

光纤通信应用

唐玉麟 周高辉 编著

广西师范大学出版社

光纤通信应用

唐 玉 麟 编 著
周 高 辉

广西师范大学出版社

1988 桂林

内 容 提 要

本书用国内外典型实例概述了光纤通信在各领域中的应用。全书共分十一章,前四章主要介绍光纤通信发展过程、经济和社会效益、传输介质、光源和检测器的基本特性和通信对它们的要求。后七章分别介绍光纤通信在中继和干线网、局部网(LAN)、厂矿企业、电力和铁路交通、军事和海底通信中的应用现状和潜力。列举了美国、日本和我国现场应用的典型设备,共插图152幅。本书可供从事通信的工程技术人员、大中专院校专业课老师、高年级学生、科研和生产管理部门及具有一定专业知识的读者阅读和参考。

本书第七章由电子部34研究所高级工程师周高辉编写,其余各章由电子工业部34所高级工程师唐玉麟编写。

光 纤 通 信 应 用

唐 玉 麟 编 著
周 高 辉

广西师范大学出版社出版发行

(桂林市育才路3号)

桂林空军高炮学院印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 12.875 字数 279 千字

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印 数: 0001—3000

I S B N 7-5633-0119-4/G·107

定 价: 4.00 元

前 言

光纤通信自七十年代末进入商用市场以来，发展极为迅速，有关光纤通信的各种专著也出版很多。从已公开出版的专著来看，内容包括很广，从基础理论、器件研制到系统设计原理等，种类很多，范围很广。但是在已出版的所有中外文专著中，专门介绍光纤通信在各个领域应用情况的书，至今还没有出现过，因而有些从事与通信有关的工程技术人员、管理干部、大学专业课老师等，对光纤通信目前的实用化水平了解不甚多。尤其是使用通信的广大用户，对光纤通信的实用化水平及其在各领域的应用潜力了解更少。有些使用部门甚至还片面认为，光纤通信目前尚处于理论研究或实验阶段。为此，我们作为从事光纤通信的专业研究人员，有责任向有关人员介绍国内外目前光纤通信在各个领域的应用情况和应用潜力。作者希望本书对加速光纤通信在我国各个领域的应用进程，能起到积极的促进作用。由于我们知识面不宽，才疏学浅，资料来源有限，加上对有的资料消化和理解不够，本书的局限性和错误之处在所难免，敬希读者批评指正。

本书的内容共分十一章，从第一章到第四章是基础知识。第一章光纤通信发展概述，首先简述了光纤通信的演

变和发展过程，介绍了光纤和光源取得实质性进展的几个重要研制阶段和几项重大的研制成果，简述了目前的研制水平和今后待开发的新技术；然后从使用的角度简要地介绍了光纤通信系统实用化的进程，和通过现场实用所总结出的优点和社会效益。第二章从性能、结构及经济效益等方面，将光纤通信跟同轴电缆、微波接力通信作了对比，叙述了光纤通信的特点、现阶段和今后的应用潜力。第三、四两章分别写的是光纤、光源和检测器。读者可以通过这两章大致地了解到光纤、光源和检测器的种类、特性、通信对它们的要求、目前的制造工艺及产品水平等。这两章内容通俗易懂，是系统设计师和光纤通信用户所必备的常识。从第五章到第十一章论述了光纤通信在各种专用领域中的应用，这一部份是本书的重点。

第五章简要地提到了光纤通信在中继网和干线网中的应用，这是为了使本书在内容上更完整而写的。考虑到在各种场合的应用都将涉及到局部网络（LAN），因此在介绍光纤专用系统在各领域应用之前，在第六章介绍了光纤通信在局部网（LAN）中的应用。第七章用了较大的篇幅介绍了我国目前规模最大的 PFM 光缆传输多种业务系统在鞍钢的应用。该系统实际上可广泛用于各种厂矿企业、政府机关和文教卫生等领域，用以组建闭路电视和计算机数据网。为了避免重复，在编写光纤通信在电力、铁路、军事以及海缆通信中的应用时，尽量突出它在这些领域中的应用特点和应用潜力。其中第八章着重介绍了光纤通信在电力部门各种特定的最能展现出其特点来的场合的应用；而第九章则比较突出地介绍了光纤通信在列车上的

应用——车载光纤数据通信网络。至于铁路的干线通信、局线通信和区段通信等只简要地介绍了各自的特点、要求，并对组网方式提出了一些可供参考的建议，对其具体的系统设备未予介绍，以免跟第五章和其它有关章节重复。第十章光纤通信在军事上的应用，受资料所限，只着重介绍了美军的光纤通信的典型应用，以及光纤在特种武器装备上的应用情况。我军从八十年代初开始在多种领域和多种场合采用我国自己研制和生产的光纤通信设备，但本书未作介绍。第十一章是光纤通信在海缆通信中的应用，其中着重介绍了海缆通信对光缆、中继器和系统可靠性的特定要求。

本书的出版得到了电子部34所有关领导和一室领导林金昌同志的大力支持，施良骏和王福锦二位高级工程师在编写过程中给予了帮助，蒋衍铁高级工程师帮助拟写了部份章节提纲，谭生树高级工程师提供了“中国部分单位光纤通信系统研制与开发应用情况简表”，并帮助订正了某些问题，对此，谨表示感谢。

作 者

1937.6.于桂林

目 录

前 言	(1—3)
第一章 光纤通信发展概述	(1)
1.1 引 言	(1)
1.2 光纤的发展	(2)
1.3 光源的发展	(5)
1.4 系统的发展	(7)
1.5 我国光纤通信的发展	(11)
1.6 光纤通信优点及其社会效益	(21)
第二章 光纤通信跟微波、同轴电缆 通信的比较	(25)
2.1 引 言	(25)
2.2 信噪比的比较	(25)
2.3 调制技术的比较	(28)
2.4 系统复杂性的比较	(30)
2.5 经济效益比较	(34)
2.6 提高光纤传输系统经济效益的几项新技 术开发	(50)
第三章 传输介质——光纤	(52)
3.1 引 言	(52)

3.2 光纤的种类.....	(52)
3.3 光纤传输特性.....	(57)
3.4 光纤的机械特性.....	(68)
3.5 光纤制造工艺及产品水平.....	(70)
3.6 光纤的选择.....	(74)
3.7 最佳波长的选择.....	(78)
第四章 光源和检测器.....	(81)
4.1 光 源.....	(81)
4.2 检测器.....	(92)
第五章 光纤通信在中继网和干线网中的应用	(97)
5.1 概 述.....	(97)
5.2 中继网络局间距离分布特性.....	(98)
5.3 中继距离的选定.....	(99)
5.4 中继网传输系统.....	(103)
5.5 干线网传输系统.....	(120)
第六章 光纤通信在局部网(LAN)中的应用.....	(129)
6.1 概 述.....	(129)
6.2 光局部网络的拓扑结构.....	(131)
6.3 网络结构参考模型.....	(136)
6.4 局部网络的业务分类.....	(141)
6.5 光纤局部网络应用市场.....	(143)
6.6 应用实例：第一个实用化光纤局部网络 —— Fibernet I	(145)

第七章 光纤通信在厂矿中的应用…………… (156)

- 7.1 引 言…………… (156)
- 7.2 视频系统的应用…………… (157)
- 7.3 8.448Mb/s数字传输系统的应用…………… (183)
- 7.4 多种业务系统的应用…………… (190)
- 7.5 光纤通信在采矿工业中的应用…………… (206)

第八章 光纤通信在电力系统中的应用…………… (216)

- 8.1 引 言…………… (216)
- 8.2 电力系统对通信的要求…………… (217)
- 8.3 电力系统采用光纤通信的优点…………… (219)
- 8.4 光纤通信在电力系统中应用的分类…………… (220)
- 8.5 应用实例…………… (224)

第九章 光纤通信在铁路系统的应用…………… (249)

- 9.1 铁路通信的特点…………… (249)
- 9.2 铁路引进光纤通信的意义…………… (250)
- 9.3 铁路光纤通信应用分类…………… (252)
- 9.4 我国第一个实用的铁路光纤通信系统… (257)
- 9.5 列车光纤数据通信网络…………… (260)

第十章 光纤通信在军事上的应用…………… (270)

- 10.1 概 述…………… (270)
- 10.2 在陆军战述通信中的应用…………… (271)
- 10.3 在海军方面的应用…………… (280)

10.4	在空军方面的应用.....	(282)
10.5	在特种武器控制中的应用.....	(288)
10.6	高性能军用光纤局部网络.....	(296)
10.7	核爆炸对光纤通信的影响.....	(306)
第十一章	光纤通信在海缆通信中的应用.....	(309)
11.1	概 述.....	(309)
11.2	对系统可靠性的要求.....	(312)
11.3	海底光缆.....	(314)
11.4	中继器.....	(320)
11.5	中继器监视.....	(327)
11.6	海底光缆通信的发展前景.....	(332)
参考文献		(336)
附 录	中国部分单位光纤通信系统研制与开发应用简表.....	(1—42)

第一章 光纤通信发展概述

1.1 引言

用光来传递信号古代就有，但是最早提出用光来传输语言信息则是在一个世纪以前。当时，贝尔曾寻求过用可见光束来传送语言信息。他用自制的光话机，在数百米的距离内，作过传递语言信息的尝试。尽管当时他用的光束调制技术，信号检测方案极简单，而且他的系统也被证明是不切实际的，然而，它却是光通信的雏型。

我们现在说的光纤通信，大致是经由以下几个步骤的实验，逐步演变而成的（见图1.1）。

光在大气中传播存在着严重的缺点，如：由于沉积物（雨、雪、雾）和大气湍流等，使传输系统很不稳定。为此，人们就提出了另一种方案，即让光在一特定的环境中传输。首先提出让光在一聚光透镜的管中传输（图1.1.b），或者通过反射镜列来传输。后来提出让光在气体透镜中传输（图1.1.c），并用透镜波导在接近一千米的路径上进行了可行性试验。试验证明，这种传输系统在技术上困难很多，而且很不经济，因此无实用价值。从六十年代初开始，研究的方向就逐渐转移到光学纤维方面。自七十年代起，研究光通信的主流便集中在光纤通信上。

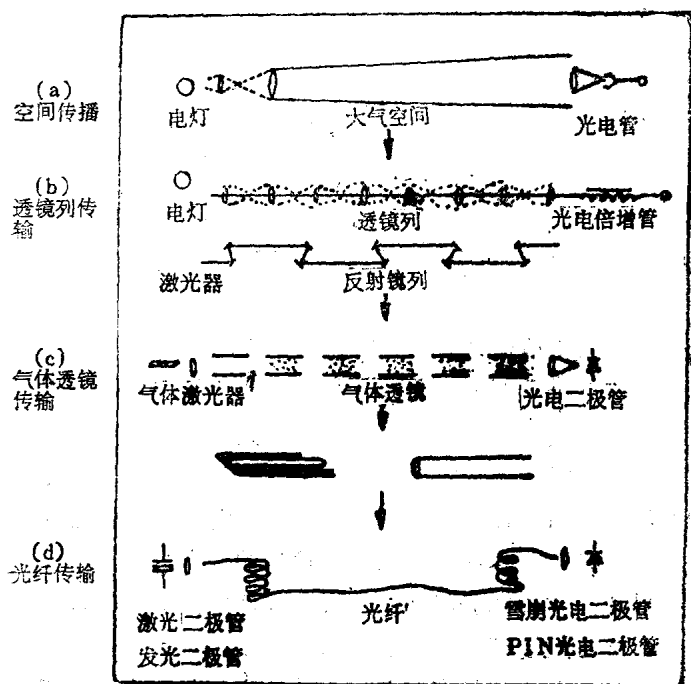


图1.1 光纤通信的演变过程

1.2 光纤的发展

关于电磁波在介质圆柱体中传输, Hodros和Debye早在1910年就进行过理论分析。但是光导纤维的实际应用是直到本世纪五十年代末才发现的。当时主要是通过可挠的光纤带(纤维镜)传递图象。正是在此时,研制出了有被覆层的玻璃纤维。自此以后,玻璃纤维首先在光学仪器

中广泛地得到了应用，其中最先采用的有：光电器件、数据处理、复制照相系统，以及医用上的胃镜、支气管窥镜等。然而，光纤在通信中的应用潜力是英国标准电信研究所的英籍华人高锟^{*}，在1966年才提出的。他当时针对玻璃纤维的传输损耗高达1000dB/km以上这一情况指出：

“……这样大的传输损耗不是石英质玻璃光纤本身固有的基本特性，而是由于材料中带有杂质，如：含有过渡金属离子所产生的。材料本身的损耗基本上是由瑞利散射决定的，它随波长的四次方而下降，其损耗是很低的。因此，有可能制造出适用于长距离通信的低损耗光纤。如果把材料中金属离子含量的重量比降低到 10^{-8} 以下，则可使光纤的传输损耗下降到10dB/km以下。再通过改进拉丝工艺的热处理来提高材料的均匀性，就可以把损耗降至数dB/km以下”。

自高锟提出这一开创光学纤维时代的理论后，不仅英国立即开始了对玻璃的提纯和对光纤传输理论的研究，美国、日本和西德等国家的一些研究机构，也都相继展开了有关领域的研制工作。几年后，该领域的研究工作就取得了好些实质性的研制成果。日本于1969年试制成功了SE-LELOC型自聚焦光纤。美国康宁玻璃公司的Kapron等人研究成功了化学汽相沉积法（CVD^{**}法），并于1970年制成了20dB/km的低损耗石英光纤，从此开创了光纤通信实用化的新纪元。1972年，康宁玻璃公司在制造光纤方面获得了更有实际意义的进展，它把高纯石英芯多模光

^{*} 高锟现已移居美国，是国际电报电话公司电-光生产部副总裁和经理

^{**} CVD—Chemical Vapor Deposition

纤的损耗降到了 4dB/km 。1973年，美国贝尔实验室在光纤的研制方面取得了更大的突破，把光纤的传输损耗降到了 2.5dB/km 。他们还发现，掺硼的二氧化硅玻璃的折射率要比单纯的二氧化硅的折射率更低。1974年，贝尔实验室的 Chesney 等人研制成了改进化学汽相沉积法（MCVD*法），他们利用这种方法制出的多模光纤的损耗低达 1.1dB/km 。1976年，日本国际电报电话公司和藤仓电线公司用CVD法制出了OH含量很低、损耗低达 0.47dB/km （波长 $1.2\mu\text{m}$ ）的光纤。1977年，日本又研制出汽相轴向沉积法（VAD**法）可一次拉制出 200km 长、损耗低达 0.32dB/km 的光纤。

1979年的一些研究报告指出，开发长波长可进一步降低光纤的传输损耗，如：利用掺杂的石英系材料，制出的传输波长为 $1.55\mu\text{m}$ 的单模光纤的损耗已低达 0.2dB/km 。

在石英系光纤获得很低损耗的同时，又发现了这种光纤在长波长区的另一非常有吸引力的特性，即波长在 $1.3\mu\text{m}$ 附近时，掺杂的石英光纤的色散可下降到零。这一新发现在1975年提出后，人们用一系列的实验给予了验证。

光纤的色散下降到零就意味着可以获得非常宽的带宽。因为光纤色散是限制传输容量的决定性因素。低损耗、低（零）色散这两项特性的获得，为光纤的长距离、高速率的传输技术揭开了新篇章。

目前正在研制和探索更新颖的制作光纤的材料，用这种新材料制作的光纤在传输性能上比现有的光纤好得多。

* MCVD—Modified Chemical Vapor Deposition

** VAD—Vapor Phase Axial Deposition

据根预测,将来用 TlBr (溴化铊)、 ZnCl_2 (氯化锌)制作光纤的损耗将小于 0.001dB/km (波长 $3.5\sim 5.5\mu\text{m}$)。一旦这种光纤研制成功,光纤通信的中继距离可达 $5000\sim 10000\text{km}$ 。

1.3 光源的发展

光通信的光源是在五十年代末六十年代初才集中力量进行研制的。当时主要致力于发光二极管的材料和辐射复合机理的研究。研究的对象主要涉及到由Ⅲ—V族元素中的二元系的 GaP 、三元系的固溶体 $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$ 和发光波长为 $0.9\mu\text{m}$ 的 GaAs 制作成的可见光波长的发光体。1958年, Schawlow和Townes指出,激光器是相干光源,从原理上讲,它有可能把适用于微波领域中的全套通信技术用于光波领域。1960年和1961年先后有人用气体激光器和红宝石激光器进行了实验,对这种论点的可实现性提供了直接论据。几年后,氮氛激光器被研制成功了,它成了当时光通信研究中广为应用的光源。

半导体激光器的问世,给光通信的实用化奠定了基础,并为设备的小型化和提高设备的可靠性带来了巨大的潜力。第一批半导体激光器是单p-n结砷化镓半导体激光器。这种激光器只能在短时间内工作,而且只能在液态氮的温度下,利用脉冲激励来工作。因此,研究人员就竭力开发在室温下连续工作的激光器。研制在室温下连续工作的半导体激光器的关键问题是有关异质结构造的概念及其制造技术。通过实验发现,异质结构造的势垒能更好地束

缚和集聚注入的电子和空穴，还可以为建立激光作用提供必要的光学空腔结构。

1970年，Hayashi等人，首次制出了能在室温下连续工作的双异质结激光器。这种激光器在当时的寿命还只不过数小时，而对于实用的通信系统来说，则需要具有平均寿命为一百万小时以上的激光器。科学家和工程师们为找出影响激光器寿命的因素，进行了大量的研究工作，使激光器的寿命和可靠性在不很长的时间内取得了惊人的进展。1973年激光器的寿命已超过1000小时，条形双异质结激光器的寿命超过了7000小时。1979年在市场上公开出售的激光器的寿命已超过10万小时。外推寿命超过100万小时的激光器也已有商品出售。

就发光管的情况来说，研制工作也取得了很大的进展。1971年，美国贝尔实验室的Burrus和Miller研制出了一种小面积端面发射、发光性能好、与光纤的耦合效率高的双异质结发光二极管。

在大力开发和研制半导体激光器和发光二极管的同时，对其它可能成为光源的开发工作也在继续进行，其中很引人注目的有铒激光器。这种激光器的谱线很窄，并且能在 $1.1\sim 1.3\mu\text{m}$ 的波长区发光。由于光纤在该波长区的传输损耗和色散都很低，故这种激光器就很吸引人。

石英光纤在 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 波长区的传输损耗最低，而且目前又在采用新技术把零色散移至该波长区，因此，现正在开发和研制以 InGaAsP 和 AlGaAsSb 材料为主的 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 波长的单模激光器。若用这种激光器作光源，就可以实现100km以上的无中继传输。

美国贝尔实验室研制出了一种解理耦合腔 (C^{3*}) 激光器, 用这种激光器成功地进行了119k m的无中继传输试验, 它的调制速率已达到千兆比特量级, 这为实现长距离光纤通信提供了理想的光源。

1.4 系统的发展

1.4.1 发展概况

光纤通信是现阶段实用系统中最年轻的一种通信方式, 也是当前最有开发潜力的通信技术之一。由于光纤通信具有通信容量大、不受电磁干扰、保密性强、原材料极大丰富、可节省大量有色金属、重量轻、运输方便和架线容易等优点, 是一种很有发展潜力的通信方式, 从而受到世界各国广泛的重视。第一个光纤系统一并网试用, 对用户的吸引力就很大。

光纤通信发展的速度是非常惊人的。自1970年, 美国康宁玻璃公司研制出传输损耗低于20dB/km的光纤, 贝尔实验室和日本电报电话公司研制出可用作通信的镓铝砷半导体激光器之后, 各国相继开展了对光纤通信的应用开发。在短短的几年时间里, 人们就把光纤通信从实验室移到了现场。经过几年的现场试验以后, 光纤通信就以非常醒目的地位进入到民用和军用市场。例如: 美国贝尔实验室于1973年着手在实验室内试验, 1976年就在亚特兰大进行了现场试验。《贝尔系统技术杂志》(BSTJ) 在1978

* C^3 : Cleaved-Coupled-Cavity