

光千通言——信息高速公路的基础



杨邦湘 魏爱珍

光纤通信

——信息高速公路的基础

华中理工大学出版社

4586
54

成
生

光纤通信

——信息高速公路的基础

杨邦湘 魏爱珍

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信——信息高速公路的基础/杨邦湘,魏爱珍
武汉:华中理工大学出版社, 1998年6月
ISBN 7-5609-1721-6
I. 光…
I. ①杨… ②魏…
II. 光缆通信
IV. TN929

光纤通信
——信息高速公路的基础
杨邦湘 魏爱珍
责任编辑: 周筠

华中理工大学出版社出版发行
(武昌喻家山 邮编:430074)
新华书店湖北发行所经销
华中理工大学出版社照排室排版
黄石市红日包装彩印厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:340 000
1998年6月第1版 1998年6月第1次印刷
印数:1—2 000

ISBN 7-5609-1721-1/TN·47

定价:16.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书从光纤通信的发展着手,介绍了光纤通信的有关技术,主要包括:光纤光缆技术,光电器件和无源器件,光纤通信设备和系统,以及由光纤组成的各种公用和专用信息网络,同时指出了光纤通信的发展方向。

本书文字流畅,深入浅出,通俗易懂,可供领导干部、管理人员和大中学生阅读;也可供有关技术人员参考。

前 言

当前,人类社会正在跨入信息时代,信息已成为一个国家重要的资源之一。信息高速公路是信息化社会发展到一定阶段的产物,它的发展将会导致社会综合生产力的变革,使世界经济产生质的飞跃。光纤通信以其传输容量大、中继距离长、可靠性高等优点,成为信息高速公路的基础。

由于光纤具有损耗低、频带宽、重量轻、直径小、施工方便、价格便宜等优点,因而受到人们的普遍重视。其发展速度之快,应用范围之广,是通信史上罕见的。从1970年拉制出世界上第一根低损耗光纤,到70年代末期光纤通信已应用于市内电话网,仅用了不到10年的时间。80年代中期就形成了强大的光纤通信产业,并且以平均每年20%左右的速度增长。目前,世界各国几乎都建成了光缆干线网,国际上也已建成了海底光缆通信网,并正在建设光纤接入网,为实现光纤到家庭的目标而努力。

“八五”计划期间,我国建成了22条国家一级长途光缆干线,另外还有省内干线,共约敷设光缆10万公里;“九五”计划期间将进一步建设和完善长途干线网,包括省内线路,将再建设10万公里光缆干线;光纤接入网也正在规划和建设之中,我国沿海经济发达地区,光纤已进入大楼。到“九五”末期,我国将基本形成“八纵八横”的光缆干线,初步形成以数字通信为主,多种通信手段并用,安全可靠,开放多种业务的现代化通信网。我国的光纤通信网是国家信息传输的基础设施,其规模和容量已跃居当今世界大网之列。

为了便于读者了解光纤通信知识,本书以较为通俗的语言,介绍了光纤通信的各种基本技术。主要内容包括:光纤通信的基本原理和发展过程;光纤光缆特性;用于光纤通信的光电器件和无源器件;光纤通信系统、设备和由光纤通信组成的各种网络;光纤通信在各行各业的应用。本书可供领导干部、管理人员和大中学生阅读,也可供有关技术人员参考。

在本书的撰写过程中,得到了许多同行的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

1997年8月

目 录

1. 信息高速公路的基础——光纤通信概述	(1)
1.1 光纤为信息高速公路铺“路”	(1)
1.2 光波波段的开发	(3)
1.3 光纤通信显神通	(7)
1.4 光纤通信的基本原理	(10)
1.5 光纤技术的飞速发展	(16)
1.6 我国的光纤通信进程	(19)
2. 神奇的玻璃丝——光纤光缆技术	(24)
2.1 光在光纤中的传播	(24)
2.2 光纤的损耗	(31)
2.3 光纤的带宽与色散	(37)
2.4 形形色色的光纤	(41)
2.5 光纤的制造	(47)
2.6 各种类型的光缆	(54)
2.7 光缆线路	(61)
3. 关键的专用器件——光电器件和无源器件	(69)
3.1 物质的光电效应	(69)
3.2 光纤通信所用的光源	(71)
3.3 光电检测器	(79)
3.4 光放大器	(83)
3.5 无源器件	(87)
4. 光信号的转换——光纤通信设备	(94)
4.1 光发送机	(94)
4.2 光接收机	(98)
4.3 线路码型	(104)
4.4 光端机与光中继器	(112)
4.5 监控系统	(116)
4.6 保护倒换系统	(121)
4.7 光电合架设备	(125)

5. 高速可靠传输——光纤通信系统	(130)
5.1 光纤数字通信系统性能评价标准	(130)
5.2 系统的中继距离	(132)
5.3 强度调制-直接检测传输系统	(135)
5.4 光波分复用系统	(140)
5.5 光时分复用系统	(146)
5.6 光孤子通信系统	(148)
5.7 相干光通信系统	(150)
5.8 微波副载波复用系统	(157)
6. 纵横交错——光纤通信网	(160)
6.1 综合业务数字网	(160)
6.2 同步数字系列	(167)
6.3 光纤接入网	(180)
6.4 光纤计算机网	(197)
7. 向各领域渗透——光纤通信在各种场合的应用	(203)
7.1 光纤传输的军事应用	(203)
7.2 光纤专用通信系统	(208)

信息高速公路的基础

——光纤通信概述



1.1 光纤为信息高速公路铺“路”

1. 信息社会与信息高速公路

当今世界正步入信息时代,信息已成为经济发展的重要战略资源和独特的生产要素。信息的高速可靠传输和变换已成为经济、科技高速发展的制约因素,受到世界各国的高度重视。

自40年代中期计算机问世以来,信息产业便应运而生。尤其是近20年来,世界各国,特别是西方科技发达国家,其信息化进程进一步加快,信息产业的发展速度惊人。例如美国,1950年,其国内只有17%的劳动力从事信息工作,到80年代初便超过了60%;至80年代末,美国的信息事务所已有近万家,每年应用计算机完成的工作量相当于4000亿人一年的工作量,信息业的年营业额高达900多亿美元。在日本,信息业虽起步较晚(60年代后期),当时其国内仅有3600台计算机,但到80年代末已达40万台,信息事务所由1979年的1300家猛增至1989年的5600家,年营业额达300亿美元。进入80年代以来,美、日、西欧的信息业年均增长率超过15%,是这些国家所在地区同期国民生产总值(GNP)增长速度的3~5倍。以信息技术为基础的产业已占发达国家生产总值的一半以上。这时,人们不禁联想到50年代作为美国的一项重要国策的州际高速公路法案对美国战后经济所起的巨大作用。而今,信息技术就像当年的州际高速公路一样,它使美国的整个经济和社会形态发生了重大变化。

随着信息社会的发展,信息量猛增,需要传输的信息越来越多。不仅要传递声音,还要传送数据、图像和文字,随时随地都可以得到所需的信息。为此,就必须有一个相应的网络与之相适应,即高速信息网络,人们又把它称作“信息高速公路”。

通俗地讲,信息高速公路就是以现代通信技术和计算机网络为基础,以大容量的光纤作为铺“路”材料,以集语音、数据、图像和文字为一体的多媒体信息源为“车”,这些“路”和“车”便构成了高速信息网络。这个网络连接全国各个城市、政府部门、企业、大学、研究机构、金融机构、图书情报馆和医院等的信息库,并通过光纤直接延伸到千家万户,为用户提供广泛的信息服务。

2. 光纤通信与高速信息网

通信的任务是传递信息。信息可以是语音、文字、符号、音乐、图像和数据等。在现代社会,若没有可靠、有效的通信手段,很难想象人们的生活会变成什么样子。

远程通信网与计算机、视像终端相结合建立起来的现代信息网络和完备的信息服务体系,受到了世界各国的高度重视。一些经济发达的国家和地区的发展经验和数字统计表明,若想高速发展经济,必须优先发展通信事业,且通信建设的增长必须赶上或超过国民经济总产值的增长。高速信息网能将电话、电视和计算机三位一体化,其影响可能远远超过这三者的历史影响的总和。可以肯定,信息高速公路将改变未来社会的结构,甚至改变一个国家的地位。

通信是指将信息从一处传到另一处。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和信道(传输媒介)的总和。通信网包括长途通信网、本地网和接入网。通信网的构成如图 1-1 所示。

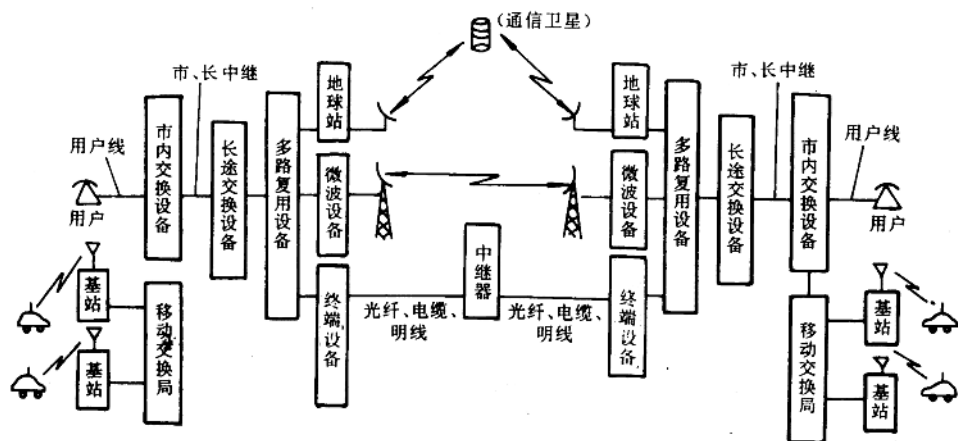


图 1-1 通信网的构成

顾名思义,信息高速公路意味着未来的信息业务会越来越繁忙,迫切需要建立高速率的信息传输网。未来的通信主要是数字通信,是以比特(bit)为单位的二进制数字信号传输。高速通信就意味着数字速率很高,即每秒钟接通的比特数很多。一般认为,高速通信的数字速率应在每秒吉比特级(1Gb/s)以上,即每秒接通千兆(10^9)比特或更多。随着时间的推移,信息业务迅速增长,估计下个世纪的数字速率可能达 1Tb/s 级以上,即每秒接通兆兆(10^{12})比特或更多。这确实是超高速的通信,是史无前例的。

实现高数字速率 $1\text{Gb/s} \sim 1\text{Tb/s}$ 级的通信,首先要研究采用什么样的传输媒介才能够胜任。现有的传输媒介分无线和有线两类,无线传输媒介分为微波接力线路和同步卫星线路;有线传输媒介又分为铜线电缆和光纤光缆。在模拟通信时代,中同轴电缆 1800 路载波电话是大容量宽带传输的最高峰,但当时的带宽仅为 60MHz ,现在看来是很窄的。进入数字通信时代后,电缆的容量因太小,已不能适应数字通信的需要,直到光纤被人们发现以后,情况才有了改变。光纤的潜在容量居然能达到 20THz ,比电缆容量高出 5 个数量级。因此,对有线传输而言,高速通信网的传输干线非单模光纤莫属。至于无线传输,现行的数字微波接力线路或同步卫星线路实际传输的数字速率约为 155Mb/s ,卫星通信的数字速率如要达到 1Gb/s 级,尚需特殊努力才能成功。这样全面考虑后,可以认为真的要建立高速信息网,只有利用有线单模光纤作为传输媒介,实现光波通信。

光纤光缆是用于数字通信网的一种非常理想的传输媒介。光缆通信线路损耗低,频带宽,价格便宜,并能满足各种电信新业务的需要,已在逐步取代现有的电缆线路,用于建设全新的

各类信息网络。单模光纤具有极大的潜在带宽,可实现进一步的扩容,并能有效地满足未来信息密集时代对通信业务的各种需求。因此,光纤通信已经成为现代通信网的骨干,并且是信息化社会的显著标志和重要支柱之一。

光纤问世时间不长,发展却很快。发达国家在市内局间中继线、长途干线和本地网中已大量采用光纤通信。计算机局域网和用户接入网中光纤的发展也很快。一些发达国家在大型工矿企业、机关、学校中还建立了光纤专用网,并将其与公用网连接,在高密度的商业金融区把光缆直接通向用户驻地,以实现“光纤到路边(FTTC)”、“光纤到大楼(FTTB)”、“光纤到办公室(FTTO)”。还有一些国家正在执行“光纤到家庭”(FTTH)的计划,让信息高速公路连向千家万户。

光纤通信技术一般来说业已成熟,但作为担负着当今和未来通信任务的高新技术和基础技术之一,其发展的势头仍然很猛,新技术、新器件、新系统不断涌现。光纤通信的通信方式与原来完全不同,它对信息化社会的发展起到了巨大的推动作用。光纤通信将为信息高速公路作出巨大贡献。

1.2 光波波段的开发

1. 从电磁波说起

纵观通信发展史,人们不难发现,自通信技术出现的第一天起,科学家们就一直把开发电磁波的各个波段,利用电磁波来进行通信作为重要的研究方向之一。可以说通信发展的历史,就是电磁波的开拓史。

那么,什么是电磁波呢?

人们投石于水中,水面上泛起水波;拨动琴弦,空气中激起声波;另外,还有一种波是肉眼看不见、耳朵听不着的,这就是电磁波。

电磁波的发现归功于伟大的英国科学家麦克斯韦和德国物理学家赫兹。麦克斯韦指出:“交变的电场会产生交变的磁场,而交变的磁场又会激起交变的电场。”也就是说,只要在空间某一处存在着一个交变的电场,那么在它的周围就会产生一个新的交变的磁场,而这个新产生的磁场又会在更远的地方激起一交变的电场。如此,电场、磁场无限地交变产生。这种交变的电场、磁场就称为电磁场。不难想象,这种交变的电磁场会在空间以波的形式由近及远地传播开去,这就是电磁波。

麦克斯韦在1864年用数学方法从理论上严格地推导出电磁波的波动方程,并求得电磁波的传播速度正好等于光速。麦克斯韦预言了电磁波的存在。

20年以后,年轻的德国科学家赫兹通过实验证实了麦克斯韦预言的电磁波的存在。从此,一项划时代的新技术——无线电技术问世了。不久,各国学者便开始研究如何利用电磁波作为远距离传递信息的工具。1894年,电磁波进入了通信领域,开创了无线通信的新时代。

在1920年以前,人们掌握的无线电波段是长波和中波,只能通过电磁波传递电报、静止图像和少量电话。1930年人们掌握了短波。此后又开拓了超短波、微波和毫米波,于是出现了大容量的微波通信和卫星通信。大致说来,几乎每隔10年人类便可开发、掌握一个新的波段。

大家知道,发送信号的频率越高,可载送的信息量就越多。波长与频率成反比关系。换句话说,也就是发送信号的波长越短,可载送的信息量就越多。人们致力于电磁波的开发,从长

波、中波到短波、超短波、微波,其目的就是为了载送更多的信息。

现在,人造卫星、宇宙飞船已经成为科学现实。面临这一新时代,人们已不再满足于使用普通电话,还希望有可视电话、点播电视、高清晰度电视,甚至通过电视购物等。在传输能力方面,要求有质量更高、容量更大的通信方式。这一切都促使人们努力去寻找、发现波长更短的电磁波。

麦克斯韦在宣告电磁波存在的同时,也作出了“光也是电磁波”的著名论断。1865年,麦克斯韦在《电磁场的力学理论》一文中写道:光和电磁波乃是同一实体的属性的表现,光是一种按照电磁定律在场内传播的电磁扰动(振动)。自此,麦克斯韦在科学史上第一次揭示了光的本质,即光也是电磁波,是一种波长更短的电磁波。

电磁波的波长范围叫做波谱或频谱,如图 1-2 所示。从图中可看出,光波是指波长从零点几毫米到大约 $0.1\mu\text{m}$ 波长范围内的电磁波。

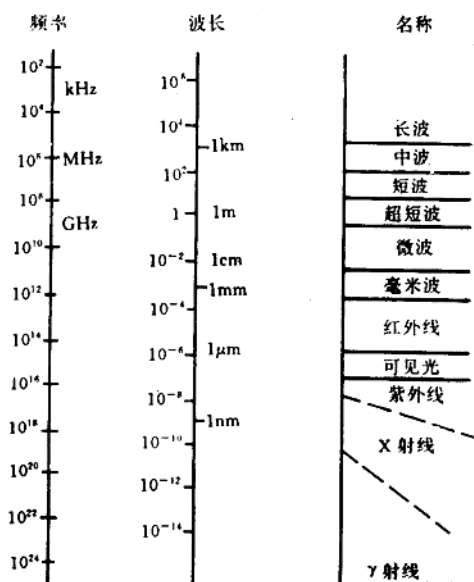


图 1-2 电磁波的波长范围及相应的种类

光是人类最熟悉的物质之一,如耀眼的阳光、闪烁的星光、柔和的灯光、刺眼的电弧光等,这些都是人们用眼睛可以感受到的光。此外,还有人眼看不见的光,如红外线和紫外线等。那么,在现代通信开拓的光波段中,究竟采用什么光作为载体更合适呢?在 1960 年以前,人们进行了长期、大量的苦苦探索,但由于这样或那样的原因,始终没有达到预期的目的。

2. 贝尔的光电话

发明了电话的美国科学家贝尔说,在他所有的发明中,光电话是最伟大的发明。

早在 3000 多年以前,我国周朝就有利用烽火台的火光传递信息的光通信,但那只是一种利用可见光进行的视觉通信。今天我们所说的光波通信是采用光波作载波来传递信息的通信方式。从工作原理上说,它与视觉通信有着根本的不同。从这个意义出发,光波通信的历史只

能从“光电话”算起。

1880年,贝尔继1876年发明了世界上第一台电话机之后,又发明了一种利用光波作载波来传递语音信息的“光电话”,如图1-3所示。它使用弧光灯(或太阳光)作光源,光束通过透镜聚焦在话筒(送话器)的振动镜上。当人对着话筒讲话时,振动片随着语音振动而使反射光的强弱随着语音的强弱作相应的变化,从而使语音信息载荷在光波上(即调制)。在接收端,装有一抛物面接收镜。它把从大气中传送来的载有语音信息的光波反射到硅光电池上,硅光电池将光能转换成电流(即解调)。把电流送到听筒(受话器),就可以听到从发送端传来的声音。

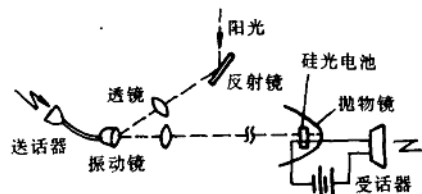


图1-3 贝尔的光电话

这种光电话曾受到人们的重视,贝尔本人对此也很欣赏。但由于当时技术条件的种种限制,这种光电话的传输距离很短,只有213m,只能说是光波通信的雏形,实用价值不大。

在光电话问世后的一段漫长的时间里,光波通信进展很慢,其主要原因是没有找到理想的光源,而致使光波通信沉睡了80年。但光电话的发明,证明了光波通信的可能性,揭开了通信技术革命的序幕。

3. 大气光波通信

第一次世界大战期间,人们曾使用35.56cm(14英寸)直径的碳弧灯作光发射机,用光敏面积为 1mm^2 的硅光电池作接收机,用作军用光电话。一般在晴天,有效通信距离可达8.05公里(5英里)。但这些设备粗大、笨重,碳弧灯调制困难,而接收机由于硅光电池内部噪声的缘故,话音质量也很差。第二次世界大战期间,人们将所用的光发展成红外光,但这些均未能在实际中得到广泛应用。

1960年7月8日,美国科学家梅曼发明了世界上第一个激光器——红宝石激光器。激光器与普通光源相比有许多优点。激光器产生的激光亮度极高,谱线很窄,方向性非常好,是一种理想的光载波。因此,激光器很快在通信领域得到应用。

在激光器发明不到3年的时间里,美国麻省理工学院仿照无线电通信方式作了激光大气通信试验。这是一种以大气作为传输媒介,以激光作为光载波的通信方式。经反复试验,结果表明:晴朗天气下通信稳定可靠,距离较远,性能良好。但在不良气候条件下,通信极不稳定,甚至经常中断。它反映出这种“靠天吃饭”的大气光波通信的致命弱点。

大气光波通信不稳定的原因很多,但主要问题是光波在大气中传输时,受到大气层中变幻无常的气候条件的影响。例如,大气湍流(大气层中各处的大气密度不均匀、温度不同,使得传播速度发生变化,而造成的漩涡似的流动现象)、雨、雾、雪、大气灰尘和自然辐射等对光波能量的吸收和散射,使光波能量迅速衰减,严重地影响了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途上的“拦路虎”。这使得光波大气通信受到了很大限制,不可能广泛应用。

光波在大气中的传输如此不便,实在令人焦急和遗憾。然而,光波通信的许多优越性驱使着人们进一步探索新的传输媒介。

4. 光波通信转入地下

由于大气光波传输受到大气中各种因素的干扰,人们就将光波通信系统转入地下,开始了光波地下传输的新尝试。这就是模仿光学原理的透镜波导和反射镜波导的光波传输系统。

透镜波导是把一组组两两相隔一定距离的玻璃透镜组装在金属管或水泥管内,通过透镜将光束限制在管道内传输,达到通信的目的。这种方式从消除大气层对光波传输的干扰来说是有有效的。反射镜波导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。它们的基本原理如图 1-4 所示。

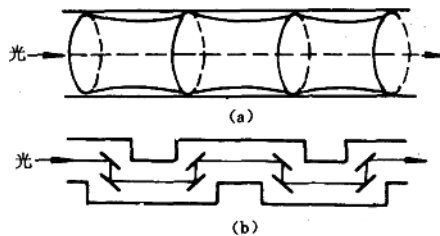


图 1-4 透镜波导和反射镜波导

(a)透镜波导 (b)反射镜波导

从理论上讲,透镜波导和反射镜波导都是可行的。但通过试验以后发现,在实际应用中,这种传输方式将遇到许多难以克服的实际问题。例如,现场敷设十分繁杂,将容易破碎的玻璃片牢牢地安装,并进行十分严格的校准,是很不容易的。即使严格校准,但一碰到各种震动,就会产生偏差。

为了防止地面振动对波导的影响,除了采取必要的保护措施以外,还要尽可能将波导深埋,或选择人、车稀少的地方。当碰到特殊的路径时,波导需要上下移动或拐弯,为了防止光束的发散而要求透镜或反射镜之间的距离显著缩小。转弯愈大,透镜之间的距离就愈小,则线路所需要的透镜或反射镜数量就愈多,光能的损耗也就愈大,通信距离就大为缩短。计算表明,即使转弯的曲率半径(弯曲程度)为 500m,这种转弯程度不算厉害,但透镜或反射镜之间的距离就必须减小至 1m。这时,1km 的路线就需要 1000 个玻璃透镜或反射镜,在实际线路中,波导线路的弯曲程度可能会更厉害,这样就会导致系统造价昂贵,调整、测试、维护都相当困难。

由此可见,透镜波导和反射镜波导通信显然不是一种实用的通信方式。

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,甚至主张放弃对光波通信的研究。1965 年前后光波通信研究转入低潮,成为人们不太重视的“冷门”。

5. 光纤的问世

能够传播光的纤维丝称作“导光纤维”或“光导纤维”,简称“光纤”。

有文字记载的关于光波导传播光的实验,可追溯到上个世纪。1870 年左右,有个叫廷德尔的欧洲人通过实验证明,光线在自由流下的水流中走的是弯曲路径。40 年以后,即 1910 年,在

进行了大量实验之后,人们对光纤传光作出了定量分析。但是直到1967年,第一批全玻璃光纤才被生产出来。

把许多根光纤仔细地排列起来组成的光纤束,可以传输清晰的图像信号。用光纤束组成的内窥镜可以观察人体胃肠内的疾病,协助医生及时作出确切的诊断。

一般说来,通光的材料和结构对于光信号的通过能力有一定的影响,这就是我们常说的损耗。对光纤束来说,损耗不很重要,因为这种光纤束大都很短,至多只有几米长。但如果把这种光纤用于通信,则损耗是太大了。直到1966年,光纤的最低损耗还在每公里1000分贝(记作1000dB/km)以上。这相当于光信号沿着光纤传输100m以后,由于有损耗,光能量只剩下原来的100亿分之一了。如果用这种光纤来进行通信,每隔20m就得安置一个中继站,把减弱的信号放大后再往前传。这样,在经济上确实是不堪重负。因此,利用光纤来进行远距离通信,这在当时简直无法设想。

就在这时,1933年出生于上海的英籍华人高锟博士,在英国标准电信实验室做了大量的研究工作,在此基础上,他对光波通信作了一个大胆的新设想。他认为,电可以沿着导电的金属导线传输,光也应能沿着可以导光的玻璃纤维传输。1966年,高锟利用无线电波导通信的原理,首先提出利用光纤进行长距离光波传输的概念。

高锟指出,光纤损耗过大的主要原因在于玻璃中含有过渡金属离子,如能将这些有害杂质的含量比降到 10^{-6} 以下,则能使吸收损耗降至10dB/km以下。再通过改进拉丝工艺,提高光纤的均匀性,预计散射损耗可降至每公里数分贝以下。

根据高锟的理论,美国康宁玻璃公司马勒博士领导的研究小组,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20dB/km的石英玻璃光纤。这相当于光波沿光纤传输1km后,光能量损耗到原来的1%,也就是说,用这种光纤进行通信,中继距离可以增加到了1km,已经接近实用水平了。

这种光纤的直径同头发丝差不多,且柔软可绕,它既解决了地下透镜或反射镜波导不能解决的难题,又能防止大气层变化对光波的干扰,是一种理想的传输媒介。

光纤损耗的巨大突破,为光纤通信的发展奠定了基础,使人们看到了光波通信的希望。1970年以后,光纤通信研究出现了高潮。1972年,光纤损耗已降低到4dB/km。不久,光纤通信就进入了实用化阶段,在世界各国广泛应用。现在,光纤的最低损耗已低于0.18dB/km,最长中继距离已超过300km,一对光纤可以同时传输数十万路电话。人们梦寐以求的光波通信已经造福于人类,成为建设信息高速公路的基础。

1.3 光纤通信显神通

当前,光纤通信技术的发展突飞猛进,应用领域迅速扩大。人们可能要问,光纤通信技术到底有什么“神通”值得如此重视呢?现在就来谈谈光纤通信的特点。

1. 特宽的“马路”

我们知道,马路越宽,容许通过的车辆就越多。高速公路就是路宽、车快、无阻塞,通过的车辆多,运送的货物就多。信息高速公路要求在其上传送任何信息都畅通无阻,无论是语音、数据,还是图像都能随要随到,而不发生阻塞现象。这样才能够支持居家办公、家庭购物、点播电视、远距离教学及高清晰度电视等新业务。对通信系统来说,通信线路的频带越宽,相当于马路

越宽,所容许载送的信息就越多,或者说通信的容量越大。光纤通信可以完全满足信息高速公路的这一要求。

乍一看来,细小的石英玻璃光纤的通信容量是不可能大的,可能还不如金属电话线那么大。其实正好相反,细小的光导纤维丝的通信容量要比金属电话线大得多。与现在的有线电视通信和无线通信相比,光纤通信可真算得上是一条特宽的“马路”,而有线电通信只能算一条“羊肠小道”。通信容量的大小不是由导线本身的体积大小来确定,而是由它传输的电磁波的频率的高低来决定的。光波的频率比目前各种电通信方式所采用的电磁波的频率高得多,所以它的通信容量也就比它们大得多。

一般说来,传送一路电话所需要的频率宽度为4kHz,传送一路电视信号需要6MHz。从理论上计算,一对光纤可以传送10亿路电话或10万路电视。从实用的观点来看,由于光纤制造技术和电子器件速率的限制,现在一对光纤可以传送数十万路电话或数千路电视。

如果像电缆一样,把几十至几百根光纤组成一根光缆,其外径和体积比现在的电缆要小得多,但它的传输容量却大得惊人。再加上各种复用技术,它就可以满足各种情况下信息传输的要求。几种主要传输线路的容量的比较如表1-1所示。

表 1-1 各种传输线路容量比较

传输线路	传输话路数(估计)/路
平衡电缆	3 000
微波	50 000
同轴电缆	100 000
毫米波导管	300 000
光缆	5 000 000 以上

只要用一条小小的光缆,就能使远隔千里的千百万人同时打可视电话;人们不仅能听到对方的声音,而且能看见对方的形象,真可谓“远在天边,近在眼前”。

2. 长距离通信的“能手”

信号在传输线路上传输,由于传输线路本身的原因,信号的强度会逐渐减弱。传输的距离越远,信号衰减就越严重。当信号衰减到一定程度时,对方就不能正常接收了。为了进行长距离通信,往往需要在传输线路中设立许多中继站,像接力赛跑一样,将衰减了的信号放大,再进行传输。微波接力通信就是一个典型的例子。中央电视台的电视节目一部分就是用这种微波接力通信线路送往全国各地的。可见各地的不少电视节目曾历经千山万水,的确来之不易。

微波中继站越多,传输线路的成本也就越多,维护越不方便,某一个中继站出了故障就会影响整个线路的通信。因此,希望中继站越少越好。怎样才能减少长距离通信的中继站呢?最主要的方法就是尽可能减少传输线路的损耗。从这个意义上说,光纤通信就是长距离通信的“能手”。因为光纤的损耗很低,比现有的电传输线路的损耗要低得多。目前,光纤通信系统中两中继站之间的最远距离已超过300km,如采用光放大器,则可直通上万公里,而不需要再生中继。现在的同轴电缆中继距离只有几公里,最长的微波通信中继距离也仅为50km左右。

如果将来采用损耗极低的非石英光纤,两中继站之间的距离可达数千公里,甚至上万公里。这样,在很多情况下,通信线路都可以不设中继站。这对跨海越洋通信具有更重要的意义,

因为海底设中继站维修困难,将使线路成本大为增加。

长距离无中继通信是人们盼望已久的,随着光纤通信技术的发展,它一定会变为现实。

3. 模范“保密员”

人们对通信系统的另一重要要求就是保密性能要好。特别是军事通信,对保密性的要求更高。如果通信失密,就会贻误军机,影响战争的胜负。然而,现代无线电通信都是不保密的,因为无线电波遍及全球,无孔不入,很容易被别人窃听。如果不加密码,在军事上是无法应用的。

人们曾认为有线电通信保密性能好。可随着科学技术的发展,它也不容易保密了。只要在电话线路或电缆附近安装一个特别的接收装置,就可以窃听到电话线路中传递的信息。即使采用加密码的方式进行通信,也会被越来越“聪明”的电脑轻易破译。看来,用电通信来传密码也不能保密了。所以,现有的电通信方式都面临着一个如何保密的问题。

光纤通信是目前保密性最好的通信方式,这主要是由于光纤的特殊结构使得光波只能在光纤中传输,不会跑到光纤之外去。即使在拐弯很大的地方,漏出的光波也十分微弱。如果在光纤表面涂上一层吸光剂,光纤中的光波就根本跑不出来。这样,无论采用什么方式,都不能在光纤外面窃听到光纤中的传输信号。如此看来,光纤通信真是一个“守口如瓶”的模范“保密员”。

4. 抗干扰的“标兵”

任何通信系统都应具有一定的抗干扰能力。否则,通信系统就不能正常工作,不能保证通信的稳定性和可靠性。

如今,在我们生活的空间里存在着各种电磁干扰源。这些干扰中包括有天然干扰,如雷电干扰、电离层变化和太阳的核子活动引起的干扰等。还有工业干扰,如电动马达、高压电力线等,核爆炸对通信的影响也十分严重。以上各种干扰都必须认真对待,而现有的电通信系统都不能满意地解决这些问题,唯有光纤通信不受上述各种干扰的影响,真可谓“任凭风浪起,稳坐钓鱼台”。

光纤通信为什么有这么强的抗干扰能力呢?主要有两个原因:一来光纤是绝缘体,不怕雷电和高压;二来光纤中传输的是频率很高的光波,各种干扰源的频率一般都较低,当然不能干扰频率比它高得多的光波。光纤中传输的光波好比是高空飞行的飞机,可以想象,地面上行驶的汽车、火车再多,也撞不到天上的飞机。

近几年的试验表明,在核爆炸的条件下,现今所有的电通信都将中断,唯有光纤通信几乎不受影响。光纤通信真是抗干扰的“标兵”。

5. 节省大量的有色金属

光纤通信之所以如此引人注目,其中的奥妙之一还在于它的原材料不再是铜和铅等有色金属。这具有很大的战略意义。

现有的电话线和电缆由铜和铅等金属材料制成。从地质调查的情况来看,世界上铜的储藏量不多。有人估计,按现在的开采速度,世界上的铜矿只能再开采 50 年左右。而光纤的材料主要是石英(即二氧化硅,亦即砂子),这种材料在地球上取之不尽,用之不竭。1kg 高纯度的石英玻璃可拉制上万公里的光纤,而制造 1km8 管中同轴电缆需要耗铜 120kg,耗铅 500kg。由此可见,用光缆取代电缆,可以节约大量的有色金属。