



光纤通信三十年

郭奕玲 (清华大学物理系 100084)

杨晓段 (国防科工委指挥技术学院 101407)

郭忠逵 (吉林师范学院 132011)

光通信是一门既古老又年轻的科学技术。说它古老,是因为早在古代就有利用光传递信息的记录。我国的周朝,就曾经用“烽燧”来传递敌人入侵的信息,距今已三千余年。航行中利用旗语和灯光传递信息,也有几百年了。1880年贝尔曾经进行过光通信的试验。可见,用光传递信息远比用电传递信息的历史来得悠久。当然所有这些都只是在空气中传递光的信息。

说它年轻,是因为光通信真正成为现实,还是近二三十年的事情,只是在激光器出现之后,电缆通信和无线电通信已显示出许多不足,采用光学方法代替电学方法传递信息才成为当务之急。

于是,以光导纤维为核心的光纤通信技术就应运而生。

作为一门高新科技,光纤通信可以说是物理学、化学、电子学、材料科学等学科的综合产物,在当代高新科技中具有特殊的地位。我国国家科学发展规划,把光纤通信和计算机、生物工程等项目并列为技术革命的重点,就可见其重要性。

光纤通信是现代信息传输的重要方法之一。它的特点是:容量大、保密特性好、抗干扰性能强,中继距离大、节省铜材等。

光纤一般是由同心圆柱形的双层透明介质,主要是石英玻璃之类的介质组成,石英玻璃实际上就是二氧化硅(SiO_2)。介质的内层叫纤芯,外层叫包层。纤芯的折射率高于包层。光纤拉成细丝,其直径约为数微米,包层直径为125微米。多根光纤组成光缆,结构与电缆差不多,其制造方法和环境要求也与电缆类似。

值此光纤通信提出整整30周年之际,我们要特别向读者介绍,英籍华裔科学家高锟的开创性工作对这项重大课题的解决具有决定性的意义。

30年前,高锟和他的合作者霍克汉(G. A. Hockham)在进行一系列理论和实验研究之后,发表了一篇著名论文,提出用光纤进行长距离通信的建议。他们预言光波导材料的衰减率有可能从当时的每千米1000分贝(即 $1000\text{dB}/\text{km}$)降低到每千米20分贝(即 $20\text{dB}/\text{km}$),他们证明单模光纤每秒有可能传送十亿位数字信号,并论证了单模光纤的要求和特性。这两位科学家以敏锐的洞察力,构画出了尚未出现的技术蓝图。他们认为最艰难的任务是研制损耗低于 $20\text{dB}/\text{km}$ 的光纤材料。这一指标在1966年实在难以实现,但是在高锟的激励下,仅仅过了四年,就有人宣布达到了这个指标。从此,光纤通信技术蓬勃发展,而高锟和霍克汉的这篇著名论文就成了光纤通信领域的里程碑。

高锟(Charles Kao),1933年生于上海,1957年获伦敦大学理学士学位,1965年获博士学位。1957—1960年任英国标准电话和电缆公司工程师,1960—70年转到英国Harlow的标准电信实验室(STL)任职。就在这里,他和霍克汉在微波技术专家卡博瓦克(T. Karbowiak)的领导下,对微波波导开展研究,并在卡博瓦克引导下,转向光波波导的研究。

应该说明,纤维光学并非他们首创。大家知道,光从光密媒质(折射率大)射向光疏媒质(折射率小)时,如果入射角大于临界角,就会发生全反射。光导纤维就是根据这个原理。早在

1910年,著名物理学家德拜和他的合作者洪德罗斯(Hondros)就对介质波导作了详尽的理论分析.到了50年代,用玻璃做成可弯曲的光束管道,可以使医生能够看到人体内部,这就是所谓的内窥镜,直到现在还有广泛应用.然而,内窥镜采用的光纤是玻璃制品,其衰减率大于1000dB/km,只适用于长度不超过一、二米的仪器传光传像,根本不能用于长距离通信.即使在1960年发明了激光器之后,用激光器作光源,由于光纤的衰减率如此之大,也无法利用光纤进行长距离通信.

激光器的发明使人们对历史悠久的光学刮目相看.完全有理由相信,以激光为主体的光通信时代即将到来,这一认识促使人们加强对光通信的研究.当时微波已经是远距离通信,包括电视和电话的重要媒介.而微波既可经空气传送,也可经波导传输.人们很自然地想到激光也应该能够象微波那样,经空气直接传送或经空腔光学波导传输.人们普遍认为,只要把微波技术扩展到光传输,就可实现远距离光通信.例如,美国贝尔电话公司的贝尔实验室就在致力于这方面的研究,当时大容量电话系统是靠微波在一系列塔架之间从空气中传送,就象多年来一直在用的微波电视传送一样.贝尔实验室的科学家用激光器做了一个模拟器,建在纽泽西州的赫尔姆戴尔(Helmdel)的主实验室和附近的克罗福德山实验室的屋顶之间,经过多次试验,没有取得预期效果.他们很快发现,空气并不象看起来那样纯净,雨、雪或浓雾都能使信号强度大大衰减,例如:经过2.6km的路程信号竟衰减了60dB以上.显然,从空中直接传送光信号很难满足大容量通信的需要.

贝尔实验室同时还在进行另一套试验方案.从1950年开始,微波工程师E.米勒(S. E. Miller)就带领一个小组在克罗福德山研制一种空腔波导,专门用于60GHz的微波(频率为60GHz的微波,其波长约为5毫米,所以也叫毫米波),这种微波在空气中衰减很快.因此采用波导管进行传输.他们的毫米波导管内径是5cm,传输的是单模.以毫米波为载体,把语言

数字化,并通过毫米波导管传输,其能力为160Mbit/s(兆比特/秒).米勒小组相信,把空腔波导概念推广到光波领域,有可能形成下一代新的通信技术.当时纽泽西州Monmouth军用电子指挥部的戈保(G. Goubau)也在做同样的事情.许多有名望的通信工程师也都是这样想的.

然而,问题并不象人们想象的那样简单.大家知道,光波波长约为1微米,比毫米波波长短千倍,如果光波波导按比例缩小,就必须把空腔波导管的直径做成10微米以下,而这种要求是难以实现的.如果波导管的直径过大,传送的光波只能是多模的,这样很不利于光的传播.但米勒小组并不把这当成障碍.理论上讲,他们只需要在波导管中增加许多透镜,周期性地让激光束沿着波导管重新聚焦,就可以克服这一困难.为了消除固体透镜表面不可避免的反射,贝尔实验室试验成功了气体透镜,用波导管中心冷空气和管壁热空气折射率的不同进行聚焦.虽然仍有一些工程问题,但是基本概念已经很清楚了.于是,美国的贝尔实验室就准备在条件成熟后推出以空腔波导为传输手段的光通信技术.这时已是60年代中期了.

英国的标准电信实验室(STL)的里弗斯(A. H. Reeves)对通讯技术的发展途径有独特的见解.他由于在1937年发明了脉码调制而闻名于世.里弗斯在激光出现时已经是58岁的人了.他富有远见和创造性,在梅曼发明第一台激光器之前就对光通信发生了兴趣,并向正在领导STL微波波导研究的工程师卡博瓦克提出光学研究任务.上面我们提到的高锟和霍克汉就在卡博瓦克的小组中工作.

开始他们也是跟美国同行那样,把透镜放在空腔光波导管中进行实验,他们用柔性塑料制成固体介质波导管.这种固体介质波导管在微波系统中可以使用.如果它们的直径按波长的比例缩小,应该也能在光波长范围内工作.然而,用比头发丝还要细的塑料棒传送光波实际上会遇到许多难以克服的困难.

1963年卡博瓦克安排高锟和霍克汉研究介

质光波导。30岁的高锟正在写关于波导研究的博士论文，霍克汉刚大学毕业两年，卡博瓦克认为光导纤维是有前途的，但是他担心材料损耗，所以他鼓励高锟和霍克汉研究他自己设计的一种新颖的平面波导，在这种平面波导中光大体上是沿着外侧传播。高锟和霍克汉测试了卡博瓦克的波导，发现它对弯曲非常敏感，而这正是毫米波导管和空腔光波导管都无法避免的问题。

1964年末，新南威尔士大学授予卡博瓦克电气工程的教授职位，这是晋升的大好机会，于是卡博瓦克离开了STL，把光学研究课题交给高锟。高锟和霍克汉并没有拘泥于原有的方案，而是把注意力转向光导纤维。他们知道，玻璃纤维细小而且宜于弯曲，比起贝尔实验室的空腔光导管来有很多优越的地方。

微波的经验使高锟和霍克汉认识到单模传输的重要性，他们吸取了斯尼彻(E. Snitzer)的意见，认识到如果包层的折射率比纤芯正好小1%，就可以在较大的光纤中进行单模传输，包层不仅增加了纤维的直径，而且改变波导的特性，使单模有可能在直径10倍于波长的纤芯中传送。

高锟集中精力于难以解决的光学损耗问题，他向光学专家请教，发现杂质导致绝大部分吸收。如果使玻璃变纯将大大减少损耗，剩下的就是约1dB/km的散射损耗，这个数字是缪勒(C. Maurer)在一篇文章中导出的，缪勒后来领导康宁玻璃公司做出了首批低耗纤维。

霍克汉则致力于研究光纤所需的均匀性。大多数波导系统对直径的微小变化极为敏感，而这变化在真正制造过程中几乎不可避免。但是霍克汉证明机械公差10%足以给出大约1GHz的带宽。

1965年11月他们向在伦敦的电气工程师协会(IEE)递交了共同署名的论文，略加修改后，发表在1966年7月的IEE会刊上。论文题名：“用于光频的介质纤维表面波导”。他们在结论中明确地提出了用光导纤维的方案：“理论和实验的研究均表明，玻璃型物质的纤维做成包层结构，纤芯的直径约为 λ_0 ，总直径约为 $100\lambda_0$ ，(注： λ_0 即光波波长)。这是一种可能的实

用光学波导，很可能成为一种新型的通讯媒介。纤芯的折射率要比外皮高约1%。这种波导可用于单模(HE_{11} ， E_0 或 H_0 模)并具有超过1Gc/s的信息容量。它完全可以弯曲，并容忍实践中经常遇到的10%的机械公差。可见，与现有的同轴电缆及无线电系统相比，这种波导具有更大的信息容量和节约基础物资的好处。现在看来，要成功地实现纤维波导，依赖于是否能找到合适的低耗介质材料。有关材料的关键问题看来很难解决，但又不是不可能解决的。肯定地说，所要求的大约20dB/km的损耗率比起基本机制所给出的损耗低限还是高得多的。”

在高锟二人的论文激励下，美国康宁公司在1970年率先研制出了衰减率低于20dB/km的石英光导纤维，恰好这年适合于光纤通信之用的光源——双异质结半导体激光器问世。这两项技术的突破立即掀起了研制和使用光纤通信的高潮。此后，光纤的衰减率不断降低，1974年为2dB/km，1979年最低达到了0.2dB/km，而半导体激光器的寿命则大大增加，刚开始只有几小时，1975年十万小时，1979年则达百万小时。

1977年贝尔实验室首先完成了光纤通信的现场试验，全面制备了光纤通信的配套器件，完善了生产工艺，从此光纤通信进入了实用阶段。

由于耦合损耗尚未达要求指标，70年代中叶光纤通信只能采用直径较大的光纤，仍停留在多模传输的阶段，80年代初才真正推广单模的长距离传输，高锟的预期终于得到了全面的实现。

* * * * *

敬告读者

本刊自1997年起每期定价3.00元，全年定价18.00元(含邮资)。

本刊1994年增刊(现代物理知识与教学现代化)，16开本，200页，定价6.50元(含邮资)；1996年增刊(现代物理知识与教学现代化)，16开本，296页，定价20.00元(含邮资)。

本刊编辑部办理邮购，欲购者请汇款到北京918信箱现代物理知识编辑部，邮编100039。