

“十一五”国家重点图书出版规划项目

光电技术与系统精品丛书

光纤性能测试与网络应用

Optical Fiber Performance Measurement

• • and Network Applications

胡先志 余少华 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

“十一五”国家重点图书出版规划项目

光电技术与系统精品丛书

光纤性能测试与网络应用

胡先志 余少华 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书共分8章,系统而全面地介绍了光纤通信常用的光纤传输理论、光纤设计思想、光纤制造技术、光纤类型特点、光纤的光学性能、传输性能、机械性能和环境性能及其测试方法、光纤传输系统特点、光纤线路测试方法等内容。

本书内容新颖、重点突出,使阅读此书的读者能理解并掌握光纤传输理论、光纤设计方法、光纤制造工艺、常用光纤类型及其性能特点、光纤性能测量方法、光纤性能与光纤通信系统彼此依存关系、保证光纤线路安全可靠工作的测试方法。

本书可供从事光纤通信领域科研、生产、施工、维护等方面工作的技术人员参考使用,也可以作为大专院校通信工程、电子信息、光信息等专业师生的教学参考书。

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

光纤性能测试与网络应用/胡先志,余少华编著. —北京:电子工业出版社,2013.1

(光电技术与系统精品丛书)

ISBN 978-7-121-18955-5

I. ①光… II. ①胡… ②余… III. ①光纤通信—性能检测 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第272458号

责任编辑:王春宁

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:20.5 字数:521千字

印 次:2013年1月第1次印刷

定 价:58.00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 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

通信是实现信息传输和交换的技术手段。通信技术的进步推动了经济发展和社会文明。通信技术研究的重点是：提高容量、确保安全和降低成本。通信技术从电线通信发展到光纤通信源于光纤通信具有容量巨大、安全可靠和成本极低的特点。光纤通信为人类进入信息社会奠定了坚实的基础。

1966 年，华裔科学家高锟博士等提出光纤通信设想。1970 年，美国康宁玻璃公司研制出第一根衰减系数为 20 dB/km 的石英玻璃光纤，同年美国贝尔实验室和日本电气研究所几乎同时研制出在室温下连续工作的半导体激光器。石英玻璃光纤作为通信的传输介质，可以提供巨大带宽、长距离传输；半导体激光器作为光源，具有体积小、寿命长、易调制的特点；为光纤通信进入工程应用创造了必要的条件。1976 年，美国贝尔实验室建立了世界上第一个光纤通信试验系统。该系统所用的光纤是多模光纤，使用工作波长为 0.85 μm 的 GaAlAs 激光器作光源，其传输速率为 44.7 Mb/s，传输距离为 10 km，在亚特兰大到华盛顿之间进行了现场试验，系统进行全面性能测试之后，很快就投入了商业运行，向实用化迈出了坚实的一步。

1976 年以后，光纤传输系统从低速率、短距离的准同步数字体系到高速率、长距离的同步数字体系，再到高速率、长距离、大容量的波分复用、密集波分复用，进而再到小容量、短距离、低成本的稀疏波分复用和接入光网络的发展，使得光纤性能研究走过的具体历程是：①降低衰减；②减小色散；③解决非线性效应；④消除水吸收峰；⑤降低偏振模色散；⑥减小色散斜率，扩大工作波长范围；⑦提高抗弯曲性能等。从而使光纤品种不断地推陈出新，由 G.651 光纤、G.652 光纤、G.653 光纤、G.654 光纤到 G.655 光纤、G.656 光纤、G.657 光纤。

光纤性能是使光纤传输系统实现高速率、长距离、大容量的根本所在。例如，G.655 光纤在 1550 nm 的低衰减、合理的非零色散、宽阔的工作波长范围，赋予其供高速率、长距离、大容量密集波分复用系统使用的特性。

光纤设计和制造工艺是获得光纤的基础，判断光纤性能是否达到设计要求，能够满足不同通信系统对光纤性能的要求，只有通过光纤性能测试环节获得的具体数据进行分析，才能验证被测光纤性能是否合格。确切地讲，光纤性能测试既是确保光纤产品质量、正常使用的必要措施，更是开发和研制光纤新品种的技术手段。

光纤通信系统经历了一个由电时分复用的 SDH 系统、波分复用的 DWDM 系统到光时分复用的 OTDM 系统再到光正交频分复用的 OOFDM 系统的发展过程。这些系统的技术进步

是通过光器件、信号处理等技术使系统实现高效率（大容量）、低成本。

光网络是通过光缆线路将网络节点连接所构成的各种物理拓扑。只有确保光缆线路长期安全可靠地工作，才能保证光网络能够为不同用户提供各种通信业务。采用光缆线路综合管理系统是提高光缆线路运行和维护质量的重要举措。利用光缆线路性能自动监测、故障定位，可以大大提高光网络的安全可靠性。

21 世纪是光纤光缆产业所逢盛世，如何借助科学方法合理设计光纤、光缆结构和性能，精心制造光纤、光缆产品，正确测量光纤、光缆特性，仪器与装置；如何运用科学的测量方法来确保光纤光缆产品自身性能的优良，正确设计光纤通信系统；采用什么监控措施确保光缆线路长期安全可靠地运行，这些正是本书着重解决的问题。

鉴于近二三年光纤通信技术的飞速发展，光纤通信系统的传输容量和传输距离的记录不断刷新，具有优异性能的光器件层出不穷，进而大大缩短了光纤、光缆的性能和品种更新周期。特别是进入了 21 世纪，国际标准化组织，如 IEC 和 ITU-T 等接二连三地颁布最新版本的光纤、光缆的性能要求、品种分类和测量方法的标准。为了及时掌握国际光纤、光缆的技术发展动态，国内应该及时出版一本内容新颖、实用性强的光纤光缆工程应用专著来满足从事光纤光缆科研、生产和光缆施工、维护的人员的工作需要。

本书作者以 20 多年从事光纤通信研究工作亲身的经验和以国际电工委员会（IEC）、国际电信联盟（ITU-T）、国家标准（GB/T）和通信行业标准（YD/T）等有关光纤、光缆的性能要求、品种分类测量和工程应用规范的最新版本为依据，同时，在阅读了介绍光纤、光缆技术领域最新成果的书刊文献的基础上，再总结我们的工作实践经验，结合我国国情，编著了此书。力求做到内容新颖、技术先进、实用方便。本书全面地介绍了光纤、光缆特性的发展历史、基本概念、材料限制、制造技术、性能测量，以及光缆工程竣工验收、线路维护等内容。

在本书编写过程中，我们参考借鉴了国内外不少同行的相关著述，在此向他们表示真诚的感谢。对于有关专家的研究成果，我们已在书末的参考文献中一一列举，但难免有遗漏，还请他们多加谅解。

由于本书涉及光纤光缆产业中材料选择、产品制造、性能测量及工程应用等各个方面的技术问题，书中内容广泛且技术新颖，加之作者专业水平有限，书中难免出现一些谬误和不足，恳请读者批评指正。

编著者

2012 年 9 月 12 日

目 录

第 1 章 光纤传输理论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 光纤的结构和特点	(2)
1.2.1 光纤结构	(2)
1.2.2 光纤特点	(2)
1.3 光纤通信	(3)
1.4 几何光学	(7)
1.4.1 全内反射	(7)
1.4.2 折射率分布	(8)
1.4.3 相对折射率差	(9)
1.4.4 数值孔径	(10)
1.5 光纤传输理论	(12)
1.5.1 光射线理论	(12)
1.5.2 光波动理论	(15)
参考文献	(20)
第 2 章 光纤设计	(21)
2.1 概述	(21)
2.2 光纤设计	(21)
2.2.1 设计原则	(21)
2.2.2 设计理论	(22)
2.3 折射率分布结构	(23)
2.3.1 设计目的	(23)
2.3.2 基本结构	(24)
2.4 通信光纤设计实例	(26)
2.4.1 多模光纤折射率分布	(26)
2.4.2 单模光纤折射率分布	(28)
2.5 特种光纤设计实例	(31)

2.5.1	塑料光纤	(31)
2.5.2	有源光纤	(33)
2.5.3	色散补偿光纤	(34)
2.5.4	光子晶体光纤	(35)
2.6	光纤研究方向	(35)
	参考文献	(37)
第 3 章	光纤制造	(38)
3.1	概述	(38)
3.2	光纤材料	(38)
3.2.1	材料选择	(38)
3.2.2	材料分类	(39)
3.2.3	主要材料	(40)
3.2.4	辅助材料	(42)
3.3	光纤制造	(44)
3.3.1	制造工艺类型	(44)
3.3.2	气相沉积工艺	(44)
3.3.3	非气相沉积工艺	(45)
3.3.4	拉丝工艺	(48)
	参考文献	(49)
第 4 章	光纤类型及其性能特点	(50)
4.1	概述	(50)
4.2	通信光纤类型	(50)
4.3	通信光纤性能特点	(52)
4.3.1	常用多模光纤	(52)
4.3.2	常用单模光纤	(56)
4.4	特种光纤性能特点	(73)
4.4.1	塑料光纤	(73)
4.4.2	有源光纤	(77)
4.4.3	色散补偿光纤	(80)
4.4.4	光子晶体光纤	(83)
	参考文献	(87)
第 5 章	光纤性能	(89)

5.1	概述	(89)
5.2	光纤几何光学性能	(90)
5.2.1	作用	(90)
5.2.2	光纤几何参数	(90)
5.2.3	涂覆层尺寸	(91)
5.2.4	光纤长度	(92)
5.3	光纤传输性能	(92)
5.3.1	模场直径	(92)
5.3.2	截止波长	(93)
5.3.3	衰减	(95)
5.3.4	色散	(101)
5.3.5	偏振模色散	(106)
5.3.6	非线性效应	(110)
5.4	光纤机械性能	(117)
5.4.1	研究目的	(117)
5.4.2	断裂机理	(117)
5.4.3	提高光纤强度措施	(120)
5.5	光纤环境性能	(121)
5.5.1	研究目的	(121)
5.5.2	作用机理	(122)
5.5.3	提高耐环境性能措施	(122)
	参考文献	(122)
第6章	光纤性能测试	(124)
6.1	概述	(124)
6.2	测试分类与方法	(124)
6.2.1	测试	(124)
6.2.2	测试分类	(125)
6.2.3	测试方法	(126)
6.3	测试标准	(126)
6.3.1	标准	(126)
6.3.2	标准层次	(127)
6.4	光纤几何尺寸参数测量	(132)
6.4.1	测量内容	(132)
6.4.2	测试方法	(132)

6.4.3	测试原理	(133)
6.5	光纤传输性能测量	(138)
6.5.1	模场直径	(138)
6.5.2	截止波长	(146)
6.5.3	衰减	(151)
6.5.4	色散	(167)
6.5.5	偏振模色散	(174)
6.5.6	非线性效应	(184)
6.6	光纤机械性能测试	(201)
6.6.1	光纤筛选	(201)
6.6.2	光纤抗拉强度	(204)
6.6.3	涂覆层可剥性	(206)
6.6.4	应力腐蚀敏感性参数	(209)
6.6.5	光纤翘曲	(213)
6.7	光纤环境性能测试	(217)
6.7.1	恒定湿热	(217)
6.7.2	干热	(218)
6.7.3	温度循环	(219)
6.7.4	浸水	(222)
	参考文献	(223)
第 7 章	光纤传输系统	(224)
7.1	概述	(224)
7.2	准同步数字体系传输系统	(224)
7.2.1	产生	(224)
7.2.2	特点	(225)
7.3	同步数字体系传输系统	(227)
7.3.1	产生	(227)
7.3.2	特点	(227)
7.3.3	网络节点接口	(228)
7.3.4	速率等级	(229)
7.3.5	帧结构	(229)
7.3.6	映射、定位和复用	(234)
7.3.7	保护与恢复	(237)
7.3.8	应用实例	(238)

7.4	多业务传送平台	(239)
7.4.1	产生	(239)
7.4.2	功能特点	(239)
7.4.3	关键技术	(240)
7.4.4	应用实例	(246)
7.5	波分复用传输系统	(248)
7.5.1	产生	(248)
7.5.2	波分复用原理	(248)
7.5.3	波分复用系统	(249)
7.5.4	光接口规范	(266)
7.5.5	系统管理	(269)
7.5.6	应用实例	(270)
7.6	光时分复用系统	(278)
7.6.1	产生	(278)
7.6.2	复用原理	(279)
7.6.3	系统组成	(279)
7.6.4	关键技术	(280)
7.6.5	试验系统	(281)
	参考文献	(282)
第 8 章	光纤线路测试	(284)
8.1	概述	(284)
8.2	单盘光缆现场复测	(284)
8.2.1	规定	(284)
8.2.2	光缆长度复测	(285)
8.2.3	光缆衰减测量	(289)
8.3	光缆线路衰减测量	(293)
8.3.1	衰减定义	(293)
8.3.2	测量方法	(294)
8.3.3	衰减曲线测量	(295)
8.4	光缆线路色散衰减测量	(299)
8.4.1	定义	(299)
8.4.2	测量方法	(299)
8.5	光缆线路偏振色散测量	(299)
8.5.1	定义	(299)

8.5.2	测量意义	(303)
8.5.3	测试实例	(303)
8.6	光缆线路故障定位	(305)
8.6.1	故障特点	(305)
8.6.2	故障分类	(305)
8.6.3	故障查找处理流程	(305)
8.6.4	故障查修方法	(306)
8.7	光纤线路恢复	(308)
8.7.1	意义	(308)
8.7.2	光缆损坏机理	(309)
8.7.3	恢复方法	(309)
8.8	光纤与光缆线路监测	(310)
8.8.1	目的	(310)
8.8.2	光纤监测系统	(310)
8.8.3	光缆线路自动监测系统	(313)
	参考文献	(315)

第 1 章 光纤传输理论

1.1 概述

光纤结构由纤芯和包层组成。光纤结构是实现光波导的基础。改变光纤结构可以制造出不同性能的光纤。与其他传输介质相比，光纤特点体现在具有巨大的通信容量，优异的传输性能，杰出的使用性能，丰富的原料来源等。

光纤通信是以激光为载波，以光纤为传输介质，可以实现大容量、高质量的通信。光纤通信系统是指由光发射机、光纤、光接收机组成。它是实现高速率、大容量、远距离通信的基础，同时也是构筑电话网、计算机网和电视网，以及为通信业务用户提供语音、数据、图像三重服务的基础。

光波是电磁波。利用物理中的几何光学来研究光在光纤中传播的一些现象。例如，通过反射、折射、全内反射、数值孔径，由此获得非常直观、形象的效果。光纤传输理论是研究光波在光纤中的传输原理、传播条件、光功率（能量）径向分布，建立光纤结构参数，如纤芯半径、纤芯折射率、相对折射率差与光纤传输性能的关系，为设计和研制出满足传输系统所需要的理想光纤提供理论指导。

光具有波粒两象性，既可以将光看成光波，也可以将光看成由光子组成的粒子流。因此，在分析光在光纤传输原理时就可以有两个理论：光射线（几何光学）理论和波动理论。光射线理论是将光看成传播的“光射线”来分析光在光纤中的传输方法。光射线理论分析方法的特点是，物理描述非常简单而且直观、形象，可以解决一些实际问题。这个理论只适用于空间与“光射线”的直径远大于光波长，即光在多模光纤中的传输特性。

因为单模光纤芯径很小，所以光射线理论不适用于单模光纤。只能运用波动理论分析方法来研究光在单模光纤中的传输特性。波动理论是分析光纤传输特性的标准理论。波动理论将光纤中的光作为电磁场。电磁场必须符合麦克斯韦方程组，以求解满足边界条件的波动方程。这个分析方法能够精确、全面地描述单模光纤和多模光纤的传输特性。例如，利用波动理论分析方法可以解释单模光纤的许多特性，如截止波长、光功率分布、模场直径等。

本章首先介绍光纤结构，然后阐述光纤通信的优点，其次通过几何光学的讨论，再以光射线理论来分析光在多模光纤中的传输特性，最后运用波动理论分析光在单模光纤中的传输特性。

1.2 光纤的结构和特点

1.2.1 光纤结构

通信光纤是由石英玻璃、塑料或其他导光材料组成的圆柱形的线性导光纤维（简称光纤）。光纤的剖面结构，如图 1-1 所示。通常，光纤由两个同心圆的均匀介质组成。如果用 a 表示光纤半径，那么在 r 小于 a 的纤芯半径区域内，纤芯的折射率为 n_1 ，而位于纤芯外面的材料被称为包层，其折射率为 n_2 。

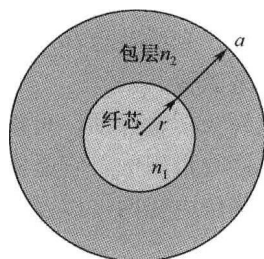


图 1-1 光纤剖面结构

国际电信联盟标准化部门（International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector, ITU-T）和国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）标准规定的单模光纤的纤芯直径通常为 $4\sim 10\ \mu\text{m}$ ，多模光纤的纤芯直径一般为 $50\ \mu\text{m}$ 或 $62.5\ \mu\text{m}$ ，而两种光纤的包层直径都是 $125\ \mu\text{m}$ ，光纤的导光原理是由芯/包折射率、相对折射率差所构成的同心圆结构所决定的。特别是不同的纤芯折射率分布和相对折射率差赋予了光纤不同的传输性能。理论研究发现，改变折射率分布结构就改变了光纤的传输性能。光纤特点阐述了光纤通信成为当前通信主流技术的理由。

1.2.2 光纤特点

所谓光纤通信，是以光为载波、以光纤为传输介质的通信技术。与其他通信技术相比，光纤通信具有以下优点。

1. 巨大的通信容量

由通信原理得知，载波频率越高，载波波长越短，通信容量就越大。通信技术的演进过程，其实就是在积极寻找更高的载波频率，以便实现更大通信容量。如果读者仔细地观察图 1-2 所示的电磁波频谱中各种通信技术所用的频率范围，可以清晰地看出：无线电通信使用的频率范围为 $10^3\sim 10^6\ \text{Hz}$ ；微波通信使用的频率范围为 $10^{10}\sim 10^{11}\ \text{Hz}$ ；光纤通信使用的频率范围为 $10^{14}\sim 10^{15}\ \text{Hz}$ 。因此，仅就所用的光波频率而论，光纤通信具有巨大的通信容量。

例如，低水峰非色散位移单模光纤（G.655 光纤）可以在 1285~1625 nm 波长范围工作，采用波分复用技术传输系统可以实现的总传输容量超过几十至上百 THz。

2. 优异的传输性能

光纤通信技术之所以位居各种通信方式之首，究其原因是光纤在其设计的工作波长范围具有优异的传输性能，如极小的衰减、合理的色散、极好的传输质量等。

例如，石英玻璃光纤在工作波长为 1550 nm 处的衰减系数仅为 0.20 dB/km 或更小。这个衰减系数数值意味着光信号在光纤中传输 100 km 才衰减 20 dB。如此小的衰减使得光纤成为跨洋的国家之间的海底通信干线、省际长途通信干线、城域之间的通信骨干网首选的传输介质。同时，光纤通过长的无中继传输，可以大幅度地减少中继器的数量，进而降低系统成本和提高网络的可靠性。

3. 杰出的使用性能

众所周知，石英玻璃光纤具有极好的机械性能、化学稳定性、热稳定性和抗电磁干扰能力。这样，通过对光纤施加机械和环境保护，可以使光缆（光纤的应用形式）在工程中的实际应用寿命达到 20~30 年。

4. 丰富的原料来源

石英玻璃光纤需要高纯度的 SiCl_4 、 GeCl_4 等液体或固体原材料，一般采用气相沉积先制棒后拉丝工艺，产品尺寸精度高，但是其主要原料（ SiO_2 ）在地壳中蕴藏数量非常丰富，容易得到。

5. 独特的接续技术

在长距离的光缆线路施工中，通常每间隔 2 km 需要进行一次熔接。由于单模光纤的纤芯直径仅为 8 μm 左右，造成了光纤的对准和熔接操作非常困难。因此，必须由那些训练有素的技术人员，借助熔接机才能完成光纤的熔接任务。光纤结构和特点反映的是它的外在表现，而光波导理论才是揭示光纤传输性能的本质所在。

1.3 光纤通信

1. 光波频谱

光波是一种极高频率的电磁波。与其他电磁波相比，光波的波长非常短，频率极高，因此其具有承载巨大容量的能力。图 1-2 给出了在电磁波频谱中光波频谱的位置。图 1-2 解释了通信所用的载波由无线电长波长、短波长，到微波，再到光载波的理由是，通过逐渐增大载波频率来承载更多的业务。光（载波）的频率 f 与光速 c 和波长 λ 的关系，如式（1-1）所示。

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (\text{Hz}) \quad (1-1)$$

式中, λ 是光的波长, 单位为 nm 或 μm 。光速 c 是一个固定常数。如果选用的波长越短, 得到的光载波频率越高。光谱学就是电磁通信的科学, 不管对有线通信还是无线通信, 它是通信技术的物理基础。由图 1-2 可以看到, 光纤通信所用的工作波长范围在 850~1685 nm 之间, 其所对应的频率是 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz。这两组数值都充分说明光纤通信具有巨大的可用波长和频率资源, 从而为通信技术进入可以实现海量信息交换的光纤通信时代奠定了良好的基础。

由图 1-2 可以清晰地看到, 通信技术经历了从低频率、铜线传输、长波长到高频率、光纤传输、短波长的演进过程。这个演进过程源于通信业务的发展、用户对带宽需求的不断增长、服务质量日益提高, 以及网络管理智能化。图 1-2 既揭示了各种通信技术所用的电磁波频带、传输模式和波长应用范围又说明通信容量与日俱增的客观事实。同时, 进入光纤通信世界, 无限带宽可以使人们简化一切。学会消耗带宽, 可以重新构建一个全新的世界。

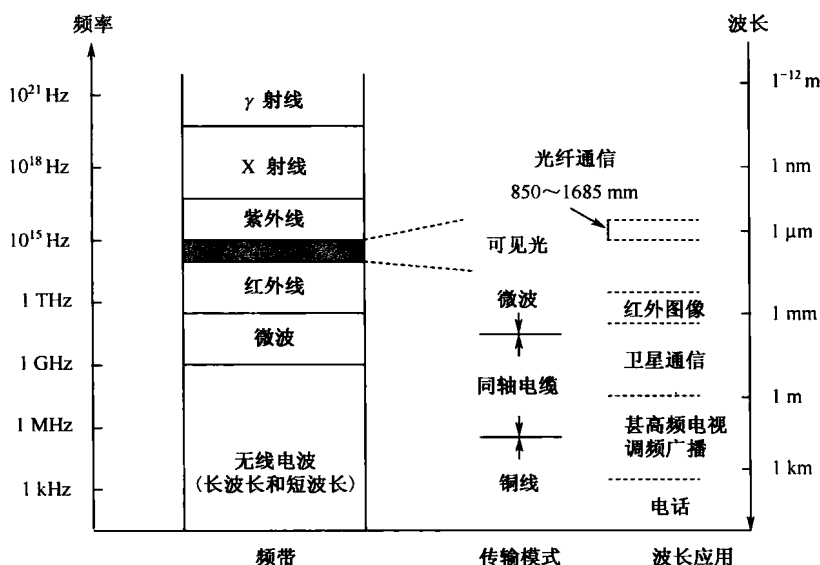


图 1-2 光纤通信所用的光波在电磁波频谱中的位置

2. 光纤通信系统

图 1-3 所示的是由光发射机、光纤和光接收机组成的最简单的光纤通信系统。光发射机的作用是将输入的原始消息电信号转变为光信号, 光纤承担着光信号传输任务; 光接收机的任务是将经过光纤传输的光信号还原成电信号的原始消息。

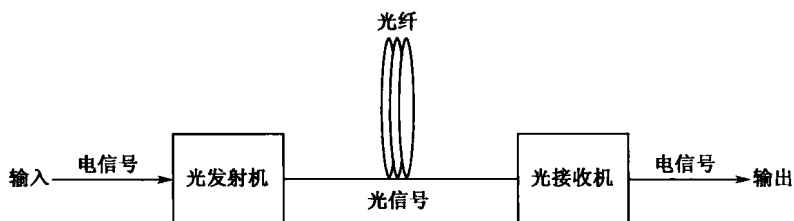


图 1-3 最简单的光纤通信系统

作为由光电子器件构成的电话、计算机、电视机等通信终端，它们缩短了人们之间的时空距离，提高了工作效率，丰富了文化生活，推动了信息社会发展和人类文明进步。正是用户对语音、数据、多媒体业务的需求与日俱增，使得传输容量不断地持续增长，只有光纤通信系统才能满足这种通信频带如此巨大的需求。因此，光纤通信系统在长途干线网、城域网和接入网中得到大量的应用。

3. 光纤通信的优点

光纤通信是以激光为载波，以光纤为传输介质，可以实现大容量、高质量的通信方式。与电缆或微波等电通信相比，光纤通信具有高带宽、小衰减、抗干扰等优点。因此，全世界已构成了一个以光纤通信为主，微波、卫星通信为辅的通信格局。

光纤通信之所以得到如此广泛的应用，究其原因是光纤作为传输介质具有其他传输介质无与伦比的优点：

(1) 巨大的传输容量

理论上，通信载波的频率越高，可以承载的传输容量越大。目前，光纤通信所用的光波频率在 $10^{14} \text{ Hz} \sim 10^{15} \text{ Hz}$ 之间，远远大于电波频率 $10^6 \sim 10^9 \text{ Hz}$ 。

(2) 极小的传输衰减

在光纤通信常用波长 1550 nm 处，石英玻璃的衰减系数约为 0.2 dB/km ，即传输 100 km 距离的光信号衰减为 20 dB ，所需要的中继放大器传输距离为 100 km ，大大降低了系统的建设成本。因此，光纤非常适合作为中、长距离传输介质。

(3) 体积小、质量轻

玻璃裸光纤外径大约为 $125 \mu\text{m}$ ，而玻璃的密度也比铜的低。这样，光纤的体积小、质量轻，使得光纤非常适合架空、管道、直埋方式敷设，从而大大减小了所需空间与敷设难度。

(4) 不受电磁干扰

石英玻璃光纤所用的材料 SiO_2 是电介质，不会受到电磁波干扰。它非常适合用于有电磁波干扰的电气化铁路或多雷电地区，代替电话电缆通信系统。因为光纤是介质光波导，只传输光信号，不会产生电火花，故也可以用在炼油厂或煤矿矿井等恶劣环境的通信系统。

光纤通信系统经历了功能简单的 PDH、丰富管理功能的 SDH、灵活配置的波分复用器

DWDM、光传送网 OTN、逐渐演进到智能光网络 ASON 过程。如图 1-4 所示，光纤通信系统目前主要应用的三大领域是电话网、计算机网和广播电视网络。由于光纤具有巨大的传输容量，使得三大网络都可以提供语音、数据、图像三重服务，为降低用户资费和实现宽带业务奠定了基础。

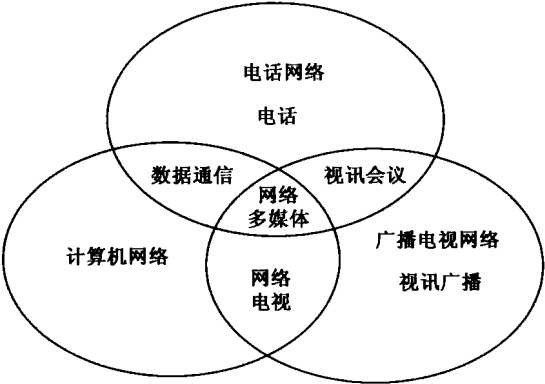


图 1-4 光纤通信系统应用领域

通信业界人士都认同：“如果没有光纤通信就没有现在的信息化社会”。当今世界人们对信息需求与日俱增的形势，其实是微电子技术、光电子技术促进了如电话机、电视机、计算机、传真机、手机等通信设备的普及。光纤通信技术的突破，引起由电气通信到光纤通信技术的革命。简言之，今天通信技术已经解决了过去时间和距离对人们之间的信息交换的限制，使得人们的工作、学习和娱乐与信息交换密不可分。确切地讲，光纤通信巨大的信息传输能力和计算机强大的信息处理能力，让人们可以在公司、家庭、医院等场所实现办公、学习、医疗、购物、交易、点播，享受信息社会带来的高效便捷的工作和丰富多彩的生活。图 1-5 给出了由光纤通信营造的“无处不在，处处在”的信息化格局。

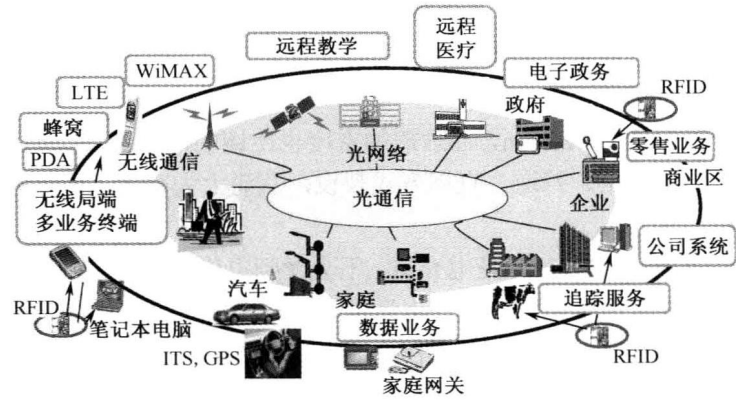


图 1-5 光纤通信营造的“无处不在，处处在”的信息化格局