

新技术推广资料汇编

第十一辑

光纤与应用

湖北省工业交通新技术推广站
琴台光纤电脑系统工程研究会

一九八五年六月

光纤与应用

《专辑》

湖北省经委新技术推广站编
琴台光纤、电脑、系统工程研究会

一九八五年六月

目 录

编 者 序

一、 概论.....	杨同友 (3)
二、 国内外光纤通信技术的发展概况.....	罗丽棠 (20)
三、 光纤和光缆.....	李先源 (29)
四、 半导体光源和接收器件.....	冯佩珍 (64)
五、 光端机和光中继器.....	谢玉堂 (89)
六、 光纤通信的监视与控制.....	易武秀 (116)
七、 光纤通信系统的设计原理.....	杨同友 (125)
八、 光纤的应用.....	李先源 (133)
九、 无源器件.....	艾时英 (143)
十、 光纤传感技术.....	李广平 (155)
十一、 未来的光纤通信系统.....	杨同友 (183)

编 者 序

武汉邮电科学院副总工程师

琴台光纤电脑系统

工程研究会副会长

黄嘉义

以光纤传递信息可获得其它通信手段所难得的优越性能：因它不受电磁干扰，信息穿越高电磁干扰区可保持优良的信噪比；有宽阔的传输通带，可高速度地传递大量信息；即使传输大量信息，光纤细小，直径仅 $125\mu\text{M}$ 左右与人发粗细相当，体积小重量轻；无辐射现象，保密性能好；制造光纤的主要材料为 SiO_2 ，大量存在于地壳中资源丰富；它是绝缘的，通信双方具有高电位差仍可安全工作。

这些优点正符合日益增长的通信要求，故光纤通信得到了迅速而广泛的发展。电力部门把它应用于高电压大功率的输配电系统中，电信部门将它应用于市话网中、长途通信中，甚至越洋通信中，广播电视部门则将它应用于电视传播节目中，军事部门应用范围则更广，由通信而至导弹控制。

我国近来也在大力研究与开发光纤通信事业，仅武汉市即先后建立了三条市内电话中继系统（其中一条容量为120个电话话路，另两条容量为480个电话话路）、电视节目传输系统（用于湖北电视台与武汉电视台）及工业管理系统（用于华中电管局及武汉钢铁公司生产车间），都起到良好的作用。邮电部及铁道部最近还将建立长途大容量的光纤通信系统。为了迎接即将到来的信息社会更大量的通信要求，我国应更好地更有效地发挥各科研单位的协作、各生产单位间的协作以至各地区间之协作，以更高的速度和更好的质量提供社会为四化建设服务。

序 言

天津大学教授 杨恩译
武汉邮电研究院工程师 杨同友

当代世界的任何技术革命都将以信息的产生、处理、传递和使用为基础。在现代社会里,信息的产生、加工和流通所产生的价值已超过传统工业的物质生产、加工和流通所产生的价值,信息对人类的生存具有和物质、能源同等重要的地位。

计算机处理复杂信息的能力和巨大的存贮能力扩大了智能模拟,促进了向信息社会的演变;大容量和超大容量通信系统的发展加速和促进了信息的传递和使用。因此,在信息社会里,计算机和通信势必溶为一体,组成一个所谓的信息网系统(INS)。信息网系统的支柱包括光纤通信技术,数字技术和计算机技术。因此,实现信息网系统的基本先决条件之一是光纤通信系统,它包括光纤、光缆和各种光电器件。

目前,许多国家都在计划建立全国性的信息网系统。日本政府已正式宣布到1995年完成全国性的信息网系统。在这个计划中将重点发展光纤通信系统,它主要包括:(1)、1984年完成从北海道到九州的全长2830公里,能传输6250路电话的单模光纤通信系统;(2)、几年后,将完成能传输25000路电话的单模光纤通信系统;(3)、从1983年开始,建立用户光纤通信系统。通过光纤把各种信息送到每个家庭,现已在东京郊区安装了标准的光纤用户系统,同时向每个用户传输彩色电视和电话;(4)1986年,将信息网系统的服务区扩大到十大城市,1987年扩大到全国所有县,1995年完成统一的信息网系统。

全国统一的信息网系统的建立将把整个社会的各个领域、各个部分有机的联系起来。人们可以通过信息网系统把每个家庭的电视机、电话机与计算机中心联系起来,人们可以在自己的电视机屏幕上,根据自己的需要阅读各种报纸、书刊、点播电影、查找资料和订购各种商品,甚至学生都可以在自己的家里上课,国家不需要花很多钱建立学校,请医生看病也可以不去医院。人们的工作和生活习惯都将发生深刻的变化。

为适应新的技术革命的需要,许多国家都在大力发展光纤通信技术,其发展速度之快、推广应用范围之广,为通信技术史上所罕见。据某些资料统计,电话发明到广泛应用花了六十年左右;无线电技术花了三十年左右;电视机技术花了十四年左右,而光纤通信技术,从1970年美国康宁公司研制成功第一根低损耗光纤算起,到1976年亚特兰大的试验系统的建立只花了几年的功夫。在系统试验成功后短短的几年时间内,光纤通信技术已发展到通信、广播电视、电力、医疗卫生、测量、自动控制和宇航等许多领域,光纤通信技术在某些发达国家已成为一个全新的产业。在这里,我们仅向读者简单介绍光纤技术的发展历史、基本原理、优越性和美好的发展前景。

1985.5

概 论

1.1 从光电话到光纤通信

1.1.1 贝尔的光电话

2000多年前,我国周朝就有利用烽火台的火光传递信息的方法,但那是一种利用普通光的视觉通信。而我们今天所指的光通信与这种视觉通信完全不同,它是利用光波作载波传递信息的通信方式,从这个概念出发,光通信的历史只能从电话发明家贝尔发明“光电话”算起。

1880年,贝尔又发明了一种利用光波作载波传送话音信息的“光电话”,如图1.1所示利用太阳光或弧光灯作光源,光束通过透镜I聚焦在话筒的振动镜片上,当人对着话筒说话时,振动镜随着话音振动,从而使反射光的强度随着话音的变化而变化。此时,反射光就被话音所调制,传送到接收端的光波就是已调光波。接收端设有一面抛物面反射镜,把从大气

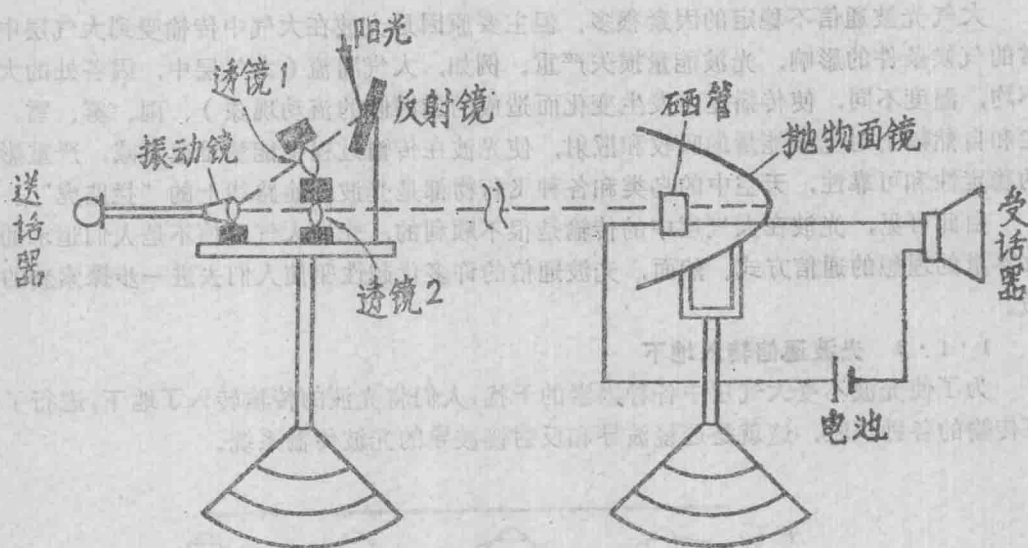


图1.1 贝尔的光电话

中传送来的已调光波反射到硅片上,硅片将光能转变成电流,把电流送到听筒就可以听到发送端讲话的声音。

贝尔的光电话曾受到人们的重视和注意,贝尔本人也很称赞地说:光电话是我一生最伟大的发明。但是,由于当时各种技术条件的限制,这种光电话传输的距离很短,实用意义不大,只能说是光通信的雏型。在光电话问世后一段漫长的时间里,光通信进展很慢,其主要原因是没有理想的光源和传输介质,这就使光通信沉睡了80年。但是,光电话的发明确实是很伟大的,它证明了利用光波作载波传递信息的可能性。

1·1·2 激光器的诞生和光波大气通信

1960年, 7月8日, 美国科学家梅曼(Maiman)发明了第一个红宝石激光器。激光器发出的激光与普通光相比, 谱线很窄、方向性极好、亮度极高, 是一种频率和相位都一致的相干光, 其特性与无线电波相似, 它是一种理想的光载波。因此, 激光器的出现使光波通信进入了一个崭新的阶段。

激光是“LASER”的译名, “LASER”是由英文“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”每个单词的第一个字母组成, 其意思是“受激发射的光放大”。由于激光与无线电波的性质相似, 而频率又比一般的无线电波高得多, 我们今天用于光通信的光波频率一般约为 10^{14} Hz, 它比频率为 10^8 Hz的微波和频率为 10^{11} Hz的毫米波高几个数量级, 因此, 激光的出现, 相当于从毫米波向更高频率的发展, 它可以极大的增加通信容量, 从而引起了通信研究工作者的极大兴趣, 使激光很快在通信领域里得到了应用。在红宝石激光器发明后不久, 各种不同材料的激光器相继出现, 如氦-氖激光器、二氧化碳激光器等。紧接着, 美国麻省理工学院利用氦-氖和二氧化碳激光器, 模拟无线电通信进行了激光大气传输试验。反复试验的结果表明, 在晴朗天气, 通信稳定可靠, 距离较长, 但在不良天气, 通信极不稳定甚至中断, 不能做到“全天候”通信, 这是一个好的通信系统不能允许的, 它反映出这种以大气作为光波传输介质, “靠天吃饭”的通信方式的致命弱点。

大气光波通信不稳定的因素很多, 但主要原因是光波在大气中传输受到大气层中变幻无常的气候条件的影响, 光波能量损失严重。例如, 大气湍流(大气层中, 因各处的大气密度不均, 温度不同, 使传播速度发生变化而造成的旋涡似的流动现象)、雨、雾、雪、大气灰尘和自然辐射对光波能量的吸收和散射, 使光波在传输过程中能量迅速衰减, 严重影响通信的稳定性和可靠性, 天空中的鸟类和各种飞行物都是光波传输路线上的“拦路虎”。

由此可见, 光波在大气层中的传输是很不顺利的, 光波大气通信不是人们追求的长距离大容量的理想的通信方式。然而, 光波通信的许多优越性驱使人们去进一步探索新的传输介质。

1·1·3 光波通信转入地下

为了使光波不受大气层中各种因素的干扰, 人们将光波的传输转入了地下, 进行了光波地下传输的各种试验, 这就是透镜波导和反射镜波导的光波传输系统。

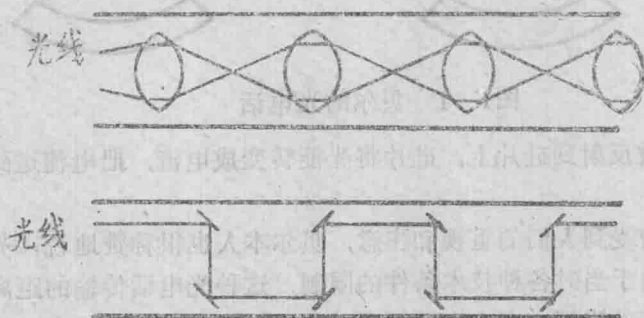


图1·2 透镜波导和反射镜波导

透镜波导是在金属或水泥管道内,每隔一定距离安装一个玻璃透镜,通过透镜的作用将光波限制在管道内传输以达到光波通信的目的。这种传输方式完全可以消除大气对光波传输的各种干扰。反射镜波导的原理与透镜波导相似,不同之处是一个用会聚透镜,一个用反射镜,如图1.2所示。

从理论上说,这两种波导都是可行的,但是,在人们的大量研究和实践以后发现,在实际应用时,这种传输方式将遇到许多不可克服的困难。例如,现场施工十分复杂,对每个透镜或反射镜要进行严格的校准和牢固的安装;为了防止地面对波导的影响,除了采取必要的措施以外,还要尽可能将波导深埋,或选择人、车稀少的地区;在波导路由转弯时,需要增加透镜或反射镜,弯度越大,增加的透镜或反射镜数也越多,光能的损耗也就越大,自然使系统造价昂贵,调整,测试、维修都很困难。由此可见,这种地下的透镜波导和反射镜波导是无实用意义的。

在“天空”和“地下”都不能理想地传输光波的情况下,有人对光波通信产生了悲观情绪,甚至有人主张放弃光波通信的研究。1965年左右,光波通信的研究转入低潮,成了不为人们重视的“冷门”。

1·1·4 低损耗光纤、半导体激光器的问世和光纤通信技术的发展

“山穷水尽疑无路,柳暗花明又一村”,正在光波通信由于传输介质问题而出现低潮的时候,1933年出生于上海的英籍华人高锟(Charles K. Kao)博士,在前人大量的研究工作的启发下,通过他自己的大量工作,对光波通信作了大胆的设想,他认为,电可以沿着导电的金属导线远距离传输,光也应能沿着可以导光的玻璃纤维传输。1966年,高锟首次利用无线电波导通信的原理,提出了低损耗的光导纤维(简称光纤)的概念。在当时最好的玻璃,其损耗还处于每km为1000dB左右,(即光波沿着光纤传输1km后,其光能损耗只有原来的 10^{100} 分之一)的情况下,他预见到,只要设法消除玻璃中的各种杂质,可使光的吸收减到非常小,生产出一种有实用意义的低损耗光纤是完全可能的。在高锟理论的指导下,美国康宁公司马勒博士等三人的研究小组,经过大量的研究和试验,终于在1970年8月首次研制成功损耗为每1km 20dB(光波沿光纤传输1km后,光能损耗为原来的1%)的石英光纤。这种光纤直径很小,只有人的头发丝那么细,并且柔软可挠。它的出现,既克服了地下透镜波导或反射镜波导存在的问题,又能防止大气对光波的干扰,是一种理想的传输介质。

就在光纤损耗获得巨大突破的同一年,美国贝尔实验室林氏等人研制成功室温下连续振荡半导体激光器,与气体激光器相比,半导体激光器体积小、耗电少、又能直接用电流调制,使用方便,为光纤通信技术的发展创造了更为有利的条件。

半导体激光器室温连续振荡是光源研究的重大突破。在研究初期,曾采用了增加注入电流密度的方法,使电流密度高达每平方厘米数万安培,因而引起器件的严重发热,使器件损坏。为此,将它置于很低的温度(-200°C)以下工作,或要求器件脉冲式工作,这样的器件对通信来说是无实用意义的。室温下连续振荡半导体激光器初期的寿命很短,有的几小时,甚至几秒钟就损坏了,但它为半导体激光器的发展奠定了基础。1977年,贝尔实验室研制成功室温下外推寿命为100万小时GaAlAs半导体激光器。至此,可以说推进光纤通信实用的两大障碍都得到了满意的解决。此后,各种光纤通信系统尤如雨后春笋般地发展起来。

1974年,贝尔实验室发明了制造低损耗光纤的方法,称改进的化学汽相沉积法(MCVD),

光纤损耗下降到 1 dB/Km ，1976年，日本电报电话公司研制出更低损耗光纤，损耗下降到 0.5 dB/km 。同年，美国亚特兰大成功地进行了码速为 44.7 Mb/s 的光纤通信系统试验，日本电话电报公司开始了 64 km 、 32 Mb/s 、阶跃折射率光纤系统的室内试验。并研制成功 $1.3\mu\text{m}$ 波长的 InGaAsP 半导体激光器。

1977年，美国开始在芝加哥电话局进行码速为 44.7 Mb/s 光纤通信系统的场地试验，日本电话电报公司发明光纤轴向沉积（VAD）法。

1978年，日本开始了码速为 32 Mb/s 和 100 Mb/s 、渐变折射率多模光纤通信系统的现场试验。

1979年，美国电报电话公司和日本电报电话公司研制成功 $1.55\mu\text{m}$ 连续振荡半导体激光器。日本电报电话公司研制出 0.2 dB/km 的极低损耗石英光纤，同时进行了 $1.3\mu\text{m}$ 长波长光纤通信试验。

1980年，美国标准化FT3（码速为 44.7 Mb/s ，渐变折射率光纤）光纤通信系统投入商用。日本 400 Mb/s ，单模光纤通信系统现场试验。

1981年，日本F—32M和F—100M光纤通信系统商用。

目前，以短波长（ $0.8\text{—}0.9\mu\text{m}$ ）半导体光源和多模石英光纤为代表的第二代光纤通信系统，技术上已很成熟，并已在中小容量、中短距离的通信线路中推广应用；以长波长（ $1.0\text{—}1.6\mu\text{m}$ ）光源和单模光纤为代表的第三代光纤通信系统已成熟，正在向长途干线推广应用；以超长波长（ $2\mu\text{m}$ 以上）光纤、光集成和外差通信技术为代表的第四代光纤通信系统正在迅速发展，光纤通信技术正在许多领域推广应用。

1.2 光纤通信的特点和应用领域

光纤通信与电通信相比，主要区别有两点，一是以很高频率的光波作载波，二是用光纤作为传输介质。基于以上两点，光纤通信有以下的优点和缺点：

优点（1）传输频带很宽，通信容量大；（2）中继距离长；（3）不怕电磁干扰；（4）保密性好，无串话干扰；（5）节约有色金属和原材料；（6）线径细、重量轻；（7）抗化学腐蚀、柔软可挠。

缺点（1）强度不如金属线；（2）连接比较困难；（3）分路耦合不方便；（4）弯曲半径不宜太小。

应该指出：光纤通信的三个缺点，从技术上说是可以克服的，不影响光纤通信的实用。下面，我们着重介绍光纤通信的优越性和它的应用领域。

1、传输频带很宽，通信容量很大。

随着科学技术的迅速发展，人们对信息的要求越来越多，为了扩大通信容量，有线通信从明线发展到电缆；无线通信从短波发展到微波和毫米波，它们都是通过提高载波频率来扩大通信容量。因为光纤中传输的光波要比无线通信使用的频率高得多，所以，其通信容量也就比无线通信大得多。

目前，光纤通信使用的频率范围一般为 $3.5 \times 10^{14}\text{ Hz}$ （波长为 $0.85\mu\text{m}$ ），如果我们利用它的带宽的小部分，并假设一个话路占 4 KHz 的频带，则一对光纤可以传送10亿路电话，即一对光纤可供全国10亿人每人装一部电话，它比我们今天使用的所有通信的容量还大许多。实际上，由于光纤制造技术和光电器件特性的限制，一对光纤要传送10亿路电话是有困难

的。目前的实用水平为每对光纤6250个话路(400Mb/S),现场试验的水平为每对光纤25000个话路(1.6Gb/S)比目前从北京到上海的1800路中同轴电缆的容量大得多,实验室水平为30720个话路,32个数字电视(2.24Gb/S),如果像电缆那样把几十根或几百根光纤组成一根光缆(即空分复用),如图1.3所示,其外径比电缆小得多,传输容量却成百倍地增长,如果再使用波分复用技术,其传输容量就会大得惊人了,这就可以满足任何条件下信息传输

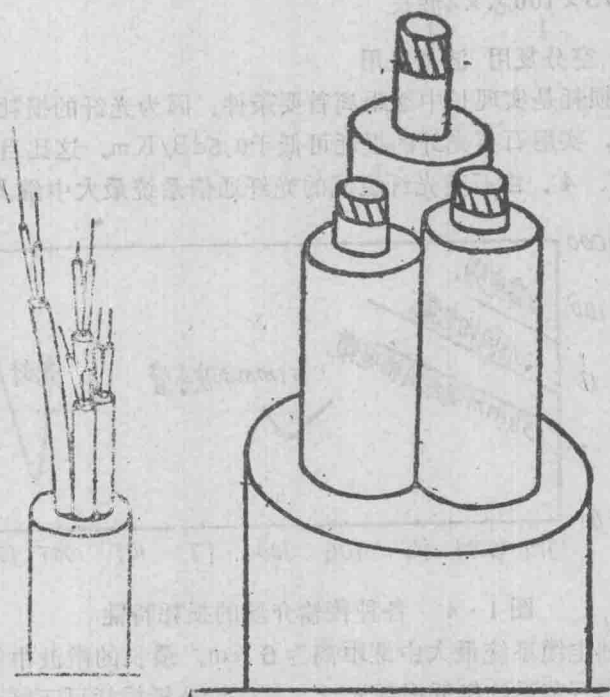


图 1·3 光缆与电缆的比较

的需要,对各种宽频带信息的传输具有十分重要的意义。光纤通信与其他通信线路的容量比较见表 1·1。

2、中继距离长

我们知道,信号在传输线上传输,由于传输线的损耗会使信号不断衰减,信号传输的距离越长,衰减就越严重,当信号衰减到一定程度以后,对方就接收不到信号了。为了长距离通信,往往需要在传输线路上设置许多中继器,将衰减了的信号放大后再继续传输。中继器越多,传输线路的成本就越高,维护也就越不方便,若某一中继器出现故障,就会影响全线的通信。因此,人们希望传输线路的中继器越少越好,最好是不要中继器。

表 1·1 各种传输线路容量的比较

传输线路	传输话路数(估计)
平衡电缆	3,000
微波	50,000

续上表

同轴电缆	100,000
毫米波导管	300,000
光 纤	2,000,000*

* 相当于800Mb/S×100芯×4波长

电复用 空分复用 波分复用

减小传输线路的损耗是实现长中继距离首要条件。因为光纤的损耗很低，所以能实现很长的中继距离。目前，实用石英光纤的损耗可低于0.5dB/Km，这比目前其它任何传输介质的损耗都低，见图1、4。由石英光纤组成的光纤通信系统最大中继距离可达203km，而



图1·4 各种传输介质的损耗特性

现有的电通信，中同轴电缆系统最大中继距离为6 Km，最长的微波中继距离也只有50km左右，如果将来采用非石英系统极低损耗光纤，其理论分析损耗可下降到 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ dB/km，则中继距离可达数千，甚至数万千米。这样，在任何情况下，通信线路都可以不设中继器了。它对降低海底通信的成本、提高可靠性和稳定性具有特别重要意义。

3、不怕电磁干扰

任何信息传输系统都应具有一定的抗干扰能力，否则就无实用意义。而当代世界对通信的各种干扰源彼彼皆是，有天然干扰源，如雷电干扰、电离层的变化和太阳的核子活动等；有工业干扰源，如电动马达和高压电力线；还有无线电通信的相互干扰等，这都是现代通信必须认真对待的问题。一般来说，现有的电通信尽管采取了各种措施，但都不能满意的解决以上各种干扰的影响，唯有光纤通信不受以上各种电磁干扰的影响，真可谓：“任凭风浪起，稳坐钓鱼台”，这将从根本上解决电通信系统多年来人们解决不好的各种问题。

光纤通信抗电磁干扰的原因有两个，一是光纤绝缘体；二是光纤中传输的光波频率很高，而以上各种干扰的频率都在较低的无线电频率上，这正如地面上行走的汽车和火车，怎么也撞不倒天上的飞机一样。因此，光纤通信在电气铁道、高压线、雷电干扰很强的通信具有特别重要的意义。

4、保密性好，无串话干扰

对通信系统的另一个重要要求是保密性好，然而，无线电通信很容易被人窃听，随着科学技术的发展，我们以前所讲的保密性好的有线电

通信也不那么保密了，只要在明线或电缆附近设置一个特别的接收装置，就可以窃听明线或电缆中传输的信息，因此，现有的电通信都面临着一个怎样保密的问题。

光纤通信与电通信不同，光波在光纤中的传输是不会跑出光纤之外的，即使在转弯处，弯曲半径很小时，漏出的光波也十分微弱，如果在光纤或光缆的表面涂上一层消光剂，光纤中的光就完全不能跑出光纤。这样，用什么方法也无法在光纤外面窃听光纤中传输的信息。

此外，由于光纤中的光不会跑出来，我们在电缆通信中常见的串话现象，在光纤通信中就不存在了。同时，它也不会干扰其它通信设备或测试设备。

5、节约有色金属和原材料

现有的电话线或电缆是由铜、铝、铅等金属原材料制成，但从目前的地质调查情况来看，世界上铜的储藏量不多，有人估计，按现在的开采速度只能再开采50年左右。而光纤的材料主要是石英(二氧化硅)，地球上取之不尽用之不竭的，并且很少的原材料就可拉制出很长的光纤，例如，40克高纯度的石英玻璃可拉制1 km的光纤，而制造1 km八管中同轴电缆需要耗铜120kg，铅500kg。光纤通信技术的推广应用将节约大量的金属材料，具有合理使用地球资源的战略意义。

6、线径细，重量轻

通信设备体积的大小和重量的轻重对许多领域具有特别重要的意义，特别在军事、航空和宇宙飞船等方面。光纤的芯径很细，它只有单管同轴电缆的百分之一，光缆直径也很小，8芯光缆横截面直径约为10mm，而标准同轴电缆为47mm。线径细对减小通信系统所占的空间具有重要意义。目前，利用光纤通信的这个特点，在市话中继线路中成功地解决了地下管道拥挤的问题，节约了地下管道的建设投资。

光缆的重量比电缆要轻得多。例如，18管同轴电缆1 m的重量为11kg，而同等容量的光缆每呎重只有90克。近年来，许多国家在飞机上使用光纤通信设备，或将原来的电缆通信改为光纤通信，获得了很好的效果，它不但降低了通信设备的成本，飞机制造的成本，而且提高了通信系统的抗干扰能力和飞机设计的灵活性。例如，美国在A-7飞机上用光纤通信取代原有的电缆通信后，它使飞机减轻重量27磅。据飞机设计人员统计，高性能的飞机每增加一磅的重量，成本费用要增加一万美元。如果考虑在宇宙飞船和人造卫星上使用光纤通信，其意义就更大了。

由于光纤通信上述的许多优点，除了在公用通信和专用通信中广泛使用之外，它还在其他许多领域，如测量、传感、自动控制和医疗卫生上得到了十分广泛的应用。

1.3 光纤通信系统的基本组成

光纤通信系统是由光发送机、光接收机、光纤(或光缆)和各种耦合器件等组成的信息传输系统。光纤通信系统可以根据系统所使用的光波长、传输信号形式、传输光纤和光接收方式的不同特点分成各种光纤通信系统。这些系统各有不同的特点，如表1.2所示。

光纤通信系统研究的课题包括对光纤通信系统的质量评价、系统的传输信号形式、系统各部份的特性、各部份参数之间的相互影响和折衷处理的方法，目的是建立一个通信质量稳定可靠、系统维护方便和经济效益好的光纤通信系统。

光纤通信系统是以光波为载波、光纤为传输媒质的通信方式。光纤通信系统原理如图1.5所示。光纤通信系统主要是由光发送、光传输和光接收三部分组成。当加上适当的接口

设备后，它就可以作为一个单独的“光线路”插入现有的数字或模拟通信系统，有线或无线

表 光纤通信系统分类

	类 别	特 点
按光波长划分	短波长光纤通信系统	系统工作波长为：0.8—0.9 μm ；中继距离短，10公里以内。
	长波长光纤通信系统	系统工作波长为：1.0—1.6 μm ；中继距离长，可达100公里以上。
	超长波长光纤通信系统	系统工作波长为：2 μm 以上，中继距离很长，可达1000公里以上；非石英系光纤。
按光纤特点划分	多模光纤通信系统	石英多模光纤，传输容量较小，一般在140Mb/s以下。
	单模光纤通信系统	石英单模光纤；传输容量大，一般在140Mb/s以上。
按传输信号形式划分	光纤数字通信系统	传输数字信号；抗干扰能力强。
	光纤模拟通信系统	传输模拟信号；适于短距离传输；成本低。
其它	外差光纤通信系统	光接收机灵敏度高；中继距离长；通信容量大；设备复杂。
	全光通信系统	不需要光电转换；通信质量高。
	波分复用系统 (WDM)	在一根光纤上可传输多个光载波信号，通信容量大，成本低。

通信系统之间。这样，就可发挥光纤通信系的优越性。

1.3.1 光发送部份

光发送部分主要由光源和调制器组成。光源是发送部分的“心脏”，光纤通信系统要求光源有一定的输出光功率、一定的谱线宽度，工作稳定可靠、寿命长，一般要求10万小时以上。在光纤通信系统中，广泛使用半导体注入式激光器和发光二极管。在短波段（0.8—

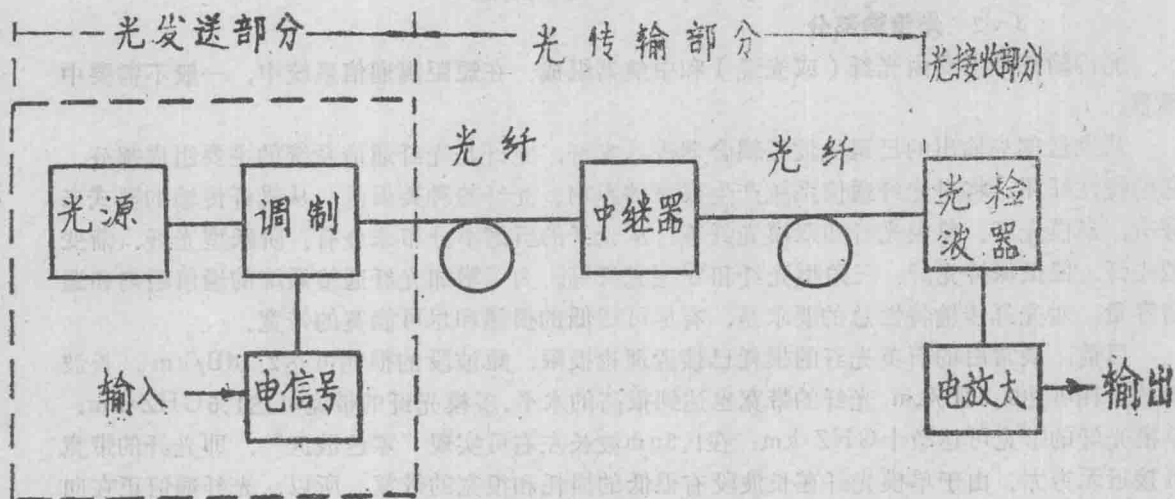


图 1·5 光纤通信系统原理图

0.9 μm), 常使用砷铝磷 (GaAlAs) 激光器和发光二极管。此类光源已很成熟, 从各个方面都能满足实用光纤通信系统的要求。在长波段 (1.0—1.6 μm), 常用铟镓砷磷 (InGaAsP) 材料制成的激光器和发光二极管。此类光源也已相当成熟, 但在 1.55 μm 波长的光源还需要进一步提高。

由光源发出的光波在调制器中受到电信号的调制, 成为已调光波。有两种调制方式, 一种是半导体光源的直接调制, 即用电信号对半导体激光器或发光二极管的注入电流进行调制, 使其输出光波的强度随调制信号而变化, 从而实现直接强度调制。此种调制方式不要求单独的调制器, 光源和调制器成为一体, 即光波的产生和调制同在一半导体激光器或发光二极管内完成。直接调制的设备简单、成本低、容易实现, 它是目前实用光纤通信系统广泛使用的调制方式, 对直接调制的限制因素主要是调制速度。

在直流工作条件下, 半导体注入式激光器比较容易做到单纵模输出, 但被信号电流直接调制后, 激光器就成了多纵模输出, 已调光波的光谱宽度显著增加, 限制了光纤通信系统的通信容量和通信距离。为了解决这个问题, 已研制成功两种特殊的半导体激光器, 一种是分布反馈 (DBF) 激光器, 或称动态单纵模激光器, 它在直接调制情况下可以得到单纵模输出。另一种新型的激光器称 C^3 激光器, C^3 代表 Cleaved—Coupled—Cavity 三个字的字头, C^3 激光器称解理耦合腔激光器, 它由两个激光器组成, 其中一只作为光源, 另一只作为调制器。当用电信号进行调制时, 对作光源的激光器不产生影响, 而作为光源的激光器发出的光功率又可以对作调制器的激光器进行注入锁定, 这就可以实现高稳定的单频振荡, 并可连续调频, 这是今后大容量光纤通信系统使用的重要光源之一。

另一种调制方式是间接调制, 或称外调制, 此种调制的主要特点是光源和调制器分开。有多种间接调制方式, 如电光调制、声光调制和磁光调制。电光调制时, 光源产生的光波通过用电光晶体制成的电光调制器, 电信号加在电光调制器上改变晶体的折射率, 使之对光波进行调制。电光调制可以实现强度调制, 相位调制或偏振调制。间接调制的优点是调制速度高, 调制对光源的工作不产生影响, 但设备较为复杂, 仅在要求很高的调制特性的情况下使

用,例如,在大容量、长距离的外差光纤通信系统中使用。

1.3.2 光传输部分

光传输部分主要由光纤(或光缆)和中继器组成。在短距离通信系统中,一般不需要中继器。

从发送部分输出的已调光波经耦合器进入光纤,光纤是光纤通信系统的主要组成部分,它的特性好坏,将对光纤通信系统产生很大的影响。光纤的种类很多,从光纤传输的模式来分有:多模光纤、单模光纤和双模光纤等。从光纤的折射率分布来分有:阶跃型光纤、渐变型光纤、偏振保持光纤、三角型光纤和W型光纤等。为了增加光纤通信系统的通信距离和通信容量,对光纤传输特性总的要求是,有尽可能低的损耗和尽可能宽的带宽。

目前,最常用的石英光纤的损耗已接近理论极限,短波段的损耗可达 2.1dB/km ;长波段的损耗可达 0.2dB/km 。光纤的带宽也达到很高的水平,多模光纤的带宽可达 $1.5\text{GHz}\cdot\text{km}$;单模光纤的带宽可达数十 $\text{GHz}\cdot\text{km}$;在 $1.3\mu\text{m}$ 波长左右可实现“零色散区”,即光纤的带宽可接近无穷大。由于单模光纤在长波段有很低的损耗和很宽的带宽,所以,光纤通信正在向长波长、单模光纤通信发展,并有取代短波长、多模光纤通信的趋势。

为了进一步降低光纤损耗,增加光纤通信系统中继距离,正在研究更低损耗的超长波长($2\mu\text{m}$ 以上)光纤材料。这是一些非石英系的玻璃或单晶材料,它的理论极限损耗很低,有些可达 10^{-10}dB/km 。例如, IhB (硼化铍),在 $1-10\mu\text{m}$ 的低损耗窗口为 10^{-8}dB/km 。为了适应外差光纤通信系统的特殊要求,正在研制各种偏振保持光纤。它对将来发展长距离、大容量的光纤通信系统有着重要意义。

光传输线路的损耗还包括光纤接头和连接器的损耗,由于光纤线路由许多光纤连接而成,光纤接头和连接器的损耗将对系统产生不小的影响,因此,除了要求尽可能减小光纤接头和连接器的损耗以外,还应尽可能增加光纤长度,以减小接头损耗。目前接头损耗可达 0.02dB ,每个连接器损耗可低于 0.5dB 。大的光纤预制棒,一个可拉制40多公里光纤,甚至更长,它对长距离光纤通信有重要意义。

由于光纤的损耗和带宽限制了光波的传输距离,当光纤通信线路很长时,则要求每隔一定的距离加入一个中继器,它与有线通信的增音机的作用相同。但应该指出,由于光纤损耗很低,光纤通信的中继距离要比有线通信,甚至微波通信大得多。目前,420Mb/s单模光纤长波长通信系统的中继距离可达203km,已超过微波中继的3倍,这就可以减少光纤通信线路的中继器数,从而提高光纤通信的可靠性和经济效益。

从光通信的意义来说,中继器应是光波的直接放大,但目前实用的光纤通信系统都是光电转换的中继器,即中继器由光接收机和光发送机组成,光接收机首先接收从光纤中传来的被衰减的光信号,将它变为电信号,然后对电信号进行放大,再用放大的电信号直接调制发送机中的光源产生已调光波,再耦合进入光纤,达到光信号放大的目的。此种中继器设备比较复杂,而且由于反复的光—电、电—光变换增加了信号的失真。

随着光电器件制造技术的进一步发展,光波的直接放大已成为现实,现已研制成功各种类型的半导体光放大器,它可作为光直接放大中继器,通过光纤传输后衰减的光信号可用光放大器直接放大继续向前传输,以达到长距离通信的目的。目前,光放大器已在实验室中应用,不久将在实用光纤通信系统中使用。

1.3.3 光接收分部

光电检波器是光接收的主要部件。从光纤中传输来的已调光波信号入射到光电检波器的光敏面上,光电检波器将光信号变换成电信号,然后进行电放大处理,还原成原来的信息。因为,光纤的输出的光信号很微弱,所以,为了有效地将光信号转换为电信号,要求光电检波器有高的响应度,低噪声和快的响应速度。

目前,实用光纤通信系统使用的半导体光电检波器有PIN光电二极管和雪崩光电二极管(APD)两种,前者是无增益的,后者是有增益的。由于半导体材料制成的光电检波器对不同波长有不同的响应度,因此,在短波长广泛使用硅雪崩光电二极管,在长波长广泛使用锗雪崩光电二极管或铟镓砷雪崩光电二极管和PIN光电二极管,为提高光接收机灵敏度,在长波长广泛使用PINFET接收组件,它就是用PIN光电二极管作光电检波器,FET作为前置放大器的组合器件。

正在研究一种新型的光电晶体管光电检波器,此种器件既有较大的增益,又有较小的噪声,现已有试制性产品,预计不久将在实用光纤通信系统中应用。

光接收机的主要指标是灵敏度,它是反映光纤通信系统质量的综合性指标,受到整个系统的信噪比或误码率的限制。关于光接收机的灵敏度讨论是光纤通信系统的重要理论和实际课题,将在光接收机中着重讨论。

光纤通信系统有两种接收方式:一是直接检波,即单独使用光电检波器直接将光信号变换为电信号。此种接收方式的优点是设备简单经济,是当前实用光纤通信系统普遍采用的接收方式。另一种是外差检波方式,即光接收机产生一个本地振荡光波,与光纤输出的光波信号在光混频器中差拍产生中频信号,经光电检波器变换为中频电信号。此种方式的优点是能大幅度提高光接收机的灵敏度,但设备比较复杂,对光源的频率稳定性和光谱宽度要求很高,目前还处于实验阶段,但大量的理论和实际工作已充分证明它是一种很有发展前途的光纤通信系统,随着光纤和光电器件制造技术的进一步提高,将显示出它更大的优越性。

1.3.4 监控部分

一条长距离的光纤通信线路由许多中继器组成,任何一个中继器或部件的故障都会造成整个线路的中断。为了使光纤通信线路能稳定可靠地工作,除了光纤通信主系统外,还应有监视控制系统和备用系统。

监控系统的作用是对光纤通信线路的各个部分的工作进行监视,在系统出现故障或即将出现故障的情况下,能够自动控制主系统倒换到备用系统上工作,故障处理后,又倒换回主系统。

怎样传输监控信号,是监控系统应很好解决的重要问题。目前,监控信息一般是使用光缆中附加铜线对进行传输,这与同轴电缆系统监控信息的传输方式相似,其优点是可以借用电缆系统的成熟技术。但由于光纤通信系统中继距离的加长,就给监控信息的传输增加了困难,另一方面,为了充分发挥光纤通信的优越性,而人们将趋向使用无金属光缆,以避免雷击的影响,并节约有色金属。因此,这就要求将监控信息插入光信号传输,这种传输方式将是今后传输监控信息的发展方向。

1.4 光纤通信系统实例

从目前我国使用或研制的光纤通信系统来看,大致可分为两类,一类是邮电部门的公用

通信系统；另一类是其他部门的专用通信系统。在这一节里，我们将简单介绍一些实际的光纤通信系统，以说明光纤通信在以上两个方面的应用情况。

1.4.1 公用光纤通信系统

公用系统主要包括三个方面：市话中继线，长途干线和用户线。从国外的情况来看，光纤通信已在市话中继线和长途干线上推广应用，光纤用户线还处于场地试验阶段。在国内，光纤通信正处在向市话中继线推广应用的初期，长途光纤通信正在积极研究之中，预计80年代末或90年代初可以推广应用。光纤用户线路的研究还不多，因此，我们重点介绍市话中继光纤线路的情况。

光纤通信在公用网中的应用是从市话中继线开始的1977年4月，美国在芝加哥电话局正式使用光纤通信作为市话中继线，接着，其他国家相继采用。光纤通信在市话中继线上使用有以下四个方面的优越性。

1. 可以实现无中继传输

CCITT*对美国、日本、加拿大、意大利、等国家的部分城市的市话中继线路的长度进行了比较详细的统计，见图1·6。统计结果表明：

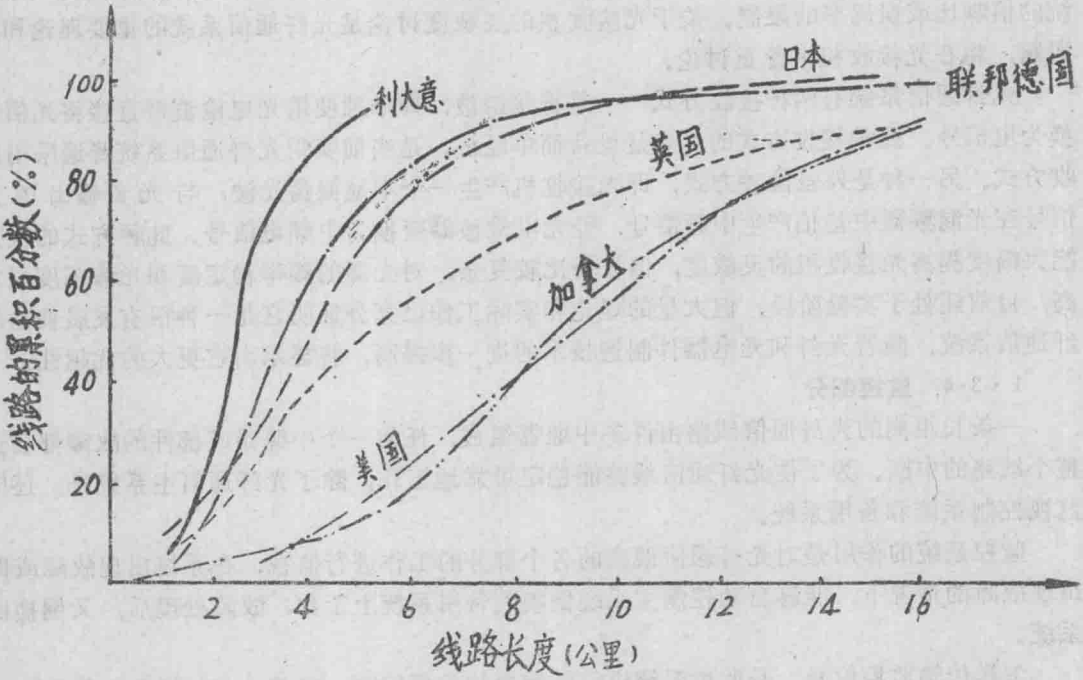


图1·6 市话中继线长度分布

美国根据七个大城市的统计资料，30%左右小于6km，80%左右小于12.8km，多数在10km以内，最长一般不超过20km。加拿大两个城市（蒙特利尔和多伦多）的统计与美国相似。日本三个城市（东京、大阪和名古屋）的统计是，30%左右小于4km，80%左右小于8km，最长不超过15km。我国的情况，根据有关方面的不完全统计与日本相似，7km以内占80%左右。意大利的市话中继线特别短，80%左右小于4km，100%不超过6km。由此可见，

*：国际电报电话咨询委员会
(International Telephone and Telegraph Consultative Committee)