绪　言

光纤与信息化生活

1　手机通信背后的功臣——光纤

现今社会，每个家庭都拥有若干部手机，可以用手机听音乐、看电视、炒股、购物，如图 1 所示。和国外的朋友通话或上网聊天时，感觉与在国内通话没什么两样，不像以前那样声音会滞后。其根本原因是光纤和光纤通信的快速发展，给我们的生活带来了巨大的便利，如图 2 所示。



图 1　手机在生活中应用广泛



图 2　光纤通信为生活带来便利

我们身边的电脑和手机，通过电信号“0 和 1”发送信息。光纤通信由将电信号转换成光信号的“发送机”、将光信号转换成电信号的“接收机”，以及传输光的回路“光纤”构成，如图 3 所示。

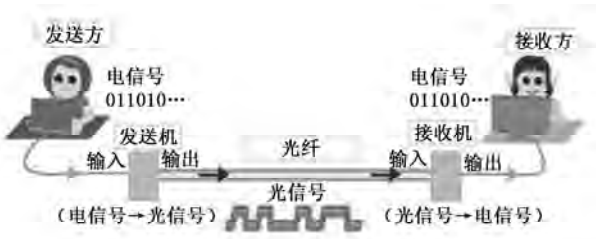


图 3　光纤通信示意图

在只有电通信的时代，一次能传输的距离短而且传输的信息量少，国际间的通信主要通过人造卫星作为中继传输。而使用光纤通信，一次性传输的距离长并且传输的信息量多，因此通过使用铺设在海底的光纤光缆就能实现与海外快捷畅通的通信，如图 4 所示。（电波和光的速度相同，但是由于经由卫星的话传输路径会变长，信号到达较慢。海底电缆的距离短很多，所以信号会更快到达）



图 4　通信传输的变化

一对金属电话线至多只能同时传送一千多路电话。而根据理论计算，一对细如蛛丝的光导纤维可以同时通一百亿路电话！铺设 1 000 km 的同轴电缆大约需要 500 t 铜，改用光纤通信只需几千克石英就可以了。大量用户可以同时接收需要的信息（电影或新闻等）。在 1 秒钟内，电通信最多只能传输 10 Gb（100 亿个 0 和 1 信号）的信息，与此相比，光纤通信最多可以传输 1 Tb（1 万亿个 0 和 1 信号）的信息，如图 5 所示。

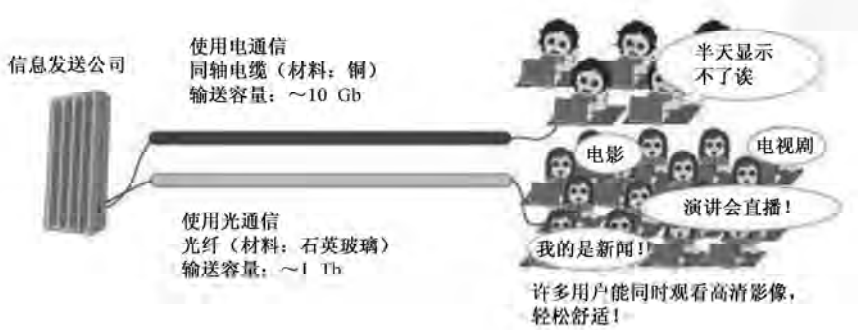


图 5　信息容量的变化

2　光纤和光通信的发展过程

中国古代，在长城沿线的险要处和交通要道建筑烽火台，如图 6 所示。一旦发现敌情，便立刻发出警报，并因敌人进犯方位不同、白天夜间的不同，又有各自不同但很具体的规定。一般白天点燃掺有狼粪的柴草，使浓烟直上云霄；夜里则燃烧加有硫黄和硝石的干柴，使火光通明，以传递紧急军情。

17 世纪中叶，人们发明了望远镜，如图 7 所示，它使得人们可以看得更远了。1791 年，法国人发明了信号灯，如图 8 所示，此后“灯语”通信在欧洲风靡一时。旗语产生于西方的大航海时代，舰船之间通过旗语来进行联络；直到现在，各种信号旗仍然在船舶上悬挂。在 F1 的赛车场也使用到了旗语，可以说它也是一种目视光通信的手段。直到今天，望远镜、信号灯、旗语等目视光通信的手段仍在使用，属于最原始的光通信。



图 6　烽火台



图 7　望远镜



图 8　信号灯

不论是烽火台、望远镜，还是交通红绿灯、旗语，它们有一个共同点，就是利用大气来传播可见光，由人眼来接收。我们今天所说的光通信已不再是用可见光进行的视觉通信，而是采用光波作为载波来传递信息的通信方式。著名的发明家贝尔，在 1876 年发明了电话之后，就想到利用光来通话。1880 年，他利用太阳光作光源，光束通过透镜聚焦在话筒的震动片上（见图 9）。当人对着话筒讲话时，震动片随着话音震动而使反射光的强弱随着话音的强弱作相应的变化，从而使话音信息“承载”在光波上（这个过程叫调制）。在接收端，装有一个抛物面接收镜，它把经过大气传送过来的载有话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（这个过程叫解调）。电流送到听筒，就可以听到从发送端送过来的声音了。通话距离最远达到了 213 米。

利用光在大气中传送信息方便简单，但是光在大气中的传输要受到气象条件的很大限制，比如在遇到下雨、下雪、阴天、雾等情况，就会看不远和看不清，使信号

传输受到很大阻碍。此外，太阳光、灯光等普通的可见光源都不适合作为通信的光源，因为从通信技术上看，这些光都是带有“噪声”的光。因此，要用光来通信，必须要解决两个最根本的问题：一是必须要找到高强度的、可靠的光源；二是必须有稳定的、低损耗的传输媒质。

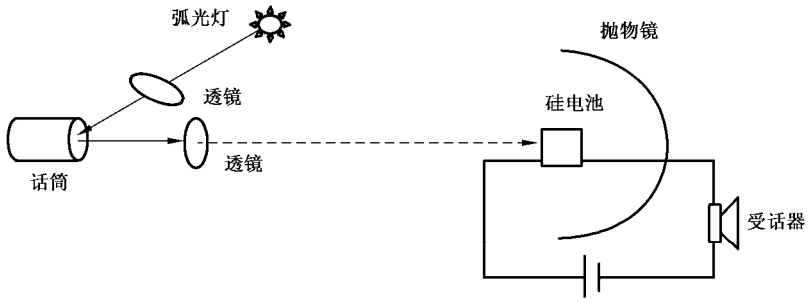


图 9　电话示意图

1953 年，英国伦敦学院的卡帕尼博士，发明了用极细的玻璃制作的光导纤维。每根细如丝的光导纤维是用两种对光的折射率不同的玻璃制成的，一种玻璃形成中央中心束线，另一种包在中心束线外面形成包层。由于两种玻璃在光学性质上的差别，光线经一定角度从光导纤维的一端射入后，不会从纤维壁逸出，而是沿两层玻璃的界面连续反射前进，从另一端射出。但是由于光纤损耗高达 1 000 dB/km，这种光导纤维最初只是应用在医学上，用光纤束组成内窥镜，可以观察人体肠胃内的疾病，协助医生及时作出确切的判断。

1964 年，英籍华人高锟(K. C. Kao)(见图 10)深入研究了光在石英玻璃纤维中的严重损耗问题，发现这种玻璃纤维引起光损耗的主要原因是其中含有过量的铬、铜、铁与锰等金属离子和其他杂质，其次是拉制光纤时工艺技术造成了芯、包层分界面不均匀及其所引起的折射率不均匀，他还发现一些玻璃纤维在红外光区的损耗较小。1966 年高锟首次明确提出利用光导纤维进行通信的光纤通信设想，并因此获得了 1979 年 5 月由瑞士国王颁发的国际伊利申通信奖金。1970 年，美国康宁(Corning)公司研制成功损耗 20 dB/km 的石英光纤；1974 年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制作法——CVD 法(气相沉积法)，如图 11 所示，使光纤损耗降低到 1.1 dB/km；1976 年，日本电报电话公司将光纤损耗降低到0.47 dB/km(波长 1.2 μm)。目前，波长为 1.55 μm 的光纤损耗＜0.2 dB/km，已接近了光纤最低损耗的理论极限。



图 10　高琨

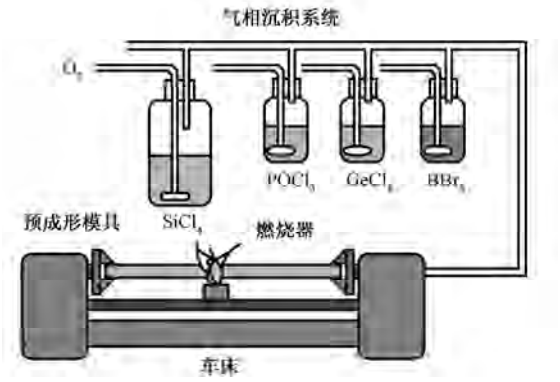


图 11　CVD 法示意图

1960 年 7 月 8 日，美国科学家梅曼（见图 12）发明了世界上首台激光器——红宝石激光器，如图 13 所示。从此人们便可获得性质和电磁波相似而频率稳定的光源。这种激光器产生的光与普通的灯光不一样，它是受物质原子结构本质决定的，频率稳定，约为 100 THz。这种光的频率比已经广泛应用的微波（频率约为 10 MHz）的频率高 1 千万倍。因此，用这种光来传送信息从理论上来说，通信的容量可以比微波通信的容量也大 1 千万倍！因此，激光器的发明对光通信的研究工作产生了重大的影响。但是最初发明的激光器在室温下不能连续工作，因此，还不能在通信中获得实际应用。1970 年，美国贝尔实验室、日本电气公司（NEC）和前苏联先后研制成功室温下连续振荡的镓铝砷（GaAlAs）双异质结半导体激光器（短波长）。虽然寿命只有几个小时，但它为半导体激光器的发展奠定了基础；1977 年，贝尔实验室研制的半导体激光器寿命达到 10 万小时；1979 年美国电报电话（AT&T）公司和日本电报电话公司研制成功发射波长为 1.55 μm 的连续振荡半导体激光器。



图 12　梅曼

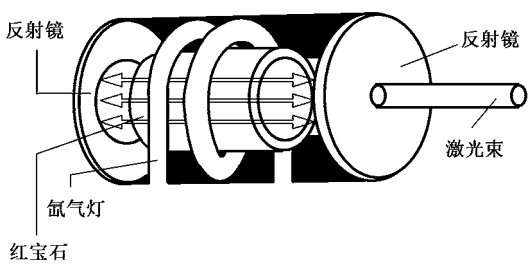


图 13　红宝石激光器

激光器和低损耗光纤这两项关键技术的重大突破，使光纤通信开始从理想变

成可能。光纤通信技术将需传送的信息在发送端输入发送机中，将信息叠加或调制到作为信息载体的载波上，然后将已调制的载波通过传输媒质传送到远处的接收端，由接收机解调出原来的信息。根据信号调制方式的不同，光纤通信可以分为数字光纤通信和模拟光纤通信。

1976 年，第一条速率为 44.7 Mb/s 的光纤通信系统在美国亚特兰大的地下管道中诞生。第一个商用的光纤通信系统在 1980 年问市，该系统使用波长 800 nm 的砷化镓激光作为光源，传输的速率达到 45 Mb/s，每 10 km 需要一个中继器增强信号。实际上光通信系统使用的不是单根光导纤维，而是由许多光纤维聚集在一起组成的光缆，如图 14 所示。一根直径为 1 cm 的光缆，里面有近百根光导纤维。光缆和电缆一样可以架在空中，埋入地下，也可以铺设在海底，它的出现使激光通信进入实际应用阶段。



图 14　光缆

光纤通信具有传输容量大、保密性好等许多优点。进入实用阶段以后，光纤通信的应用发展极为迅速，光纤通信已经成为当今最主要的有线通信方式。光纤通信的产业包括光纤光缆、光器件、光设备、光通信仪表、光通信集成电路等多个领域。

20 世纪 70 年代的光纤通信系统主要是用多模光纤，应用光的短波长(850 nm)波段。80 年代以后逐渐改用长波长(1 310 nm)，光纤逐渐采用单模光纤。到 90 年代初，通信容量扩大了 50 倍，达到 2.5 Gb/s。进入 90 年代以后，传输波长又从 1 310 nm 转向更长的 1 550 nm，并且开始使用光纤放大器、波分复用(WDM)技术等新技术，通信容量和中继距离继续成倍增长，广泛地应用于市内电话中继和长途通信干线，成为通信线路的骨干。

我国从 1974 年开始了低损耗光纤和光通信的研究工作，并于 20 世纪 70 年代中期研制出低损耗光纤和室温下可连续发光的半导体激光器。1979 年分别在北京和上海建成了市话光缆通信试验系统，这比世界上第一次现场试验只晚两年多。这些成果成为我国光通信研究的良好开端，并使我国成为当时拥有光缆通信系统

试验段的几个国家之一。到20世纪80年代末，我国的光纤通信的关键技术已达到国际先进水平。从1991年起，我国已不再建长途电缆通信系统，而大力发展光纤通信。在“八五”期间，建成了含22条光缆干线、总长达33 000 km的“八横八纵”大容量光纤通信干线传输网。1999年1月，我国第一条最高传输速率的国家一级干线（济南—青岛）8×2.5 Gb/s密集波分复用（DWDM）系统建成，使一对光纤的通信容量又扩大了8倍。

光通信器件（见图15）是构建光通信系统与网络的基础，高速光传输设备、长距离光传输设备和智能光网络的发展、升级以及推广应用，都取决于光通信器件技术进步和产品更新换代的支持。我国十分重视光通信器件的研发，通过国家高新技术发展计划安排专题、组织技术攻关、跟踪国际先进技术等措施的实施，极大地推动了光通信器件的研究开发和产业化工作。目前，随着光器件产业逐渐向中国转移，光通信行业基础设施建设进一步加快，中国已成为全球光电元器件的重要生产销售基地。



图15　光通信器件

3　光纤传感器与光纤传感网

光纤传感技术是20世纪70年代伴随光纤通信技术的发展而迅速发展起来的，以光波为载体、光纤为媒质，感知和传输外界被测量信号的新型传感技术。光波不怕电磁干扰，易为各种光探测器件接收，可方便地进行光电或电光转换，易与高度发展的现代电子装置和计算机相匹配。光纤工作频带宽，动态范围大，适合于遥测遥控，是一种优良的低损耗传输线；在一定条件下，光纤特别容易接受被测量或场的加载，是一种优良的敏感元件；光纤本身不带电，体积小，质量轻，易弯曲，抗电磁干扰，抗辐射性能好，特别适合于在易燃、易爆、空间受严格限制及强电磁干扰等恶劣环境下使用。因此，光纤传感技术一问世就受到极大重视，几乎在各个领域得到研究与应用，成为传感技术的先导，推动着传感技术蓬勃发展。

光纤传感器应用于对磁、声、压力、温度、加速度、陀螺、位移、液面、转矩、光声、

电流和应变等物理量的测量。光纤传感器的应用范围很广，几乎涉及国民经济和国防上所有重要领域和人们的日常生活，尤其可以安全有效地在恶劣环境中使用，解决了很多行业多年来一直存在的技术困难，具有很大的市场需求。光纤传感器在航天、石油开采、电力传输、医疗、监控等众多领域都得到了广泛应用，桥梁和隧道、山体的光纤传感监测系统如图 16 所示。



图 16　光纤传感器的应用

分布式光纤传感技术是近几年发展起来的一种用于实时丈量空间温度、应变和应力场分布的高新技术，分布式光纤传感系统不仅具有普遍光纤传感器的优点，还具有对光纤沿线各点的温度、应变和应力的分布传感能力，利用这种优势我们可以连续实时丈量光纤沿线几十至上百公里内参量，定位精度可达厘米量级。

光纤同时具备宽带、大容量、远距离传输和可实现多参数、分布式、低能耗传感的显著优点，应用范围广泛，如图 17 所示。

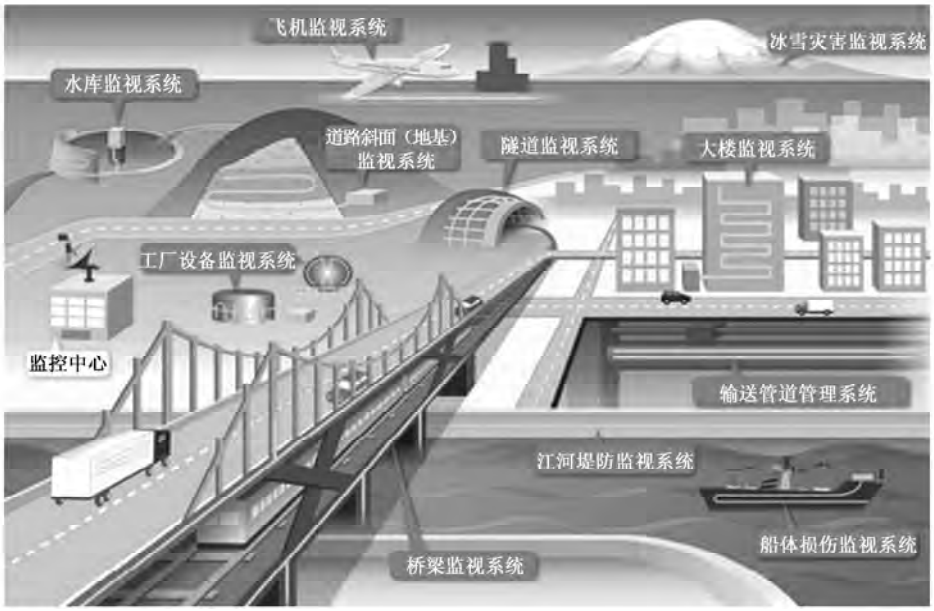


图 17　光纤传感应用领域

光纤传感技术主要应用在以下领域：

(1) 在基础设施工程中的应用

在公路、桥梁、隧道和建筑等重大工程建设及使用过程中，经常会出现隧道局部坍塌、渗漏以及火灾，桥梁局部裂缝、崩塌等现象，将光纤传感器嵌于这些建筑物或者公共设施内部，可以感受桥梁的结构变形、结构动态特性及交通荷载等状况，同时利用张力传感器感受隧道容易发生塌方的局部的变形情况，实现对这些基础设施的长期稳定的实时监测，减少事故的发生。

(2) 在现代农业中的应用

将传感技术应用在农作物的育苗、生长、收获及储藏等环节，可以使农业的生产及管理达到高产、低耗的目的。

在农作物的育苗、生长过程中，通过光纤温度传感器、光纤湿度传感器及光纤二氧化碳传感器等对农作物生长环境中的温度、相对湿度、光照强度、土壤中的养分、pH 值及二氧化碳浓度等物理量进行检测，并实时反馈给管理中心，再经过自动控制装置调节相应的参数，可使农作物有一个最佳的生长环境，达到快速生长及高产的目的。在农产品的加工及储存过程中，同样也可以利用光纤温度传感器及光纤湿度传感器来获取粮仓的环境信息并用来指导通风翻晒等作业。水果、蔬菜等的储藏需要相应的光纤气体传感器来测量乙烯、氧、二氧化碳、氨、氟利昂等气体的浓度。这些信息可以通过网络系统反馈到监测中心，进行实时监控，且可以实现远程控制。

(3) 在智能周界入侵防范系统中的应用

基于光纤传感技术的周界入侵防范系统，是近年来随着光纤传感技术的发展而在工业领域的一大应用亮点。目前，应用在周界入侵防范系统中的传感器种类繁多，因而系统的技术解决方案也大相径庭，但总体上来说，均是采用光纤周界入侵传感器来感受外界侵扰情况，并及时报警，该项技术可以广泛应用于机场、电站和军事基地等重要场所。

(4) 其他应用

光纤传感器由于具有抗电磁干扰等优点，因此可以应用于电传感器不易使用的场合，在国防上，光纤传感器可用于水声探潜(光纤水听器)、光纤制导、姿态控制、航天航空器的结构损伤探测以及战场环境(电磁环境、生化环境等)的探测等；在电力系统中，可用于测量大型电机的转子、定子和高压变压器内部的电流、电压和温度等。此外，光纤传感器还可以用于油气开采过程中井下的压力、温度等参数

的监测、输油管的泄漏监测等，实现安全生产和管理。

物联网的概念是在1999年提出的，其英文名称为“The Internet of Things”，即“物物相连的网络”。物联网是在互联网的基础上利用RFID（无线射频识别）技术、红外感应器、全球定位系统以及激光扫描器等信息传感设备将物品与互联网进行连接，实现信息交换和通信，从而实现智能化定位、智能化识别、跟踪、监控和管理的网络。在物联网中需要大量的传感器来感知各种各样的环境参数，为物联网提供最原始的数据信息，然后通过处理得到人们所需要的结果，因此传感器是物联网的核心。光纤传感可以不断汲取光纤通信的新技术、新器件，各种光纤传感器有望在物联网中得到广泛应用。