

光纤系统

——工艺、设计与应用

美国 高锟著 中国 梁郭泰 孙崇善等译校

 中国友谊出版公司

1987 · 北京

光纤系统——工艺、设计与应用 美国 高 锐 著
中国 梁郭泰 孙崇善 译校

中国**友谊出版公司**出版
新华书店北京发行所发行
北京百花印刷厂印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ · 8 $\frac{1}{2}$ · 176,000
1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷
社目: 144-102 书号: 15309·6 定价: 1.90元

序

光波是一种电磁波，其频率高达 10^{14} Hz量级。比较早曾有人想利用光进行大容量宽频带通信，1966年，高锟博士首先提出用光导纤维作为光通信的传输媒介以后，才使光纤通信有可能付之实现。高博士的论断给世界通信事业的发展带来重大冲击，从此以后，通信技术的一次“重大变革”开始了。目前，光通信已在不少国家迅猛发展，与此同时，还正在不断地推陈出新，精益求精，一批批新成果正逐步从实验室走向实际应用，影响着社会的各个方面，造福于人类。

高锟博士是一位对通信事业有卓越贡献的华裔科学家，不愧为光纤通信的奠基人。《光纤系统》一书是高博士的学术思想、工作经验的汇集。本书全面地介绍了光纤通信的原理、工艺及应用，总揽近年来光纤通信的科学成就，指出近期发展的动向，憧憬光纤通信广泛应用的绚丽前程。不但如此，本书还精辟地阐述了技术与社会，技术与经济之间的哲理。自然科学与社会科学相结合更是我们要努力学习，努力做到的方向。本书是一本面向性广泛的读物。学生、教师、科技工程人员及管理工作者均值得一读，定会从中得到不少收获。

高博士热爱祖国，有志于为振兴中华作出奉献，经常回国讲学。这次《光纤系统》中译本在中国友谊出版公司出

版等,正是高博士希望祖国通信事业加速发展的崇高心愿。

中国友谊出版公司,独树一帜,致力于介绍海峡两岸同胞与海外华裔学者的著作,旨在沟通信息、促进了解、增进胞波情谊。现在把高博士的学术思想介绍给我国通信界,对祖国现代化和上述的各个方面作了有益的贡献。

本书译文流畅,词义选用得当,反映了原文的优美风格与高雅情趣。参加翻译的同志们均为此作了不少心血。

中国科学院学部委员
北京邮电学院名誉院长

叶培大

1987年6月

于北京邮电学院

作者简历

高锟(Charles K · Kao)博士1933年生于上海。出身书香世家,祖父是南社的名诗人。50年代初曾在香港接受中学教育,1965年在英国伦敦大学获电机工程博士学位。

1970~1974年担任香港中文大学教授与电机工程系首任系主任。

1957年参加美国国际电话电报公司工作,1979年为电光产品部的副总裁和工程主任(*Vice President and Director of Engineering for the ITT Electro-Optical Products Division*)。

1977年美国电气电子工程师学会颁赠斯泰沃·巴兰泰奖。

1978年5月英国兰克组织(Rank Organization)颁赠光电子学兰克奖(Rank Prize Award for Opto-Electronics)^①。

同年美国电气电子工程师学会又颁赠莱伯曼·迈莫南奖。

1979年5月瑞典国王(King Carl XVI Gustav of Sweden)颁赠爱力生电信奖及金章(Erisson Telecommunication Prize & gold medal)。

1981年美国南加利福尼亚华人科技工作者协会颁

赠成就奖。

1982年被任命为美国国际电话电报(ITT)公司首届科学总裁(Executive Scientist)^②。

1985年10月香港中文大学授予荣誉博士学位。

1985年美国电气电子工程师学会授予该学会大奖——格雷厄姆·贝尔奖(Graham Bell Medal)。

1985年11月联合国颁赠马可尼电机工程奖^③，由联合国秘书长佩雷斯·德奎利亚尔亲自授奖。

注 释

- ①兰克颁奖基金，系英国兰克爵士所设立。其性质等同于诺贝尔奖金，用以鼓励科学上尤其对于光电子学有特殊成就的科学家及贡献者。
- ②科学总裁为美国国际电话电报公司于80年代起设立的一个职务，目的在于使科学家能进入最高级管理阶层，并保证有足够的时间和精力从事研究工作。科学总裁5年任期内，可自由选择该公司的任何实验中心或单位，进行更深的工作。
- ③马可尼电机工程奖被誉为电机工程界诺贝尔奖，是为了纪念无线电的发明人马可尼而设立；于1975年马可尼百年诞辰首次颁发，获奖资格限为在信息科学工程技术上有极为杰出贡献的男女科学家。

作者介绍

高锟博士是世界知名的科学家,在国际上被誉为“光纤通讯之父”。1966年高锟博士首先在世界上提出以玻璃纤维作为光波导用于通讯的理论,引起了通讯技术的一次革命。高锟博士在光通信系统、光波导通信、特多模波导系统、电路系统设计,以及可用于微波系统的准光技术诸方面理论和基础研究均有经验。他拥有20项专利(还有9项正在申请中),曾获得过大量的奖品。自1975年以来,在会议上递交过25篇报告,并且发表了40余篇技术论文。

前 言

科学技术的发展总是和社会息息相关。可是我们往往被奇迹般的新兴技术所吸引，从而将我们的力量倾注于新技术的发展，而没有考虑到科学技术对社会存在的必然影响。这种情况就会导致不能全部实现或不能适当地应用整个技术的潜在能力。光纤系统技术是我们信息时代的一块基石。在这个时代，有效地利用信息，就能为人类造福，理解这种社会学的含义非常重要。

为了达到上述目的，本书将向读者简要介绍一下这项技术的应用范围与效果，并且将以简明、清晰的方式介绍与光纤系统有关的技术。读者将会了解到光纤技术的相互关系，并打下系统设计的基础和理解其相对的利与弊。

第一章是从社会学变革观点来概要地描述光纤系统的作用。它将介绍这种系统的主要特性。第二章列出了设计准则，但避开了设计方法的详尽讨论。第三~七章将介绍关键部件与相关的背景技术，内容为光纤、光缆、光源、检测器和耦合器。这些讨论是从系统的观点出发，目的在于向读者提供了解光纤技术显著特性间的相互关系，为了使读者能接触到完整的理论推导，我们列出了参考文献目录。第八章则选择了几种系统实例以说明各种用途。选用这些实例的目的是为了注重说明光纤系统的各种优点。第九章用一个特例以说明设计过程。它表明，为了完成一个可

行的设计，而应懂得各种不同部件的必要性。该章还把第二章中所提出的计算作了概要的总结。第十章则涉及该系统的经济效益，并以此作为本书结尾。

这是一本教科书而不是一本原始资料集。它是其他一些比此更为明晰的教科书和专题论文的补充，从而读者可获得更广博的观点和更深入的见解。

在这本书的整个编写期间，我的妻子、儿女给了我莫大的帮助，他们很理解我，并给予支持。我也感谢各位秘书，她们为我打出了各个阶段的手稿。尤其是海文斯太太，最后的手稿都是由她编辑、打字。我也要感谢ITT的同事们和另一些从事光纤研究的同事们，他们允许我参考他们的著作，并给予了非常有价值的帮助。最后，我要向大量的科学家、工程师、经理们和各界人士表示感谢，他们是过去和现在都为这种技术作出了贡献的人。因为没有他们，我无法写成这本书。

Charles K · Kao

目 录

第一章	光纤系统的作用	1
	光纤系统在社会变革中的作用	2
	光纤系统的特性	10
第二章	光纤干线的设计算法	17
	引言	17
	设计算法	21
第三章	光纤	23
	引言	23
	物理结构	24
	基本理论	24
	光纤类型的比较	36
	光纤的不完善性	43
	光纤的封装	48
	光纤的物理特性	52
	光纤的评价方法	67
	光纤光学特性的测量	67
	光纤机械性能的测量	71
	光纤的制造过程	76
	光纤的拉制过程	85

第四章	光缆	95
	强度部件	96
	光缆结构	99
	光缆测试	102
第五章	光源	105
	光源的类型	106
	通信中使用光源的基本特性	108
	光源的选择	113
第六章	调制和检测	131
	引言	131
	光检测器	135
	接收机设计的考虑	143
第七章	光纤插接接头、固定接头和耦合器	149
	引言	149
	端面备制	154
	光纤固定接头	157
	光纤插接接头	159
	耦合器	164
第八章	系统	175
	局间通信线路	176
	入口通信线路	178
	强电磁辐射环境下的24或30路	
	信道的PCM通信线路	178
	海底远距传送系统	179
	光缆电视干线	182
	防窃听通信线路	184

	军事应用	185
	移动通信线路	185
	雷达遥测	188
	武器制导	188
	鱼雷制导	191
	栓连车	191
	分配系统	192
	线连局	193
	线连城市	193
	光缆电视分配	201
	传感器系统	202
第九章	解剖设计	205
	引言	205
	方案 1 的干线设计	211
	方案 2 的干线设计	227
第十章	系统经济	237
	第 1 个步骤	238
	第 2 个步骤	240
	第 3 个步骤	242
	第 4 个步骤	249
	第 5 个步骤	251
附录一	缩略语表	255
附录二	参考文献选	257
	编后说明	259

第一章 光纤系统的作用

在信息社会中，光纤波导具有生命力。生活中，最根本的事情就是信息的产生、传播和处理。在这个社会中，我们能够看到，由于我们应用了信息资源，从而使得工作效率、生产率和我们所做的许多努力都得到了改进。有效地传输信息与我们工作有极大关系。

光纤是一种能处理大容量信息传递的线状结构。我们要用它作为信息高速公路系统的建筑基石，帮助我们管理好能源、运输和通信，提供保健设施和公共服务，加强国防，发展工商业，并为人们的娱乐和教育提供资料。光波导肯定会找到数以千百万计的应用，无处不起重要的作用。

经济和技术的发展，促进了以物质为基础的社会，进入以信息为基础的社会。人口增长已到达了我们的生存，要以一套越来越复杂的准则为基础的状况。我们要开拓未来的物质与思维能力，以应付还在日益增长的产品需求和逐步枯竭的可用能源。近年来，技术进步已为我们提供了 3 项重要变革。这些变革使我们能得心应手地发展新工具，以处理各项工作。晶体管被发明和演变为集成电路，使人们设计出了密集封装、复杂和多功能的电子电路。这就需要扩展我们的能力，去运用复杂的控制功能，提供大量的信息存储和使用快速信息处理。特别是大量电子计算机的

应用，有效地开拓了我们的思维能力。激光器的发明使得我们能利用电磁能量谱中的光波波长的范畴。激光器相当于一个射频振荡器，能作为信息载频。因为光频很高($\approx 3 \times 10^{14} \text{Hz}$)，在理论上，它能容纳的信息带宽比射频能容纳的信息大好几个数量级。光纤波导的发明为我们提供了优良传输介质，使高速率的信息传递和分配成为可行。

光纤系统在社会变革中的作用

在信息社会中，人们的物质与精神的要求就是物质和服务两个方面。物质方面涉及到基本食物生产和把原料加工成一般商品。服务方面则需要有一个新的行业，以改进物质产品的分配效率，平衡资源分配和以新事物来丰富生活。构成通信干线的光纤系统正是作为这种服务行业的基础。

能量资源

直到 21 世纪，热核聚变被完全控制以前，有用的基本能源很有限。如石油和煤气等许多使用方便的能源会很快消耗殆尽，其结果就是能源价格不断地迅速上涨。这就要求仔细地考虑一下能源的使用方式，以便更有效地满足日益增长的能源需求。这就要求对民用和工业中的石油、天然气、煤、太阳能以及其他能源的消耗，用价格和有效性进行平衡。现在到了处理高能源消耗的时候了。例如，制定节能条例，制造节能设备。同时，也要把开发另一些初级能源提到日程上，以对付令人讨厌的环境冲击。光纤特性具有不受电磁场干扰的优点，使得光纤能够用于发电厂

和变电站，以改进控制和通信的功能。

运输

人和货物的运输是我们日常生活的主要组成部分，不同的运输对象要用不同的工具。诸如成堆大宗货物的运输，要用汽车、火车、轮船和大卡车。如个人的旅行，可乘小轿车、自行车，为了快速运输，可用飞机。总而言之，所有这些运输方式，保证了社会的运转。

由于人口和商业的增长，运输量随之飞速增长。用于运输的总能量消耗与能量储备相比，已达到了足以引起人们关注的程度。因而，更加有效地应用运输系统很重要。

光纤系统在运输中的作用并不是直接的。在大宗货物运输系统中，如果提供了可靠的控制方法，工作效率会大大地提高。在铁路上，通常需要确定车辆的位置和速度，在高速电气化铁路线上，这种需要更为突出。而沿着电气干线架设光纤控制系统有其好处，因为在那种场所，铜线系统会遇到严重的电磁干涉问题。

通信

光纤系统的引入，将使通信网络发生巨大变化。由于光纤的低损传输特性和宽频带容量，使得信号能力很少用或根本不用中继放大器而作长距离传输。也就是说，与应用别的系统相比较，光通信系统能用更短的时间传送更多的信息。这意味着它能以更低廉的价格提供更多的服务。

以铜线作为传输线的电话网，已经为我们提供了非常有价值的通信网。用声音直接通过电话联络的方式已经使

办事效率大为提高，它减少了出错，提供了其他方式所办不到的许多服务。

以光纤作为传输线的通信网络，在单位时间内的信息载荷容量，要比电话网大好几个数量级，而且能提供多种服务，包括需要频宽远远大于电话服务的视频服务。这种通信网络允许传输视频、音频和数据，并可与计算机连用。毫不夸张地说，它使我们的视觉和智能得到了延伸。这种通信网的功能将为我们开创一个崭新的社会环境——适应信息时代的新环境。

通信网络的变革，历时较长。因为现存的通信网是一宗巨大资产，不可能弃之于朝夕，也不可能顷刻投以巨资创建新的通信网络。开发光纤系统效益的最可行办法，就是从一些重要地区的现有通信网中先着手进行改造。在大城市中，铜电缆主要设置于地下管道，提供繁忙的局际联络。具有同等信息载容量的光缆，要比铜电缆的尺寸小得多，而且在大多数情况下，能以无中继的方式提供局际交换。从使用系统所需的费用，包括安装、维护和机械构件来说，光纤系统是有利的，尤其是那些交通量大和增长快的地方。具有高交通密度的城间公路，用了光纤系统后服务既好、费用又省。在某些场所，光纤正在进入现有的通信网络中。另一个较先可以应用光纤系统的场所是卫星地面站与分配中枢间的网络。还有距离为几公里或更长一点的电视信号干线，应用光纤也具有吸引力。

由于光纤系统用途日趋广泛，将使其价格下降，到那时经济效益就更显著了。光纤系统将会因它的价格低廉而为人们所乐于采用，甚至在那些并不需要宽带低损特点的