

现代通信技术

The book cover features a vibrant space-themed background. A large, curved horizon of the Earth in shades of blue and white dominates the middle ground. In the foreground, a satellite dish antenna is visible, pointing towards the viewer. Scattered throughout the scene are several colorful, semi-transparent spheres in shades of orange, purple, black, and gold. The top of the cover is a dark, starry space. The title '现代通信技术' is written in large, bold, white characters with a blue outline at the top. The author's name '冯锡钰 主编' is positioned to the right of the satellite dish. The publisher's name '机械工业出版社' is at the bottom right. A small red and white logo is in the bottom left corner.

冯锡钰 主编

机械工业出版社

现代通信技术

主编 冯锡钰

参编 魏东兴

刘军民



机械工业出版社

DL96/13
本书共四篇,分别为光纤通信、卫星通信、移动通信、数据通信与数据通信网。主要介绍它们的基本知识和基础理论,并介绍了各个领域的新成果和新进展。

本书为高等院校电子与信息类专业及有关专业的教材,也可供从事这方面工作的科技人员和管理人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术/冯锡钰主编. —北京:机械工业出版社,1998.3
ISBN 7-111-06197-7

I. 现… II. 冯… III. 通信技术 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第02339号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王世刚 版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

封面设计:姚毅 责任印制:王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年4月第1版第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·11.625印张·306千字

0 001—3 000册

定价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

随着信息社会的发展,通信技术以惊人的速度发展着,特别是以光纤通信、卫星通信和移动通信为代表的现代通信技术更是日新月异。为使学生在有限的学时内了解和掌握现代通信技术的发展,我们把以往单独设置的“光纤通信”、“卫星通信”、“移动通信”和“数据通信”等课程合并为一门“现代通信技术”课程。为适应教学的需要,特组织编写了本书。

本书全面地介绍现代通信的几个主要发展方向,全书分四篇十四章讲述光纤通信、卫星通信、移动通信和数据通信与数据网的基本知识和基本理论,并介绍了这些领域的新成果和新发展动向。

本书由冯锡钰编写绪论和第一篇,魏东兴编写第二篇,孙怡编写第三篇,刘军民编写第四篇。全书由冯锡钰主编。

本书得到大连理工大学教材出版基金的支持和大连理工大学教务处王续跃老师的大力帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中不足及错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者 1997年1月

目 录

前言

绪论..... 1

第一篇 光 纤 通 信

第一章 光纤通信概论	7
§ 1.1 光纤通信的发展过程	7
§ 1.2 光纤通信系统的基本构成	10
§ 1.3 光纤通信的优点及应用	12
第二章 光导纤维	14
§ 2.1 概述	14
§ 2.2 光纤的几何光学分析	16
§ 2.3 光纤的波动光学分析	20
§ 2.4 单模光纤中的色散	26
§ 2.5 光纤的损耗	30
§ 2.6 光纤中的非线性光学效应	33
§ 2.7 光缆及连接技术	36
第三章 光端机	39
§ 3.1 引言	39
§ 3.2 半导体光电器件的工作原理	39
§ 3.3 发光二极管(LED)	45
§ 3.4 半导体激光器(LD).....	47
§ 3.5 光电二极管	56
§ 3.6 光发射机	63
§ 3.7 光接收机	69
第四章 光纤通信系统	83
§ 4.1 系统结构	83
§ 4.2 工作波长和系统限制	86

§ 4.3	光纤通信系统的设计	88
§ 4.4	光频分复用系统	94
§ 4.5	副载波复用系统	95
§ 4.6	光放大器	99
§ 4.7	相干光通信系统	101
§ 4.8	光孤子通信系统	106
参考文献		110

第二篇 卫星通信

第五章	卫星通信概论	111
§ 5.1	卫星通信的概念	111
§ 5.2	卫星通信的发展史、现状及应用	114
§ 5.3	卫星通信系统	117
§ 5.4	多址方式及信道分配技术	125
第六章	模拟卫星通信	131
§ 6.1	调频卫星通信原理	131
§ 6.2	FDMA 的交扰调制	134
§ 6.3	传输线路的计算	140
第七章	数字卫星通信	148
§ 7.1	概述	148
§ 7.2	数字调制方式	149
§ 7.3	SCPC 方式	153
§ 7.4	时分多址(TDMA)方式	159
§ 7.5	差错控制与信道编码	166
第八章	卫星通信网	172
§ 8.1	卫星广播电视网	172
§ 8.2	VSAT 网	177
参考文献		185

第三篇 移动通信

第九章	移动通信系统概述	186
§ 9.1	移动通信系统组成	186

§ 9.2	移动通信特点	187
§ 9.3	移动通信频率分配	187
§ 9.4	移动通信中用到的调制方式	189.
§ 9.5	移动通信的发展历史	190
第十章	移动通信系统工作原理	192
§ 10.1	移动通信设备	192
§ 10.2	信令系统	204
§ 10.3	移动通信系统的网络结构	219
第十一章	电波传播与干扰、抗干扰	235
§ 11.1	电波传播	235
§ 11.2	干扰及抗干扰	239
第十二章	移动通信系统设计	255
§ 12.1	移动通信网的指标	255
§ 12.2	系统设计中要考虑的问题	258
§ 12.3	无线寻呼系统的设计	265
参考文献	268

第四篇 数据通信与数据通信网

第十三章	数据通信	269
§ 13.1	数据通信基础	269
§ 13.2	数据传输	273
§ 13.3	数据通信中的交换技术	281
§ 13.4	数据通信系统设备	287
§ 13.5	数据通信规程	298
第十四章	数据通信网	310
§ 14.1	数据通信网结构	310
§ 14.2	电话交换网	312
§ 14.3	专用数据网	313
§ 14.4	公用数据交换网	316
§ 14.5	局部区域网	317
§ 14.6	综合业务数字网(ISDN)	335
§ 14.7	网络互联	343
参考文献	363

绪 论

自从有了人类的活动，就产生了通信，因为在人类的活动过程中要相互远距离传递信息，也就是将带有信息的信号，通过某种系统由发送者传送给接收者，这种信息的传输过程就是通信。

很久以来，人们曾寻求各种方法来实现信息的传输。我国古代利用烽火台传送边疆警报；希腊人用火炬的位置表示字母符号，一站一站地传送信息，这种光信号的传输构成最原始的光通信系统。利用击鼓鸣金来报时或传达作战命令，这也是最原始的声信号传输。以后又出现了信鸽、旗语、驿站等传送消息的方法。这些原始的通信方式，无论在距离、速度还是在可靠性与有效性方面都很差。直到19世纪初，人们开始利用电信号传输消息。1837年莫尔斯(F. B. Morse)发明了电报，他利用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字，这种代码称为莫尔斯电码。1876年贝尔(A. G. Bell)发明了电话，直接将声音信号(语言)转变为电信号沿导线传送。19世纪末，人们又利用电磁波传送无线电信号，开始时传输距离只有几百米，而到了1901年马可尼(G. Marconi)成功地实现了横渡大西洋的无线电通信。从此，传输电信号的通信方式得到了广泛应用和迅速发展。

凡此种完成信息传输任务的系统，通称为通信系统，图1给出这种通信系统的基本组成，即任何通信系统都是由发射机、接收机和信道三个基本部分组成的。在发送端，首先把待发的消息转换为信号，再通过发射机将信号送入信道。信道指的是信号传输的通道，在有线电话系统中信道就是导线电缆，在无线电通信系统中信道就是大气空间。在接收端，把接收到的信号进行放大处理，最后转换为消息。所以，一个通信系统的工作过程，主要是包括消息与信号的转换、信号的处理和信号的传输等过程。

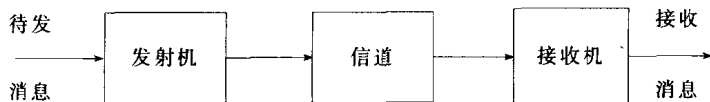


图1 通信系统模型

在 20 世纪里，电信技术得到了极大的发展，特别是全球范围电话网络的发展，导致了通信系统不断出现新的设计，用同轴电缆代替双绞线，使系统的容量（速率与距离的乘积）大大增加，而微波系统的产生使通信系统的容量进一步增加。纵观电通信技术发展的过程，可以看到一个明显的特点，这就是频率是由低频端向高频端发展的。可以这样说，通信技术的发展历史是不断开拓更高频率、或更短波长的历史。从长波、中波、短波、超短波发展到微波，这期间几乎每 6 年便使频率递增一个数量级。但是，到 80 年代末发展到毫米波却遇到了困难，使得通信技术的发展停滞不前，这促使人们重新关注光通信。

70 年代出现的光纤通信引发了通信技术新的革命，由于光纤的极宽的带宽和极小的损耗，使通信系统的容量提高了几个数量级。光纤通信成为通信领域最为活跃的技术，它的发展超出人们的预料，到 80 年代初期已经大规模推广应用，与卫星通信、移动通信形成现代通信技术的三大主要发展方向。

光纤通信是以光波为载频，以光纤为传输媒质的新型通信方式，其应用规模之大，范围之广，涉及学科之多，是以往任何一种通信方式所未有的。现在，光纤通信的新技术仍在不断涌现，诸如频分复用系统、光放大器、相干光通信、光孤子通信的发展，预示着光纤通信技术的强大生命力和广阔的应用前景。它将对未来的信息社会发挥巨大的作用，产生深远的影响。

卫星通信是一种宇宙无线电通信形式，它是在地面微波通信和空间技术的基础上发展起来的，它是地面微波中继通信的继承和发展，是微波中继通信的一种特殊形式。卫星通信是利用人造

卫星作为中继站转发无线电波，在两个或多个地面站之间进行的通信。这种卫星通信覆盖区域大、通信距离远，利用三颗同步卫星即可以实现全球通信。卫星通信具有多址联接能力，只要在卫星覆盖区域内，所有地面站都能利用此卫星进行相互间的通信。因此，卫星通信对国际通信或远程通信具有重要的意义，在国际通信中，卫星通信承担了1/3以上的远洋通信业务，并提供了几乎世界上所有的远洋电视。如今，卫星通信已经成了人类信息社会活动中不可缺少的基本手段。

移动通信，是指通信双方至少有一方是在运动中进行信息交换。由于移动通信几乎集中了有线通信和无线通信的最新技术成就，它是使用户随时随地快速而可靠地进行多种信息交换的一种理想通信形式，因此，移动通信和光纤通信、卫星通信一起被列为现代通信领域中的三大新兴通信手段。

移动通信起源于海上救难，早在20世纪20年代就出现了船舶、警车、列车等专用移动通信系统以及军事移动通信系统，当时主要使用短波频段。到了50、60年代，移动通信所使用的频率向更高频段发展，出现了150MHz和450MHz移动电话系统。但是，移动通信的飞速发展还是在近20年来才出现的，这是由于进入70年代微电子技术和计算技术的迅速发展，以及人们对超高频收发信机、滤波技术、小型天线等设备的研制有了新的突破，加之新理论、新体制也在不断地发展和完善，为模拟蜂房移动通信系统的诞生奠定了坚实的基础，出现了800MHz蜂房移动通信系统。进入80年代，大规模集成电路、微型计算机、微处理器和数字信号处理技术的大量应用，为开发数字移动通信系统提供了技术保障。数字蜂房移动通信系统具有容量大、频谱利用率高、通信质量好、业务种类多、易于加密、抗干扰性强、用户设备小、成本低等优点，使移动通信进入了一个新的里程。可以预料，不久的将来，一个新型的、门类齐全的全球个人移动通信系统便会展现在我们面前。

从20世纪50年代开始，随着计算机远程信息处理应用的发

展，数据通信应运而生。早期的远程信息处理系统大多是以一台或几台计算机为中心，依靠数据通信手段连接大量的远程终端，从而构成一个面向集中式处理系统。同时，早期的数据通信是在模拟网中进行的，它只能以直达线路方式向用户提供异步低速、永久性连接电路的数据通信业务。

从 60 年代末开始，计算机网络技术和分布处理技术的迅速发展，进一步推动了数据通信的发展，计算机通信也从同种机之间的通信向异种机间的通信发展。但远距离通信的昂贵的线路资源利用率一直不高，因此人们开始考虑建立公共网来进行数据通信。在 70 年代中期形成了 X. 25 分组交换数据网，分组交换的基本思路是，将报文分成一定长度的若干段落，每个段落称为一个分组，每个分组的前面加上一个标题（或叫分组头 Header），用以指明该分组发往的地址，然后由交换机根据每个分组的地址标志，将它们转发到目的地，到达后把分组按顺序组合起来，这个过程称为分组交换。采用分组交换方式的通信网称为分组交换网。由于这种 X. 25 分组交换技术根据数据通信的特点采用了统计复用技术，实现了数据通信链路由固定性永久连接向交换式任意连接的一次飞跃，大大提高了线路的利用率，故它受到了用户的极大欢迎。公用分组交换数据通信网是面向各类数据用户的公用通信网，是一个大型的中继开放系统和通信平台。它具有传输速率高、通信质量好、接续时间短、响应快等特点，并能充分利用网络资源、降低成本、适应不同用户需要。

70 年代末期以后，随着大规模集成电路技术、计算技术的迅速发展，数据通信设备的智能化程度大大提高，此外，光纤传输技术的应用普及，也为高速率、高质量的传输通道环境提供了更可靠的保证。为满足用户对高速、高质量专线不断增长的需求，一种介于永久性连接和交换式连接之间、采用半永久连接方式的数据通信应用技术 DDN (Digital Data Network) 逐渐发展起来。DDN 是利用数字信道提供半永久连接电路来传送数据信号的数据传输网络，其主要作用是代替租用专线，为那些相对固定且业

务量很大的用户提供数据通信服务，它具有保密性强、使用方便等特点。

80年代以来，微型处理机像潮水般地涌向社会，各种各样的智能终端设备、个人计算机（PC机）、多用户计算机、分布式计算机系统等应运而生，得到广泛应用。在一个办公楼内，数十台或数百台大大小小的计算机和终端在同时工作，为了共享资源和相互通信，就需要把它们互相连接起来，这就导致了局域网（LAN）的迅速发展，LAN的相关技术随之发展起来。

进入90年代以来，全球范围内的LAN的数量猛增，LAN和LAN之间互联要求的高涨，使用户需求一种能提供更多和更经济有效的互联技术。而高质量光纤传输的广泛使用，使传输媒体可以提供更宽的带宽和更高的可靠性，同时，智能计算机系统的发展，使用户终端设备可以处理更高层的协议，从而简化网络的功能，因此以帧中继为代表的快速分组交换技术迅速发展起来。帧中继具有简化网内规程、高速、时延短、吞吐量大等特点，目前已在发达国家广泛采用。

从数据通信网覆盖的范围来讲，数据通信网分为局域网（LAN）、市域网（MAN）和广域网（WAN），而由于技术和应用范围的不同，数据通信网又分有X.25分组交换数据网、DDN网、帧中继网等。这两方面分类是相互渗透、相互关联的，并不是截然分开的。

当今世界，人类进入信息时代，信息进入了人们生活的方方面面。电视、视频点播（VOD）、电子数据互换（EDI）、文件传输、电子信箱（E-mail）、可视图文（Videotex）、目录查询、智能用户电报（Teletex）、遥测遥控等业务日渐普及，而这些业务有相当部分离不开数据通信。随着计算机与各种具有处理功能的智能设备在社会各个领域的广泛应用，数据通信的应用范围也日益扩大。可以这样说，人类社会生活的方方面面已越来越离不开数据通信。

目前的通信网由于历史和技术上的原因，存在不同方式分割的独立网络，诸如公共电话网、电报网、计算机网以及有线电视

网等，这种分割导致网络资源利用率低和用户不便。为了解决这个问题，就是要实现网络的综合化，也就是将各种通信业务，如电话、数据和图像等业务综合于同一数字网中，这就是综合业务数字网（ISDN）。宽带综合业务数字网（B-ISDN）将为多媒体通信提供宽带分配能力和实时传输能力。

随着人类社会向信息社会迈进、电子技术迅速发展、计算机与通信技术紧密结合，计算机网络空前繁荣，从而促使网络互连技术得到迅速发展。网络互连是指不同子网之间的互相连接，一般指局域网与局域网互连，局域网与广域网互连。网络互连的目的主要是，在地理位置不同的网络之间建立通信链路，完成信息交换。INTERNET 是当今世界上最大的计算机互联网络，它已覆盖了世界上绝大多数国家和地区。如今在世界范围内掀起了一股竞相与 INTERNET 连网的热潮，INTERNET 的诞生与发展是人类进入信息时代的交响曲。

第一篇 光纤通信

第一章 光纤通信概论

光纤通信是利用光导纤维（简称光纤）传送信息的光波通信技术。光通信采用的载波位于电磁波谱的近红外区，频率非常高（ $10^{14} \sim 10^{15} \text{Hz}$ ）（图 1-1），因而通信容量极大。光纤通信在全球范围内得到了很大的发展，并引发着通信领域的变革。

§ 1.1 光纤通信的发展过程

利用光来传送信息在古代就出现了，例如我国古代利用烽火台上的火烟信号来传递紧急信息，古希腊人用举火把时间的长短来传递消息，这可谓原始的通信。由于在 19 世纪先后发明了电报、电话等电信技术，使光通信方法受到冷落。

在 20 世纪里，电信技术得到惊人的发展，传输信号的带宽在不断加宽，因而载波频率在不断提高，通信系统的容量在不断地加大，到 1970 年，通信系统的容量 BL （速率、距离乘积）达到约 100 (Mb/s) km ，以后电通信系统的容量就基本上被限制在这个水平上。

20 世纪后半期，人们意识到如果采用光波作为载波，通信容量可望提高几个数量级，但直到 50 年代末仍然找不到光通信所必需的相干光源和合适的传输介质。1960 年发明了激光器，解决了光源问题。1966 年当时在英国标准电信研究所工作的华人高锟博士提出可以用石英光纤作为光通信的最佳传输介质，但当时的光

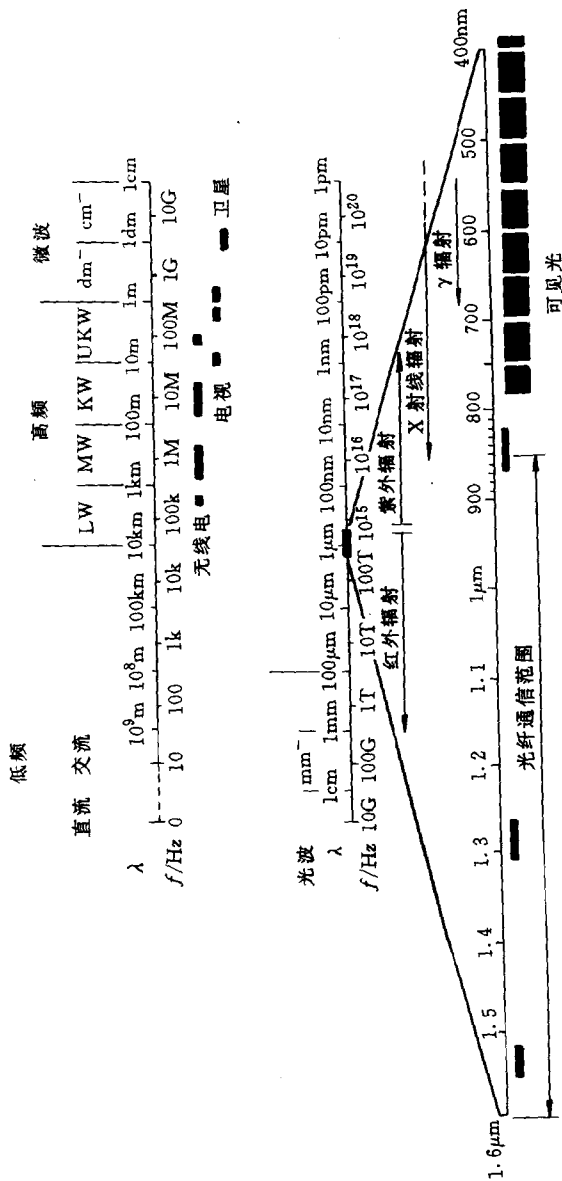


图 1-1 电磁波的频谱

纤具有 1000dB/km 的巨大损耗,难以有效地传输光波。到了1970年,美国康宁玻璃公司研制出损耗为 20dB/km 的石英光纤,证明了光纤是光通信的最佳传输介质,与此同时,实现了室温连续工作的 GaAs 半导体激光器。由于小型光源和低损耗光纤的同时实现,从此,便开始了光纤通信迅速发展的时代,因此人们把1970年称之为光纤通信的元年。

从1970年至今,光纤通信的发展速度远远超过了人们的预想,光纤通信系统经历了五代的发展,使通信容量增加了好几个数量级,图1-2给出五代光纤通信的发展情况。

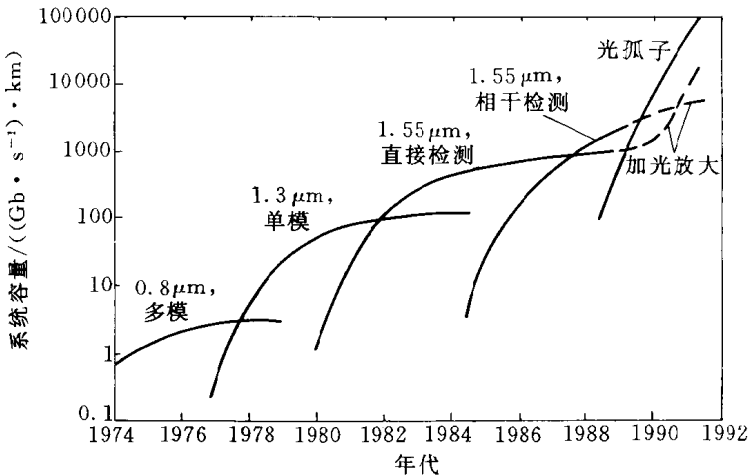


图 1-2 五代光纤通信的发展情况

工作在 $0.85\mu\text{m}$ 短波长的第一代多模光纤通信系统于1984年投入使用,这种系统的速率范围在 $50\sim 100\text{Mb/s}$, 中继距离为 10km , 与同轴电缆相比, 中继距离有很大的提高。

第二代是工作在 $1.3\mu\text{m}$ 长波长的单模光纤通信系统,它出现在80年代早期,由于在 $1.3\mu\text{m}$ 的波长时光纤具有小的损耗和最小的色散,因此系统的通信容量可大大地增加,1984年实现了中继距离为 50km , 速率为 1.7Gb/s 的实用化光纤传输系统。

第三代光纤通信系统是工作在 $1.55\mu\text{m}$ 长波长的单模光纤传

输系统, 由于在 $1.55\mu\text{m}$ 波长时光纤具有最小的损耗, 通过色散位移又使其色散最小, 因此在 1990 年实现了中继距离超过 100km, 速率为 2.4Gb/s 的光纤传输系统。

第四代光纤通信系统以频分复用增加速率和使用光放大器增加中继距离为标志, 可以采用 (也可不采用) 相干接收方式, 使系统的通信容量成数量级地增加, 已经实现了在 2.5Gb/s 速率上传输 4500km 和 10Gb/s 速率上传输 1500km 的试验。从 1990 年开始, 光放大器正引起光纤通信领域里发生着一次变革。

目前, 已经进入第五代光纤通信系统的研究和开发, 这就是光孤子通信系统。这种系统基于一个基本概念——光孤子, 即由于光纤非线性效应与光纤色散相互抵消, 使光脉冲在无损耗的光纤中保持其形状不变地传输的现象。光孤子通信系统将使超长距离的光纤传输成为可能, 实验已经证明, 在 2.5Gb/s 码率下光孤子沿环路可传输 14000km 的距离。

§ 1.2 光纤通信系统的基本构成

光纤通信系统和所有的通信系统一样, 由发射机、信道和接收机三个部分组成, 图 1-3 给出光纤通信系统的示意图, 光纤通信系统是采用光纤作为信道的。

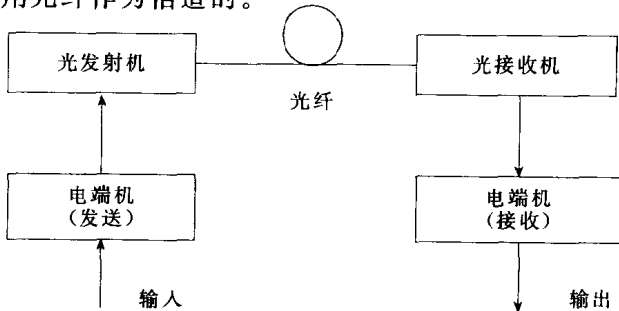


图1-3 光纤通信系统的构成

由图 1-3 所示, 光纤通信系统主要由光发射机、光纤和光接收机三个部分组成, 电端机是对电信号进行处理的电子设备。在发送端, 电端机将欲传送的电信号处理后, 送给光发射机, 光发射