只介绍概念; 滤波器、波分复用/解复用器、调制器和光开关每一类都包括好多种, 在教学时可以只选几种; 光纤非线性效应、功率代价因素和相干检测也可以不讲或少讲; 对于色散补偿和管理, 也可以只介绍目前广泛使用的 DCF 色散补偿和预啁啾补偿技术。如果教学对象已具备光学和电磁场方面的基础知识, 第 1 章中的一些预备知识也可以不讲或只做一些承上启下的简单介绍。

对于一般的读者，即使你以前没有无线电和通信的背景知识，只要你从头读起，也会理解书中的内容，使你对光纤通信有所了解。因为本书从概念和基础讲起，前后又有连贯性和条理性。对于已具有光纤通信背景知识的读者，可以根据各自的情况通读，也可以根据实际工作需要挑选其中的一些内容阅读。

如果有的读者想了解更多的细节，可以查找书末列出的文献资料。本书最后给出名词术语索引和例题目录，在阅读和实际工作中可以根据需要从关键字查找到所需要的内容、数据参数和工程上常用的计算公式和图表。

虽然第2版已对书中个别地方出现的错误做了改正，但书中可能还会有不妥及错误之处，敬请读者指正。

原 荣

2006年6月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 光纤通信技术发展	(1)
1.1.1 光纤通信的优点	(3)
1.1.2 三种基本的光纤通信系统	(6)
1.1.3 光纤接入网技术介绍	(6)
1.1.4 三代网络技术比较	(8)
1.1.5 光传送网的关键技术	(10)
1.1.6 通信网络的分层结构	(12)
1.2 光波基础	(14)
1.2.1 光的本质	(14)
1.2.2 均匀介质中的光波	(15)
1.2.3 相速度和折射率	(19)
1.2.4 群速度和群折射率	(20)
1.3 光与介质的相互作用	(22)
1.3.1 斯奈尔定律和全反射	(22)
1.3.2 内 / 外反射、抗反射膜和电介质镜	(23)
1.3.3 光多次干涉和谐振	(30)
1.3.4 古斯-汉森相移和分光镜	(33)
1.3.5 相干	(35)
1.3.6 衍射	(37)
1.3.7 偏振	(41)
1.3.8 双折射—光在各向异性介质中的传输	(43)
1.3.9 非线性光学效应	(47)
1.4 平面介质波导	(48)
1.4.1 波导条件	(48)
1.4.2 单模和多模波导	(49)
复习思考题	(50)
习题	(51)

第2章 光纤和光缆	(54)
2.1 光纤结构和类型	(54)
2.1.1 多模光纤	(55)
2.1.2 单模光纤	(58)
2.1.3 光纤制造工艺	(58)
2.2 光纤传输原理	(59)
2.2.1 传输条件	(59)
2.2.2 光纤模式	(61)
2.2.3 单模光纤的基本特性	(68)
2.3 光纤传输特性	(71)
2.3.1 衰减	(71)
2.3.2 色散	(73)
2.3.3 比特速率	(81)
2.3.4 带宽	(83)
2.3.5 非线性光学效应	(88)
2.4 单模光纤的进展和应用	(91)
2.4.1 G. 652 标准单模光纤	(91)
2.4.2 G. 653 色散移位光纤	(91)
2.4.3 G. 654 衰减最小光纤	(92)
2.4.4 G. 655 非零色散光纤	(92)
2.4.5 全波光纤	(93)
2.4.6 色散补偿光纤	(94)
2.5 光纤的选择	(95)
2.6 光缆	(97)
2.6.1 对光缆的基本要求	(97)
2.6.2 光缆结构和类型	(99)
2.6.3 海底光缆	(101)
2.7 光纤传输特性测量	(104)
2.7.1 损耗测量	(104)
2.7.2 带宽测量	(106)
2.7.3 色散测量	(107)
复习思考题	(108)
习题	(108)

第3章 光纤通信器件	(110)
3.1 连接器	(110)
3.1.1 连接损耗	(110)
3.1.2 活动连接器结构和特性	(111)
3.1.3 接头	(113)
3.1.4 连接方法的比较	(114)
3.2 耦合器	(115)
3.3 可调谐光滤波器	(117)
3.3.1 法布里-珀罗滤波器	(118)
3.3.2 马赫-曾德尔滤波器	(122)
3.3.3 光栅滤波器	(124)
3.3.4 光纤环路谐振带通滤波器	(127)
3.3.5 调谐滤波器性能比较	(128)
3.4 波分复用/解复用器	(129)
3.4.1 棱镜解复用器	(129)
3.4.2 光栅解复用器	(130)
3.4.3 介质薄膜干涉滤波器解复用器	(133)
3.4.4 熔拉双锥耦合波分复用器	(135)
3.5 调制器	(136)
3.5.1 电光调制器	(137)
3.5.2 声光调制器	(143)
3.5.3 电吸收波导调制器	(145)
3.6 光开关	(146)
3.6.1 机械光开关	(147)
3.6.2 波导光开关	(148)
3.7 光隔离器	(153)
3.8 光环行器	(155)
3.9 分插复用器	(156)
3.10 波长转换器	(157)
3.11 交叉连接器	(158)
复习思考题	(159)
习题	(160)

第 4 章 光源和光发射机	(161)
4.1 概述	(161)
4.2 发光机理	(162)
4.2.1 发光机理	(162)
4.2.2 受激发射条件	(165)
4.2.3 光增益	(167)
4.2.4 激光器起振的阈值条件	(169)
4.2.5 激光器起振的相位条件	(171)
4.3 器件结构	(174)
4.3.1 异质结半导体激光器	(174)
4.3.2 量子限制激光器	(174)
4.3.3 分布反馈激光器	(177)
4.4 波长可调谐半导体激光器	(180)
4.5 垂直腔表面发射激光器	(185)
4.6 半导体激光器的特性	(186)
4.6.1 半导体激光器的基本特性	(187)
4.6.2 模式特性	(192)
4.6.3 调制响应	(192)
4.6.4 半导体激光器噪声	(196)
4.7 光发射机设计	(198)
4.7.1 驱动电路	(198)
4.7.2 可靠性	(201)
4.8 光频稳定及其控制	(202)
4.9 对激光器的保护	(204)
4.9.1 光源慢启动保护	(204)
4.9.2 激光器过流保护	(205)
4.9.3 反向冲击电流保护	(205)
4.9.4 焊接和静电保护	(206)
4.10 光纤激光器	(206)
4.10.1 掺铒光纤激光器	(206)
4.10.2 光纤光栅分布反馈式 (DFB) 激光器	(207)
复习思考题	(208)
习题	(208)

第 5 章 光探测及光接收机	(210)
5.1 光探测原理	(210)
5.2 光电二极管	(212)
5.2.1 PIN 光电二极管	(212)
5.2.2 雪崩光电二极管	(214)
5.2.3 响应带宽	(216)
5.2.4 新型 APD 结构	(218)
5.2.5 MSM 光电探测器	(221)
5.3 数字光接收机	(221)
5.3.1 光电变换和前置放大	(222)
5.3.2 线性放大	(223)
5.3.3 数据恢复	(225)
5.4 接收机信噪比 (SNR)	(226)
5.4.1 噪声机理	(226)
5.4.2 PIN 光接收机	(227)
5.4.3 APD 接收机	(228)
5.5 接收机误码率和灵敏度	(232)
5.5.1 比特误码率	(232)
5.5.2 最小平均接收光功率	(236)
5.5.3 光电探测器的量子限制	(238)
5.6 灵敏度下降机理	(239)
5.7 光接收机的性能	(241)
复习思考题	(242)
习题	(242)
第 6 章 光放大器	(244)
6.1 一般概念	(244)
6.1.1 增益频谱和带宽	(245)
6.1.2 增益饱和	(246)
6.1.3 放大器噪声	(247)
6.1.4 光放大器应用	(249)
6.2 半导体光放大器	(250)
6.2.1 放大器设计	(250)
6.2.2 行波光放大器特性	(253)

6.2.3 半导体光放大器的应用	(256)
6.3 光纤拉曼放大器	(257)
6.3.1 分布式拉曼放大器的工作原理和特性	(258)
6.3.2 拉曼放大器对系统性能的影响	(263)
6.3.3 拉曼放大技术应用	(264)
6.4 光纤布里渊放大器	(265)
6.5 掺铒光纤放大器	(267)
6.5.1 掺铒光纤结构	(267)
6.5.2 工作原理及其特性	(268)
6.5.3 掺铒光纤放大器的优点	(275)
6.5.4 EDFA 的应用	(276)
6.5.5 实用 EDFA 构成	(277)
6.5.6 掺镨光纤放大器	(278)
6.6 光放大器系统应用	(278)
6.6.1 前置放大器	(279)
6.6.2 放大器级联	(281)
复习思考题	(285)
习题	(285)
第 7 章 光纤传输系统	(287)
7.1 概述	(287)
7.1.1 调制	(287)
7.1.2 编码	(295)
7.1.3 复用	(298)
7.2 光调制	(299)
7.2.1 模拟强度光调制	(299)
7.2.2 数字强度光调制	(300)
7.3 电复用光纤传输系统	(301)
7.3.1 频分复用光纤传输系统	(301)
7.3.2 微波副载波复用 (SCM) 光纤传输系统	(305)
7.3.3 SDH 光纤传输系统—电时分复用的典型应用	(310)
7.4 光复用光纤传输系统	(316)
7.4.1 波分复用 (WDM) 光纤传输系统	(317)
7.4.2 光时分复用 (OTDMA) 光纤传输系统	(319)
7.4.3 光码分复用 (OCDM) 光纤传输系统	(326)

7.5	相干光波通信系统	(328)
7.5.1	相干检测	(329)
7.5.2	信噪比 (SNR)	(331)
7.5.3	相干解调方式	(332)
7.5.4	相干系统光调制	(334)
7.5.5	相位噪声和相位分集接收	(338)
7.5.6	强度噪声和平衡混频接收	(340)
7.5.7	极化匹配和极化控制	(341)
7.5.8	相干实验系统	(342)
7.6	光纤孤子通信实验系统	(343)
7.6.1	基本概念	(343)
7.6.2	光孤子通信实验系统组成	(344)
	复习思考题	(345)
	习题	(345)
第 8 章	系统设计	(348)
8.1	系统结构和限制	(348)
8.1.1	系统结构	(348)
8.1.2	损耗限制系统	(352)
8.1.3	色散限制系统	(353)
8.2	功率预算	(355)
8.2.1	陆地系统功率预算	(355)
8.2.2	海底光缆系统功率预算	(356)
8.3	功率代价因素	(360)
8.3.1	光纤模式噪声	(360)
8.3.2	色散引起的脉冲展宽	(361)
8.3.3	激光器模式分配噪声	(363)
8.3.4	LD 的频率啁啾	(366)
8.3.5	反射噪声	(368)
8.4	带宽设计	(370)
8.5	单信道光纤通信系统设计	(373)
8.5.1	模拟系统设计	(374)
8.5.2	数字系统设计	(377)
8.6	DWDM 系统工程设计	(380)
8.6.1	中心频率和信道间隔	(380)

8.6.2 线性串话	(381)
8.6.3 非线性串话	(384)
8.6.4 光放大器系统设计	(387)
8.6.5 光功率预算	(390)
8.6.6 网络管理	(391)
8.6.7 网络保护和生存对策	(392)
8.6.8 网络互联	(393)
8.6.9 DWDM 网络信道数计算	(393)
复习思考题	(394)
习题	(395)
第 9 章 色散限制、补偿和管理	(397)
9.1 色散引起脉冲展宽	(398)
9.1.1 基本传输方程	(398)
9.1.2 高斯脉冲输入	(399)
9.2 色散对系统性能的限制	(402)
9.2.1 对系统比特速率的限制	(402)
9.2.2 对系统传输距离的限制	(404)
9.3 后补偿技术	(406)
9.4 前补偿技术	(406)
9.4.1 预啁啾补偿	(407)
9.4.2 FSK 调制补偿	(408)
9.4.3 双二进制编码	(409)
9.4.4 半导体光放大器产生啁啾补偿	(409)
9.4.5 光纤引入啁啾	(410)
9.5 负色散 DCF 补偿	(410)
9.6 光滤波器补偿	(412)
9.6.1 法布里-玻罗干涉滤波器	(413)
9.6.2 马赫-曾德尔干涉滤波器	(413)
9.6.3 光纤光栅滤波器	(414)
9.7 相位共轭补偿	(418)
9.8 镜像相位阵列补偿	(419)
9.9 宽带系统色散补偿	(421)
9.9.1 光时分复用系统色散补偿	(421)
9.9.2 波分复用系统色散补偿	(422)

9.10 色散管理	(425)
9.10.1 长距离系统色散管理	(425)
9.10.2 动态色散管理	(426)
复习思考题	(428)
习题	(428)
附录 A 部分习题答案	(430)
附录 B 电磁波频率与波长的换算	(433)
附录 C1 dBm 与 mW 换算表	(434)
附录 C2 dB 值和功率比 ($\text{dB} = 10 \lg(P_2/P_1)$)	(435)
附录 C3 百分损耗 (%) 与分贝 (dB) 损耗换算表	(436)
附录 D PDH 与 SDH 速率等级	(437)
附录 E $\Delta\lambda$ 和 $\Delta\nu$ 的关系	(439)
附录 F 物理常数	(440)
附录 G ITU-T 关于 WDM 系统波长安排	(441)
附录 H 名词术语索引	(443)
附录 I 例题目录	(463)
参考文献	(466)

第1章 概述

- 🔊 光纤通信技术发展
- 🔊 光波基础
- 🔊 光与介质的相互作用
- 🔊 平面介质波导

1.1 光纤通信技术发展

光通信是利用光波作为载波来传递信息的。广义地说,用光传递信息并不是什么新鲜的事。早在公元两千多年以前,我们的祖先就在都城和边境堆起一些高高的土丘,遇到敌人入侵,就在这些土丘上燃起烟火传递受到入侵的信息,各地诸侯看见烟火就立刻领兵来救援。其中还有著名的“周幽王烽火戏诸侯”的故事。这种土丘就叫烽火台,如图 1.1.1 所示,它就是一种古老的光通信设备。

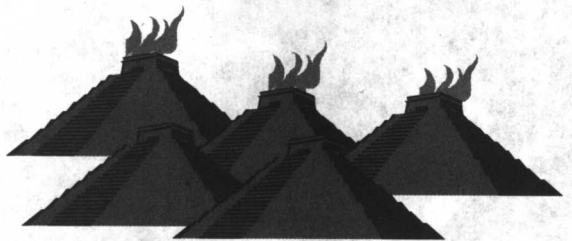


图 1.1.1 古老的光通信设备——烽火台

由于人们无法解决光向四面八方散射时,光强减弱和不能通过障碍物的问题,因此,直到 20 世纪 60 年代初,光通信都没有什么重大的进展。它仅仅作为一种信号灯使用,如马路上的红绿灯,机场上的跑道标志灯和航标灯,等等。

但是到了 20 世纪 60 年代中期,情况就发生了根本的变化。而且这种变化还是由于一位中国人引起的,他就是高锟!早在 1966 年,英籍华人高锟发表了关于通信传输新介质的论文,当时他还是一个在英国 Harlow ITT 实验室工作的年轻工程师,他指出利用光导纤维进行信息传输的可能性和技术途径,从而奠定了光纤通信的基础。在高锟早期的实验

中, 光纤的损耗约为 3 000 dB/km, 他指出这么大的损耗不是石英纤维本身的固有特性, 而是由于材料中的杂质离子的吸收产生的。如果把材料中金属离子含量的比重降低到 10^{-6} 以下, 光纤损耗就可以减小到 10 dB/km。再通过改进制造工艺, 提高材料的均匀性, 可进一步把光纤的损耗减少到几 dB/km。这种想法很快就变成了现实。1970 年光纤研制取得了重大突破, 美国康宁公司按照高锟的思路生产出了 20 dB/km 的石英光纤, 1972 年该公司生产的高纯石英多模光纤的损耗已下降到 4 dB/km。1973 年美国贝尔 (Bell) 实验室生产的光纤损耗为 2.5 dB/km, 1974 年为 1.1 dB/km。1976 年日本电报电话 (NTT) 公司在波长为 1 200 nm 时产生的光纤损耗已减小到 0.47 dB/km。到了 20 世纪 80 年代初, 单模光纤在波长为 1 550 nm 时的损耗已降到 0.2 dB/km, 接近了石英光纤的理论损耗极限。

在光纤损耗降低的同时, 作为光纤通信用的光源, 半导体激光器也发明了, 并取得了实质性的进展。1973 年半导体激光器的寿命是 7 000 小时, 1977 年贝尔实验室已达到 10 万小时, 完全满足实用化的要求。1979 年美国 AT&T 公司和日本 NTT 公司又研制成功了长波长 (1 550 nm) 连续振荡半导体激光器。低损耗光纤和连续振荡半导体激光器的研制成功, 是光纤通信发展的重要里程碑。

现已安装使用的光纤通信系统, 光纤长度有的很短, 只有几米长 (计算机内部或机房内), 有的又很长, 如连接洲与洲之间的海底光缆。20 世纪 70 年代中期以来, 光纤通信的发展速度之快令人震惊, 可以说没有任何一种通信方式可与之相比拟。光纤通信已成为所有通信系统的最佳技术选择。由于高锟在开创光纤通信历史上的卓越贡献, 1998 年 IEE 授予他荣誉奖章, 如图 1.1.2 所示。

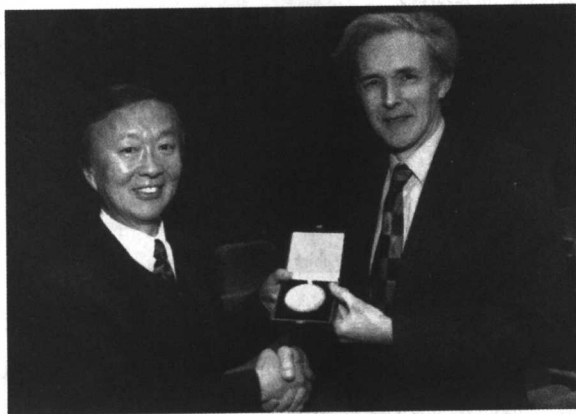


图 1.1.2 光纤通信发明家高锟 (左) 1998 年在英国接受 IEE 授予的奖章

目前, 数据业务呈爆炸式增长, 通信道路越来越拥挤, 光通信是唯一的出路。所以, 世界上所有新建的干线通信系统均采用光缆。由于波分复用技术和光纤技术的突飞猛进, 现在一根光纤上的传输容量每 9~12 个月就翻一番。5 Gb/s 系统已在横跨太平洋的海底光缆系统 (TPC-5/6) 中使用。波分复用 (WDM) 系统也在海底光缆系统上使用。2002 年



阿尔卡特在 C 波段和 L 波段成功地进行了 10.2 Tb/s (256×42.7 Gb/s) 距离为 3×100 km 的传输试验。此后, 通信界没有继续扩大通信容量, 大容量的试验速率仍维持在 10.2 Tb/s。烽火通信科技股份有限公司于 2005 年也进行了 3.2 Tb/s (80×40 Gb/s) DWDM 系统 800 km 的传输实验。由于光电技术的发展和逐渐成熟, 世界光纤市场和光电器件市场销售大幅增长, 而市场价格却急剧下降。光纤通信产业方兴未艾, 其旺盛的生命力令人振奋。

1.1.1 光纤通信的优点

在光纤通信系统中, 作为载波的光波频率比电波频率高得多, 而作为传输介质的光纤又比同轴电缆损耗低得多, 因此相对于电缆或微波通信, 光纤通信具有许多独特的优点。

1. 频带宽、传输容量大

电缆和光纤的损耗和频带比较如表 1.1.1 所示, 由表可见, 电缆基本上只适用于数据速率较低的局域网 (LAN), 高速局域网 (≥ 100 Mb/s) 和城域网 (MAN) 必须采用光纤。在零色散波长窗口, 单模光纤具有几百 Gb/s·km。

表 1.1.1 电缆和光纤的损耗和频带比较

类型		频带 (或频率)	损耗 / (dB/km)	传输容量 (话路 / 线)
微波				960
对称电缆		4 kHz	2.06	
细同轴电缆 ($\phi 1.2 / 4.4$)		1 MHz	5.24	960
		30 MHz	28.70	
粗同轴电缆 ($\phi 2.4 / 9.4$)		1 MHz	2.42	1 800
		60 MHz	18.77	
渐变折射率 多模光纤	0.85 μm	(200~1 000) MHz·km	≤ 3	200
	1.31 μm	$\geq 1\,000$ MHz·km	≤ 1.0	
单模 光纤	1.31 μm	> 100 GHz	0.36	32 000 (2.5 Gb/s)
	1.55 μm	(10~100) GHz	0.2	

另外, 可以采用多种复用技术来增加传输容量, 如图 1.1.3 所示。光多路传输技术是充分挖掘光纤带宽潜力、扩大通信容量的技术之一。采用多路传输技术可以充分利用光纤带宽, 给通信带来巨大的经济效益。目前研究开发的光复用技术有波分复用 (WDM)、光时分复用 (OTDM) 和光码分复用 (OCDM), 其中密集波分复用 (DWDM) 技术现已商业应用。

光时分复用技术是当比特率超过 10 Gb/s 时, 为了克服高速电子器件和半导体激光器直接调制能力的限制所采用的扩大传输容量的复用方式。它是用多个电信道信号调制具有