

光缆工程基础

王明鉴 编著

北京邮电学院出版社

光缆工程基础

王明鉴 编著

北京邮电学院出版社

(京)新登字162号

内 容 简 介

本书对光纤、光缆的结构、性能和使用方法,光缆线路的设计方法和施工要领,维护光缆线路的措施和解释光传输各种现象所必需的光学知识作了系统的介绍。取材广泛,立论严谨,图表丰富而实用,文字简练而流畅,便于阅读。是一本供高等专科学校光缆(纤)通信专业使用的教材。亦可供大学通信类本科生作教学参考书和从事光通信的技术人员自学时使用。

光缆工程基础

编 著 王明鉴

责 编 郑 捷

*

北京邮电学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京通县向阳印刷厂印刷

*

787×1092毫米 1/16 印张15.25字数 388千字

1993年1月第一版 1993年1月第一次印刷

印数: 1-4000册

ISBN 7-5635-0102-9/TN·32 定价: 10.00元

前 言

经过一年多的努力,《光缆工程基础》一书终于和读者见面了。

1987年,曾出版过一本教材——《光缆工程》。那是汇集了本人在线路训练班和在光通信短训班授课时所使用过的历次讲稿,并参考了当时收集到的、与光通信有关的资料编纂而成的。之所以命名为《光缆工程》,则是根据社会对工程型人才的需要,表达了愿对这类课程,从教学实践上进行探索的意向。

1989年,根据在授课过程中发现的问题和从学生那里反馈回来的信息,以及这两年多来阅读过的论文,重新设计教学方案,并运用将近一年的时间,写成新的教材,书名则更换为:《光缆工程基础》。原因是:该书所介绍的,多属光缆工程的基础知识。对专科学生的培养来说,这种处理方式也比较妥当,因为光缆技术而今仍在迅速的发展着。书稿完成之后,利用对电信系本科生讲授《光缆工程》课程的机会,按照新的设想加以实施。1991年,又根据北京邮电学院刚通过的“光缆通信”的专科教学计划和“光缆工程”课程的教学大纲,对写成的教材再一次进行修改。同时,利用到北京邮电学院福州分院,对“光通信专业”的专科学生讲授“光缆工程”课程的机会,再一次通过教学实践进行检验。实践证明:这种处理方式是可行的。

全书共有六章。第一章用来阐述光缆通信系统获得飞速发展的原因;第二章介绍研究光纤光缆时所必需的基础知识;后四章则分别对光纤、光缆的结构、性能和特点、光缆线路的设计和施工方法以及光缆线路的维护措施进行论述。参考学时数为60。

该书侧重于从物理概念上说明各种现象的缘由。文字简练、通畅,便于自学。每章均附有思考题、习题和主要参考文献,以期引导学生对其中的某些问题深入的进行钻研。

尽管作了这么多的努力,但囿于水平,该书未必能尽如人意。不足之处,尚请读者给以批评、指正。在编写过程中,徐大雄教授曾对其中的第二章进行审阅,李国瑞教授则对全书细致的加以校阅,都提出了不少宝贵的意见。北京邮电学院出版社对该书的问世,从各个方面给予支持。值此付梓之际,特致诚挚谢意。

王 明 鉴

1991年12月

目 录

1 序

1.1 近20年来光缆通信系统以前所未有的速度获得了发展	(1)
1.2 光缆通信系统获得飞速发展的原因	(3)
1.3 光缆通信系统的结构	(10)
1.4 光波技术的应用	(10)
1.5 光波技术的发展过程及展望	(11)

思考题	(14)
-----------	--------

习 题	(15)
-----------	--------

参考文献	(15)
------------	--------

2 光学知识

2.1 引	(17)
2.2 属于几何光学范畴的一些理论	(19)
2.3 光的电磁理论	(32)
2.4 光的吸收、散射和色散	(61)
2.5 光纤中的导模 *	(67)

小 结	(70)
-----------	--------

思考题	(73)
-----------	--------

习 题	(74)
-----------	--------

参考文献	(75)
------------	--------

3 光纤

3.1 光纤的结构和分类	(76)
3.2 裸光纤的性能	(84)
3.3 单模光纤	(108)
3.4 光纤的制作	(118)

小 结	(128)
-----------	---------

思考题	(131)
-----------	---------

习 题	(131)
-----------	---------

参考文献	(132)
------------	---------

4 光缆

4.1 光缆结构	(135)
----------------	---------

4.2 为使光缆实用化而采取的措施	(144)
4.3 光缆的制作	(154)
4.4 光缆的测试	(156)
小 结	(156)
思考题	(157)
习 题	(157)
参考文献	(158)
5 光缆线路的设计与施工	
5.1 光纤的接续	(160)
5.2 光缆线路的设计	(189)
5.3 光缆线路的施工	(200)
小 结	(206)
思考题	(206)
习 题	(207)
参考文献	(207)
6 维护	
6.1 在提供高质量的服务中, 维护管理工作起着举足轻重的作用	(210)
6.2 光缆线路的故障及处理线路故障所经常使用的方法	(211)
6.3 激光辐射的危害及防护	(219)
小 结	(222)
思考题	(223)
习 题	(223)
参考文献	(224)
附 录	(225)
附录A CCITT建议G·651摘录	(225)
附录B CCITT建议G·652摘录	(228)
附录C CCITT建议G·653和G·654 摘录	(230)
附录D GB7424——87摘要	(232)
附录E 回路间串音及描述串音所采用的方法	(236)

1

序

本章介绍光缆通信系统的结构；获得迅速发展的原因，光波技术的应用领域及其发展远景。

1.1 近20年来光缆通信系统以前所未有的速度获得了发展

很多科学家都将1970年称作“光缆通信系统的开元之年”。其原因是：在这一年，世界上出现了第一根每公里的传输衰减不超过20分贝的光纤(记作 $\alpha \leq 20(\text{dB/km})$)^①，标志着“这种传输线具有研究的价值”^②；制成了可在室温下连续工作的半导体激光器^③。这些事实引起了不少国家有关单位和政府的关注，从人力和物力上给予支持，使人们对光缆通信系统的研究能够不断的向纵深发展，其研究成果也适时地得到了开发和利用。

就通信领域而言，光缆通信系统的发展速度可以说是前所未有的。在器件方面，1970年制得的光纤， α 值在 $20(\text{dB/km})$ 左右。其后， α 值逐步降低：1972年为 $4(\text{dB/km})$ ，1976年为 $0.5(\text{dB/km})$ ，到了1978年， α 值已低达 $0.2(\text{dB/km})$ 。1970年，双异质结激光器能够在室温下连续工作；到了1977年，其外推寿命已延长为 10^6 小时；及至1982年，则出现了能在码速为 $500(\text{Mb/s})$ 时仍保持单模输出的DFB激光器。在系统方面，光缆作为中继线敷于市话局之间，在1978年第一次进行商业性试用；到了1984年，美国建成了长度为 $776(\text{Miles}((\text{合} 1241.6(\text{km})))$ 的干线光缆；1985年，纵贯日本的干线光缆也宣告完成，全长约为 $3400(\text{km})$ ；1988年，TAT-8大西洋海底光缆进行建设，全长约为 $6657(\text{km})$ ；1989年，连接美国、夏威夷、关岛和日本的TPC-3/HAW-4太平洋海底光缆宣告建成，长度约1.3万多公里。为了给宽带综合业务数字网(BISDN)的实现创造条件，早在本世纪70年代末和80年代初，美、日、法、德、英、加等国就已对“用户光纤通信系统”进行了试验性的研究。其中最大的，当数法国的比亚里茨“光纤城”，拥有5000个用户；西德的BIGFON的规模也不小，“建有十个‘光

① $\alpha = 20(\text{dB/km})$ 的含意是：每传输一公里的距离，其能量耗损掉百分之一。

② 参见Hiroshi Murata: Handbook of Optical Fibers and Cables, P.2, 1988.

③ 半导体激光器以其体积小和振荡效率高而为光缆通信系统所选用。1970年，其寿命超过1500小时。

岛', 每个光岛一般为几十个用户提供多种业务的服务”。至于光缆通信系统所提供的电路数和所能达到的无中继传输距离则差不多是与年俱增, 就商业使用的光缆通信系统来说, 1977年, 敷于美国拉斯维加斯的光缆系统, 速率为45(Mb/s) (相当于672个电路), 最长中继长度为4.5(km); 1981年, 建于英国伦敦和雷丁之间的光缆系统, 速率为140(Mb/s) (相当于1920个电路), 最长中继间隔为8.3(km); 1985年, 美国达拉斯到休斯敦的光缆系统, 速率为432(Mb/s) (相当于6048个电路), 其中继距离平均为35(km); 1988年, 在美国费城和芝加哥之间供正式商用的光缆系统, 其速率为1.7(Gb/s) (相当于2.4万多个电路), 平均中继距离为46(km); 工作波长为1.55(μm)的565(Mb/s)光缆系统, 中继长度一般为70~80(km)①。实验室传来的消息更为惊人: 速率为5(Gb/s)的光缆系统②, 中继长度为40(km); 速率为16(Gb/s)的光缆通信系统, 中继间隔为22(km)③; 速率为11(Gb/s)的光缆通信系统, 中继间隔为70(km)④。

这就是说, 从1970年起, 迄今总共只有20年的光景, 光缆通信系统却已从元器件的研制, 短距离的试运行, 发展为在商业上大量的使用; 通信距离已从几公里延伸为万余公里; 光缆通信系统所提供的电路数已扩展为数十万个。

我们知道, 同轴电缆的理论早在1912年就已经建立了。只是由于材料和制造技术等方面的原因, 直到1931年才出现第一根同轴电缆。在1934年前后试用时, 其电路数只有200左右。到了1953年, 出现了1800路同轴电缆通信系统; 在20世纪60年代, 各国始予以开发; 及至1973年, 10800同轴电缆通信系统方实现商用⑤。至于对称电缆, 经历的发展过程则更长。因为第一条电话电缆敷于1882年, 第一条电报电缆线路建设于1837年。

即以我国而论, 光缆通信系统的发展速度也同样令人震惊。北京市86分局和89分局之间的、长度为3.3(km)的光缆中继线, 于1979年建成, 同年10月开始试用, 1981年6月, 为北京市科委召开的鉴定会认可。这是我国第一条经过专家验收的、商业用的光缆通信系统。到1988年年底, 全国建成的光缆通信线路总长度已达5000(km), 其中, 3138(km)用于公用通信(市话占65%, 长途占35%)⑥; 及至1989年6月, 光缆线路总长度已递增至11942(km)。从“世界电信”第三卷第三期发表的材料来看, 到了1989年年底, 公用电话网中已敷设的光缆的总长度为5400(km), 此时, 长途光缆所占比重已上升为55%⑦。这些数字表明: 就在1988年到1989年这一年的时间里, 公用电话网中光缆线路的长度已增长为原有长度的1.8倍。若与我国同轴电缆通信系统和对称电缆通信系统的发展过程相对比, 自会得出“光缆通信系统以令人震惊的速度飞跃发展”的结论。

那么, 光缆通信系统为什么会如此迅速的得到发展呢?

① 见世界电信, Vol.3, No.3, P.12.

② 见I E E E Photonic tech.letters, Vol.1, No.10, P.P.332~333.

③ 见I E E E Photonics tech.letters, Vol.1, No.10, P.P.337~339.

④ 见I E E E Photonics tech.letters, Vol.1, No.10, P.P.334~336.

⑤ 参见: И.Е. Е Ф И М О В: 通信电缆的结构及电特性, 1959年, 以及, 大和和夫等, 电线电缆手册, 1976年.

⑥ 见世界电信, Vol.2, No.1, P.6.

⑦ 见世界电信, Vol.3, No.3, P.9.

1.2 光缆通信系统获得飞速发展的原因

光缆通信系统之所以能如此迅猛的得到发展,其原因有三。

1.2.1 光纤传输线的性能远较金属传输线^①优越

在金属传输线中,以同轴线^②的传输性能最为优良。然而,即使是同轴传输线,它的很多性能亦逊于光纤传输线。现就其截面积、重量、传输衰减、通频带和抗御电磁干扰的能力等剖析于下:

一、光纤的截面积比较小

光纤的外径为 $125(\mu\text{m})$,即使光纤之外还存在着塑料护套,其外径也不足 $1(\text{mm})$ 。中同轴传输线的外径则接近于 $10(\text{mm})$,就是小同轴传输线,它的外径也在 $5(\text{mm})$ 左右。

截面积小,意味着成缆时耗费的缆皮材料较少,同时,运输和施工时所需要的费用也会随之而下降。

二、光纤的重量比较轻

光纤的主要材料为 SiO_2 ,其比重是2.2,而铜的比重却有8.9。而且,光纤的截面积远小于中同轴传输线(参见本章习题1.5)。所以,与单位长度的同轴电缆相比,单位长度光缆的重量要小得多,参见表1.1。

重量轻,不但给敷设和使用提供了方便,而且还节省了运输费用。

三、光纤具有较小的传输衰减

熔融石英光纤的衰减系数 α 值是比较小的。当工作波长为 $0.85(\mu\text{m})$ 时, α 值在 $2.5(\text{dB/km})$ 与 $5.0(\text{dB/km})$ 之间;工作波长为 $1.3(\mu\text{m})$ 时, α 值在 $0.3(\text{dB/km})$ 和 $0.7(\text{dB/km})$ 之间;工作波长为 $1.55(\mu\text{m})$ 时, α 值约为 $0.2\sim 0.4(\text{dB/km})$ 。相比之下,中同轴传输线的 α 值却大得多,例如, $f=60(\text{MHz})$ 时, $\alpha\approx 19(\text{dB/km})$ 。

由于光纤的 α 值较低,或者说,输送信号时耗损的能量较小。所以,光缆通信系统的中继间隔约为同轴电缆通信系统的 $5\sim 50$ 倍。在通信距离相同的情况下,光缆通信系统所设置的再生中继站要比同轴电缆通信系统少得多。中继站数目的减少,不但可降低系统的总投资,而且还可以提高系统的可靠性^③。

四、光纤可提供极宽的信道

通常将用来输送电信号的通道简称为“信道”。眼下,1800路同轴电缆通信系统和10800同轴电缆通信系统的信道是由中同轴传输线提供的,频带的宽度分别为 $8.5(\text{MHz})$ 和 $60(\text{MHz})$ 。相比之下,光纤传输线所提供的信道要宽得多,即使是比较保守的估算,其数值也在 $10000(\text{MHz}\cdot\text{km})$ 以上。

① 所谓金属传输线,指的是由铜、钢等导体构成的、输送电信号的设备。常见的有:架空明线、对称电缆(含全塑市话电缆)和同轴电缆等。

② 同轴传输线是由一个圆柱形金属管(称作外导体)和一个圆柱形金属导线(叫作内导体)构成的。只是因为它具有内导体的轴线和外导体的轴线重合在一起的特点,所以才被命名为同轴线。当内导体的外直径为 $2.6(\text{mm})$ 、外导体的内直径为 $9.5(\text{mm})$ 时,通常称之为中同轴传输线;内导体直径为 $1.2(\text{mm})$ 和外导体内直径为 $4.4(\text{mm})$ 时,则叫作小同轴传输线。

③ 关于中继站的机理请参阅:顾晓仪、李国瑞编著,光纤通信系统。

信道宽，意味着该通信系统可以提供的电路数比较多。每一电路一公里的成本，当然也会随之下降。

五、与传统的金属传输线相比，光纤抗御电磁干扰的能力比较强

为了使安全供电得到保证，电力部门在调度中心和各变电站、发电厂间架设有专用的通信设施，用来输送诸如继电保护、监视、遥控等信号。由于通信设备紧挨着高压输电线，所以在电力部门工作的通信人员，也常因强电磁干扰而苦恼。1974年，日本以东京和关西两电力公司为代表率先进行光纤通信试验，并于1978年开始使用。据报导，迄今运转正常，从而使扰人的强电干扰问题得到较好的解决^①。

事实上，像无线电广播、瞬时电磁脉冲等均不会对利用光纤输送的信号形成干扰。至于“使光纤具有极强的抗御电磁干扰能力”的原因，则在读完本书第二章之后，自然会找到恰当的答案。

六、光缆通信系统可以在不增添光纤数量的情况下进行扩容

当需要扩大通信系统的容量(简称为扩容)时，只要在光缆通信系统的设备内加添一些称作“合路器和分路器”的部件，就可以使通信容量成倍或成数倍的增大，而无需更换光缆线路。对同轴通信系统来说，这是难以想像的。

七、光纤传输线产生串音的可能性远低于同轴等金属传输线

架空明线、对称电缆和同轴传输线的特点之一就是：线对间存在有串音。对于这些传输线，只要在它们的附近安放一个耦合器，就可以从这些传输线取出沿线输送的信号。因此，

由金属传输线构成的通信系统，保密能力并不强。相比之下，光纤通信系统遭窃密的可能性却要小得多，其原因是：

1. 电磁场的耦合只能在几个波长的距离以内发生。对光纤来说，光波是在称作纤芯的介质中传输的。纤芯之外覆盖有包层、涂覆层、缓冲层和塑料护套，见图1.1。包层的厚度至少有 $37.5(\mu\text{m})$ ，而光缆通信系统的工作波长却在 $1(\mu\text{m})$ 左右。在这种情况下，若欲在贴近纤芯边界几个波长的距离内安放

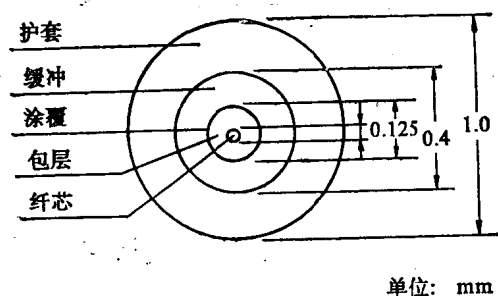


图 1.1 单根光纤的结构

耦合器，是相当困难的。

2. 光缆线路一般比较平直，即或因需要而拐弯，其曲率半径也在光缆直径的20倍以上。此时，从光纤逸出的光波，其强度极弱，起不到任何作用。

八、光纤可在特殊环境下使用

现举数例以资说明。

1. 硅玻璃的软化点约为 600°C ，温度每变化 1°C ，折射率约变化0.0001。因此，光纤可在环境温度有较大幅度变化的场合下使用。

2. 二氧化硅是不导电的物质，所以，即使光纤与金属外皮(或大地)相碰撞，也不会产

^① 见世界电信创刊号，第26页及岛田祯晋：光通信技术读本，§2.3。

生电火花。这一特点使光纤在极易产生爆炸的场所得到了应用。

3. 在核电磁脉冲的作用下, 电缆金属护层上会因感应而产生瞬时电流浪涌和电压浪涌。这种电浪涌既可以使电缆因绝缘被击穿而遭到破坏, 也可以使机房设备蒙受损失。光纤传输线因不存在上述问题, 使其在美国地下核试验场得到了应用^①。

和任何事物一样, 光纤也不是完美无瑕的。它的一些缺点, 自70年代起就已陆续被人们发现。其中, 人们议论较多的是:

1. 光纤的平均伸长率为5%, 最小值低于1%; 而铜线的伸长率^②在25~30%。由于光纤的抗拉强度远低于金属传输线, 从而给成缆、施工和维护带来了额外负担。

2. 光纤的线径很小(例如, 单模光纤纤芯直径约为10(μm)), 倘若接续时处理欠妥, 则将因接续损耗大而使信号传输受到影响。由于对光纤接续提出的要求较高, 从而给野外施工增添了难度。

3. 由于信号的载送者更换为光波, 所以, 现有从事电信工作的人员需经过培训, 才能承担整个系统的设计、施工、维护, 乃至管理等工作。

经过十几年的探索, 所提出来的一些技术问题均已相继得到解决。随着技术问题的解决, 人们的看法也在不断地变化。例如, 对于单模光纤的接续, 国外学者在1984年是这样评述的^③: “长期令人担心的、关于供单模光纤使用的连接器和野外接续的问题, 业已证实并不像想像中那么困难, 其接续损耗已与多模光纤野外操作时的接续损耗相同”。至于对多模光纤接续问题的论述, 我们不难在1976年前后发表的文献中找到。

对现有工作人员再学习的问题, 我的观点是: 社会生产力是极其活跃的, 已发展了的生产力必然要用新技术对现

有的电信技术进行改造, 而变革后的电信必将推动社会生产力更向前发展。正是这种相互依存、相互促进的关系, 才促使社会生产力不断地前进。作为社会的一个成员, 为了适应社会的进步, 并对社会的向前发展作出应有的贡献, 当然应该再学习。

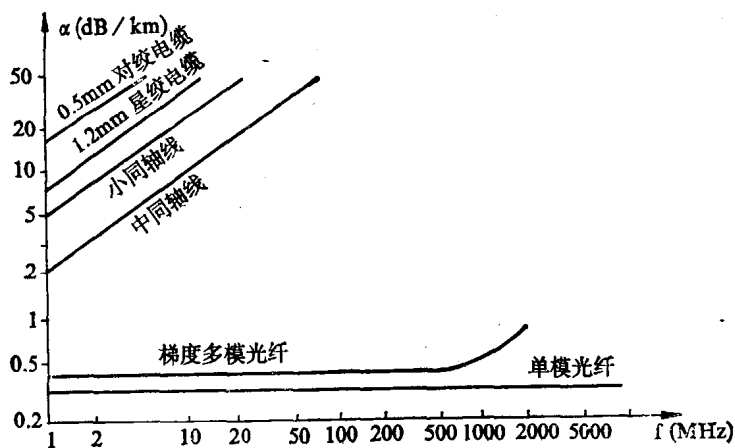


图 1.2 各种传输线的传输性能

图1.2及表1.1是根据《电线电缆手册》、《产品目录》以及诸如此类的材料编辑而成的。其目的是让读者透过图和表中的数字, 从技术方面加深对光缆通信系统的认识。

① 见Military Technology, 1984, No. 6.

② 材料受到拉力直到拉断时, 所伸延的长度与原有长度之比叫作伸长率。伸长率的大小, 通常用百分率表示。

③ 详见 Laser Focus/Electro-Optics, 1984, No. 9.

1.2.2 当速率较高或所需电路数较多时, 光缆通信系统每一电路一公里的成本低于同轴通信系统和对称电缆系统

为了寻找使用光缆通信系统的最佳条件, 国内、外很多学者作了大量的工作。最早的时

表 1.1 传输系统的对比

名 称	星绞电缆	小同轴电缆	中同轴电缆	光 缆
芯线数(根)	4 × 4	8	8	8
所使用的缆皮	裸铅皮	裸铅皮	裸铅皮	LAP
重 量(kg/km)	1379	2.5 × 10 ³	6.3 × 10 ³	75
缆 径(mm)	22.5	28	47	10
允许的曲率半径(cm)	45	60	100	20
接续时的难易程度	易	稍难	稍难	难
已实现的最高速率(Mb/s)	2	100	400	1700
1. 系统的电路数	30	1440	5760	24192
2. 中继间隔(km)	1.5	1.5	1.5	10~75
材料来源	电缆电 线手册	同轴电缆手册 光通信技术读本		产品说明书

候, 他们是将光缆通信系统和同轴电缆通信系统进行对比。近几年来, 对比的对象已扩展到微波通信系统、海缆通信系统和卫星通信系统。由于在作经济对比时, 需要加以考虑的因素比较多, 其计算过程不但繁琐, 且方法各异。而我们的目的, 仅仅是为了从经济的角度阐明光缆通信系统得到迅猛发展的原因。因此, 这里仅从一些论文中摘出其结论, 作为读者思考问题时的依据。至于计算方法及其细节, 只好从略了。

一、国外学者的看法

1. K.C.Kao(高锟)在1977年指出: “从每一话路的相对价格来看, 当容量为3000个话路时, 用光纤比用同轴传输线来得经济。容量越大, 这个特点越突出”^①。

2. K.C.Kao在1982年出版的《光纤系统—工艺、设计与应用》一书中, 就计算结果绘制了两张图, 它的含义是: ^②

(1) 每年增长的电路数若超过100, 则速率为34(Mb/s)及140(Mb/s)的光缆系统, 其成本均较同轴通信系统低。

(2) 若每年增长的电路数为160, 路由长度超过5(km), 则对速率为2(Mb/s)的系统来说, 光缆通信系统的成本与新架设的对称电缆通信系统相同。

3. K.C.Kao 在1985年提出: “TAT-8光缆通信系统的造价为海缆通信系统的三分之二”^③。

4. 在论文“光纤在干线网中的应用”^[23]中, 作者在对100(km)长的线路进行分析之后指

① 见I.T.U. Telecommunication Journal 1977, No.4, P.P.25~32.

② 见该书中译本第248页。

③ 见Communication International, 1985, No.10, P.13.

出,当速率为140(Mb/s)时,光缆通信系统的成本比同轴电缆通信系统低50%。

5. 福富秀雄在发表于1985年9月的《电气通信》中指出:“速率为400(Mb/s)时,光缆通信系统的成本为同轴通信系统的35~40%。

二、来自国内的消息

1. 在论文“光缆传输系统的应用和设计”中,作者经过计算后指出:“三次群(相当于480个电路)以上的光纤传输系统比金属导线传输系统每一话路一公里费用低。”^①

2. 1986年,论文“光纤通信在市话网的应用”是这样叙述的:“新600对0.6(mm)电缆开64套2(Mb/s)系统与四次群光缆相比较。局间中继距离在6(km)以下时,音频电缆较经济;长度在6(km)以上时,则光缆比较经济。”^②。

3. 在论文“在市话线路网中应用光纤通信系统的经济技术比较”中,作者把计算结果绘在一张图上^③,从图可以看出:在传输距离为5(km)的条件下,即使电路数高达1920,利用原有的电缆传输数字信号仍较新建三次群光缆系统便宜;若在新敷设的线路上开通数字通信,则在电路数超过800时,以采用三次群的光缆通信系统为宜。

4. 在论文“线路的回顾与展望”⁽⁷⁾中,作者就每公里投资与每话路一公里投资的估算,对各传输系统进行了对比,见表1.2。

表1.2 各种金属线、缆传输系统的对比

传输系统的名称	每公里总费用 (万元)	每话路一公里费用 (元)
架空明线12路载波系统		181.7
60路高频对称电缆系统	4.67	97.3
960路小同轴电缆系统	6.28	20.9
1800路中同轴电缆系统	7.76	21.3

5. 在论文“中国将大力发展光纤通信”⁽⁶⁾中,作者指出:“汉一荆一沙省内二级干线架空光缆,……,平均造价为每公里3.1万元。仅相当于300路6管小同轴电缆系统的一半”。

6. 在论文“徐州一沛县省内二级干线改光缆的可行性报告”⁽¹²⁾中,作者提出了下列一些数字:“扬州一高邮工程综合造价为3.38(万元/公里);徐州一沛县以65(km)计算,总投资为219.7万元。……,每新架一对3.0(mm)铜线,综合投资约为9460.12(元/公里)。”

7. 在论文“市话光纤传输系统的技术经济分析”中,作者指出:④“话路数大于300时用三次群的光缆系统比用市话电缆便宜。……,如果利用旧有的市话电缆开PCM,它的最大电路数也只能达到600,如果电路数超过600,在经济上就不合算了”。“若使用单模光纤,……,每话路分摊的成本约为1000元,……,若在类似条件下,选用全塑电缆,每话路分摊的成本约为1500元”。

8. 在论文“探讨建设方案降低微波工程造价”中,作者指出:“正在建设中的微波线路工

① 见电信科技情报,1986,第3期,P16~P23。

② 见电信科技情报,1986, No.6, P.24。

③ 见电信科技情报,1988, No.5, P7。

④ 见世界电信,1990, No.3, P15~P17。

程, 若以安装三个模拟1800路(或速率为140(Mb/s)的数字信号)计, 每公里综合造价约为8~10(万元), 其费用已超过某些容量相当的的光缆工程。”^①

9. 在论文“关于我国二级通信干线应用架空光缆的可行性分析”^②中, 作者列出了一些统计数字, 这是按照1988年国产设备价格计算出来的通信系统的费用。见表1.3。表1.3表明480路6芯光缆系统与300路6管小同轴系统相比时, 光缆系统较便宜。表1.4则是1987年的成本对比。

表1.3 我国光缆系统与同轴系统的对比

通信系统	主备比	话路数	每话路—公里成本	
			元/话路·公里	比率
960路6管小同轴	2 : 1	1920路	13.99	1
920路4芯光缆	1 : 1	1920路	13.96	1
300路6管小同轴	2 : 1	600路	39.00	1
480路6芯光缆	2 : 1	960路	35.91	0.92

表1.4 各通信系统的成本对比

通信系统名称	电路数	综合造价 (万元/公里)	每话路—公里成本 (元/话路·公里)
4×4对称电缆(60路)	4×60	9.52	396.97
4管小同轴系统(300路)	300	11.27	375.67
4管小同轴系统(960路)	960	11.93	124.27
34(Mb/s)6芯光缆	480×2	13.28	138.33
140(Mb/s)6芯光缆	1920×2	16.1	41.92
480路数字微波	480	5.68	118.33
140(Mb/s)数字微波	1920	6.11	31.82

三、物价因素

1. 在论文“国外军用光纤通信发展现状与市场预测”^③中, 作者指出: “1983年的光缆价格比1977年下降了1/2~2/3, 目前还以每年10%的比率继续下降, 而同轴电缆的价格却以每年5%的比率上升”。该文所披露的市场价格为: 单模光纤, 1986年为0.3(\$/m), 1987年为0.28(\$/m); 多模梯度光纤, 1986年为0.51(\$/m), 1987年为0.48(\$/m)。

2. 论文“通信电缆与纤维光学”在分析铜缆市场出现疲软现象的原因的同时, 醒目的刻划出光纤价格下跌的速度: “现在(指1987年)单模光纤每米价格为0.1美元, 而1983年的价格却是每米5美元”。^④

3. 在论文“日本的光通信产业”^⑤中, 作者指出: “1.55(μm)激光器, 1987年每只成本为

① 见电信工程技术与标准化, 1989, 第2期, P1。

② 见现代电信技术, 1991, No.3, P1~P9。

③ 见光通信技术, 1989, No.1, P103。

④ 见Commu. Eng. International, 1987, 3。

⑤ 见世界电信, 1990, No.3, P18~P21。

50(万日元); 1988年降到20(万日元), 降低了60%; 1.3(μm)激光器, 1987年每只为12~15(万日元), 1988年降为10(万日元)”。

4. “市话光纤传输系统的技术经济分析”中指出: “1988年, 我国大幅度上调市话电缆的售价, 使用户光缆系统的话路成本有可能与铜线电缆竞争。……, 现在主干用户电缆每对公里的综合造价已达250元左右”。

四、结论

尽管市场价格瞬息万变, 所引用的数字, 相互之间还存在着矛盾。然而, 还是可以从中得到下列结论性的意见:

1. 按每一话路一公里成本进行对比时, 在电路数超过某个数值时, 光缆通信系统比铜线系统便宜。

2. 对长途干线来说, 光缆通信系统的经济效益较高。

3. 由于光纤和光器件的价格逐年下降, 而铜线的价格却不断上涨。终有一天, 二者的价格会持平。

1.2.3 社会需要通频带宽的信道

一、为了实现以最快的速度递送信息

不管是出于商业竞争的目的, 还是来自政治、军事诸方面的需要。在业已迈入信息时代的今天, 都冀望以最快的速度获得从世界各地送来的信息, 以便不失时机地作出正确的决策。

对电信部门来说, 所提供的信道, 应能让频带较宽的信号通过。

二、为了让品类众多的信号得以在话网中传输

随着生产力的发展和技术的进步, 人们需要交换的信息量已大得远非传统的通信系统所能承受。为了和社会上出现的这些新需求相适应, 诸如可视图文(Videotex)①、智能用户电报(Teletex)②、慢扫描电视(SSTV)③等非电话业务相继问世, 并迅速的得到了推广应用。

显然, 倘若没有数量足够的电路, 这些非电话业务都难以实现。

三、为了宽带综合业务数字网(BISDN)④的实现

关心电信事业发展的读者业已通过各种科普读物得知: 未来的通信网将是一个既灵活, 又经济, 且能提供任何种类公用服务的宽带综合业务数字网。而这种宽带网欲令其实现, 条件之一就是: 必须拥有让宽带信号通过的信道。

正是人们的这种需要, 促使光缆通信系统获得迅速的发展。

① 利用电话网和电视机进行数据传送的业务。

② Telefax指通过双方的存储器和公众通信网进行信息交换的业务。

③ SSTV是在话路上传送静止图像的业务。

④ ISDN是综合业务数字网的简写。其特点是: 用统一的数字信号在同一个网中进行各种通信业务的服务, 藉以降低建设费用和提高服务质量。

1.3 光缆通信系统的结构

从图1.3可以看出, 光缆通信系统的结构与传统的通信系统十分相似。不同之处仅在于:

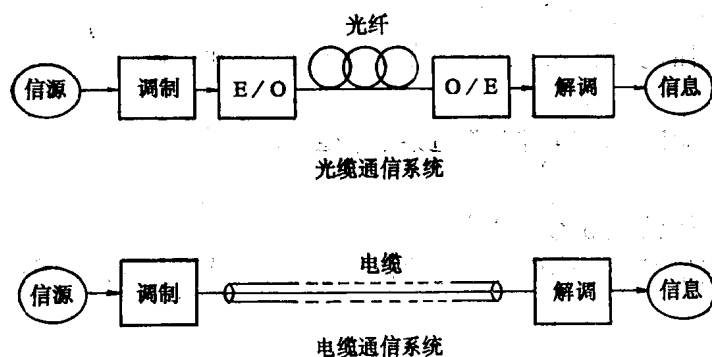


图1.3 光缆通信系统的结构与传统通信系统十分相似

较强的抗御干扰的能力, 只是占用的通频带比较宽, 既可在长距离通信中使用, 亦可运用于短距离通信; 后者占用的通频带相对较窄, 比较容易实现, 但易为噪声所干扰, 通信距离一般不长。关于光缆通信系统的细节, 请参阅本丛书中, 李国瑞等同志编写的《光缆通信系统》。本书仅就光纤和光缆的结构、性能和光缆线路的设计、施工、维护, 以及和光波传输有关的理论问题进行探讨。

1. 光缆通信系统具有光发送器和光接收器^①; 而传统的通信系统则没有这两种器件。

2. 在光缆通信系统中, 信道由光缆提供。

和其它通信系统相似, 光缆通信系统亦划分为数字通信系统和模拟通信系统两大类。前者具有

1.4 光波技术的应用

关于光波技术的应用, 我们已经谈论了不少, 当时的议论是围绕光缆通信系统之所以得到广泛应用的原因而进行的。出现这一现象的原因则是: 光纤在各个领域中的应用与光纤的各个特点密切相关。大家现在看到的表1.5, 就是以1.1节中谈到的例子为基础制成的。

表1.5 光纤的运用(举例)

光纤特点	用途
损耗低、频带宽	公用通信, 有线电视, 光纤延迟线, 微波通信中的传输线, 卫星地面站的下行线路等。
重量轻、尺寸小	公用通信、室内布线、计算机、飞机及舰内传送信号。
抗电磁干扰	电气化铁道及电力部门的专用线, 交通系统传送控制信号。核辐照强烈的场所。
高软化点	环境温度较高的地方。
不会产生电火花	油田、炼油厂、矿井等区域的通信。
窃听困难	保密通信。
导 光	照明。

^① 光发送器的作用是将电信号变换成为光信号; 光接收器的作用则是将收到的光信号再还原成电信号。

从文献来看, 光纤受到社会关注的程度是与日俱增的, 连以往认为与光纤无关的单位, 而今, 在他们的刊物上也能发现关于光纤应用或探讨应用光纤的可能性的文章。所以, 表1.5中所列出的仅仅是光纤众多应用中的一部分例子^①。正是这个原因, 才给表1.5取名为“光纤的运用(举例)”。尽管这个表未能将光纤的所有用途都罗列进去, 叙述时又不详尽, 归类时也不一定那么恰如其分。但是, 对了解其概貌来说, 还是会有所帮助的。

1.5 光波技术的发展过程及展望

激光通信刚问世时, 不少人觉得不可理解——“光怎么也可以用来通信呢”? 其实, 人们用光作为远距离通信的工具比起用电要早得多。即以我国而论, 周幽王因烽火戏诸侯而使西周灭亡, 这差不多是妇孺皆知的历史故事, 是见之于史书的事实, 它发生在公元前七七〇年。这就是说, 在西周时期, 我国用烽火告警的技术已相当成熟了: 当敌人入侵时, 一处举火, 各个烽火台相继仿效, 从而把告急信号一站接一站地, 迅速传送到诸侯屯兵处, 使他们能及时地赶来救援。由于任何一个新事物都有一个发展和成长的过程, 因此, 发明烽火技术的时间还要比公元前七七〇年早得多。历史资料指出: 用烽火作紧急告警的手段, 在我国一直延续到清朝晚期; 在国外, 埃及人、印第安人和欧洲人都曾使用过, 在1588年的英吉利——西班牙海战中, 还为英国军队立过功。然而, 这种通信手段毕竟还比较原始, 缺点较多: 不但传送的信息量小, 传递速度较慢, 而且耗资巨大。所以, 到了19世纪, 终于逐步为电报和电话所替代。

在这漫长的岁月中, 也曾出现过其它的长距离通信方式。例如, 法国人Claude Chappe在1791年发明的“旗杆信号系统”(Sémaphore Signalling System)。研制的目的是为了分散在各个战场上的法军输送信号, 藉以协调行动。其特点则是: 旗杆上置一横杆, 横杆两端各有一个小臂, 小臂可以转动(见图1.4)。发送端通过变更小臂的位置把消息传送出去, 接收端则根据看到的一串代号来领会下达的作战意图。整个过程与舰船间通过旗语取得联系相类似。1793年, 在巴黎和法国北部的里尔之间, 每隔16(km)设一个站, 用来转发信号, 各站利用望远镜相互观看, 从而使通信距离得到了延长。该系统的全盛时期, 曾推广到英吉利诸国, 并自欧洲延伸到北非, 总长度达5000(km)。这个系统的主要缺点是: 在气候恶劣时, 对方小臂的具体位置无法识辨; 而维持这一可靠性不高的通信系统, 却要耗费很多人力。所以, 当莫尔斯(S·Morse)发明了电报, 并在1844年付诸实用之后, 它就逐渐退出历史舞台了。

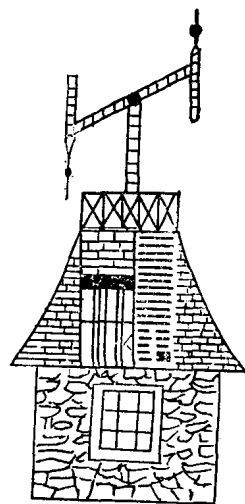


图1.4 旗杆信号系统

在19世纪中叶到1960年这段时间里, 虽然也可以找到关于光通信的报导(例如, 1935年, 德军用西门子公司制作的红外光通信设备在15(km)的长度上实现了通信; 第二次世界大战期间, 美、日、苏各国都曾使用过红外光通信系统等), 但总的说来, 起色不大。

1960年, 梅曼(T. H. Maiman)在宣布制成第一台红宝石激光器的同时指出: 由于激光所

^① 例如, 目前议论较多的“光纤传感器”这里就未曾列入。其原因是: 这个问题涉及的知识面较宽, 一两句话说不清楚; 若欲加以展开, 又受制于篇幅。