

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

学友文库

跨越时空

eBOOK  
网络资料 电子图书

## 跨越时空

## 一 光通信重放异彩

### 1. 光纤通信与信息社会

目前，在世界范围内正掀起一场新的技术革命，即第四次产业革命。这一次新技术革命与以前三次产业革命显著不同，如何利用这一难得的机遇促进整个国民经济的飞跃，这是当今社会发展所面临的重大课题。

在过去世界历史上发生的三次技术革命中，我们都失掉了时机，错过了发展机会。如果在这次新技术革命中再次错失机会，落后下来，我们民族的子孙后代恐怕都难以弥补我们的过失所留下的差距。

事实证明，历史的发展从来不会向任何民族提供补课机会，对任何一个落后民族来说，只能在追赶先进民族的过程中补课。

每一次技术革命的产生与发展无疑将带给客观世界一次巨大的飞跃。从18世纪至今，世界上经历了三次大的产业革命。第一次产业革命自1770年以瓦特发明蒸汽机为基础，用机器劳动代替人的体力劳动，使人类社会从铁器时代推进到机器时代，完成了从农业社会向工业社会的过渡。第二次产业革命自1840年以发电机和电动机的广泛应用为主要标志。电力被广泛用于一系列新兴工业部门，把社会从机器时代推进到电力时代。第三次产业革命自1900年以人类掌握原子能的利用为主要标志。以往三次产业革命集中解决能源问题。它的特点是通过提供不同能源，以推动不同机械来代替人手机械劳动的革命。其关键是生产能源、控制能源和使用能源。

这次新技术革命（第四次产业革命）则集中解决信息问题。其关键是处理信息、控制信息、传递信息和使用信息。这次新技术革命，以信息科学、能源科学和材料科学为前沿，以电子计算机、遗传工程、光纤通信、激光技术和海洋开发等五大高新技术的开发和广泛应用为特征。其中作为高新技术的前导——信息技术以微电子技术为基础，包括通信技术、自动化技术、微电子技术、光电子技术、光导技术、计算机技术和人工智能技术等，它的特征是用电子计算机使信息和电脑化的智能与机器系统相结合，代替人的体力劳动和部分脑力劳动，是一次增强大脑功能的革命，使人类从工业社会向信息社会过渡。

信息革命推动着现代社会的高速发展，在信息社会里，除了各种自然资源、生产工具外，信息作为一种重要的资源和财富，影响着社会的运转，作为传递信息的通信正日益发挥着重大作用。这是因为随着人类社会活动范围的扩大，人与人之间的交流需要克服距离的障碍。随着生产及科学技术不断发展，通信手段不断进步，通信范围也逐步扩大到了整个社会，并深入到社会生活的各个方面。可以说，现代社会离开通信是不能生存的。这也正是以电脑和光纤通信为基础的信息工业，年增长率超过20%的主要原因。有人估计，到90年代末期，信息工业可能发展成为世界第一大工业。

为什么光纤通信在新技术革命中占有这么重要的地位？因为它是新兴的技术，而且它又有独特的优点。

光纤通信（光导纤维传输）这门新技术是70年代激光应用中最引人注目、发展最迅速的领域之一，是自无线电发明以来通信传输的一次重大革命。

信息社会（社会信息化）对通信的业务范围要求越来越广阔，除了电话电报之外，还有图像、数据、文字、音乐等多种形式的信息，而且传送的信

息量将成百成千倍地增长，这就要求有传输容量大、价廉、优质的传输线路，光纤通信就是理想的信息传输手段。

光纤通信在新技术革命中占有重要地位，还因为它是信息社会必不可少的神经网络，是信息社会的先导技术之一。在现代社会里，人类活动所需的各种信息就是依靠以现代通信技术为基础的通信设施来处理、存储及传输的。如果说建立在微电子技术及软件技术基础上的计算机是现代社会的“大脑”，那么由大容量光纤通信系统及其他现代化通信装备交织而成覆盖全球的电信网络就是连接现代社会“大脑”的不可缺少的理想神经。

光纤通信在新技术革命中占有重要地位，还因为它对未来的信息技术将发生深远的影响。现代信息技术是通信技术与电子计算机技术的密切结合，主要趋向是通信网向数字化、智能化、综合化方向发展，向综合业务数字通信网（ISDN）发展。所谓综合业务数字通信网。一是各种通信业务的综合；二是数字传输与数字交换在通信网中的综合。目前德国的宽带综合业务光纤通信网（BIGTFON）、日本的信息网系统（INS）都属于这一类型，不过规模和水平不同而已。

作为当代新技术中发展最快速，竞争最激烈的先导技术之一，在国外发展异常迅速。为了改变我国的通信面貌，加速四化建设，抓住有利时机，迎接新技术革命的挑战，必须加快光纤通信发展的步伐。

近 20 年来，我国一直把光通信的有关课题当作重点攻关项目。许多专家学者为之奋斗，取得了一系列重要成果。

1988 年 9 月李鹏总理题词：“大力推广光纤通信在我国的应用。”

1989 年国家公开宣布“以后一般不再建同轴电缆干线”。

1992 年又确定了建立国家光缆干线网的宏伟计划。现在北到东北、新疆，南至广西、海南，一个贯通全国的光纤通信干线网已经实现。

光纤通信从发明至今，已在世界范围内家喻户晓，得到广泛的实际应用。由于光纤通信巨大的潜在优越性，加上不少实力雄厚的研究所和工厂积极投入进行研制，不断地改进技术和产品质量，以至时至今日，光纤通信已无可争辩地成为现代通信建设最重要的主力军。并且在未来还有可能发挥更大的作用，成为“信息高速公路”的基石，还有可能逐渐形成全光通信网，有极其灿烂美好的前景。

## 2. 从“烽火台”到“光电话”

巍峨的长城，蜿蜒在崇山峻岭之间。她是我们伟大祖先勤劳、智慧、刚毅和中国古代文明的象征。当我们登上长城的时候，除了感慨她的雄伟壮观和联翩浮想之外，你是否还注意到那些像城堡一样的塔形建筑，你可曾知道这些塔是做什么用的吗？

这就是我国著名的“烽火台”。你也许听说过我国古代用烽火台报警的故事吧！大约在 50 万年前，北京猿人就学会使用大然火。又经过几万年，人类才学会钻燧取火，开始用人造火。到了几千年前，中国发明火光通讯，它的设施叫烽火台。其中著名的有周朝的骊山烽火台，秦汉的长城烽火台。当时汉武帝大修万里长城，城上每隔五里设一个报警烽火台，一旦发现敌人入侵，白天燃烟，夜间举火，利用火光来传送军事情报。这种烽火台报警，就

是古代的光通信方式。它可以说是世界上最早利用光波通讯的形式了。

在我国古代历史上，还流传着“幽王烽火戏诸侯”的传说。相传西周末有个幽王，为了博取贵妃一笑，竟命人在骊山顶上大举烽火。顿时火光冲天，各地诸侯疑是京都有变，一个个领兵点将，连夜赶至骊山救驾。到骊山，但闻楼阁管乐之音，幽王与贵妃正饮酒作乐。结果是白白奔波了一场，诸侯卷旗而回。这场恶作剧的确使贵妃失笑，但也埋下了西周覆灭的祸根。几年以后，外敌真正入侵京都时，周幽王命人再次点燃烽火，却没有一兵一卒前来援救，结果京都被攻破，西周从此灭亡。故有“千金买一笑，烽火戏诸侯”的笑话。可见，我国在很早很早以前，就已经用光来通报信息了。

国外也有用烽火传递消息的例子，大约在几千年前，传说古希腊的军从包围了特洛伊城，十年围攻不下。有人心生一计，建议制造了一匹大木马，故作退兵的姿态，把木马留在城外。特洛伊人见敌兵已去，大开城门，把木马拉进城里，大摆宴席，庆祝胜利，个个喝得酩酊大醉。深夜，藏在木马里的希腊兵乘机而出，杀死守城哨兵，打开城门。埋伏城外的希腊军队一拥而入，攻破了城池。这就是“特洛伊木马计”的由来。用什么方法把胜利的消息传送呢？当夜希腊军队点起烽火，烽火台一个接一个起火，在几小时内，火光迅速横跨爱琴海，跑完五百多公里，报告了胜利的消息。这样快速的火光通讯当时被称为奇迹。

但是，烽火通讯只能传递简单的军事情报，不能传送较复杂的文字信息。用什么方法来传送文字信息呢？2000多年前，著名的古希腊史学家波里比发明了一种光文字通讯，或叫做“光电报”。这种“光电报”不但会传送简单的信号，而且还会传送文字和语言呢！

波里比的“光电报”不是用电传送电码，而是用火光把一字一字的信息传送到远方。它的工作原理是这样的：每个通讯站建造两座砖墙，每座有五个空隙，发明家把二十五个希腊字母编成五个表，每个字母用固定的火光表示。这样，表示不同字母的空隙，使载有字母信息的火光传出去。这种通讯方式，很像拍发电报，所以把它叫做“火光电报”。

公元前，古中国的编码通信已经相当普遍，以至连发明家的姓氏都弄不清。到公元前102年，即汉武帝时代，报警通讯已分为烽表、烽烟和苜火三种。按敌人的兵力情况和敌情严重程度分别使用，并用接力方法来延长通讯距离。

烽表就是一种最古老的编码通讯，用白布和红布制成信号旗，把信号旗高高挂在杆子上。用增减旗的数量表示敌兵的多少、远近和敌情的轻重、缓急等信息，并把信息传送给统帅部。由此可见，古中国的军事家早已学会用编码方法来提高信息量。

数百年后，到1791年，法国青年沙布在巴黎和利列之间建立了一条类似的扬旗通信线，全长210公里，经过20个站，仅花三小时就可报告一条胜利的消息。当时，人们对每小时跑完70公里的通信速度感到惊奇。到了1833年，俄国在彼得堡和华沙之间也建立了1000多公里长的通信线，每小时的传信速度100公里，这种快速通信被认为是当时的通信奇迹。

沙布的扬旗编码通信原理是：在一根高杆上，安上三块薄板，每块板系着一条绳子。通信时，拉动绳索，用改变板的位置来构成各种形状，每种形状表示一个单字或句子。沙布设想了一百九十六种符号来表示文字，这种通信机在欧洲许多国家使用了半个世纪。至今，火车站还有扬旗通信器，用来

通知火车是否可以进站。

烽火台报警这种通信方式虽然简陋，但它却包含着近代光通信的一些基本要素。

首先，要有一个光源。烽火台报警用的光源就是烽火，火光向四面八方传播，凡是能看到烽火的地方就可知道烽火台发出的消息。

其次，必须有接收器（在光纤通信中又称为光信号接收机），也就是要有能感受火光的装置。当然，在古代人们还不会制造各种各样的光信号接收机，然而，大自然早已为人们创造了世界上最灵敏的光信号接收机之一——人的眼睛。

第三，必须设法把要传送的信息加在光波上，就像通信员骑在马上一样。在烽火台通信中，人们约定用火光的有无来报导外敌是否入侵。也就是说，事先约定有敌情时举火，无敌情时将火熄灭。在光通信中，按照一定的方式把要传送的消息加在光波上，就是对光波进行调制。在最初的烽火台通信中，被调制的火光信号只有两种状态：要么有火光；要么没有火光。

利用光波进行通信就像利用船来载人和货物一样，我们的目的是将人和货物送到目的地，而船只不过是运载工具而已。光波在光通信中就起着船的作用，因此有光载波之称。所要传送的信息就好像船上的乘客和货物，当船到了目的地以后，乘客要下船，货物也要从船上卸下来，与此类似，也必然存在“解调”的问题，也就是必须设法从过调制的带有信息的光波中将信息取出来。

实现光通信的第四个条件是必须有良好的光通道。正如船只有在水中才能行驶一样，光波也只有在某些环境中才能传播。比如，光能在真空中通行无阻，而无需借助任何媒介。广袤无际的宇宙空间，就是理想的光通道。在晴朗的白天或夜晚，光也能在大气中传播。烽火台报警，就是利用地球表面的大气作为天然的光通道的。

随着时代的前进，现代光通信的面貌已远非烽火台报警时代可比，但由最原始的光通信所体现出来的上述基本要素却仍然包含在一切现代光通信系统之中。

尽管光通信是人类最早使用的一种通信方式，但是早期的光通信，传送的信息少，而且受到地形、气象等条件的限制，遇到大雨、大雪、大雾等恶劣天气，光就很难传播，不能用来传递消息。因此长时期内，光通信没有得到什么发展，而有线电和无线电通信却后来居上，迅速发展起来。无线电通信从传送符号、声音发展到传送文字、图像、数据，所用的波段从长波、中波发展到短波、超短波、微波直到毫米波和亚毫米波，与通信有关的电子学技术也得到了飞速发展。这种强有力的通信手段，在一段时期内完全满足了人们传送信息的要求。在这种情况下，光通信日渐冷落，除了在某些个别的场合，如海边的灯塔、战场上的信号弹、车站和军舰上的旗语等，还能感觉到它的存在以外，几乎再见不到光通信的发展了。难道光通信就会慢慢地退出通信大家族而消失无踪吗？

当然不是。在无线电通信迅速发展的时候，还有人去注意光通信的发展。这就是伟大的发明家——电话的发明者贝尔。在 1880 年，贝尔发明了第一个光电话，这一大胆的尝试，可以说是现代光通信的开端。

贝尔的光电话是以弧光灯作光源，发出的光投射在话筒的音膜上，当音膜按照说话人声音的强弱及音调不同而作相应的振动时，从音膜上反射出来

的光的强弱也随之变化。这种被声音信号所调制的光，通过大气而传播一段距离后，被一个大型抛物面镜所接收，在该抛物面镜的焦点上放着一个硅光电池，它就是光探测器。硅光电池能将射在它上面的光转变成电信号，这个电信号的强弱及变化频率，都恰好能反映原来用于调制光信号的声音的强弱及频率。这个电信号被送进听筒，就能还原成原来的声音，完成了整个通信过程。在这里，将弧光灯的恒定光束投射在话筒的音膜上，随声音的振动而得到强弱变化的反射光束，这个过程就是调制。而在接收端，记载有信息的光射在硅光电池上，直接产生反映声音变化规律的光电流的过程就是解调。将这一电流送入听筒，从而恢复成声音信号，这称为信息的再现。

在贝尔的光电话通信装置中，发射端与接收端各用了一个抛物面镜，它的作用与无线电通信中的发射和接收天线类似，称之为光学天线。发射端由于使用了抛物镜，光的能量比较集中，可以传送较远的距离。而接收端，用一个大的抛物镜，可以收集到更多的光能，将这些光能聚焦到放在抛物面镜焦点处的探测器上，就可以获得更大的光电流输出。贝尔的光电话装置在晴天时通话距离可达数公里至十几公里。

在贝尔的光电话中，包含着近代光通信技术的萌芽。事实上，这个光电话把声、电和光联系起来，把光通信与电技术结合起来。在发射端，电能转换成弧光灯的光能；在调制器中，声音转变成电流，然后驱动话筒的音膜振动；在接收端，接收到的光信号在硅光电池中转换成电信号，电信号又在听筒中转换成声音信号，实现了光、电、声音（或文字、图像）的相互转换，这是一切现代光通信的共同特点。我们需要传送的信息以声音、文字或图像的形式出现（称为信息源），但只有通过它们与电、光的相互转换才能利用光将它们传送到远处。

贝尔光电话的发明使通信领域大为活跃。到第一次世界大战期间，由于战争的需要，军事部门先后试验过几种光电话装置，还采用了人眼看不见的保密性更好的红外光作为光载波。在第二次世界大战期间，一些国家也使用过红外线通信装置。但是与贝尔的第一个光电话比较起来，并没有什么重大的突破。光通信的进一步发展和应用，在技术上遇到了很大困难。

为什么光电话通信方式不能很快得到发展？今天，我们知道这实质问题是没有理想的光源和理想的传输介质。一方面在 60 年代以前，光波通信都是利用自然光源，它包括自然光和一般的灯光光源，这类光源不是无线电电波的发生器，它不可能产生像无线电电波那样单纯、有规律的电磁波。人工不好控制它的变化，也不好处理，所以不能像短波段和微波波段的电磁波那样进行复杂的通信工作。另一方面，光波与短波、微波相比较，光波传播易受气候的影响，在大雾天气，它的可见度距离很短，遇到下雨下雪天也有影响。因此气候不好，光电话常常是不能通话，这显然限制了人们去考虑它的发展。

尽管光电话在问世后相当长的时间里，被人忽视，几乎处于停顿状态，但是，贝尔光电话的遗产在现代光通信中仍闪烁着光芒。它的伟大发明，证明了可用光波作为载波来传递信息。

光通信是否就此结束了呢？不。任何一门新技术，只要社会上一旦有了需要，而它本身又具备发展的条件，它就一定会克服重重障碍而发展起来。光通信在本世纪 60 年代以后的重新崛起，就是一个生动的例证。

### 3. 现代光通信的诞生

光通信重新提上日程，其原因一方面是，无线电通信已经不能完全满足今天的需要。随着生产的进一步发展，通信和广播事业也要相应发展，要求不断扩大通信容量。另一方面，现在使用的无线电通信，由于空中相同和相邻近的频率会互相干扰，如发生串话等，因而在一定范围的地区内，各个通信系统不能同时采用相同的频率通信，只能按频率高低顺序排列，或者将使用同一个频率的时间彼此错开来，因而可用频道容量受到限制，造成所谓空间频率拥挤，使通信和广播事业的扩大和发展受到限制，因而也就有了发展新的通信系统的要求。光通信在这方面恰好具有很大的吸引力。

这样，通信事业经历了 100 多年的发展，光通信又重新提出来了。但我们现在所讲的光通信并非烽火台通信及贝尔光电话的简单的重复，而是在新的科学技术基础上推陈出新。

20 世纪 60 年代，激光器的诞生和激光技术的迅速发展给光通信以新的生命。长期以来几乎奄奄一息的光通信又重新焕发了青春，开始进入通信史上的第二次飞速发展时期。

我们已经知道制约光通信发展的两个问题，第一个是光源问题，因为它表示着人类是否能像掌握一般无线电技术那样，掌握光波的产生与调制等光频段技术。直到 60 年代这个问题才得到突破。当时制出了激光器件，在强光照射下，红宝石晶体产生了光波振荡。发出了频率单纯的光波。这是第一次用人工产生的类似一般无线电电波特性的光波振荡，光波振荡的产生，无疑地引起了无线电应用的又一次剧变。1960 年开始，世界上对激光应用的研究迅速开展。1962 年以后，光通信的研究工作普遍受到重视，国外开始探索在光频段实现各种通信方式及其可能性。在我国，1964 年北京邮电学院等单位与中国科学院合作，联系探讨了这方面的问题，初步进行了一些实验工作，并由北京邮电学院与邮电科学研究院协作建立了光通信实验室。当时，大家都注意到由于激光的发现，在原则上已经解决了光波源的问题。激光为什么有这么神奇的力量使光通信获得新生？为了回答这个问题，我们先谈谈什么是激光，激光有哪些优异的特性。

人类生活在光在世界上。世界上的光源有千千万万，太阳光、白炽灯、日光灯、高压水银灯……各种光源不同，但是它们的本质是一样的，都是具有不同波长的电磁波。激光也是一种光，它的波长和频率属于普通光波的范围。

激光是由一种特殊的光源——激光器通过受激辐射而发射出来的。激光具有普通光所没有的一系列优异特性。第一，激光的亮度最高。激光比一般光源亮度要高上万倍，可以毫不夸张地说，激光器是最亮的光源。第二，激光的单色性最好。一种光包含的波长范围越小，它的颜色越纯，通常说它的单色性越好。每一种激光所包含的波长范围都非常窄，所以颜色特别纯。第三，激光的方向性最好。普通光源发出的光是向四面八方散射的，激光却只向一定的方向发光。方向性较好的激光束的发散角很小，几乎是一束平行光。第四，由于激光具有单色性和方向性，所以它的相干性最好。让激光器射出的光通过两个平行狭缝时，在缝后面的屏上出现一系列明暗相间的干涉条纹。我们说激光是很好的相干光。

由于这种光波可以像无线电波一样受人工控制，于是光波的传播易受气

候影响的问题就成为光波能否有效应用于通信工作的主要矛盾了。这是实现光通信的第二个重要问题。由于光波在空间直接传播受气候影响太大，因而在空间进行通信的可能性不大，开始时大家认为可以利用密封管道这类形式的传输手段来解决光波传送问题。但是利用密封管道困难很多，究竟运用哪种方式实现的可能性最大，而且最经济，就成为光通信付诸实施的关键问题。1966年，英国电报电话公司的华裔科学家高锟博士发表了题为“光频率的介质纤维表面波导”的论文，论证了利用光导纤维作为光波的传输手段的可能性，成为光纤通信在世界范围的首次发明。

其实早在1870年，英国物理学家丁达尔就曾做过这样一次表演：他在一个装满水的容器的侧壁上钻了一个小孔，让水从那里喷到地面，然后，他用光从容器上面照射其中的水，这时，射入水中的光竟随着水从小孔流出，并且同水流一起沿着弧线落到地面，在地面上产生一个光斑。这个实验清楚地说明，像水这样的透明物质是可以传送光束的。丁达尔的这个发现使科学家们想到用拉得很细的玻璃丝——光导纤维来作为光的“导线”，并且取得较大的成功：不管玻璃丝怎样弯曲，从它的一端射入的光都会顺着它弯曲地传播，而从另一端射出。

直到本世纪50年代，光导纤维才开始具有一定的形态，它是用很细的玻璃纤维丝作为光波传送的通道。但是，当时这种光导纤维对光波的衰减很大，在一公里长的光导纤维上传播的光波衰减竟达1000分贝（电平的一种单位，其数值是输出与输入功率之比的常用对数的十倍，通常以dB表示），也就是说，在一公里的光导纤维上传送的信号衰减 $10^{100}$ 倍。这是一个天文数字的衰减量，于是有人认为用这类光纤作为光波传输手段并无实际意义。但研究人员分析了光导纤维传播光波的衰减的各种成因，并作了大量基本实验，他们断言：光导纤维传播光波的衰减量有可能降至每公里20分贝，也就是说一公里只衰减100倍，这样的衰减量是初步可用于通信实际的。

自1966年以后，又经过大量实践工作，美国康宁玻璃公司首先于1970年制成衰减量为每公里20分贝左右的玻璃光导纤维，证实了光导纤维是可以作为光通信的传输手段的，这就为使用光导纤维实现通信目的迈出了重要的一步，这样，光通信发展上所遇到的两大问题，基本上得到解决。因而全世界都瞩目于这一方面的研究，光通信的研究工作也演变成以光导纤维通信为研究核心。

说到这里，大家可能会想到这样的问题：就是光导纤维是头发丝那么细的石英玻璃丝，光在里面是怎么样传播的呢？特别是拐弯的地方，光又怎么会拐弯呢？

我们用目前比较成熟的、用得比较多的光导纤维来说明这个问题。它是由两层构成的，里面的芯子叫内芯，内芯是一种非常透明的石英玻璃丝。在内芯外面有一个包层，内芯的折射率比外边的包层大一些。当光从折射率大的物质射向折射率小的物质的时候，只要选择一定的角度，光就不会射到折射率小的物质里面去，而会从它们的交界面上全部折回到折射率大的物质里。这种现象叫“光的全反射”。刚才说过，光导纤维内芯的折射率比包层的折射率大，所以，当光射到光导纤维里的时候，在光导纤维的内芯和包层的交界面上会发生全反射，就是说，光会返回到光导纤维的内芯。经过连续这样的全反射，光就从光导纤维的一头传到另一头了。

#### 4. 与众不同的个性

上面谈到过，近十几年来，光纤通信发展得很快，世界上许多国家都在大力发展光纤通信。在科技发达国家，光纤通信技术已基本成熟，世界上形成了北美、西欧和远东三个光通信发达地区，其代表国分别为美国、英国和日本，其它国家如法国、西德、意大利等国家的光纤通信发展也很快。

那么，这些国家为什么这么重视发展光纤通信呢？这主要是因为光纤通信有许多优点。

光纤通信的第一个优点是，它所用的线路又细又轻。目前常用的光导纤维的内芯直径只有几个微米，加上包层以后，光导纤维的直径是 125 微米，比一根头发丝稍微粗一点。这样的光导纤维，一里长也不过一两重。为了保护光导纤维，同时使它抗拉又抗弯，在制作光导纤维的时候，还在它的表面上加上一层聚丙烯或者尼龙套层。加上这层套层以后，它的直径也不超过两个毫米。在实际通信线路中使用的不是单根的光导纤维，而是把好多根光导纤维跟抗拉的钢丝和塑料填充材料等组合在一起，外面再套上厚塑料皮这就是所说的光缆。这种光缆比电缆轻多了。有人把含有四根光导纤维的四芯光缆跟含有四根同轴管的同轴电缆作过比较，同轴电缆的直径是 45 毫米，而四芯光缆的直径只有 9 毫米，一公里的四管同轴电缆重 4400 公斤，而一公里的四芯光缆只有 200 公斤重，是电缆重量的 4.6%。采用这种又细又轻的光缆，不管是运输，还是铺设线路，都很方便。另外，这种又细又轻的光缆，还特别适合用在飞机和宇宙飞船上。

光纤通信的第二个优点是可以节约大量的有色金属。我们知道，生产电缆需要大量的铜和铅。比如，生产一公里四管同轴电缆，需要 500 公斤铜、1500 公斤铅。而制造光缆，就不需要铜和铅等有色金属。另外，传送光信号的光导纤维是用石英（也就是二氧化硅）做的，二氧化硅在地球上遍地都是，可以说，取之不尽，用之不竭。所以，发展光纤通信能够节约大量的有色金属，也不会受到资源的限制。

光纤通信的第三个优点是通信容量大。通信容量的大小，常常用通多少路电话来表示。同轴电缆中的一对同轴管可以通 1800 路电话，而在已经投入使用的光缆中，一对光导纤维可以通 5760 路电话，实验中的水平是可以通几万路电话。人们估计，将来一对光导纤维可以通上百万路电话。光纤通信的容量这么大，主要是因为光纤通信是利用近红外光来传送信息的。近红外光的频率是几十万亿赫，比同轴电缆里的载波频率高几十万倍，这样，光纤通信的频带就比同轴电缆宽得多。我们知道，通信系统的频带越宽，它的容量也越大。比如说，通常一个微波通道上可以通上千路电话和一个彩色电视节目，如果把这一原则用在光波频段上，则可以通上亿路电话，或者是 10 万路电视节目（电视信号占用频带很宽，约 8 兆赫，大约占用一千多个电话通路）。这样大的通信容量是惊人的，一般较大的国家也只要一亿人口，而在一个光波通道上，即可供一亿人同时打电话。显然，目前在根光导纤维上，我们还不能达到理论上通信容量，不过，在一根光缆上通几十万路电话已不是什么困难的事，而在一般电缆通信和微波中继通信中则确是很难想象的事。所以，从理论上说，光纤通信的容量要比电缆高几十万倍。目前的光纤通信，只利用了那么宽的频带中的很窄一部分，因此，它的容量还不是特别大。

光纤通信的第四个优点是通信距离远。光纤通信跟其他的有线通信一

样，也要像“接力赛”那样一站一站地往前传。这些站叫中继站，中继站跟中继站之间的距离叫中继距离。目前，1800路同轴电缆的中继距离是六公里左右，而1920路的光缆的中继距离一般都在100公里以上。由于光纤通信的中继距离远，在建设长途通信线路的时候，就可以少建很多中继站。

光纤通信的第五个优点是抗电磁干扰能力强，保密性能好。我们知道，电话线和电缆一般是不能跟高压电线平行架设的，也不能在电气铁路附近铺设。这是因为高压电线会辐射出比较强的电磁波，开动的电气火车会产生很强的电火花，它们都会干扰电话线里和电缆里传送的电信号，甚至会使打电话的人听不清对方在说什么。而光导纤维是石英玻璃丝，里面传送的又是光信号，这样，就是把它平行铺设到高压电线和电气铁路附近，也不会受到电磁干扰。而外界光频性质的干扰由于光频电磁波易于屏蔽，也很少有可能进入光纤传递。由于光纤通信抗干扰能力特别强，绝缘性能好易于完全屏蔽。电磁干扰，泄密的可能性可基本消除。另外，信号在远距离传输过程中，噪声不会积累。所以，光纤通信的通信质量好、稳定，除了可以在邮电通信部门使用外，还适合在铁道、电力、军事等部门使用。

总之，光纤通信的通信容量大、抗干扰、保密性好、易于敷设、节省资源等等。正是由于这些突出的优点，使人们对它发生了很大兴趣，成为应用最活跃、最重要的现代技术领域之一。

## 二 信息时代的主力军

现在，光通信已经成为激光应用的最活跃、最重要的现代技术领域之一。按照光通道的不同，可分为光纤通信、大气激光通信和空间激光通信。光纤通信由于其突出的优点而成为信息时代的主力军，另两种激光通信方式作为补充也发挥着各自的作用。下面就分别谈谈三种通信的情况。

### 1. 有线光通信

光纤通信就是让光在一种特制的光学纤维(或称光导纤维)中传送信息。也就是说，这种通信的信道是光学纤维，这实际上是一种有线光通信。正像电通信可以采用无线和有线两种通信方式一样，光通信也可以采用无线(大气激光通信和空间激光通信)和有线(光纤通信)两种方式。下面，我们就首先来讲讲光纤通信。

光纤通信虽然是用光导纤维作为传输手段，形式上是采用有线通信方式，但实质上它的通信系统是采用无线电波的通信方式。因为它是把信号调制到频率很高的光波上，利用光波来传输信号，这与微波通信把信号调制到微波上，再用微波来发射出去相似，所不同的是由于光波受气候影响较大，难于在空中传播，其实，光导传输就是波导传输，类似微波波导通信。所以光导纤维通信的系统必然具有一般无线通信系统的特点。

目前一般无线通信系统常采用外差形式的系统。例如微波系统就是把信号调制到中频然后加到微波上，再在接收端变频至中频进行放大处理。为什么采用这种系统？这是由于这类系统具有避免干扰能力强、接收灵敏度高等等特点所决定。但是现在光波通信还在初始阶段，采用任何复杂系统(例如外差系统)，无论在技术上，还是实用需要上都还存在很多问题。因此，目前光导纤维通信系统只能采用简单的直接检波系统，这就是在发射端直接把信号调制在光波上(即：把信号的变化变作光波强度的变化)，然后在接收端直接用光电检波管把光强的变化转变为电信号的变化。这种情况与1887年使用无线电的初期相类似，当时在火花发报机上发电报，对方用矿石检波器直接检波。当然，这是从基本组成形式来讲，实际上光波直接检波系统要比这种情况复杂得多。直接检波系统基本优点是构成简单，就当前光频技术水平来讲是现实可行的，而且在光导纤维上传送成万路电话、几十路电视也不是困难的事，因此能满足目前需要。现在，国外国内都在集中研究直接检波系统，努力设法使这一系统能在实际中迅速得到应用。

为了简化起见，我们只画了收发单向通话情况，事实上每个光端机都包括收发设备，可作双向对通的通信。电端机就是一般的低频设备，它送出多路电信号，通过光端机的发送部分把电信号调制到光波上。已调制的光波信号输入到光导纤维上(通常实用线路上的光导纤维已制成电缆形状，通称为光缆)，通过光导纤维，把已调制的光波传输到光端机接收端的光电二极管上，经过光电二极管的检波作用，使光波还原成电信号，然后进行解调处理，以后再送到电端机接收端，形成一般的多路电信号，这就是整个光纤通信系统的通信过程。可见，光纤通信系统是由光导纤维、光频器件、光端机等构成。

## 光导纤维

人们很早就学会利用光纤了，例如，胃病常常会给人们带来很大的痛苦，但胃在人的腹腔里面，人眼不能直接看清楚胃里面的情况。怎么办呢？人们已经想出了巧妙的办法。当病人做检查时，医生拿出一个带着长长导线的仪器，将它的头部通过食道插入人的胃里。这个头上有照明装置，比方，一个小灯泡，它能将胃里面照亮。医生从“鞭子”的另一端朝胃里看，就能看清里面的种种景象：某个部位有溃疡，某个部位发现肿瘤……这个仪器现在我们叫“胃镜”，它对胃病的诊断很有帮助。那根“鞭子”就是一根光缆，它由许多根极细的玻璃纤维捆扎在一起而成，可以随意弯曲。医生就是通过这种光纤来观察胃里面的情况的。这大概是光纤的最早的应用。不过那时制作的光学纤维光透过率很低，长度一米的纤维，光的透过率没有超过 80%，而延长到 100 米，光透过率几乎为零。到了 1958 年前后，经过进一步的改进，其结构才近似目前的光导纤维。所以当激光被发现不久，人们就想到利用光纤来通信了。只是通信用的光纤质量要求比胃镜用的光纤要高得多。

上图中所画的是一根沿着它的轴线切开的四芯光缆。当然，真正通信用的光纤是很细的，细的与头发丝差不多，粗的直径也只有 0.1 毫米左右。

光纤是由中心和外皮有不同折射率的高纯度石英玻璃棒在高温下拉制而成的。从光纤的横截面看，中心折射率高，外皮折射率低，且折射率相差仅 1% 左右。为了保护光纤表皮不受损伤并增加其机械强度，在其表面涂上环氧树脂保护层，再挤制一层尼龙套层。套层后的光纤抗拉强度一般可达几千克。而光缆是由若干根比头发丝还细的光导纤维扭绞而成。

那么光是怎样在光导纤维中传输的呢？我们先来看一下光学中的折射定律和反射定律。如果光投射在两种媒质的界面上，则其中的一部分光将从界面上发生反射，另一部分光将因折射而透入第二种媒质，入射光线、反射光线、折射光线和分界面的法线同在一个平面内。入射角和反射角总是相等的。在光从光密媒质射入光疏媒质时，如果将入射角逐渐增大，则折射角也会逐渐增大，当入射角再增大时，折射光就不存在了，入射光全部反射回第一种媒质，这种现象在光学上叫做全反射。开始发生全反射时的那个入射角叫做全反射临界角。所有入射角大于临界角的光束在这样两种媒质的分界面上都将发生全反射。

根据这个道理我们可以明白：为什么光纤包层的折射率应低于芯线的折射率。因为在这种情况下，以大于临界角的角度入射在芯线和包层界面上的光束（也就是与光纤轴线构成较小角度的光束）将在界面上发生全反射。这样的光就将在光纤芯线中沿着“Z”字形的路径曲折前进，不会穿过光纤壁跑出去，也就不会因此而造成损耗。

除了上面这种类型的光纤以外，还有另外一种类型的光纤，它不是简单地由两层折射率不同的材料一层套着一层构成的。它是一种看起来不分层的光纤，但光纤的折射率却从光纤轴线向外边缘逐渐减小。制造这样的光纤当然不是一件容易的事，要采用某些特殊工艺，比如离子交换法或气相沉积法等。这里我们不去详细介绍了。

由于第一种类型的光纤是由两种折射率不同的材料组成，当越过芯线与包层分界面时，折射率发生突变，因此通常称这种光学纤维为折射率突变型光纤或阶跃型光纤，就好像在分界面处折射率有一个台阶一样。这类光纤按

照全反射的原理工作。在第二种类型的光纤中，折射率随离开轴线的距离而逐渐变化，光束在其中循着波浪式的曲线前进，光束在这类光纤中传输时，将周期性地会聚和发散。因此，我们称这种光纤为折射率渐变型光纤或自聚焦光纤。目前在光通信中应用的光纤大体上都是按照上述两类原理工作的。

至于光纤的具体结构，则是多种多样的。以阶跃型光纤为例，有的光纤芯线和包层都用玻璃做成，玻璃的成分不同，其折射率也就不同；质量好的光纤芯线和包层都用石英做成；有的光纤芯线用石英或玻璃，但包层用塑料，这样就更易于大量生产，成本也低；也有光纤用石英或玻璃做包层，而在其内部注入某种特殊成分的液体，构成所谓液芯纤维。

下面再谈谈“多模光纤”和“单模光纤”。它们是什么意思呢？这就牵涉到光纤传输中最基本的概念之一——传输模式概念。这个概念比较抽象，不太容易理解，还是让我们先来打个比方吧！就像你在电影上常常看到的那样，设想发生了某种紧急情况，因而在一条重要的交通线上实行戒严，在重要路口设置拦木，并且布置了层层岗哨，行人必须接受检查，只有那些持有各式各样的特殊通行证的人才能通行，其他没有通行证的人干脆就不许进入。光在光纤中传输的情况与人在一条戒严的交通线上通过的情况有些类似。只是光纤是一条永远处在“戒严”状态下的光通道。光纤的理论分析证明，并不是任何光波都能在光纤中通行无阻的，在每种光纤中都只允许某些特定形式的光波通过，而其它形式的光波在该光纤中无法存在。通常将允许在光纤中传输的每一种特定形式的光波称为光纤的一个模式，它就好像是有某一种通行证的人一样。通行证可能有好几种，光纤中的模式也有好几种。

前面已经讲过，在芯线与包层的交界面上，入射角大于临界角的光才能在界面上发生全反射，而入射角小于临界角的光就有一部分透射到包层之中，这两类光就属于不同的模式。显然，与不能发生全反射的那些光相对应的模式，在光纤中衰减大，它们所能传播的距离很短，或者说它们实际上无法在光纤中传播。因此，在光纤中只有那些与能发生全反射的光波相应的模式对于长距离传输才有意义，通常称这样的模式为导模。

现在我们来看一看什么是多模光纤，什么是单模光纤。单模光导纤维通常是指光纤中内芯尺寸很小，通常只有几个微米，因而它的光纤传输的模式很少，原则上只能传送一种模式的光纤结构。这类光纤传输性能好，频带很宽，传输容量很大，但由于它内芯直径太小，联接、耦合和制造加工都非常困难。多模光导纤维通常是指内芯直径较大（大部分为几十微米，是波长的几十至几百倍）的光纤，除了沿轴线方向传输的导模能在其中存在之外，还有其他很多导模也能存在，这些导模光束在光纤中以各种不同的角度传输成百上千个导模。这类光纤性能较差，传输容量小但由于内芯的截面大，不仅容易联接、耦合，而且除激光器外，还可以用发光二极管作光源，加工制造也较单模光纤容易。近年来，由于技术的不断发展和通信容量的要求，多以研制单模光纤为主。

既然光纤中的导模是按全反射（或自聚焦）的方式而传输的，那么是不是就没有衰减了呢？某一强度的光射入光纤以后，即使在其中走了十万八千里以后，仍和射入时一样强，这当然是我们所盼望的。然而，事实是当光从纤维的一端射入而从另一端射出时，光强会减弱，这意味着光在纤维中传输时受到损耗。通过对损耗的来源做了大量的研究工作后，发现有许多因素会使它发生衰减。

其一是材料吸收：制造光纤维的材料能吸收光能，并把它转为热能而散失掉。其主要原因是用来制作光纤维的玻璃、石英等材料中总含有少量不需要的杂质离子，如铁、铜、铬等和水分中的氢氧根负离子等。这些离子在光波的激励下发生振动，从而消耗光能。

其二是材料散射：散射就是光在纤维内传播过程中遇到不均匀或不连续的情况时，就会有一部分光散射到各个方向去，不能传输到终点，从而造成损耗。例如出现极小的气泡以及在材料冷凝过程中出现析晶等缺陷，它们都将使光发生散射。纵使材料是完全均匀的，但构成光纤维材料的分子对光的散射也是不可避免的。

其三是芯线与包层的分界面不可能是绝对光滑的，必然有凹凸不平的地方。在这种界面上，也不可能发生理想的全反射。光波传播到这些地方时，会有一部分能量辐射出去，造成光的损失。可见光损耗除原材料的吸收损耗和散射损耗外，还有制造工艺的不完善等。由于所有这些原因，以前制造的光纤维损耗是很高的，例如，每米衰减 3 分贝，每公里就要衰减三千分贝，光在这样的光纤维中传十米远，强度只剩下原来的千分之一，传 20 米远强度就只剩下原来的百万分之一！显然，这样的光纤维是不能用于光通信的。

要实现光纤维通信，第一个先决条件就是必须制成低损耗的优质光纤维。从 60 年代中期开始在这方面进行了大量的工作。到 1970 年，人们果然研制出了损耗为每公里 20 分贝的光纤维。从此以后，光纤维通信取得了迅速进展，光纤维的损耗逐年下降。在实验室里，光纤维损耗已降低到每公里 0.5 分贝或更低。也许，你还体会不到究竟这是多大的一种损耗。为了便于理解这一点我们可以设想，当光在海水中传输时，如果每传输一公里损耗 0.5 分贝的话，那么，在海面上我们就能清楚观察海底的一切。

应该注意，对于由一定材料制成的光纤维，其损耗随传输波长的不同而不同。前面所讲的光纤维损耗的数据，都是对目前光纤维通信中常用的波段——近红外波段的激光而言的。石英或玻璃光纤维可适用于砷化镓、磷化镓及钕铝石榴石激光。自然，由于其波长的差异，这些激光在光纤维中传输时损耗也有一些差别，但其损耗都可以达到比较低的水平。

如果把光纤维的损耗降得很低，通信距离是否就可以无限制地增加呢？事实并不是这样。光纤维通信的距离，并不可能随着损耗的降低而无限制地增加，因为光纤维的损耗不是决定传输距离的唯一因素。当损耗已降低到很低的水平时，另一个矛盾就相对地变得突出了，这就是光纤维中的所谓时延问题。

什么是时延呢？当光信号通过光导纤维时，入射角越大的光线，到达终端所经反射的次数越多，所走的路程就越长，因而所需时间也越长。于是本来同时射进纤维端面的一束光波，由于光波中各光线入射角不同，到达终端就出现先后的时间差，造成光信号中各模式之间在时间上的延迟。光纤维越长，延迟时间也越大。

为什么会出这种现象呢？根据前面讲过的光纤维模式概念是不难理解的。在多模光纤维中任意一个光脉冲本身一般不可能是光纤维的一个导模，因此它在光纤维中是不能通行无阻的。但当它注入光纤维时，将在光纤维中激发起一系列的导模，在光纤维的输入端将这些导模叠加起来，就得到输入的矩形光脉冲。这种情形就好像要将一台大设备用火车从一个地方运到另一个地方一样，设备太大，不能整体运走，就将它拆成零件或部件，按铁路上规定的规格包装好，然后分件装车，运到目的地以后再将它组装起来。光脉冲在光纤维中的传

输过程与此类似。但由于属于不同模式的光能量走过同样长一段光纤所用的时间各不相同（或者说它们沿轴线方向传输的快慢各不相同），因此它们到达终点的时间就不一致：有的模式先到，有的模式后到，而且，各模式在传输过程中的损耗也不相等。这样一来，当到达光纤的另一端时，即使将各个模式的光叠加起来，也不可能再得到原来的矩形脉冲，而是一个变形的矩形脉冲。我们把不同模式的光走过同一段光纤所花的时间不同这一现象称为群时延。时延的结果会导致脉冲形状的改变。显然，光脉冲在光纤中传输的距离越长，光纤中容许的模式越多，时延就越大，脉冲的畸变也越严重。

我们再打个比方来说明光纤中由时延而引起光脉冲畸变的现象。马拉松长跑赛是大家所熟悉的，出发前运动员整齐地排列着，一声枪响，大家开始跑，但由于运动员的速度各不相同，有的跑得快，有的跑得慢，因此，在跑了一段距离以后，队伍将慢慢散开、拉长，跑过的路程愈长，队伍将拉得愈开。当冠军到达终点时，其他的人还正在各自的位置上“加油”，有时人稀稀拉拉落在后面很远！整个阶段已不像刚出发时那样整齐了，而是发生了“畸变”！

上面分析的是传输一个光脉冲的情况。在实际进行光纤通信的情况下，总是按信息信号的要求发出一连串的光脉冲，这些脉冲排列的方式、它们的幅度、位置和重复频率等，就包含着要传送的信息。如果脉冲畸变太严重——展宽太大，则相邻各个脉冲可能会互相重叠，当重叠到一定程度时，我们就不能准确判断光脉冲到达的时间，有时就会弄错，通信上就称为误码。当重叠现象很严重时，我们甚至会完全分辨不出是什么时候有光脉冲到达，这样，即使我们还能接收到光信号，但却已经无法从中取出它所携带的信息，因而也就谈不上通信了。由于光脉冲展宽和畸变的严重程度，与光纤的时延效应有关。因此，光纤通信的距离不仅取决于光纤的损耗，同时还决定光纤的时延。对损耗不太低的光纤，前者是主要的，在损耗很低的情况下，后者就成了主要矛盾。要想加大通信距离，可以采用中继的方法。也就是说，在我们尚能正确地辨认光脉冲的有无或它们到达的时间时，将它接收下来，“修整”一番，把它恢复成矩形脉冲的形状（这个过程称为脉冲整形），加以放大以后重新发射出去。这样就可以再传输同样长一段距离。重复使用这样的方法便可使通信信号传送到很远的地方。显然，这种中继的方法对克服由光纤的衰减和对延所造成的对通信距离的限制是同样有效的。每一个能完成对光脉冲进行接收、整形、放大并重新发射出去的装置就称为一个中继站。

在单模光纤中，由于只能传输一个模式，故不存在多模色散问题，但脉冲展宽和畸变仍然存在。这是由光纤材料的色散所引起的。任何光脉冲都不是由一种频率的光波组成的，它包含着一定范围内的一些波长不同的光波，而波长不同的光波在光纤中走得快慢也是各不相同的，到达输出端时就产生时间上的差别。这种现象称为材料色散。太阳光通过三棱镜分解成七色光就是由于色散引起的。在光纤中，材料色散也将引起脉冲展宽。但在单模光纤中发生的这种展宽现象要比多模光纤轻微得多。现在，脉冲展宽在每公里一毫微秒以下的光纤也已经研制出来了。

一根光纤能以多大的速度传送信息，这是我们十分关心的问题。光纤在一秒钟内所能传送的信息量，或者说光纤的信息带宽（或信息容量）也受到光纤时延的限制。在用光脉冲来传送信息的情况下，为了在每秒钟内传送更多的信息，我们就要在每秒钟内发射更多的脉冲。每秒钟内发送的光脉冲愈

多，则相邻两个脉冲就靠得越近，这些脉冲就更容易因展宽而出现重叠现象。当光脉冲重叠到我们无法辨认脉冲的有无时，就不能再增加脉冲的数目了，也就是说不能再增加信息量了。可见，传输的距离越长，光纤传输的模式越多，它在一秒钟内能传送的信息量就越小，也就是说光纤的带宽越窄。一般地说，多模阶跃光纤的容量最小，自聚焦光纤稍大一些，单模光纤的容量最大。一根比头发丝还细的单模光纤的带宽可达到几千兆赫兹以上，原则上可以同时传送几百万路电话及上千套电视节目，其容量是十分惊人的。用这样的光纤作“通道”，就能使得远隔千里的两个城市中的千百万人同时互相打电话、发电报、同时通可视电话、用电视传输多种图像、图表和数据等。多模阶跃光纤的容量通常只有几兆到几十兆赫兹，因此只能传输上千路电话。自聚焦光纤的容量可以达到几百兆赫兹。

建造实用的光纤系统的一个重要问题，是光纤成缆问题。前面已经讲过，单根光纤是一些直径极细的玻璃（或石英）丝，即使在外面套上一层塑料，强度仍然很低，直接将它们用于通信很容易折断。因此，实际上是将很多根光纤捆扎在一起制成光缆，就像用多股电线制成同轴电缆一样。近年来，已提出多种制造光缆的方案，而且已经有多种光缆出售，例如，有的光缆用几根细钢丝作芯子，用以提高抗拉强度，中间包着几根到几百根光纤，并加上一些填料，外面再用塑料或其他保护层包起来。将多根光纤制成光缆，不仅提高了光纤的强度，而且大大增加了光纤通信系统的容量。

### 理想的光源

除了要有优良的光纤以外，光源对发展光纤通信同样具有极为重要的意义。下面就谈谈激光与半导体激光器。

激光就是在原子或离子体系内，通过受激辐射，使光得到放大而产生的一种新型的光。它与大家十分熟悉的日光、各种灯光等一般光相比，是很有规律而频率单纯的光波，具有适用于通信的特点：它的单色性好，也就是它包含的频率成份少，频率变动的幅度小；它的方向性好，发射角很小。例如，由一点发出的激光在空间传播十公里，光斑直径只有一米左右；能量高度集中，激光束的亮度可比太阳光的亮度高百亿倍；频率单纯，相干性好，激光与无线电波相似，其辐射传播过程中在空间的分布是均匀、有规律的，称为相干波。激光的优良特性，使我们有可能对光波的运用像无线电波一样，进行各种调制、解调技术，从而实现质量较高的光波通信。所以，利用激光进行通信是一种非常理想的光源。

我们已经知道激光是一种理想的光源，产生适合光纤通信的激光器就成为关键问题。1970年是光纤通信发展史上值得纪念的一年，这一年中除了研制出了低损耗的光纤以外，还发明了一种高效率的、能在常温下连续发光的半导体激光器，这就是其它类型的半导体激光器，现在已被认为是光纤通信的比较理想的光源。这是一种半导体激光器，不仅具有体积小、重量轻、效率高、寿命长等优点，而且一般只需要几十毫安的工作电流。激光器能连续发光，脉冲工作当然更不成问题。它通常能连续发出功率为几个毫瓦到十来个毫瓦的激光，这对光纤通信来说已经够用了。

除了砷化镓激光器以外，目前已经发现能产生激光的工作物质有上千种，根据物质形态的不同，一般可分为固体激光器、气体激光器、半导体激

光器、化学激光器和液体激光器五大类。但在这些激光器中，适合通信系统使用的，具有频率单纯、相干性好、方向性强和工作稳定等要求的只有几种，如：钕铝石榴石固体激光器、氦氛气体激光器、二氧化碳气体激光器等。为了更适合实用的要求，现在普遍采用砷化镓半导体激光源。近年来出现的其它类型半导体激光器也引起了人们很大的兴趣。激光的波长向长波方向发展，它在光纤中的损耗能达到更低的水平。

自从制成了低损耗光纤及双异质结砷化镓激光器以来，光纤通信获得了极为迅速的发展，光纤通信所需要的元件、部件及关键技术进展都很快。其中光端机的发展是很重要的。因为光端机的作用主要是：一方面要把电信号调制到光波上，另一方面又需要将收到的、已调制的光波复原为电信号。现在，光端机中用于光波调制的实际上就是一个体积很小的半导体激光器。当通上电流时，就会发射光波能量，其光波的强弱是随着所通过二极管的电流大小而变化的，这种直接把电信号加在激光器件的电源上，从而直接引起激光器输出光波强度的变化的方法，叫作内调制。而用于光波检波的主要器件也是光电二极管。通过光波照射，光电二极管可以将光能转换为电能，即把已调制的光波转化为电信号。由于在光源、调制、信道（光纤）及探测器方面的进展，使得设计容量极大的光纤通信系统已成为可能。

光纤通信系统中还有一个关键性的技术问题，就是要保证中继站工作的可靠性。中继站一般应用无人管理的方法，将中继站与光纤一起埋在地下。在使用海底光缆的情况下更必须如此。下面这个例子可以使我们对中继站工作的可靠性问题获得一些印象：若两个中继站之间的距离为 5 公里，则 1000 公里长的光纤通信线路就要设置 200 个中继站，所有这些中继站都必须常年地、自动地、可靠地工作。如果线路由 100 根光纤并列组成，则包括中继站在内整个线路上将需要二万来只激光器和二万来只探测器。所有这些激光器和探测器都必须正常工作，整个线路才能运转，如果某一个激光器或探测器出了故障，这条线路就会中断。由于中继站不便于经常维修和更换元件，这就要求整个光纤通信系统中的各个元件、部件都应十分可靠。比方，希望激光器的寿命应该在几十万小时以上。关于中继站的研制工作，近年来也取得了很大进展，制成了多种中继装置，它们能很好地完成对光脉冲的接收、整形、放大、重新发射等任务。可喜的是，由于科技的不断发展进步，已生产出传输几千公里而无需中继器的全光传输系统。

### 光纤通信发展的 30 年

光纤通信的发展已走过 30 年历程，如粗略地以五年作为一个阶段，则每阶段各有其突出的标志，六个阶段的标志连起来，足以显示光纤通信迅速成长发展的全貌。

60 年代下半期，光导纤维在理论和实验初露锋芒，发现石英光纤有作为实用光纤的可能性，即在纤芯掺入杂质以后，光的折射率稍高于包层的折射率，光波就局限于纤芯内向前传播，从而形成导波。而且，这样的光纤对近红外区适当光波长的信号传输提供很低损耗，完全适合于通信应用。这就是光纤通信的创新发明，它为光纤通信的实际可行奠定了基础。

接着，70 年代上半期，几个大的玻璃研究制造公司，分别利用各自把持的制造工艺，制成预制棒，构成了低损耗，低色散的实用光纤。最低损耗为

每公里 0.2 分贝，而且，由生产的光纤制成光缆，可以提供使用。

70 年代下半期，光纤和激光器件组成的光纤通信系统首次经过市内电话网局间线路上以中等数字速率几十兆比特/秒（“比特”是数字通信的基本信息单位，相当于电报中每个单元符号一样，通常用 bit 来表示）进行现场传输实验得到满意的结果，于是一致认为光纤光缆可以替代铜质电缆作为正式的通信传输线路投放使用。

80 年代上半期，从最初的多模光纤发展至稍后的单模光纤。证明它们有更大的潜在容量，能够传输很高的数字速率，对于高速数据和数字通信传输极为适合，其优越性远远超过铜线和同轴电缆的极限能力。短波长 0.8 微米过渡至长波长 1.3 微米；发光管过渡至激光管。光电子器件技术与产品质量有明显改进。

80 年代下半期单模光纤的光缆在市内局间线路和省际长途线路大量敷设使用，数字速率加快，中继距离延长，显示它代替原有的铜线和同轴电缆是不可抗拒的必然倾向，另外，光纤通信系统在专用的计算机通信局域网开始应用。

90 年代上半期，波长 1.55 微米通信系统中距和长距线路开始大量应用，并且掺铒石英光纤放大器制成产品，淘汰再生中继机成为全光传输系统，另一方面，单模光纤在一定的功率条件下能产生超窄光脉冲，称为光孤子，经过沿线放大，可以传输超长距离几千公里，仍能保持超窄脉冲和超高速率的运行。预计将来对越洋海底光缆几千公里的直达传输完全适合应用。

另外 90 年代下半期的发展趋向，将看到光纤通信网整体结构设计和建设的大踏步发展。与此同时，各种必需的新型光子器件，包括新型光源器件，将加快步伐陆续设计和研制成功，为下一世纪大规模实现全光通信网打下基础。

## 光纤通信新技术

光纤通信的出现和发展，导致了电信史上的巨大变革，对人类社会的发 展，产生了深远的影响。然而，从整体上看，光纤通信的巨大潜力还远远没有挖掘出来，光纤通信仍处于方兴未艾的阶段。研究表明，目前光纤通 43 信对光纤极大的传输容量只利用了 0.01%，要进一步提高光纤通信系统的能 力，一方面，应不断地改革现有光纤及其元器件的性能，另一方面，也是更 重要的，则应积极研制新系统，以便将光通信的巨大潜力充分挖掘出来。为 了跟踪世界光通信高技术的发展，我们在这里将当今光通信发展的前沿技 术，向读者作一必要的介绍。

### 波分复用技术

作为携带信息的传输媒质——光纤，到底有多大的传输潜力（或说究竟有多大的带宽资源）？光通信采用激光光源，单个光源发出光的线宽很窄，只占用了可传输的频率宽度的极窄一部分。如果将每个峰值发送波长适当错开的光源信号同时在一根光纤上传送，则可以大大增加光纤的信息传输容量。每个波长的光是以不同峰值分别携带各自的电信号，因而接收时，可以完整地保持每个光源的独立信息。所谓波分复用技术，就是将不同波长的信号复用到一根光纤上传输，从而大幅度提高光纤资源的利用率。

富士通研究所宣布：相当于一份报纸 250 年所容纳的信息量仅用 1 秒钟

就能传送完毕——这种大容量光通信试验获得成功。其传送容量为每秒钟 1.1 太拉 (1 太拉为  $10^{12}$ ) 比特,是当今世界上最大的。现在实用化的光通信的传送容量是每秒 10 千兆比特,而这项试验所达到的容量超过了它的 100 多倍,使多媒体时代传送信息量大的图文信息等变的更容易了。计划到 2000 年使这一系统实用化。

试验中,将波长略有差异的 55 束光信号分别载入每秒 20 千兆比特的信息,用一根光纤传送,从而实现了合计每秒钟传送 1.1 太拉比特的信息。传送距离为 150 公里。每 50 公里设立一个放大器,以增强减弱的光信号。据说,每秒 1.1 太拉比特的传送容量大约相当于 1500 万条电话线路的传送容量。富士通研究所将配合光通信网的大容量化逐渐应用这一技术。

由此可见,波分复用技术大幅度提高了光纤的传输能力,因而一提出就受到了极大的关注。目前美国贝尔实验室的波分复用系统,已进入实用阶段。理论上表明,若进一步采用相干通信技术,则一根光纤大约能传输 10 万路广播电视信号。

### 相干光通信

迄今为止,所有实用化的光纤系统都是采用非相干的强度调制——直接检测方式,这类系统成熟、简单,其原理有点类似早期无线电通信中的电火花发射/矿石检波通信方式(在第一次世界大战期间,人们多用矿石收音机收听战争消息)。受无线电通信中外差式技术的启示(目前许多收音机都采用超外差式),人们提出了光纤相干通信的设想。所谓光纤相干通信,是指相干调制,外差检测方式的通信。光调制是指将信息载入光载波的过程,光的相干调制能将光的强度、相位、频率等信息都载入光载波(这与全息照像有点类似)。

从历史上看,尽管 1905 年就提出了外差通信概念,但经过了 20 年的艰苦努力人们才制造出第一台超外差接收机。我们相信,今天相干光通信面临的困难,也会一个一个得到完满解决,并最终像历史上的超外差无线通信一样获得广泛的应用。可以预见,在不远的将来,长途单波长大容量光纤系统仍将由直接检测方式占主导地位,而相干光通信将在长途多波长通信系统中发挥主要作用。

从目前来看,经过十余年的广泛深入研究,相干光通信已开始进入实用化阶段,且发展速度比预想的快得多。现在看来在本世纪末完全进入实用化阶段已成定局。

### 全光放大器

传统的光纤长途传输系统中,信号随传输距离增加而减弱,需要隔一定距离加一个再生中继器才能保证信号的质量。故在光纤通信系统中,光放大器是必不可缺少的。目前一些实用系统中,这种放大器都无一例外采用光——电——光方式,这使得系统复杂化,并导致效率大幅度降低、造价提高、设备庞大等等。长期以来,人们致力于全光传输放大器的研究,以取代目前的光——电——光放大器。所谓“全光放大器”,就是不经过光——电——光转换,而直接经过光纤本身起到放大作用。经过多年的努力,目前已研制出了掺稀土光纤放大器、半导体激光放大器等。尤其是其中的掺铒(铒是 17 种稀土元素中的一种)光纤放大器,技术简单,已进入了实用阶段。1985 年英国南安普顿大学首次研制成功掺铒光纤。目前,美国 AT&T,日本 NTT 和英

国 BT 已分别成功进行了全光放大器无中继传输试验。

从以上的内容，我们知道，限制和阻碍光纤通信向超高速，超长距离和超大容量发展的主要因素来自“电”。在现行光通信系统中，电子设备是必不可少的。光——电——光或电——光——电的转换环节，限制了光纤通信的优良性能的发挥。全光放大器的诞生、光孤子传输和量子光通信的提出，为实现高效率的“全光通信”奠定了基础。因此，如果说光复用系统和相干通信深刻改变了光纤通信的面貌，那么，全光放大器的研制成功，则是光通信发展史上一个新的里程碑。

### 光孤子通信

孤子现象在上世纪 30 年代便被发现了。人们在水流中，发现有这样一种水波，它局域于一个有限范围内，以一定速度传播，且传播中波形保持不变。后来，人们又发现了光孤子现象，并对该现象解释为：一相干光脉冲通过某介质时，其前沿部分作用于介质，使之激活，而后沿部分则受到介质的作用得到增益。这样，波前沿失去的能量和后沿得到的能量相抵，光脉冲就好像在完全透明的介质中传播一样，没有任何损耗，形成一传播中不变形的光脉冲，这就是光传输中的孤子现象。由于光孤子具有传播不变形的优良特点，故一旦用于光通信，可大幅度提高传输距离和传输速度。

那么，怎样实现光孤子通信呢？

传输光通信中，光波在光纤里传播，色散现象使传输波展宽，从而限制了传输距离，而光纤传输的非线性特性又使波形中频率高的分量不断累积，波形越来越陡，最终破裂，限制了传输信号不能太强。若将两种对立因素结合在一起，相互平衡，就可以保持波形在传输中稳定不变。可见，光孤子现象就是利用光纤折射率随光强而变化的特性，来补偿光纤中的线性色散（色散使波形变宽），从而使光脉冲的波形在传播过程中保持不变，形成所谓的“光孤子”。利用这种光孤子进行通信，在理论上几乎没有传输容量的限制，采用这种技术，世界上最大的图书馆——美国国会图书馆全部藏书 100 秒就可传送完毕！

目前，光孤子研究不断取得了突破，英国 BT 公司演示将 2.54 兆比/每秒信号在光纤上传输了一万公里，美国 AT&T 公司将同等量信号在光纤上成功传输了一万二万公里，而日本 NTT 公司在光纤上，成功演示了将 10 兆比/每秒信号传输了一万公里。一句话，光孤子已不再是深奥莫测的领地，而是接近实用化的活动阶段，美国贝尔实验室预计 90 年代中后期可推出实用化系统。近年来光纤放大器的研制成功，并成功运用于光孤子通信实验，使光孤子通信的面貌焕然一新，为其实用化走出了关键一步。

### 量子光通信

为了挖掘光纤通信的巨大潜力，人们已研制开发了几种先进的光纤系统，如波分复用通信、相干通信、光孤子通信。这些新系统虽然在很大程度上提高了通信容量，并为光通信展示出广阔的发展远景。但是光通信的潜在能力，发挥程度仍然是有限的。这是因为这些系统均基于经典的通信现象和理论。根据这种理论，光载波传输信息的机制，从本质上讲，和早已实用化的无线电中波、短波的通信并无实质上的区别，无线电通信中的所有概念，理论和技术均可沿用到光通信领域。这种“经典”通信，从理论上讲，通信

容量最终将受到高倍噪声的限制。

在这一限制面前人们会束手无策吗？

走出恢宏的经典大厦，人们可从现代科技发展的最前沿领域得到什么启示？

为了超越这一极限，人们受到现代量子光学的启发，提出了量子光通信。精通量子论的科学家们坚信：光通信应服从量子信息论，由于信息的载体是光量子，所以应由量子力学原理来规范。经过严密而复杂的计算，科学家们预言：一个光子可以将无限的信息传递给无限个分支终端和无限个受信者。

这是一个令人兴奋的结论，人们由此普遍认为这种通信模式的开发会引起光通信领域内一场深刻的革命。

量子光通信的具体原理、机制，我们留给那些有志于量子光通信研究的读者去慢慢了解。这里我们只想告诉读者：目前，量子光通信的实验和研究仍处于开创阶段，尽管它的理论框架和实验模型都已经初步形成，并且已经足以证明其优越性，但具体研制中，有一些关键问题仍然难以解决。不过，在今天这种信息技术得到飞速发展的时代，一些技术难题解决时间往往会出人意料地大幅度缩短。

事物的发展是无止境的。在光纤通信中各关键性技术问题基本解决以后，人们并未就此止步，而且正在向着更先进、更复杂的技术进军。一个重要的发展方向是将光纤通信与集成光学技术结合起来。集成光学与集成电路有着某些类似的技术，它试图把激光器、探测器、调制器、光开关、光耦合器等各种器件集成在一个很小的基片上。如果我们能做出只有火柴盒甚至手指盖那么一点点大的集成化的光纤通信中继站，那该有多好啊！如果将光集成技术与传输损耗更低、通信容量更大的光纤（如优质单模光纤）配合起来，并选择合适的激光波长，就将产生通信容量更大、中继距离更长、性能更好的新一代光纤通信系统。

总之，在制造低损耗光纤方面取得重大突破以后，近年来光纤通信进展神速。目前，关于长寿命、高效率的光源，高灵敏度、高响应速率的探测器等问题均逐一解决；在制作实用的光缆，连结、耦合、中继装置，电子线路以及系统设计等方面均已取得很大进展。可以说，坚冰已经突破，航道已经开通，一个以光纤通信为主要标志的激光通信时代就在我们眼前！其发展之迅速，在科学技术史上也是罕见的。光纤通信技术的发展，不仅影响了电信网的面貌和社会进步，而且深刻地影响甚至改变着人们的工作、思维、甚至生活方式。我们相信，随着光通信技术的发展和成熟，人类将迎来一个崭新的信息时代。

## 2. 无线光通信

无线光通信大致可分为大气激光通信和空间激光通信两种。大气激光通信的特点是通信容量大，但体积和重量都较大，适用于定点之间大容量保密通信。空间激光通信是特大容量的通信系统，它主要在地球大气层以外的空间传输，不受大气条件的影响，是很有发展前途的一种方法。

### 大气激光通信

大气激光通信就是以激光作为载波，借助于大气这一天然通道，把光信号送到接收端。它不需要像有线电通信那样架设电话线和电缆，也不需要像光纤通信那样的光缆和设备，因而比较简单易行。它是光通信中最早研究和应用的一种。

要想顺利实现大气激光通信，必须满足两个前提条件：第一所使用的光载波必须能很好地透过大气而传输。我们都知道，地球表面的大气层，存在着多种气体以及各种微粒，如尘埃、烟、雾、水滴等等。还可能要发生各种复杂的气象现象，如雨、雾、雪、风等。这些因素，对光波有衰减作用，会使激光能量大大减小，或者使激光偏离原来的传输方向，破坏了激光原有的特性。这些影响主要来自以下几个方面：大气中悬浮微粒的散射、气体分子的吸收和大气湍流的偏折作用。

大气引起的光散射，就是大气中的微粒阻挡了传播的光束，使一部分光的能量向四面八方散开，减弱了原来传播方向的光能，引起损耗。就是空气分子也会对光产生散射作用。一般地说，波长较长的光散射较弱，波长越短散射越强。由于吸收和散射的结果，光在空气中传播时就会逐渐减弱。就像一股清泉流经一条干涸的河道，通过的距离越长，衰减得越严重。微粒越多，散射越严重，损耗越大。另外，还与波长有关，一般波长越长散射越小。这样，在晴天通信距离能达到数十公里的通信机，在大雾时，可能连一公里的通信也保证不了。

大气的吸收作用，最主要的是水蒸汽和二氧化碳的分子对传输光波的选择性吸收。就是说，某些特定波长的光，会引起这些分子的共振，消耗了光能。引起损耗的大小，取决于水蒸汽、二氧化碳等气体的分子浓度。所以损耗的大小随着大气温度、湿度、压力、地形、高度等条件而变化。比如在标准晴朗天气，指的是大气中除各种空气成分外，没有尘埃、水滴等微粒，这时大气对激光的衰减主要是由大气吸收造成的。在这种条件下激光的衰减都在每公里一分贝以下，即光每走过一公里时仅衰减百分之几到百分之二十左右。但当天气变坏时，大气对激光的吸收就会急剧增加。尤其是雾，它所引起衰减要比雨、雪所引起的衰减更严重。在这种情况下，波长较短的可见光及近红外激光在大气中的衰减增加很快，因此要在较长距离上实现全天候通信也还是困难的。

大气湍流，就是大气各点的密度不规则的微小起伏。它是由于地球表面空气的不断对流引起的。在地球表面附近，由于太阳光的照射而受热不均匀及其它原因，造成大气中局部的温度、气压、气体密度的不均匀性，从而形成很多大小不一、密度和温度各不相同的气团，引起大量不稳定的气体流动，这就是大气湍流。它改变了大气中局部范围的折射率，而且这种折射率的不均匀性还随时发生无规则的变化，从而使激光束在大气中传播时发生无规则的抖动、弯曲、波前畸变等现象，影响通信质量。这种光束“抖动”现象在日常生活中我们不难遇到。例如，透过一个灼热的大火炉上的热空气去看炉子后面的物体时，会发现炉子后面的物体像浸在水波里一样抖动，这就是由于炉子上面不稳定气流造成的；在晴朗的夏夜，天上的星星时常忽闪忽闪地向我们眨眼睛，也是由于空气折射率无规则变化的结果。由大气湍流造成的光束抖动等效应也常常称为“大气抖动”。由于接收地点固定不动，收到的光信号强度就会发生变化，带来强烈的干扰。尽管人们做了大量的研究工作，

但是至今还无法完全克服大气抖动效应对光通信的干扰。

因此，要想顺利实现大气激光通信，保证通信质量，就必须选择合适的激光波长及提高光通信机的抗干扰能力。首先，所使用的光载波必须能很好地透过大气而传播。要知道，并不是任何波长的光都能在大气中自由穿行的。有些波长的光比较容易穿过大气，衰减较小；有些波长的光在大气中传播很困难，衰减较大，传播的距离越远，光就衰减得越多。我们把能顺利透过晴朗大气的光波的波长范围称为“大气窗口”，正像在房间里只有通过窗口才能看到外面的景物一样，在大气中也只有波长处在大气窗口上的那些光波才能顺利通过。幸运的是，现有的几种主要激光波长都处在大气窗口上，所以它们都可用作通信。因此，在同样的气候条件下，通信质量取决于通信机的抗干扰能力。比如，加大发射功率，提高接收灵敏度，选择合适的调制方式等。

实现大气激光通信的另一个前提是：只有在用眼睛有可能看得到的地方才能进行通信。因为激光和普通光一样（在某种程度上与微波也类似），波长很短，它在均匀大气中是沿直线前进的。因此，激光通信只能在视线距离内进行。由于地球表面是个曲面，即使没有高山峻岭的遮挡，极目所视，也只能看到几十公里的范围。人们常说“高瞻远瞩”，站得愈高，才能看得愈远。对微波和激光通信来说，也是这样。因此，通常的微波中继塔和电视台天线都修得很高。现在，世界上最高的电视大线塔已高达 600 多米！在光通信的情况下，发射和接收地点也要选得高一些，通信距离才能远一点。如果碰到大山，就要在山顶上架设一个中继站，在大山的两边，虽然人们彼此不能看到，却仍然可以进行通信。

激光大气通信的优点也是十分明显的，比如它不需要铺设线路，投资少，应用范围比较广泛等。根据大气激光通信的这些特点，它可以有许多实际用途，而且在有些场合下，它的优越性还特别明显。由于激光大气通信的机动性比较好，随时随地可以进行。比如，近距离的定点激光通信，可以用在山头之间、江河两岸之间，地面和海岛之间，以及城市里某些通信业务特别繁忙的地区。在这些情况下，铺设海底电缆或过江电缆都比较困难，造价太高；利用微波通信，或者不利于保密，或者设备较庞大，费用高昂。同样，基于保密的原因，在边防地区可采用定点激光通信。在战争条件下，当无线电通信设备受到强烈干扰甚至被迫中断的时候，用大气激光通讯可作为补充通信手段，将显得特别有价值。

大气激光通信系统，特别是像使用砷化镓这一类半导体激光器作光源的通信系统，可以做得十分轻便，因此可作为便携式通讯装置使用，用于舰船之间、飞机和飞机之间、边防、林区以及水文地质勘探等流动性场合。大气激光通信还可用于某些特殊的地面定点通信线路，这些线路要求极大的通信容量，但却允许在少数特殊恶劣的气候条件下中断，甚至可以由人们主动选择在天气较好的情况下才进行工作。对这种线路，大气激光通信系统是比较理想的。

大气激光通信的研究工作已进行了多年，技术上取得了很大进展，但至今还没有被广泛采用，其原因就是可靠性还达不到要求，或者说还做不到“全天候”通信。所谓“全天候”通信，就是指在任何恶劣的气象条件下，通信都能正常进行。做不到全天候通信，这就在一定程度上限制了它的实用范围。

如果希望得到高质量的通信，只好在晴好天气占多数的地区，才能得到较好的效果，而在雨雾较多、能见度较差的地区，就不很适用了。但是由于大气激光通信的特点，在一定场合下还是有它的用武之地。

## 空间激光通信

空间激光通信是很有发展前途的，特别是在卫星激光通信方面，有很大的发展潜力。

与大气激光通信相比，广漠无垠的宇宙太空无疑是激光通信最理想的场所。在那里，没有令人苦恼的大气干扰问题，光在传输中也不会因受到吸收、散射而衰减，真空对传输带宽也看不出有任何限制，也就谈不上“大气抖动”效应。剩下的问题就只是因为光束本身的不断扩展而导致能量的分散。但恰恰是在这一点上激光优越于其它任何光源，而且也优越于任何无线电发射机。激光本身的方向性就极好，这一点我们在前面已作了介绍，并且激光的亮度极高，因此，它能胜任在极远的距离上进行大容量光通信的任务。难怪激光一出现，人们就立即想到将它用于空间通信。

我们知道，60年代发展起来的卫星通信，已经成为一种重要的实际通信方式。卫星通信主要由通信卫星和卫星通信地面接收站组成，卫星通信系统不仅能够传输多路电报电话，而且能够传输电视、传真和高速数据。它不仅适于民用通信，而且也适用于军事、航空航天和航海等专用通信，应用范围相当广泛。我们经常可以通过电视收看到各种国际体育比赛的实况，就是卫星通信的功劳。不过目前的卫星通信已经不能满足人们对信息日益增长的需要，开始出现供不应求的状况。

首先是要增加通信容量就要提高卫星的有效发射功率，这就要大大的增加卫星的体积和重量。比如从1965年到1971年这六年时间内，卫星容量从240路电话增加到6000路，而卫星重量竟从39千克猛增到1112千克，体积也增加了三、四十倍，卫星的天线也从一个增加到六个。而随着社会的发展，6000路容量显然是远远不够的，如果要再增加通信容量，那么卫星就得做的更大、更重，结构也更加复杂。但是用激光代替微波进行卫星通信，不仅可以减小卫星的体积和重量，还可以获得很大的通信容量。因为利用微波通信时，即使采用庞大的天线，它发射出微波束也有几度的发射角，而利用激光时，激光束的发射角只有零点零几度。这样，如果发射功率相同，用激光代替微波时，地面接收站收到的信号功率要大千万倍。另外，地面接收站的天线尺寸也可以由几十米缩小到几十厘米。所以，采用激光代替微波进行卫星通信，不仅可以大大减小卫星的体积和重量，还可以使地面接收站向小型化发展。

卫星通信的另一个问题是微波波段越来越拥挤，限制了卫星通信容量的发展。例如，同步通信卫星是放在赤道上空36000公里的地方，在赤道上空最多只能放120个同步卫星。所谓同步卫星，也是一种人造地球卫星，它绕地球转一周所需要的时间与地球自转一周所需的时间一样长，绕行的方向也与地球自转的方向一致，因此我们说它与地球启转“同步”，即步调一致的意思。在地面上看起来，同步卫星老是停留在空中一个固定的位置“不动”，因此有时又称为“静止卫星”。由于卫星通信业务急剧增加，而微波频带窄，又不能增加卫星的数目，已经限制了卫星业务的发展。而激光的频率很高，

频带宽，如果用激光进行卫星通信，通信容量可以增加上万倍，能够胜任信息社会发展的需要。

还有一个问题是微波通信不能适应卫星中继的需要。比如卫星通信中，微波必须经地面站——卫星——地面站——卫星——地面站几次转接，造成很大的时延，并且信号几次转接都要消耗一部分能量，这样又要增大卫星的重量和体积。而资源卫星、侦察卫星、军用通信卫星等经常需要将信息及时地送回地面站。一般地说，近地卫星绕地球一周通常要 100 分钟左右。如果侦察卫星在敌方上空飞行时发现敌人正向我方发射远程导弹，等到经过几十分钟甚至一、二小时以后卫星飞经我方上空时再将这个消息送回地面站，显然已成为“马后炮”了，因为导弹以每秒数公里的速度飞行，飞越上万公里的距离也只需要大约半个小时。可见，及时传送信息在军事上具有重要意义。现在已经公认：利用激光建立一个星对星光通信中继是最为有效的。我们知道一颗同步卫星可以覆盖地球表面三分之一的地区，要是在赤道上空的同步轨道上等距离地方置三颗同步通信卫星，就基本可以实现全球通信，即除了地球两极以外的任何地方的信号都可以传到指定地点。这样同步卫星所起的作用就像一个信息转运站，因此又被称为同步中继卫星，正好像微波中继塔，不过，这个中继塔高悬在空中而已。总之，同步中继卫星通信系统包含两个通信环节：空间——空间环节和空间——地面环节。其中空间——空间环节，即从低空卫星向同步卫星发送的过程和同步卫星之间的发送过程，对激光通信最有吸引力，因为它既可以发挥激光通信系统结构紧凑、容量大、光束窄等优点，又可避开大气干扰。从同步卫星到地面站，即空间——地面环节，通常由微波通信系统来完成。当然，也不排除利用激光将信息从同步卫星送回地面站的可能性，因为垂直穿过大气层的衰减比在地面附近水平传输时衰减要小。一般地说，在晴朗天气激光垂直穿过整个大气层时的衰减总共也只有几分贝，因此现在人们在这方面正在进行大量的探索研究。如果这样的系统一旦成功，就可以大大提高卫星遥感的威力，很可能对第一次核打击作出早期预警，所以发展激光空间通信技术成了当务之急的事情。

以上谈到的为近空通信，空间通信还有一种为深空通信。所谓深空通信就是指从地球或人造地球卫星到其他遥远星体，如太阳系内的其他行星、太阳系以外甚至银河系以外其他什么星体之间的通信。当然，我们假定在这种星体上有与人类相似的高级智慧生物存在，或者是从地球上发射的宇宙飞船到达这些星体或从它们附近经过时，需要将所获得的信息（如拍摄到的图片等）传送回地面。要实现这类通信，看来现有的微波通信设备是勉为其难的，只有用激光或其它波长更短的电磁波，如 x 光、 $\gamma$  光等才能胜任。总之波长越短越有利。因为波长越短，用同样尺寸的天线所能获得的发射角就越小；这样，在发射功率及天线尺寸相同的情况下，波长越短，接收到的功率就越大。我们知道，通信系统遵循一个共同的规律：系统的带宽越宽，则系统的接收灵敏度就越低；如果到达接收机的功率很低，那么，系统就只能在带宽较窄的状态下工作，也就是说它只能以较低的速率传送信息。例如，从距地球二亿九千公里远的地方向地球发回关于金星的照片。由于距离太远，所使用的又是微波通信系统，所接收到的功率只有发射功率的大约一百亿亿分之五！因此，这个系统只有用很窄的频带工作。卫星将它所拍摄的一幅照片送回地球要用 8 小时，发送 21 幅照片所用的时间竟长达 9 天！如果使用激光通信，速度就可大大提高。例如，在使用同样尺寸的发送和接收天线的情况

下，如果不考虑激光通过大气时的衰减，接收到的功率可提高约 100 亿倍。因此，系统的带宽也可以增加 100 亿倍，这样，不用万分之一秒的时间就可将 21 幅照片全部发送完毕。从这个例子就可以明显看出将激光用于深空通信的威力。

但这类工作的大量开展实际上为期尚远，还有一些特殊问题，需要进一步解决。

首先是大气的影响。在地球和卫星之间，激光信号的传输还要经过 10 公里厚的大气层。另外通信距离也必须达到几万公里。比方，在低空卫星到同步卫星之间相距三万多公里，而在两个同步卫星之间大约相距七、八万公里。要在这样远的距离上实现通信，发射激光束必须有足够的功率和极好的方向性，发散角应达到秒的数量级。从实用的要求来说，目前的技术还是较低的。

激光束的方向性极好，也带来了新的问题，这就是如何使卫星与卫星、卫星与地面站之间的精确地互相瞄准和跟踪。我们知道，低空卫星与同步卫星的相对位置是不断变化的，因此，要想不间断地进行通信，必须不断地控制卫星的飞行姿态和调节天线的指向，使激光通信系统的发射和接收天线能自动地、精确地互相对准，而且要始终保持对准状态。

此外，卫星通信系统需要在空间无人看管的条件下长期工作，因此卫星通信系统应该极其稳定、可靠、有很长的寿命。比方，通常要求激光器的寿命在五万小时以上。因为万一系统出了故障，在卫星运转过程中是极难进行检修的。

随着时代的进步和高技术的迅速发展，可以断言，激光的空间技术必将被人们掌握，在近地遥感卫星与同步卫星之间实现激光通信只是时间问题。让我们加倍努力，来迎接光通信的美好的明天。

### 三 神通广大的通信骄子

今后通信领域中最活跃两种通信方式——激光卫星通信与光纤通信，将相互配合，各展所长。按使用通信的用户数和传输数字速率容量而言，光纤通信网远远大于卫星通信，而成为信息时代的通信骄子。

用光缆取代通信电缆，不仅能节省大量的金属资源，而且光缆寿命长，结构紧凑、体积小，性能比通信电缆要好得多。它的线路损耗低、传送距离远，重量轻，绝缘性能好、保密性强、成本低，它的突出优点，是可以在同一条通路上进行双向传输，利用这特性，用户可以通过交互信息系统与对方“对话”。光纤巨大的通信容量使它能够承担传送由声音或图像转换成的大量数字信号的重任，因此是建立综合业务数字网（ISDN）不可缺少的技术手段。

下面先谈谈什么是数字通信，它有哪些好处？数字通信是在本世纪 50 年代提出来的，到了 60 年代就开始 64 实际应用。在数字通信的线路里传送的不是连续的电信号，而是一种持续时间很短的电流，它很像人的脉搏的跳动，人们把这种电流称为“电脉冲”。在有电脉冲的时候，用数码“1”来表示，而没有电脉冲的时候，用数码“0”来表示，这样，数字通信传送的电信号就可以用“1”和“0”两个数字来表示，而信号内容就可以像计算机采用二进制编码方法一样来获得。相对于原来的模拟通信相比，数字通信有许多优点：第一是抗干扰能力强，只要干扰信号不是大到使有电脉冲和没有电脉冲都分不出来的程度，就不会影响通信质量；第二是通信距离远，因为传送距离越远，电信号受到的干扰和衰减就越大，甚至会淹没正常的电信号，而数字通信可以采取“整形再生”的方法，把受到干扰的电脉冲还原成没有受到干扰的那样，所以数字通信可以传输很远的距离；第三是很容易与计算机连接起来，组成综合的数据通信网。数字通信的唯一缺点是占用的频带比模拟通信宽，而这正是光纤通信的长处。

光纤不仅能在陆地上使用，而且已广泛用于海洋。跨越大西洋、北太平洋的海底光缆已投入使用，其它海底光缆也在敷设中，这些越洋光缆几乎可把整个地球缠绕起来。

我国除了在公众通信事业上大力发展以光缆为骨干的大容量数字通信长途干线传输网外，许多部门还建立了专业光缆通信线路，从 1992 年 6 月起，国家气象中心的最新气象信息和有关的图像资料，通过光缆通信系统传送到党中央和国务院，为领导人进行科学决策提供可靠的依据，许多城市的电信局间中继线也采用了光缆线路。

不少发达国家已经开始把光缆铺到公路旁，住宅前，为实现“光纤到办公室，光纤进入家庭”作准备，今后光纤通信将成为世界通信网的骨干。

#### 1. 驿站通信线

在古代的波希战争中，希腊军队在马拉松大败波斯登陆部队，用什么方法把胜利的消息送回雅典呢？战场离雅典 40 多公里，用声音语言传不到，没有电话，也没有电报，他们派出了军队中有名的长跑好手斐利皮德斯。这位“神行太保”一口气在两个多小时里跑完全程，抵达雅典城中央广场。他只

大喊一声：“庆祝吧，雅典得救了！”便因精疲力竭而死去了。后来，人们举行马拉松长跑运动来纪念他，这就是马拉松长跑运动的来历。也是最古老的人力传信方式。

在我国古代，传信的方式也是神行太保，不过后来改为骑马送信，汉代又建立了专供文书邮递的通信线路，在通信线路上每隔 30 里的距离，设置一个可让邮差和马匹在途中歇宿的驿站。宋朝每隔 10 里或 20 里设一处邮销，通道上还增设马递铺。元朝组织规模是最大的。通信也最远可以供欧亚两洲通邮。每到一站或一铺，可以停留休息，如果是紧急公文则很快换上一匹骏马，把信件一站一站往下传，像接力赛一样，将信件传到目的地。这种通信方式直到清朝末年举办邮局后才废除。

古老的人力送信和驿使传书，已远远不能适应社会发展的需要了，但其基本原理却仍在现代通信中起着作用：即由于信号传输中有损耗，现代通信发送设备与接收设备之间的距离是有限制的，通信距离超过这个限度，信号就收不到，而必须在整个线路上建立许多“接力站”，使信号放大再发送出去。这样，“一站一站”地加强和转发，就可以送到无论多远的地方。这种将信号接收进来，加强了再发出去的设备，像古代的驿站一样，我们称为“中继站”。两个中继站之间的距离，称为“中继距离”。如果信号传输损耗大，中继距离太短，无疑需要许多的中继站和中继设备，造成通信电缆敷设的重重困难。

而光纤通信系统的引入，已使通信网络发生了巨大变化。由于科技人员的不断探索和创新，光纤通信系统已从最初的多模光纤发展至单模光纤，以及光孤子通信，证明它们有更大的潜在容量和低损耗的传输特性。其优越性远远超过铜线和同轴电缆的极限能力。由于光纤的低损传输特性和宽频带大容量，使得信号能力很少用或根本不用中继放大器而作长距离传输。也就是说，与应用别的系统相比较，光通信系统能用更短的时间传送更多的信息。在单位时间内的信息载荷容量，要比电话网大好几个数量级，而且能提供多种服务，包括需要频宽远远大于电话服务的视频服务，它使我们的视觉和智能得到了延伸。这种光纤长途通信干线网的功能将为我们开创一个崭新的局面，让光纤驿站通信线适应信息时代的需要。

据美国凯斯勒市场信息分析研究中心统计，截止 1993 年底，全球已敷设和正在规划的重要光纤干线有 100 条左右。80 年代初，长途网上还只有少量光纤，90 年代长途网上的光纤日益增多。到 2000 年之后长途网将普及光纤。

美国有 23 条光纤干线，除建设有横贯东西的三条大长途干线和若干条南北干线外，还建设有通往加拿大和墨西哥的国际线路。美国已经基本上完成了长途网的光纤化，并且，该长途网的容量完全能满足通信的需求。但是，各家运营公司都在纷纷着手建设同步光纤数字网，例如，美国贝尔电话公司在 1993 年的上半年开发了 2.44 千兆比/秒的长途网技术。

日本早已建成旭川——鹿儿岛、北海道至九州等多条光通信干线。干线网路和中继网中所采用的光缆大约 6 万公里，其中干线网约占 70%，在这些干线系统中，日本利用各种先进技术，充分扩充系统容量和延长中继传输距离。实用线路最高速率已达 2.44 兆比/秒，1994 年处于现场试验中的 10 千兆比/秒的干线传输系统将是下一代光纤干线传输系统。

德国已建立起遍布全国的光纤通信长途网，这些光纤干线连接着 80 个大城市的光通信网。

法国电信部门已决定加速用单模光纤来更新其长途网，引入 SDH 技术。

英国、西班牙、意大利、加拿大、罗马尼亚等也正在建设全国 SDH 光纤干线网。

俄罗斯准备投资 10 亿美元，建 50000 公里的光缆线路，连接俄罗斯的 50 座城市。1994 年 3 月俄罗斯还和日本签订了日俄合作兴建横贯西伯利亚的光缆通信干线的协定，该干线东起哈巴罗夫斯克，西至莫斯科，全长为 6000 余公里。

据报道，俄罗斯政府已经建议 1996 年 4 月中旬在莫斯科举行原子能安全首脑会议之前，由叶利钦总统与桥本龙太郎首相利用可视电话举行第一次首脑会议。作为建设俄罗斯国内通信设施的一个组成部分，从几年前开始建设的光缆通信等新通信系统已近全部完成。为了公开这一成就，俄罗斯于是建议举行这次首脑会议。叶利钦总统殷切地希望利用建成新光缆通信系统之际，同能够提供技术和资金的国家的首脑举行会谈。

## 2. 无人邮递员

近年来，通信网的光纤化已从长途网扩展到用户网。邮递员送信的时代将随着“光纤到办公室”和“光纤到家庭”的计划全面实施而成为过去。现在，许多发达国家和地区的家用和商用信息服务已经开始采用光纤通信系统。诸如公文传真、用户电报、银行事业计算机化的数据、航空线、旅馆以及其它各种预订业务；用电话拨号信息服务，如天气预报、本地区大事，以及其它为特殊顾客服务的库存信息。并且一些有希望的服务项目也正在实施中，其中包括改善数据服务和计算机存取的分组交换网；可视商品信息咨询，如餐馆指南、列车时刻表，电教节目；也包括证券市场信息，库存控制，为改进安全和能量管理的遥远报警和仪表监测等。

1993 年起光纤用户网从长期以来的缓慢发展转入大规模的建设阶段。光纤用户网的发展一般分两步走，即首先发展光纤到路边，最终实现光纤到家庭。

美国的光纤用户网处于“光纤到路边”阶段。即在美国，用户网的馈线部分已采用光缆，进户线部分还用同轴电缆。

美国的几家主要市内电话公司为了加强光缆用户网的建设，积极投资建设光缆通信网。纽约电话公司准备每年投资 13 亿美元，新泽西贝尔、伊利诺斯贝尔、太平洋贝尔及南新英格兰电话公司 4—8 年内也计划投资 100 多亿美元。到 2000 年，美国将有 4000 万家庭进入全国性光纤用户环路网络。

另外，美国的光纤用户系统发展的一个明显趋势是光纤用户系统同高清晰度有线电视相结合。

日本由于国土面积小，人口密集，用户线距离短，加上财力又雄厚，所以日本的许多地方的光纤用户网采取了一步即到用户的办法。尤其是“光纤到办公室”已在日本广泛采用。

截止 1993 年 3 月，日本的光纤用户发展到了 150 万个。日本国家电话公司 (NTT) 计划从现在起 15 年内投资 45 亿日元建成光纤用户网。还与多家公司合作开发“光纤到家庭”新技术，并加紧发展综合光纤用户系统。NTT 还

把用户光纤网向农村、山村扩展。日本将从 1995 年开始全面实施“全光纤用户网”计划。

欧洲各国的用户环路光纤化也正在迅速发展。1993 年底其市场规模达 6000 万美元，预计 1997 年将达 10 亿美元。

英国开发出了称作无源光网络的用户光纤系统，并在 1988 年进行了现场试验，1993—1994 年制定出了明确的用户光纤系统引入计划。

法国的光纤用户线开发在世界上亦处先进行列。迄今已在全国 8 座城市成功地实现了光纤到家庭的通信服务。受益家庭逾 50 万户。法国电信部门正竭力加速光缆通信网的延伸与扩展，力求通过光纤将每一用户与当地交换局连接起来。

德国西部截止 1992 年底光缆已敷设到 60% 的家庭，约 2700 万户。德国东部计划用光纤先连通 100 万户。1994 年通过光纤用户线路已把前东德的 50 万家庭与公用通信网连接起来。1995 年再连接另外的 50 万户家庭，造价达 2.7 亿美元。

瑞典和芬兰之间建立的工程造价达 5 千万瑞典克朗的乡村用户光缆已于 1994 年夏末投入使用。匈牙利也计划花 3800 万美元建一个覆盖 100 多个村庄的用户光缆网络，受益家庭可达 42000 户。

在亚洲，除日本外，还有一些国家和地区也开始在用户环路中使用光纤。到 1992 年底香港大约有 257 座商业大楼采用光纤直接和附近的交换局连接。马来西亚和新加坡都准备在适当的时候推广“光纤到家庭”技术。新加坡邮电部门计划，到 1997 年底，所有的高层住宅和商业大楼都接上光纤，到 2005 年将光纤通往所有家庭。

### 3. 天堑变通途

千里天堑一线牵，穿过茫茫海洋，把远隔重洋的巨大信息网连接在一起，让大洋彼岸的亲人面对面的交谈，海底电缆已满足不了发展的需要，这就要归功于海底光缆通信了。

在微电子、计算机和光通信技术的支持下，现代通信正快速向大容量、高速度、智能化、多功能化方向发展。适应各种数字业务传输与交换的智能网正在建设，以海底光缆和卫星通信为主干构筑的越洋网，正延伸成为全球通信网。通过三大洋以及地中海、加勒比海的海底光缆通信系统，形成了全球性的有线数字通信网，它对于加强国际间的经济、技术和文化交流起着非常重要的作用。

海底光缆通信得以迅速发展有以下几个方面的原因：

其一是海底光缆通信的优势明显。在现代通信中，光纤通信起着不可取代的骨干作用，海底光缆通信尤其具有重要的战略意义和经济意义。其主要优势是：通信质量高、无延迟（与卫星比较）；不受气象影响（与微波比较）；容量大、寿命长（25 年以上，卫星 7—10 年）故障 74 少（25 年中系统故障在 3 次以下）、易与国际海缆联网；比陆地光缆施工（直埋或管道）牵扯面少、施工方便；不必破坏原有路面、耕地和植被，综合难度小；每公里话路建设费用低、效益高；抗灾害能力强，不易受到战争的破坏等。经济建设的飞速发展，陆地光缆系统的征地费、赔偿青苗费、施工费和维护费不断提高，据国外运营公司经验介绍，陆上光缆维护费为总投资的 10%，而海缆维护费

仅为 2%。

其二是光纤通信技术的发展，使得近海海底光缆通信系统的建设在技术上是可行的。自 1985 年英国在国内沿海建立第一条海底光缆以来，海底光缆技术已经经历了三代。90 年代初期以来，由于掺铒光纤放大器的实用化；光纤损耗的进一步降低（每公里 0.18 分贝）；无中继传输距离的不断增加（高速率传输系统现在已达到近千公里）；新型结构的海底光缆通信系统可实现海底无中继传输，从而省掉成本高、技术复杂的远供电源设备；高速大容量同步数字光传输设备的商品化；海底光缆通信质量优于微波和卫星，施工难度又小于陆上光缆。所以，世界上正在兴起建设海底光缆，特别是近海海底光缆的热潮，从而使国际海底光缆通信网不断扩大和完善。

其三是近海海底光缆有较高的安全性。近海海底光缆采取正确选择登陆点，路由和敷设方法后，光缆深埋于海床 1.5 米以下，安全性好。而陆上直埋光缆由于施工开挖沟渠，使光缆经常遭到破坏，中断通信业务；架空光缆由于暴露地面之上，更易遭受破坏，因此陆上光缆系统安全性比近海海底光缆差。

海底光缆是 90 年代光纤通信的另一个重要的应用领域。自从 80 年代第一条海底光缆建立到 1993 年底，在不到十年的时间内全球已先后建成 136 条海底光缆线路。在这先后建成的 136 条海底光缆线路中，大西洋占 12 条，太平洋 5 条，东南亚 38 条，地中海 43 条，北欧 33 条，加勒比海 5 条。在 1994 年内又有 46 条海底光缆线路开通。因此，海底光缆线路总数达到了 182 条。

据美国恺勒斯市场信息分析研究中心预计，遍布全球的海底光缆通信系统投资还将迅速增加，预计至 1996 年底，海底光缆通信方面的投资总额将高达 100 亿美元左右。其中，太平洋地区占 51.33%，大西洋地区占 37.33%，地中海地区占 5.9%，加勒比海地区占 4.97%，波斯湾地区占 0.49%。

美国电话电报公司研究人员认为，在海底光缆系统方面，他们取得了历史性的突破。1988 年美国最先采用波长 1.3 微米、速率 280 兆比每秒的光纤数字系统。1991 年速率增加了一倍，达 560 兆比/秒，使用波长为 1.55 微米。第一个全光同步数字海底光缆系统也是从美国本土至夏威夷。

目前，世界上最长的海底光缆线路是从新加坡到法国马赛，全长 17700 公里。途径南中国海、印度洋、红海、苏伊士湾和地中海，连接 13 个国家。传输速率为 560 兆比每秒。7 亿美元的总投资由 41 个国家的 55 个电信组织提供。该线路于 1994 年 4 月建成。整个系统已于 1994 年 6 月 30 日投入运行。

新英格兰电话公司、纽约电话公司联合日本与中东的投资者拟在 1997 年 9 月建成一条世界上更长的海底光缆线路。这项工程已经从 1995 年 9 月正式开始铺设，耗资高达 18 亿马克。这项名为“环球光纤通信线路”的光纤网，将把大西洋和太平洋的海底光缆接通，该线路东起日本，经南中国海、印度洋、地中海到英国，贯穿 10 个国家和地区，即连接西班牙、意大利、埃及、阿联酋、印度、泰国、马来西亚、香港、中国和韩国，全长 24000 公里。这个光纤网是目前全世界最大的海底光缆系统。

近海海底光缆通信系统是国家公用通信网组成中不可缺少的一部分，是国家电信网的补充。近海海底光缆通信系统、陆上通信系统和空中卫星通信系统，三者有机地构成了海陆空立体通信网络。在空中、陆地通信网信道发生中断、阻塞、被扰或被窃（尤其是架空陆缆经常遭到人为猎击、偷窃）时，

近海海底光缆系统除对陆上、空中通信系统进行相互支持和补充外，一旦发生自然灾害或突发事件还将起着通信骨干线路的作用。

一个国家若拥有自己的海底光缆通信网，就意味着有更完善、更稳定可靠的通信手段。而一个国家拥有这方面的技术，则更体现了综合国力的强大。建设我国沿海海底光缆通信系统意义非常重大，我国有 1.8 万多公里海岸线，400 多万平方公里的海域，大小 5000 多个岛屿，数百万平方公里的沿海地区处于改革开放、经济腾飞的前沿。发展这些地区的通信，健全通信网络，进而改善我国的通信现状，可促进国民经济的更大发展。建设近海海底光缆通信系统在政治、军事等方面都有着特殊意义。像我们这样一个有很长海岸线的大国，如果没有自己的海底光缆通信网，不但表现为通信手段有限，而且意味着通信发展规划的失衡，综合发展实力薄弱，旦出现突发情况，或者出现不可抗拒的自然灾害甚至发生战争等，空中信道和一般陆上信道中断、阻塞、被扰或被窃，将使国家蒙受不可估量的损失。因此，建设我国自己的海底光缆通信系统有着深远的战略意义。

总之，沿海地带是我国经济发达与高速增长地区，仅有陆上干线不可能满足通信需求，也缺少必要的备用路线，在天灾人害发生时，难以保证通信的高可靠度。因此，兴建我国近海海底光缆通信系统对于推动这一地带国民经济信息化乃至带动我国整个国民经济信息化和巩固国防都具有重大战略意义。

#### 4. 百闻不如一见

100 多年来，人类的通信工具历经沧桑，迎来了一次又一次重大的通信技术革命。可是多年来，在信息世界里，电话通信一直是首屈一指，独占鳌头。然而，随着社会信息化程度的加深，语音通信已越来越不适应信息时代发展的要求，图文通信正越来越为人们所注目。与电话通信相比，图文通信不仅生动、直观，而且还能给人们提供更多、更丰富的信息。曾经有人作过统计，人类接收的总信息中，通过眼睛得到的视觉信息要占总信息的 60%，而通过耳朵所获得的视觉信息仅占三分之一左右。可见，视觉信息在我们的生活中起着十分重要的作用。所以，随着人们对信息需求的日益增长，许多国家都在大力开发可视图文信息系统。到 21 世纪，图文通信将是信息世界里一颗耀眼的明星。

图文通信是处理和传递可视信息的通信，可分为图文记录通信和图文映像通信两种，最具代表性的是传真机和可视电话。传真的基本概念是 1842 年由英国人贝恩首先提出来的，直到 1925 年才由美国无线电公司研制出第一部实用的传真机。可视电话则是 70 年代后期的产物。如今计算机与通信技术的结合，更是极大地扩大了 79 人们的视野，使许多过去只能在梦境中才能实现的愿望变成了现实。该系统不仅可以向广大用户提供所需要的可视信息，使广大用户共同享用信息资源，而且用户之间可以随时相互交流信息。它是信息社会中一种比较理想的通信手段。但是在光纤通信大量实用化之前，图文通信的发展一直是比较缓慢的。一个重要原因就是传送图文信息比传送声音所占用的频带高出 250—1000 倍（一路图文信号要占用一千多路电话通道）。这只能由具有大容量的光纤通信来承担。近几年来，由于光通信技术

和计算机技术的飞速发展，给图文通信提供了广阔的用武之地。我国也已开通了可视图文通信业务。

以现在环球网络为例，即 WWW (World Wide Web)，已开始越来越多地出现在新闻媒体、学术论文和科普文章中，引起了人们的极大兴趣。

环球网是 1990 年开始在计算机国际互连网络 (Internet) 上出现的。是目前互连网络上最流行的一种交互式信息查询服务。

其软件系统是由日内瓦欧洲核子研究中心 (CERN) 研究人员蒂姆·伯纳斯-李最初为满足研究中心的高能物理学家的信息需要而开发的，以后逐渐发展成为一个包含各类信息、面向各种用户的信息系统。

环球网系统是建立在互连网络基础上的一个子网，“自动查询”功能是它的一大特点。用户作为信宿方，只需在自己的计算机上运行称为“浏览器”的环球网软件，软件系统就会根据用户查询条件自动到全球各地的环球网服务器上查找信息，实现广泛的信息资源共享。由于环球网软件给用户提供了友好的信息查询界面，因此用户不需精通计算机和网络就能熟练地使用浏览器观看查询结果。

环球网的另一个重要概念就是超文本信息。环球网上的信息都是以包含有文字、表格、声音和图像等多媒体信息的超级文本格式存放在分布全球的相应服务器中，这些计算机中的文件彼此可以建立一定的关联。比如，一篇文章中出现的某个单词可以同它在字典中的解释关联起来，还可以同它的发音、图解等信息关联起来，从而使用户享受全面的查询结果。

用户可通过软件检索，在环球网上接收全球范围的信息，内容包括自然科学文献、软件、研究数据与图表和医学研究病例数据等，甚至还可以得到每几十分钟就更新一次的全球地震、海洋、气象动态数据。

此外，用户还可通过建立自己的信息目录等方式向全球其他用户发布信息。因此，环球网刚出现，其联网用户数量就以每天 1% 的速度增长。如今，环球网的使用范围和影响已越来越大：1994 年夏天，世界各地的天文观测中心就通过环球网系统向全球发布彗星与木星相撞的信息；1994 年世界杯足球赛期间美国太阳计算机公司通过环球网系统进行赛事报道；与全球互连网络连通的图书馆、博物馆、实验室、教学部门纷纷参与到环球网中来提供服务；各大公司开始通过环球网系统向用户提供产品和服务信息，进行广告宣传。

伴随着环球网的使用日益广泛，围绕着环球网的相关技术开发热也正在兴起。各大计算机公司纷纷看好发展如此迅速的环球网市场竞争。

美国成立刚一年的网景 (Netscape) 通信公司目前已拥有环球网浏览器 70% 的市场。曾因开发出 Windows95 而成为世界首富的微软公司总裁比尔·盖茨也宣称，微软公司现在的首要重点就是开发与互连网络和环球网相关的产品。

日本国立电话公司 (NTT) 已开发出可显示日文和中文的环球网系统。技术与市场竞争的活跃，将使用户能够更快捷方便地通过环球网进行信息交流。

迎合了信息技术的多媒体和网络化这两大发展优势，正是环球网日益成为如今全球信息高速公路热潮中的热点的根本原因。

目前，全球互连网络用户已达 4000 多万，覆盖 150 多个国家和地区，且用户数正以每月 15% 的速度递增，可以预计，随着光通信和计算机技术的进一步发展，传统的电话通信的发展速度将要减慢，而图文通信和数据通信等

会一跃成为信息时代的主力，必将迎来更加光明的前景。

## 5. 千里传军情

现代战场的作战部署表明：军队的指挥、控制和通信等必须跟上战场上所使用的新颖而高超的武器系统发展的步伐，才能使指挥员有效地发挥其高超武器系统的威力。现代战争中，军事指挥员执行作战任务的能力，在很大程度上取决于上下左右彼此间的通信能力，因此，现代通信系统必须机动性好，线路组建快，独立性强，同时还要求在军事作战环境中碰到各种困难条件都能正常运行。目前用的多路通信电缆和微波线路都有一定的缺陷，满足不了上述要求。即使现代化水平很高的美军的战术通信，由于大都采用了金属缆线和同轴电缆之类的通信设施，重量大，体积大，架线时间长，铺设困难，同时易遭破坏，因而仍不适应现代战争的战场需要。光纤通信系统的实用化和把光纤通信引入到军事通信后，加速了军队战术通信现代化的进程，较好地解决了上述问题。

光纤独有的特点就是尺寸小、重量轻、强度大、柔韧性好、温度范围宽、无互相干涉，以及频带宽、低损耗和光纤本身具有在核辐射环境下正常工作等等特点。这些特点是提高军队战略和战术能力的关键。

在各种条件下，光纤可以创造和安装更为强大的通信网。在战略基本通信应用中，光缆结构紧凑，便于运输和实现各种各样固定式和移动式设施。雷达基地和信号处理站间的遥远连接可以很快地部署。光纤的宽带和低损耗使雷达基地与信号处理站间的距离更大，这样，对操作人员就更为安全。由于光纤有不受电磁干涉的特性，所以在舰船、飞机和装甲车上应用就特别有利。在这些军事装备上，许多数据都是在电器噪声环境中进行处理的。由于光纤无干涉的特点，所以有高度的保密性，在那些要传送高度机密信号的系统中，可以利用这一优点。光纤的高强度和高柔韧性使光纤系统可作为战术应用，用光纤做的有线导行武器覆盖距离更长，并能更加精确地进行控制，甚至还能具有直视目标的搜索能力。因此，当光纤技术还处于研究的初级阶段就受到各工业发达国家军方的重视，尤其是美国，花在光纤技术应用研究、开发和生产上的军费逐年大量增长。进入 80 年代以来，军用光纤技术发展之快举世瞩目，从战术到战略系统、从通信到武器系统、从太空到海底系统的应用十分广泛，其发展趋势正从军事通信的光纤对电缆的——替代向利用光纤技术的新一代智能武器系统方向发展，这必将对军事武器系统的变革和作战能力的提高产生深远的影响。

目前，许多国家正大力采用光纤通信系统来更新军事通信设备，以适应现代战争对通信的要求。光纤技术的军事应用正日益扩大，超出了它最初在话音通信和低 84 速率数据通信的应用范围，已发展到通信领域。如现在功能强大的国际互连网络（Internet）又称国际英特网原来就是美国国防部的通信网络。下面主要从军用光纤通信、光纤武器制导等领域综述军用光纤技术的应用概况。

### 军用光纤通信

光纤技术在军事系统中的应用是从军事光纤通信开始的。前面我们已经提到，光纤通信系统的成本将比电缆低 10—100 倍，信息传输容量较之大一万倍，能量损耗比电缆低 100 倍。因此，用光纤光缆取代传统的金属电缆，已使军用有线通信面目一新。光纤通信可以传输话音、图像和数据信息，野战光纤通信系统、数据传输总线及局域网络系统是应用最广泛最成熟的军用光纤技术。

野战光纤通信系统遍布于陆、海、空三军。早在 70 年代末期，美国陆军就将光纤通信技术应用于三军联合战术通信网，英国陆军也将光纤应用于“松鸡”战术通信系统；海湾战争中，多国部队也使用了战术光纤通信系统。由于在以上的野战战术光纤通信网中采用每公里仅重 10 千克的高强度轻质光缆，可用车辆或直升飞机快速敷设。如用直升飞机敷设一条 10 公里无中继线路，只需几分钟。从而大大提高了通信设备军事部署的能力和在导弹和火炮威胁下的生存能力，加强了远距离作战的通信。另外，短距离局域网主要用于战地指挥所的布线系统、兵器通信，提供野战实时通信。

军用光纤系统是美国空军光纤技术应用的重大项目之一。如美国 MX 导弹发射控制的光纤系统，是用光缆作为实战控制中心、地区支援中心、导弹掩体和相关设施之间的光纤互连线路。该系统用 15000 多公里光纤连接 4800 个有人值守和无人值守场所的 5000 多台计算机，遍及世界几大洲。目前，美国空军正在研制一种具有通信、导航和识别功能的机载光纤系统，这对保证空战胜利将是不言而喻的。

舰载光缆在舰船上主要用作数据总线或局域网络。如美国海军在 80 年代中期首次在“宙斯盾”巡洋舰、驱逐舰和潜艇中普遍采用了高标准的光纤局域网络。还有一些国家的海军，如英国、法国、中国、澳大利亚和俄罗斯等国也开始把光纤技术应用到舰船上。这种光纤通信综合了舰内现有声音信息、模拟信息和数字信息等所需的所有通信形式，并能与陆上通信网、海面卫星通信装置连接。因而，既保证了海上作战系统的可靠性与可维修性，又大大提高了舰船的作战能力。

大力发展海底光缆通信，是欧美国家基于战略军事目的而建立的长距离通信系统。如美国出于军事和经济的需要，建立的第一条太平洋海底光缆（即日本——南朝鲜——美国本土相接）的长距离通信系统，与 1988 年 12 月初开始运行的美国和英国、法国两国间的横越大西洋的光缆系统以及在 90 年代初已经采用先进的光孤子通信和掺铒光纤放大器技术完成或计划完成的几个远程海底光缆系统（美国、欧洲、日本和其他发达国家的系统；横越太平洋和大西洋系统；加勒比海、地中海和其他地区海底光缆系统），以最终构成庞大的长距离战略光纤通信网。由于使用水下光缆通信，敌方难以窃听，保密性好，此外还具有成本低、重量轻、寿命长、对话音与数据信道没有时延和回波效应以及不受大气湍流和衰减的干扰，所以西方各发达工业国对此抱有极大的积极性。总之，光纤系统不仅为战术综合通信提供保障，而且它还十分有益于国家的安全。

我国生产的野战光缆除在重量上略大于美军外，其他性能指标差不多。随着光纤应用于战术通信系统中标准化问题的解决，长期以来，在战术通信中采用的有线通信方式将发生根本的变化，而对大型的战略战术通信系统而言，广泛地使用光缆传输技术，以提高整个系统的优越性，对于壮大我国国防看来是当务之急。

## 光纤制导武器系统

光纤制导武器系统是近十年迅速发展起来的一种先进的有线制导技术，目前主要用于光纤制导导弹和光纤制导鱼雷等。

光纤制导是当前各种战术制导导弹中一种较先进的制导方式。光纤制导导弹是一种有线制导武器。80年代中后期，美军研制的和投放战场的光纤制导导弹，是利用光纤在导弹和操作手之间进行双向信息传输，弹头上装有摄像机用来发回目标图像信号，操作手根据图像信号发给导弹指令，进行自动跟踪，直至摧毁目标。此种导弹不仅可提高命中精度，而且操作手可处于隐蔽位置，提高了作战人员生存能力。据估计，光纤制导导弹最大作用距离可达100公里。美国打算在1993年研制出具有夜视能力，作用距离更远、速度可变和战斗威力更大的下一代反坦克光纤制导导弹武器。同时，德国和法国也都计划在1996年研制生产类似的导弹。

光纤制导导弹不仅可以在基地发射，也可由直升飞机发射，甚至还能在水下发射。如法国和德国在联合研制新一代潜空导弹即“独眼巨人”光纤制导导弹，它可由海下300米深处潜艇发射，射程为10公里，被誉为反潜飞机的克星，可极大地增强潜艇的生存能力和防空能力，预计90年代后期投入使用。1991年11月在阿拉伯联合酋长国举行的迪拜航空展览会上，巴西首次展出了一种新型反直升机、反坦克的制导导弹。该导弹由光纤制导，不会像激光制导那样受到烟尘的影响，目前已大量向沙特阿拉伯销售。总之，全世界范围已大量使用光纤制导导弹，如美国、德国的陆军用于反坦克；瑞典用于防空；英国、日本研制的导弹在野外作战更加隐蔽、作用距离更远，并可命中暴露和隐蔽的目标。还可安装在卡车、直升飞机、舰艇、装甲车上进行发射。

光纤制导技术还可以移植到鱼雷，即用光纤线路取代现有的鱼雷导线回路，可大大提高鱼雷的命中率。其主要优点是增大了频带宽度，抗干扰性能好，敌方难于探测、干扰、且重量轻，在水中浮力适中，成本低等。现在研制的鱼雷光纤换能器一般采用玻璃纤维，光敏元件通常采用发光二极管，能测出 $10^{-6}$ 弧度的光相位差。由此可见，光纤换能器探测能力极高。有人预测，将来还会出现“全光导”鱼雷，这种鱼雷线导回路、声换能器、数字处理电路、光控系统都采用“光学集成光路”，因而使光纤用在鱼雷制导技术上产生更大突破。例如美国研制一种轻型光纤制导鱼雷（其自导头可用在远程反潜导弹上，自导作用距离达数十公里），潜艇或水面舰船都可使用，最终制导距离可大于武器的射程（达100公里），并能准确捕捉目标。又如法国汤姆逊·辛特拉公司于1988年研制的光纤制导鱼雷以41兆比/秒速率进行数字传输，误差远远低于 $10^{-6}$ 弧度以下。我国于1990年秋，也有了自己生产的光纤制导鱼雷。

## 其它军用光纤技术

欺骗式干扰机，在电子对抗中以光纤延迟线为关键元件的欺骗干扰机可以取得宽带、大动态范围、高信噪比、消除振荡以及比循环延迟线需要更少

的元件等优异的性能。距离和角度欺骗干扰机是对抗跟踪雷达的有效装备，它使跟踪雷达接收到一个接近真实目标特性的假信号，这个假信号远距真实的目标，而雷达操作手并未觉察到正受到干扰，因而增强了电子对抗的性能。

光纤遥控机器人，在军用机器人系统中采用光纤，可使机器人更加智能化，工作也更加可靠，在战场上可以执行许多任务。如遥感排除障碍突击坦克、执行雷场扫雷等任务；光纤战场机器人弹药补给系统，可执行炮弹装卸等任务；还广泛应用于处理危险材料，如废弃有毒化学材料等。

光纤夜视系统，它将成为军用光纤技术方面的重要领域。由于光纤夜视系统具有比红外夜视系统更高的探测灵敏度，并有代替成像和红外夜视系统的发展趋势，故引起军方的高度注视。

军用光计算机，采用光纤和光电集成技术的光计算机已被列入美国“星球大战”计划的关键研究项目之一。该计划中的光计算机运行速度高达 1000—10000 亿次/秒，存贮容量高达  $10^{16}$ ，能将军用卫星、雷达、各军兵种控制中心、各武器系统有机地连接起来，实现最佳配置，可组成长距离控制的战略、战术武器系统。

军用光纤技术的一系列优点，使之成为提高现代武器装备性能的重要手段，并在现代战争中占有十分重要的地位。海湾战争充分显示了军用光纤技术的重要作用，如美国陆军的“爱国者”导弹和防空系统所采用的光纤光缆在成功地拦截伊拉克“飞毛腿”导弹对沙特和以色列的袭击行动中起到了极为突出的作用。这种光缆系统是控制中心到发射系统的主要通信链路，可实现远距离操作，因而大大增强了通信能力和提高了对导弹和炮击的抗毁性。又如，在海湾战争中伊拉克的通信线路成了多国部队的主要攻击目标，经过轰炸后伊军的通信线路诸多分支线几乎完全被摧毁，只有少量的光纤光缆作为主要中继线尚能继续工作。

众所周知，现代战争特点是快速立体多维化，它要求参战的双方在实力和规模上相互对比，主要表现在快速性、机动性、隐蔽性、抗毁性、抗干扰性、高武器性能与强杀伤力以及更具备有效地共享大量战场信息的技术能力等方面进行充分较量上。谁占上风，谁就会取得战争的主动权。采用光纤技术，可以完全适应现代战争对军事通信控制系统提出的高度机动性和快速组建网络的要求；可组成长距离控制的战略、战术武器系统；提高武器的命中率和电子对抗系统的性能指标。

由于高新技术不断发展，未来战争中战场的电磁环境将变得更加复杂和恶劣，势必要求军用光纤具有比现在更高的强度、阻燃、耐油、耐高温（或低温）、抗电磁干扰、耐疲劳等，使之与现代武器系统相结合，构成第一流的更智能化、更可靠的自动武器系统的一个组成部分，它将覆盖从战场的单兵系统到以太空为基地的反洲际弹道防御系统的整个战争谱系。所以，光纤技术在军事上的应用对未来的军事力量产生的深远影响，在某种意义上比坦克和雷达更大，预计在 90 年代到下个世纪将会引起军事装备的重大变革。其发展趋势：光纤技术进一步成熟（即朝全光纤化、集成化、高速网络化、多功能化方向发展）及其深入广泛的军事应用，对实现新一代战略/战术通信系统、更新战术武器的控制和制导系统、保证快速立体战争的实施将起着举足轻重的推动作用。

## 四 建立“金桥工程”

信息社会，信息作为一种重要的资源和财富，影响着社会的运转，竞争的胜负在很大程度上取决于对信息的掌握。

生产者掌握了正确的市场信息就能以比竞争对手更优惠的价格、更优良的品质、更合适的规格提供商品，从而占领市场；投资者掌握了股票、期货、汇率、利率的走势就能获取高额利润；指挥员掌握了战场的地形、气象，做到了知己知彼就能克敌制胜；相反，如果不掌握信息、或者依靠错误的信息，就只能导致失败。

为了改变我国与发达国家相比信息资源孤立分散的状态，达到全国性的信息资源共享，我国开始实施“三金工程”计划。“三金”工程是我国信息资源工程的三大领头建设，它包括：构通全国各城市、地区的光纤信息交换网络，组成全国信息高速公路的“金桥工程”；快速实现全国集体和个人资金结算的“金卡工程”；准确迅速实现商品进出口申报的“金关工程”。

其中，金桥工程是信息产业发展的基本工程。

我国的金桥工程将首先利用已建成的中国公用数字数据网（CHINA DDN）使用干线光纤沟通直辖市和省会城市，提供 776 条高速和 2588 条中速数据通道，完成各地的数据信息交换，然后扩大覆盖到 660 多个地县级市，并利用卫星通信等手段联通 19 个国家的 37 个主要数据网络，实现全球性的数据交换，形成信息资源共享的“金桥”。

### 1. 构筑我国的“金桥工程”

随着我国改革开放进一步深化，我国光纤通信正在迅速发展。邮电部采取了引进先进技术设备，引进先进技术生产线和在引进消化吸收的高起点上进行自主研究开发三个层次的科技进步方针。光纤通信作为现代化通信网的骨干，已遍及全国各地。保证通信建设先行，对我国经济建设的发展将具有至关重要的作用。

#### 我国光纤通信技术的发展

我国光纤通信技术的发展已经历了三个阶段，即初始期；初步研究开发期；研究开发成熟期。现在进入推广和深入发展期。

##### 初始期（1973—1980 年）

我国开展光纤通信的研究工作起步较早。在 70 年代初，中国科学院、高教系统、电子部、邮电部等单位已紧跟国际步伐，积极开展了光纤通信及其相关技术的研究工作。美国在 1970 年用气相沉积法制造出世界第一根石英光纤，我国用类似技术在 1974 年做出了光纤。美国于 1970 年实现了半导体激光器在室温下的连续激射，我国在 1975 年做出了类似器件。1979 年 9 月在我国上海、北京等地建成了市内电话中继线路用的光缆通信系统试验段，比在 1977 年建成的世界第一条美国芝加哥市内中继光缆通信系统试验段仅晚两年多时间。我国当时是国际上少数拥有光缆通信系统试验段的国家之一。在此期间世界上的光缆通信系统试验段均采用多模光纤技术，并都在短

距离的市内中继线路中采用，但美、日等国的传输速率和实用化水平比我们高。在我国中科院、高教系统和当地邮电部门建成上海、北京两个光缆通信系统的同时，邮电部武汉邮电科学研究所和电子部桂林三十四所在院（所）内也进行了光缆通信系统的试验，但未进行现场试验。回顾这段时期，我国起步较早，并取得了初步成果，但研究和开发部门结合得不够紧密。

#### 初步研究开发期（1981—1985年）

虽然我国光纤通信的科研开发起步较早，但由于科研与开发结合得不紧，后续力量未及时跟上，所以在一定时期内进展迟缓。1983年长度为13.3公里，采用短波长（850纳米）多模光纤，速率为8兆比/秒，每对光纤通道能传送120话路的市内中继光缆通信实用化系统在武汉建成。接着在同一线路段上相继完成了采用短波长（850纳米）多模光纤的34兆比/秒，480路市内中继光缆通信实用化系统和采用长波长（1300纳米）多模光纤的34兆比/秒，480路市内中继光缆通信系统。这标志着我国经过国家“六五”科技攻关，在短距离多模光纤市内中继光纤通信技术方面取得了显著成果。但国际光纤通信技术自1982年以后已迅速转向单模光纤，除在短距离光纤通信系统方面取得成就外，长距离光纤通信系统也得到了迅速发展。回顾起来，国际光纤通信技术的研究开发，多模与单模光纤技术采取了“并行”方式发展的方针。由于单模光纤的优点，国际上及时将科研重点进行了转移，而我国却采取“串行”的方式，把攻关重点集中在短距离的多模光纤市内中继光缆通信系统上。虽然在战术上取得了成功，但在战略上却有缺陷，使我国光纤通信技术在较低的水平上徘徊重复，扩大了我国与国际光纤通信技术的差距。

#### 研究开发成熟期（1986—1990年）

我国国家“七五”通信科技攻关是由邮电部主持，电子部、中国科学院、国家教委所属大专院校等参加进行的。

在组织国家“七五”通信科技攻关时，加强了总体战略的研究，我国光纤通信技术在此期间有了迅速的提高并为今后的发展打下了良好的基础。在“七五”攻关开始时我国单模光纤制造技术还属于萌芽状态，激光器的寿命仅数千小时，松套光纤及直埋光缆成缆技术还未开始研究，单模光纤的光、电端机，光、电仪表的速率还不高，长途光缆通信系统技术，包适监控技术正在起步，基础原材料，光纤通信应用理论基础均很薄弱，这些严重影响我国光纤通信技术的进一步发展。在“七五”攻关期间在战略总体部署上，采取了以下方针和措施：

国家“七五”通信科技攻关中，对光纤通信技术作了分层次、有重点的全面安排，对光纤通信技术的各个方面，包括光电器件，光纤光缆，光电端机，光电仪表，系统试验段工程，基础原材料和光纤通信技术的应用理论基础作了安排，明确了攻关的重点和具体要求，例如激光器件和单模光纤光缆和系统试验段工程是攻关的重点，而激光器的寿命，单模光纤的质量以及系统试验段工程的实用化程度是攻关成败的关键，在安排任务时给予了充分的重视。

原下达的国家“七五”通信科技攻关计划中还包含有多模光纤市内中继光缆通信系统的攻关内容。根据光纤通信温度系数变化小，中继距离长的特点和我国现有的明线杆路基本完好的现况，并考虑省内通信采用架空光缆通信系统会节省大量建设投资并可低于模拟系统（当时光纤通信的造价远高于模拟系统），我们提出了单模光纤架空光缆通信系统作为我国光纤通信系统

的突破口之一的战略。这一新构思在得到论证专家一致同意，并经上级批准后，加列了单模光纤架空光缆通信系统项目，并削减了有关多模光纤市内中继光纤通信系统的项目。这一思路被接受后，武汉邮电科学研究院首先在汉口——荆州——沙市完成了多模光纤架空光缆通信工程。在“七五”科技攻关中扬州——高邮、成都——灌县单模光纤架空光缆通信工程以“单模”为重点，该两工程完成后在全国得到了普遍推广。被列为“七五”科技攻关的最突出的重点是合肥——芜湖单模光纤直埋光缆长途干线光缆通信系统。在“七五”通信科技攻关中集中了几十个单位的力量，克服了重重困难，攻克了道道难关，在各单位的共同努力下较好地完成了任务，使我国光纤通信整体技术上上了一个新台阶。

在重大课题上，适度引入竞争机制，可加快进度确保质量。为此激光器件安排了中科院半导体所，邮电部武汉研究院和电子部四十四所分别作为主攻单位。单模光纤安排了武汉邮电科学研究院和上海地区作为主攻单位。单模光纤架空光缆系统安排了邮电部五所和武汉邮电科学研究院作为主攻单位。在各承担单位奋力竞争和及时交流的情况下较好较快地完成了任务。经验证明，科研重点攻关项目有一定的竞争是必要的。

任何新生事物都不可能不经过反复实践不断改进而取得成果。光纤通信技术的进步也经历了反复过程。以光电端机为例，在“八二工程”鉴定验收时出现了光端机与电端机阻抗不匹配问题，程控——光纤联合试验中出现过光端机不能承受高温环境，“汉荆沙工程”和“成灌工程”都出现过大量返工，“扬高工程”出现接头损耗过大，“合芜工程”中曾出现过大量需要作出决策的技术问题等等。正是这些通过反复实践并从严要求才使我国的光通信技术积累了丰富的经验，取得了以后的成功。

在“七五”攻关中自始至终强调和贯彻了“成套”和“实用”这一目标，正是这一明确的目标使我国光纤通信技术在“七五”期间真正上了一个台阶，迅速实用化并形成了产业的基础。

在此期间应用基础研究有了重大进展，包括“八五”五次群光纤通信技术也已在“七五”期间打下了一定基础。通过国家“七五”科技攻关我国光纤通信技术取得了以下转变和成就，缩短了我国光纤通信技术与国际间的差距。

主要表现在：

- 由多模光纤通信技术转为单模光纤技术；
- 由短波长技术转为长波长技术；
- 由试验线路转为实际的实用线路系统；
- 由短距离通信系统发展为长距离通信；
- 由单个的技术发展为成套技术。

通过攻关，光纤通信系统所需要的元器件、光纤光缆、光电端机、光电仪表等国内都能制造。激光器和其他光电器件的寿命已由数千小时提高到几十万小时，除紧套光纤外已能生产松套光纤，在通过几个试验工程后，国产光缆通信工程已在全国范围内推广。相干光通信技术，波分复用技术和光纤材料在此期间也有不同程度的进展。

推广和深入发展期（1991年—）

在这期间，我国首条合肥——芜湖 1920 路（140 兆比/秒）单模光纤直埋式长途干线光缆通信工程正式投入使用。该工程全长为 147 公里，经过山

区、湖泊并横跨了长江。该系统采用了 5B6B 线路码型，经受了 1991 年我国东部的特大洪水的考验，性能良好。在此期间邮电部武汉邮电科学研究院在以往工作的基础上研究开发了采用先进 1B1H 线路码型的三次群光电端机和系统，该系统特别适合于区域、省内通信，具有较少模块、较低功耗和便于维护等优点，它采用了 ASIC，FPGA 和一系列厚模电路，它能将 480 路扩容为 780 路并且其中 300 路具有便于上下电路的优点，并有较好的监控性能，因此得到了广泛推广采用。在此基础上发展 140 兆比/秒光电端机，采用该光电端机已建成了京汉广长达 3023 公里的架空光缆通信工程，并已开通使用。此外采用 8B1H 线路码型 7680 路（565 兆比/秒）五次群干线光缆系统已在上海至无锡开通使用。这条干线将延伸到南京，并还将继续发展。

现在重点为光同步数字体系（SDH）的 STM—1（155 兆比/秒）和 STM—4（622 兆比/秒）以及交叉连接设备“863”计划的“光电子”专题以及新增列的“通信高技术”专题已将 STM—16（2.5 千兆比/秒）的光通信系统列为重点并进行了大量工作。我国光纤通信技术已经取得了新的突破。

## 我国光纤通信网的发展

光纤通信是现代化通信网的基础平台，近几年来，我国光纤通信随着“改革开放”的进程已进入全面实施阶段。在“六五”（1981—1985）期间，国家通信干线网共敷设 331.5 公里光缆，“七五”（1986—1990 年）共敷设 73105 公里，在 1991 年共敷设 9032 公里，而 1992 年一年内敷设的光缆长度跳跃至 22035 公里，以后还将有更多的光缆线路投入使用，这说明中国光纤通信的发展已进入新的纪元。

### 光通信干线网发展迅速

中国光纤通信干线骨干网已在“八五”期间（1990—1995 年）基本形成，北京是干线光缆网络的中心。由北京向中国的东、西、南、北、中各个方向辐射。建设规划如下：

从北京向中国的东北方向 北京——天津——沈阳——长春——哈尔滨和北京——承德——阜新——白城——齐齐哈尔两条光缆干线和四条分支线路形成了格型网络结构。它覆盖了北京、天津、唐山经济发展区和东北三省以及内蒙古东部，并已将哈尔滨和沈阳的干线光缆延伸至大连。

从北京向中国的东南沿海方向 北京——天津——南京和南京——上海光缆干线与从上海为起点的东南沿海光缆干线即上海——福州——广州光缆干线构成了东南沿海经济发达地区的信息神经网络，为中国东南地区的经济腾飞创造条件。

从北京向中国中部和南部 北京——武汉——广州将建成架空与直埋式两条光缆干线以形成我国信息通道的大动脉。它将与中国的东南部光缆干线、西北部光缆干线构成格型和网型的光缆骨干网。

从北京向西北、西南方向 北京——呼和浩特——银川——兰州、北京——太原——西安和西安——兰州三条光缆干线构成的环型网向西延伸至乌鲁木齐，并将继续延伸至伊宁。

另外，成都——重庆——贵阳——长沙——南昌——福州（杭州）光缆干线和成都——昆明，昆明——南宁、南宁——广州，广州——海口光缆干

线链构成了西南部大环。形成了中国西南部的格型光缆干线网。跨越中南和东部的光缆有武汉——重庆；徐州——郑州；郑州——西安；西安——成都等光缆干线。

由此可见，我国“八五”期间已建设了 22 条跨省级的长途光缆干线。线路总长度达 3.3 万公里；“九五”期间将再增加 20 多条省际光缆干线，线路总长度超过 3 万公里。形成八纵八横覆盖全国省会及主要地市的网状光缆干线网络。各省区也在积极引入光通信系统，广东、福建、江苏、山东等东南沿海经济发达地区都实现了省内干线光缆化。尤其是自 1993 年起，大量采用光传输的热流已向西推进，内地也加快了发展步伐，扩大了建设规模。已构成了覆盖全国、四通八达、安全可靠、调度灵活的光缆通信网络。以上 22 条光缆干线将与 20 条省间微波干线和 19 座地球通信卫星站将形成立体的三维的国家数字通信干线网。我国信息高速公路的基础，就是这个新兴的光缆长途通信网。具体的光缆干线见附表。

除此之外，1993 年底，我国还与俄罗斯、乌克兰、波兰、德国等 13 个国家共同拟建了世界上最长的亚欧地区光缆干线系统，线路总长 20750 公里，大约三分之一在中国境内。1994 年 9 月进入全面施工，预计 1996 年内建成。

光纤通信已成为祖国各地长途干线网的主动脉，为现代通信提供了主要支柱。

#### 光纤用户环路稳步进行

上海市电信局制定的市区用户环路网光缆化的实施规划已通过有关专家的审定。根据此规划，该局用户环路光纤化建设近期将率先实施光缆到办公楼。对于个别通信需求量大的集中住宅区，将实施光缆到路边的方式。该规划对用户光纤环网的建设原则、发展步骤和策略、用户光纤环网的具体结构、监测方式、各种终端技术的比较选择、现有用户光纤网的改造、今后用户光纤网的命名方式等提出了具体的设想。

1993 年我国江苏省苏州市已着手在完善中继光纤网的同时，进行“光纤到路边，光纤到家庭”的试验。计我国 22 条光缆干线

序号	项目名称	距离 ( km )
1	沪宁光缆工程 ( 上海、南京 )	400
2	沪闽光缆工程 ( 上海、杭州、福州 )	1244
3	闽穗光缆工程 ( 福州、广州、深圳 )	1383
4	京津宁光缆工程 ( 北京、天津、济南、合肥、南京 )	1484
5	京汉广架空光缆工程 ( 北京、石家庄、郑州、武汉、长沙、广州 )	3023
6	京汉广架空光缆工程 ( 北京、石家庄、郑州、武汉、长沙、广州 )	2790
7	郑西光缆工程 ( 郑州、西安 )	570
8	广州海口光缆工程	900
9	广州南宁光缆工程	700
10	成都昆明架空缆工程	1100
11	西安成都光缆工程	1090
12	东北光缆网东线 ( 北京、天津、沈阳、长春、哈尔滨、大连 )	3069
13	东北光缆网西线 ( 北京、承德、阜新、白城、齐齐哈尔 )	1622
14	京呼银兰光缆工程 ( 北京、呼和浩特、银川、兰州 )	1993
15	京太西光缆工程 ( 北京、太原、西安 )	1723
16	西兰光缆工程 ( 西安、兰州 )	835
17	兰州乌鲁木齐光缆工程	2270
18	昆明南宁光缆工程	1200
19	郑州徐州光缆工程	440
20	福 ( 杭 ) 贵成光缆工程 ( 福州、杭州、南昌、长沙、贵阳、重庆、成都 )	4700
21	中日海缆工程	1300
22	武汉重庆光缆工程	1400

划用 10 年时间实现“光纤到路边”。

光纤用户网可以说是光纤通信发展的必然趋势，各国都在大力发展，预计 1995 年后将进入高潮。由此看来光纤用户网将是九十年代后期光通信发展的最大的潜在市场。

城市和农村大量的光缆通信线路也正以惊人的速度迅速发展，总的长度约为 50000 公里。以光纤通信为基础的有线电视网方兴未艾。

#### 海底光缆意义深远

我国投资 7700 多万美元建设的从上海南汇至日本九州宫崎的海底光缆线路全长为 1252 公里。传输速率 560 兆比/秒，可提供 7560 条话路，已于 1993 年 12 月 15 日正式开通。

中韩海底光缆是中国邮电部电信总局和韩国通信共同投资建设的具有国际先进水平的海底光缆通信系统，于 1995 年年底投入使用。该系统从中国的青岛至韩国的泰安，海缆全长达 550 公里，可开通 7560 条电路，是中国国际电路进入太平洋国际通信网的重要通道。

中韩海底光缆是连接中韩两国的第一条海底光缆系统，也是中国继 1993 年 12 月海底光缆系统开通后的第二条国际海底光缆。还是中国的通信建设公

司首次独立承担的国际海底光缆施工任务，它证明中国已具备国际海底光缆施工的能力，踏上国际海底光缆施工市场的竞争舞台。

台湾也把敷设光纤用户环路作为台湾“电信总局”的电信发展规划的重要组成部分。据报道，台湾的光纤通信起步于1987年，在台北的南一局与南二局之间建立了一条2公里的试用系统，从此，台湾开始了通信系统向光纤化迈步。其建设目标是首先在长途通信干线上建立光纤通信系统，其次是局间中继线路，最后是用户环路。

1989年，台湾西部第一条光纤通信干线系统开始使用，1992年7月台湾又着手沿高速公路铺设48芯，420公里长的光缆线路。1992年，台湾长途通信网络累计长度已达88800芯公里，光纤化的比例为85%，到1994年，其他比例增至93%，估计到1997年达到100%光纤化。1992年，台湾的中继电路光纤化比例达50%，累计共铺设342300多芯公里光缆。到1994年中继网络已达60%光纤化。

台湾计划在1994年至1997年间，耗资1.55亿美元，铺设82300芯公里光缆，使局与局间的中继线路达到90%光纤化，到2001年整个中继电路可望达到100%光纤化。在用户环路的光纤化方面，1991—1995年将达5.6万公里。

光纤通信是国家现代化建设的支柱产业之一。要实现国家的繁荣富强，人民生活水平的不断提高，必须花大力气搞好全国光纤通信的整体布局和水水平的提高，迅速赶上和超过西方发达国家。90年代是我国通信大发展时期，也是光纤通信大发展时期。光纤通信技术在中国将以更快的速度推广应用，有巨大的发展前景。107

## 2. 国内外主要光纤通信设备公司简介

近年来，不论是在西方发达国家还是在发展中国家，通信市场一直保持良好的发展趋势。但是近几年由于许多国家电信管理体制的改革、电信市场的开放，使各通信设备公司之间的竞争更加激烈。在这种环境下，国外的各大通信设备公司纷纷采取了一系列的策略措施，力争在竞争中保持自己的地位并不断发展。另一方面，我国光通信设备公司起步较晚，还不具备独立生产能力，且原材料主要依靠进口。加快速度发展我国的光通信产业势在必行。

### 国外主要光纤通信设备公司简介

#### Alcatel (阿尔卡特)

阿尔卡特是目前世界上最大的通信设备制造公司，总部设在欧洲，其管理和技术协调中心设在比利时、法国、意大利和荷兰。阿尔卡特在25个国家有生产厂，在75个国家有分公司，雇员超过12万人，其中工程技术人员和管理人员占12.4%。

阿尔卡特是集设计、制造、销售、安装、维护于一体的综合性公司，它的业务范围涉及网络系统、无线通信、空间及防务、商务系统、电力和通信光缆以及专用电子器件等领域。

阿尔卡特的销售网分布在全球的110个国家，销售区域主要集中在欧洲和北美，在世界其它地区的销售额仅占总销售额的15%。阿尔卡特的销售额从1991年起高居世界电信设备公司排名的榜首。

阿尔卡特公司从事研究、开发和设计的科学家、工程师和设计人员有 18000 人，遍及 22 个国家，研究开发费用占总销售额的 12%。阿尔卡特公司在奥地利、比利时、法国、德国、意大利、挪威和西班牙等 7 个国家设有 12 个研究中心，有 1300 名研究人员从事先进通信技术的开发工作。

阿尔卡特生产的电信设备种类繁多，包括传输线设备、终端设备、交换设备、专用网络、数据传输、用户系统和视频通信设备等等。在光通信领域，阿尔卡特也处于领先地位。

#### AT&T (美国电话电报公司)

AT&T 的前身是美国贝尔系统，是由电话的发明者亚历山大·格雷厄姆·贝尔 (Alexander Graham Bell) 于 1885 年创建的。贝尔系统曾经是美国最大的通信公司，占有美国近 90% 的通信市场。根据美国的反垄断法，1984 年贝尔系统解体为 AT&T 和七个控股地区公司。

重组后的 AT&T 不仅保持了通信业巨头的地位，而且经过十年的努力，已经发展成为一家集通信、电脑以及网络产品和系统于一体的全球性公司。AT&T 在 25 个国家设有工厂、制造通信产品的直属子公司和合资企业，在 100 多个国家和地区的雇员总数达 31 万。以年销售额计，AT&T 位居世界前十大工业公司之列。

AT&T 主要由四个不同的经营集团组成：通信服务，多媒体产品和服务，环球信息服务和网络系统。其中，网络系统集团是世界主要电信产品的制造厂商，业务范围包括交换系统、传输系统、营运系统、光缆系统、移动通信系统和微电子器件等。

AT&T 的贝尔实验室是世界上最具有实力的研究和开发机构。自成立以来，贝尔实验室的科学家和工程师们获得了七项诺贝尔奖和 25000 多项专利，取得了对人类社会有巨大影响的多项发明创造，如半导体、激光、太阳能电池、发光二极管和通信卫星等。目前，AT&T 贝尔实验室汇集了来自 40 个国家的 25000 名科学家和研究人员，从事联网计算机、无线通信、信息传递、视频通信、语音与声频处理等技术和开发工作。

在光通信领域，AT&T 位于亚特兰大的光纤厂年产量超过 120 万公里，光缆年产量达 10 万公里，居世界第二，在各大洋的海底光缆系统中，有许多是 AT&T 提供的，据称该公司已敷设的海底光缆加起来可绕赤道五圈有余。设备方面，AT&T 有代表性的产品包括：PDH 系列光纤通信设备，以 2000 系列为标志的完整 SKH 产品系列，数字交叉连接系统 (DACS)。数字用户环路系统 (SLC)，数字程控交换系统 (5ESS)，AUTOPLEX 蜂窝移动通信系统以及 MAR 一点多址数字微波系统等。

AT&T 贝尔实验室确定的光纤通信设备 2000 年研究开发目标是：

海底光缆系统中采用光放大器而不用传统的再生器，以增强海底光缆通信的能力并降低成本，可提供相当于一百多万条话音线路的越洋传输；

虚拟现实：利用交互式电信和娱乐服务的广泛功能，人们可以坐在家里如临其境；

全球光子网络：网络的传输速率每秒数兆比特，能将电信、计算机与其它信息系统之间的连接提高到新的水平。

#### Siemens (西门子)

西门子公司创建于 1847 年，前身是西门子——哈尔斯克公司，1966 年改名为西门子。目前已在世界 132 个国家和地区成立了自己的销售和生产机

构，雇员达 41 万人。

西门子公司非常重视研究和开发工作，在全世界投入的研究经费每年高达 36 亿美元，拥有欧洲最大的研究机构，是世界上研究开支最高的五家公司之一。西门子公司研究人员达 4.7 万，占职工总数的 11.7%，其科研项目约有 90%是在业务部门进行的，10%由中心部门承担。西门子公司还经常联合政府和其它公司进行科学研究。

西门子公司业务范围涉及到诸多领域，如发电厂设备、医用设备、电子元器件以及通信设备等等。其中公用通信网络集团是西门子公司中最大的运营单位，创造西门子公司总销售额的 1/6，在最近 3 年里，销售额一直保持 10%的年增长率。集团有雇员 45000 人，其中 9000 名为开发工程师，收入的 14%用于独立的研究和开发工作。该集团能提供全套的通信网设备，（公用电话交换系统、公用和专用数据网、移动通信系统和终端、传输系统以及铜缆、光纤光缆等）。西门子公司的光通信设备品种齐全，是少数几个能提供 SDH 系列产品的厂商之一。

#### 其它

一直名列前茅的世界各大电信设备制造厂家，除了上述三大公司之外，还有加拿大的北方电讯、日本的 NEC 和富士通、瑞典的爱立信等，这些公司一般均涉足于光通信领域，且产品都处于世界领先水平。

光通信产业的另一大支柱是光纤光缆制造厂家，世界十大光纤生产厂家的情况见下表。在这些厂家中，康宁公司可谓光纤制造业的巨头，它的总部设在纽约州康宁城，光纤厂在北卡罗来纳州维尔明顿市，目前光纤年生产能力为 300 万公里。在世界十大光纤生产厂家中，有四家是康宁的合资企业：名列第四的 Optical Fibres 是康宁与英国 BICC 的合资公司，位居第五的西康公司是康

世界十大光纤生产厂家

厂家	总部地址	年产量 (万 km)	使用技术
康宁公司	(美) 纽约州康宁城	300*	OVD
AT&T	(美) 莫里斯城	200*	MCVD
住友电工	(日) 大阪、东京	160*	VAD
Optical Fibres	(英) 威尔士克卢伊德	130*	OVD
西康公司	(德) 科隆	120*	OVD
Fibres Ottichesud	(意) 巴蒂帕利亚	100	OVD
古河电工	(日) 东京	60 以上	VAD
藤仓	(日) 东京	60 以上	VAD
澳洲光导	(澳) 墨尔本	50 以上	OVD
STC	(英) 格温特郡	45 以上	MCVD

(注\*为年生产能力)

宁与德国西门子的合资公司，Fibres Ottichesud 是康宁与意大利 Pirelli 的合资公司，澳洲光导是康宁在澳大利亚的合资公司，康宁与这四家合资公司的光纤年总产量占世界市场的 50%以上。

#### 国内光纤通信设备公司

我国有光缆生产厂家 70 多个，而光缆年产量 2500 公里以上的有邮电部侯马电缆厂、武汉长飞公司、深圳光通公司、西古光缆光纤公司、上海华新电缆公司、邮电部成都电缆厂等 6 家。这 6 家厂生产的光缆占我国光缆总产量的 81%左右。其中，长飞光纤光缆有限公司是我国目前最大的光纤光缆生产厂家。

武汉长飞公司由邮电部、武汉市和荷兰飞利浦公司合资兴建，总投资 7250 万荷兰盾加 5600 万人民币。公司占地面积 5 万平方米，建筑面积 2 万平方米，拥有现代化的厂房和设备，采用当今世界上先进的光纤光缆生产技术，公司建立了完整的质量保证体系，对产品质量严格控制，1993 年 11 月通过 ISO9002 国际认证，成为我国光通信行业获得此项国际认证的首家企业。

作为邮电部关心扶植的国家光纤光缆骨干企业，长飞公司的产品已销往全国二十多个省、市、自治区，应用到我国邮电、铁路、石油化工、电力、航空航天、能源、交通、水利和广播电视等部门。有相当一部分光缆

#### 部分光缆生产厂的年生产能力

生产单位年生产能力（万对公里）成都电缆厂 150
侯马电缆厂 130
西安电缆厂 100
沈阳电缆厂 100
北京大京通信电缆公司 80
上海电缆厂 60
佛山电缆厂 60
澳津电缆公司 60
上海华新电线电缆有限公司 60
天津电缆厂 60
大连泛亚通信电缆有限公司 55
衡阳电缆厂 40
江苏通信电缆厂 30
苏州通信电缆厂 30
吴江特种电线电缆厂 10
盛泽电缆厂 10
吴江县电缆厂 18

产品用于我国的一级光缆通信线路。例如：京——汉——广架空和直埋光缆干线，京——津——济——宁光缆干线，西——兰光缆干线，南——昆光缆干线，京——太——西光缆干线，以及铁道部京——沈、郑——徐光缆干线等。

但是，80 年代中期以来，我国引进了一批光缆生产设备，计划生产能力 14 万公里，由于种种原因，大部分没有形成生产能力。许多引进设备闲置，有的已远远落后于世界先进水平，在质量与价格上与国际大光纤公司相比没有竞争力。

我国是世界上最大的国家之一，通信现代化，要靠自力更生，光纤不能

依赖外国提供。因此，国家会重点扶持若干个大型光纤生产厂，国家级的科研机构也会对新型光纤的研制加以立项，向国家有关部门申请所需经费，然后再向合资或独资光纤厂转让有关技术。争取尽快实现光纤产品的国产化、光纤生产的产业化、光纤技术的商品化以及光纤市场的国际化，是一项具有战略意义的重要任务。

## 五 奇迹是怎样创造的

今天，“光通信”这一术语对许多人来说再也不是一个陌生的字眼了。正在建设的贯通全国的光纤通信网，在社会上引起了很大反响。

然而在光电话发明之前的光通信实质上是视觉通信，视觉通信只是光通信的萌芽。只有光电话的发明，才使人类的光通信产生了根本性的变化。现代光通信的历史从此开始了它的伟大进程。光通信的发展无疑是人类通信技术的一次奇变般的变革。那么是谁创造了奇迹呢？让我们首先从光通信的奠基人——贝尔谈起。

### 1. 光通信的奠基人——贝尔

光电话的发明者是谁呢？大家都知道，亚历山大·格雷厄姆·贝尔(1847—1922)是电话发明者，他于1876年向美国专利局首先申请了电话发明权。然而，知道光电话也是他发明的人就不多了。

A.G. 贝尔1847年生于英国苏格兰。他父亲和祖父都从事对聋哑人的教育工作。贝尔二十三岁随家庭移居加拿大，不久在美国波士顿城也开始从事对聋哑人的教育工作。贝尔原想研究出一种新机器，让聋哑人能用眼睛看到正常人所听到的声音。这些研究虽然没有成功，但他却因此接触到许多电学仪器，并受到莫尔斯的电报机的启发，想利用电流把人的语声传到远方。他到首都华盛顿去请教美国大物理学家亨利。素不相识的亨利被贝尔的热情所感动，鼓励他说：“你有一个伟大发明的设想，干吧！”当贝尔谈到自己缺乏电学知识时，亨利说：“学吧！”大科学家的鼓励，鼓舞了贝尔向科学进军的勇气。贝尔后来说：要不是“干吧！”和“学吧！”这两句话的鼓励，我发明不了电话机。

1875年贝尔和电技师华生合作研究电话，经费是靠自己的教学收入和两位聋哑人的父母的资助。他们两人118日以继夜的工作，一间房子既是宿舍又是试验室。他们在电线两端接上原始的电话机，放在一幢房子的两头，天天对着电话机喊话，而听到的喊声都是由墙壁或走廊传过来的回音。这幢房子的其它住户，被他们吵得很不安宁。但他们意志坚强，不断的失败促使他们不断改进设备和不断进行试验，终于在1876年3月10日试验成功了。

1877年7月，贝尔与梅布尔·哈伯德结婚并在英格兰欢度蜜月。在旅行期间，贝尔不遗余力地向公众宣传他的电话。此时，贝尔已经认识到应当改进他的电话。他的电话的缺点是发送器难以产生大的话音电流。而这一点对于长距离通信来说，是致命的。为此，贝尔经常考虑这个问题。遗憾的是，贝尔最终没能解决这个问题。发明家爱迪生首先解决这个问题。爱迪生发明了一种送话器，里面装有炭精粉。因为炭精粉富有弹性，改变炭粉间接触的松紧程度，就可使电阻发生变化而改变话音电流。

在当时，有关元素硒的奇异特性的论文开始出现在学术刊物上。史密斯报道了硒棒的阻抗受光的影响。西门斯用硒研制了有效的光检波器。贝尔密切关注这方面的进展。他在考虑如何在他的电话中利用硒的可变电阻的特性。他预测到硒送话器的性能有可能超过爱迪生的炭送话器。在一次演讲中，贝尔披露了光电话的主要想法：如果你把硒棒放入电话并让光照射，你就改变了它119的电阻和话音电流的强度，这样，你就能听到声音。

贝尔于 1878 年 11 月返回美国并带回硒样品。最初实验失败了，因为硒的电阻太大了。到了 1879 年 10 月，贝尔又开始了光电话的研究。他雇了一位年仅 25 岁的仪器制造者——塔特尔，每周 15 美元。塔特尔对发明也有浓厚的兴趣。贝尔在华盛顿特区 L 街上租了房屋作为实验室，开始了光电话的研究工作。

对贝尔和塔特尔来说，发展光电话就成为他俩的使命。他们的实验笔记表明，他们的感情投入也是很多的。当实验取得进展时，他们则会十分高兴。当实验失败时，他们则会感到十分难过。经过他们锲而不舍的努力，光电话终于研制成功了。在这个装置中，一块涂银的镜子与振动膜放在一起。另一块则放在几毫米远处。硒电池作为检测器，贝尔的堂兄用反射镜把光照在振动镜上。塔特尔站在送话器前，贝尔则去实验室的地下室，戴上耳机。激动人心的时刻到来了，时间是 1880 年 2 月 19 日，星期四。贝尔清楚地听到塔特尔的声音“嗨、嗨”并听到塔特尔在唱“Auld Lang Syne”。这是人类历史上，第一次用光作为载波来传送语音信息。

光电话的实验成功，使贝尔十分激动，以致于把他刚出生的第二个女儿叫做“PhotoPhone”（光电话）。在写给他的父亲的信中，贝尔还预见到了光电话在军事方面的应用。经过贝尔和他的助手塔特尔的不懈努力，光电话的通信距离增加很快。利用透镜的光电话通信距离 120 达到了 80 米而后增加到 213 米。1880 年 8 月 27 日，贝尔向美国科学促进会报告了光电话的发明。第二天，贝尔和塔特尔向美国专利局正式申请专利，同年 12 月 7 日，他们的专利被批准，专利号是 235199。

贝尔所处的时代，是电话还很少的时候，然而伟大的发明家已在为实现无线通信的梦想而努力了。贝尔相信无线电通信是电话的下一步。限于当时的科学技术发展条件，光电话难以实用。以后贝尔再也没有用人工光源作进一步的实验了。当时的公众，一般把贝尔的光电话看作是天才的杰作，技术的珍品，实用意义不大。今天，我们知道这其中的实质问题是没有理想的光源和理想的传输介质。尽管如此，国家贝尔电话公司还是以 2000 美元的专利费购买了这项专利。正如威廉 H·福布斯董事长所说的那样，无论这项发明在实际重要性方面是否接近电话本身，它都应当是我们高兴拥有的东西。

由于 100 多年前的科学技术发展条件的限制，贝尔原始的光电话未得到真正的实用，只是把它当作技术珍品。1890 年后，无线电通信的巨大成功使光电话失色。这使得光电话在问世后相当长的时间里，被人忽视，几乎处于停顿状态。但是，贝尔光电话的遗产在现代光通信中仍闪烁着光芒。贝尔光电话是一项伟大的发明，它证明了可用光波作为载波来传送信息。这是现代光通信的通信方式。这种通信方式 100 多年来不仅没有过时，而是更加发扬光大。贝尔的光电话，应该称作现代光通信 121 史上的里程碑。正如贝尔自己生前所说的那样，光电话是他一生中最伟大的发明。毫无疑问，在对社会的影响方面，过去 100 多年间电话比光电话更显著。但是，当今天一个崭新的全光通信时代开始时，贝尔的光电话在通信史上所占有的一席之地必将显示出里程碑式的辉煌。

## 2. 光纤之父——高锟

英籍华人、光导纤维通讯专家高锟 (Charles Kao) 博士, 1933 年出生于上海, 1965 年获得伦敦大学电子工程学博士学位, 他将近代电波的世界带到了一个光纤世界里, 开创了光导新纪元。

1963 年起高锟开始从事光导纤维通讯的研究, 并将其理论运用于改善通信工作。他同英国国际电话电报公司标准电讯实验室的同事组建了一个光导纤维通信研究室。1966 年, 高锟为光导纤维的发展和应用做出了重要贡献。他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。同年 7 月, 高锟等人发表了著名的论文《介质纤维表面光频波导》, 首次谈到实用型光纤的制造与在通信上的应用, 提出了光纤传输光信号理论。他指出如能将光纤中上述金属离子减少到最低限度, 并改进制作工艺, 提高材料的均匀性, 就可使光纤的质量大大地提高而成为实用的光传输介质, 而且有可能使光纤 123 的光损耗减少到每公里一分贝左右。他说: “一根带有包层的玻璃纤维, 其芯线直径约为一个波长, 总直径约 100 个波长, 这根纤维就成为一根可能有实用价值的光学波导。它有充当新型通信手段的巨大潜力, 其信息容量可能超过 100 兆赫。”

高锟强调, 用石英光纤进行长距离信息传送将带来一场通信事业的革命, 此后光纤通信的发展完全证实了他的科学预言。

在他的理论指导下, 光纤的研究与应用得到了迅速的发展, 质量越来越高, 普及面也越来越广。光纤通信已成为现代社会的一个重要标志和不可缺少的通信手段。高锟的研究成果, 得到了国际科学界的肯定、赞许。在光纤通信研究中, 他已获取了 30 多项专利。由于他在光纤通信技术方面作出了重大发明创造和开拓性的工作, 因此享有“世界卓越科学家”之美称, 被誉为“光纤通信之父”。

1974 年至 1986 年, 高锟博士在国际电话电报公司美国总部任职, 先后担任工程部主任、首席执行科学家、以至科学研究总裁。1970 年至 1974 年, 高博士曾任香港中文大学教授, 筹建新的电子学系。1987 年迄今, 接受香港中文大学聘请, 荣任大学校长, 特别重视开展信息工程、微电子学和光子学的教学和研究。30 年来, 高锟博士继续不断地从事光纤通信科学技术的研究与开发工作。他对光纤通信的贡献, 不仅在于创建完善的纤维光学理论, 掌握了光纤的物理性能, 而且还在工程技术的开发上作出了显著成绩, 例如对单模光纤的制造工艺、光纤强度和持久性、光纤连接器、耦合器以及色散均衡等问题都曾涉及, 导致光信号能以 4 兆比/秒的速率传输几十公里。多数科学工作者仅限于谈论, 而高博士却能付诸实现, 这是很了不起的。

在近 20 年中, 高锟博士获得了国际上许多高级大奖:

1976 年, 美国硅酸盐学会授予 M. Orey 奖, 以表彰他对玻璃科学和工艺的杰出贡献。

1977 年, 美国富兰克林 (Franklin) 研究所授予 Stewart Ballantine 奖章, 以表彰他在光纤通信系统概念工作的成就。

1978 年, 英国 Rank 信托基金会授予 Rank 奖, 以表彰他在光纤通信的开拓工作。

1978 年, 美国电子与电气工程师学会 (IEEE) 授予 Morris Liebmann 纪

念奖，以表彰他发现、发明和发展玻璃纤维波导的材料、技术和构形，使通信能在光频率实际可行，特别对整块玻璃的细微测量，从而认清和证明硅玻璃能在实用通信系统中对光频率提供必要的低损耗。

1979年，瑞典艾克利森（Ericsson）基金会授予艾克利森（Ericsson）国际奖，以表彰他对利用光纤实现长途传输信息的基础性贡献。

125

1980年，美国军事通信电子学会授予金质奖章，以表彰他对光纤技术在军事通信应用所作的贡献。

1985年，美国电子与电气工程师学会（IEEE）授于A.G.贝尔奖章，以表彰他对光纤通信所作的开拓性贡献。

1985年，意大利热那亚（Genoa）市授予哥伦布（Columbus）奖章，以表彰他在科学上的显著发明。

1985年，美国 Marconi 基金会授予马可尼

（Marconi）国际院士奖（此乃通信科技界的“诺贝尔奖”），表彰他利用光纤技术进行通信技术革命所作的贡献。他是首次获得此奖的华裔科学家。

1987年，日本通信与计算机技术促进基金会授予通信与计算机奖，以表彰他对光纤通信所作的开拓性工作。

1989年，英国电气工程师学会（IEE）授于法拉弟（Faraday）奖章，以表彰他对光纤通信连续的杰出工作，包括早期确立光纤通信系统的可行性和确定有关参数的工作。

1989年，美国物理学会授予新型材料国际奖，以表彰他对材料研究与开发，导致实际低损耗光纤成为光通信技术基石的贡献。

1992年，美国摄影光学仪器工程师学会（SPIE）学会授予金质奖章，以表彰他在光纤通信领域所作的开拓研究和许多贡献。

高锟博士曾陆续获得世界各国国家级学术单位的院士、会士和著名大学的博士等不少荣誉称号。

- 美国国家工程院院士；
- 英国皇家工程科学院院士；
- 瑞典皇家工程科学院外籍院士；
- 美国电子与电气工程师学会（IEEE）学会会士；
- 英国电气工程师学会（IEE）学会会士；
- 英国皇家艺术学会会士；
- 香港中文大学理学博士（1985）；
- 英国 Sussex 大学理学博士（1990）；
- 日本 Sokha 大学名誉博士（1991）；
- 英国格拉斯哥（Glasgo）大学工学博士（1992）。

高锟博士对我们国家的现代化建设、高科技研究和大学教育，一直非常关切，特别对现代通信建设、研究和教育，格外热心支持。他对诞生和抚育他幼年成长的祖国大地充满热爱激情。当称他为“上海之骄子”时，他流露出高兴的姿态，乐于接受这一亲热的称号。事实上，他对我们国家的热爱和关怀，一直贯穿在他一生光辉事业之中。他刻苦钻研，发挥才能，作出发明和贡献，一切都是为祖国争光，提高中华民族在国际上的声誉。

### 3. 跨世纪的带头人——厉鼎毅

全世界享有盛誉的杰出通信科学家厉鼎毅博士 (Dr Tinsve Li) 是美籍华裔。1931 年生于南京, 青年时赴国外留学, 1958 年获美国西北大学电机工程博士。青年时代居住在中国重庆、加拿大温哥华以及南非的约翰尼斯堡等地。他于 1953 年毕业于约翰尼斯堡的维瓦特斯兰大学, 获电气工程学士学位, 毕业后他到美国伊利诺州凡斯顿的西北大学攻读电气工程研究生, 分别于 1955 年和 1958 年在西北大学获得理学硕士和哲学博士学位, 1957 年进入 AT&T 贝尔研究院 Holmdel 研究所, 从事通信科学研究工作, 1976 年至今, 担任光波系统研究部主任。曾当选为美国国家工程院院士。1995 年新任美国光学学会 (OS) 会长, 厉博士热爱祖国, 自 80 年代起经常来祖国各著名大学和研究院所讲学, 曾陆续接受上海交通大学等十所高等学府聘请为名誉教授, 和武汉邮电科学研究院等高级研究院所聘请为名誉研究员, 在祖国光纤通信领域博得崇高的声望和普遍的好评。

厉鼎毅博士在贝尔研究院 Holmdel 研究所工作约 40 年, 曾经在世界范围各种高级技术刊物和国际学术会议发表文章共约 70 篇, 取得专利 16 件, 主编 2 本书, 并 128 在另外 6 本书中撰写几章。特别从他的一系列文章中, 可以清楚地看到厉博士在光纤通信领域, 从创始到现在, 直至跨世纪的新一代光波系统作出了巨大贡献。有引人瞩目的光辉历程。人们称颂厉鼎毅博士为世界上光纤通信和光波系统的先驱者。

60 年代初, 世界上尚未出现光纤通信端倪, 厉博士致力于激光方面的创新研究工作。60 年代下半期, 世界上提出了光纤通信的可行性, 贝尔研究院组织力量积极开展基础理论与应用研究工作, 厉博士为主力研究人员, 1970—1971 年发表两篇文章, 可以说是世界范围推动光纤通信实际应用的首批文章。

90 年代开始, 厉博士带领他研究部的同事们致力于光纤放大器和密集波分多路技术的研究与开发, 促使光波传输系统在改善功能和扩大容量得到显著的效果, 成为新一代光波系统。在 1991—1995 年期间, 厉博士已发表了 8 篇重要文章。由于这些文章和报告具有综合性和先进性, 而且正确无误地指明光纤通信的未来发展方向, 所以每次有关的国际学术会议只有厉博士才适合做大会报告。这样, 世界上通信技术界一致公认: 厉鼎毅博士不仅为光波系统的先驱者, 而且是这一领域当代发展至跨世纪的带头人。

厉鼎毅博士是几个学会的会士: 电子电气工程师学会 (IEEE) 会士; 美国光学学会 (OSA) 会士; 美国科学促进协会 (AAAS) 会士和中美光子学会 (CAPS) 会士; 他对学会的学术活动非常热心, 曾担任刊物主编、分组主席、国际会议主持人等职务, 特别是美国光学学会 (Optical Society of America), 在美国是历史悠久、科学家集中的老学会, 鉴于厉博士贡献成就大、服务能力强, 他胜过对手, 当选为 1995 年正会长, 这是很大的荣誉, 一般是不容易选上的, 尤其是华裔专家当选为会长是空前的, 厉博士为祖国争得了光荣。

厉博士曾经先后接受几次大奖: IEEE1975 年 Baker 奖; IEEE1979 年 Samoff 奖; 美国中国工程师学会 1978 年成就奖; 美国西北大学 1981 年杰出校友奖; 中美职业协会 1983 年成就奖; 最新的是 IEEE/OSA1995 年 JohnTynda11 大奖。

厉博士曾经先后应聘为国内十所高等学府的名誉教授。这些大学包括上

上海交通大学、清华大学、北京邮电大学、成都电子科技大学、北方交通大学、北京大学、华中理工大学、浙江大学、上海复旦大学、曲阜师范大学，一位华裔科学家，居然被国内十所著名大学争聘为名誉教授，还有武汉邮电科学研究院、中国科学院上海光机所等研究所聘为名誉研究员。

厉鼎毅博士能获得如此多的荣誉称号，这不仅在我国，甚至在全世界都是绝无仅有的。

#### 4. 光纤通信的先驱末松安晴

末松安晴 1932年9月22日生于日本岐阜，1955年和1960年，在日本东京工业大学先后获得了理科学士(B.S)和理学博士(Ph.D)学位。末松博士是日本很有名望的光通信专家，也是世界著名的光通信学者。

1961—1973年，他在东京工业大学任助理教授，其中有一段时间(1967—1968年)曾在美国俄亥俄州立大学电子科学研究所工作。1973年晋升为东京工业大学电子物理系教授。1973年以来，一直从事光通信研究工作。特别是在半导体激光器、集成光路和光传输线等方面的研究作出了重大贡献。最近几年，他领导的研究小组，对DBR动态单模(DSM)半导体激光器的研究在技术上取得了重大进展。

1975—1978年，他曾担任日本电子学与通信工程师协会(JECE)光学与量子电子学专业委员会主席。现在是日本电子学与工程师学会(IECE)常任理事，美国IEEE和美国光学学会(OSA)会员。

1961、1965、1976和1977年先后获得了由日本电子学与工程师学会(IECE)颁发的稻田(Inada)纪念奖和论文奖，1978年还获得了著书奖和成果奖。美国量子电子学与应用学会，为了表彰他对半导体激光器、集成光路和光波导等方面的开发研究所作的贡献，给他颁发了IEEE会员奖。1983年，由于他对通信事业和单模半导体激光器的可行性研究所作的贡献，获得了最佳奖和Dan-ish技术科学院颁发的Valdemarpaulsen金质奖章。

几年来，他在日本和美国出版的许多科学技术杂志上发表了约170篇高水平的学术论文。另外，还编著了《电磁理论》、《光纤通信入门》和《光器件与光纤》等8本科技书。其中《光纤通信入门》(1976年初版)一书是世界上最早出版的光纤通信专著。该书于1982年再版，同年，由日立制作所松村宏善博士等翻译的英文版向世界发行。作者对光纤通信元器件、系统及其应用作了深入浅出的阐述，是一部研究光纤通信的最好入门书，有些高等学校已列为开设光通信课程的重要参考书。在这部书中，首次提出了第四代、第五代光纤通信的预测方案，给人们展示了光通信未来的发展。

#### 5. 我国光纤通信的开拓者

张熙 1913年11月生于江苏无锡，1934年毕业于上海交通大学，1940年获美国哈佛大学科学博士。回国后曾在多所理工大学任教授，现为上海交通大学博士生导师，中国科学院院士。长年从事教学指导工作。80年代以来，一直走在我国光纤通信的理论前沿。曾编写出版《光纤通信原理》、《光纤

通信系统》两本书，主编《光纤通信技术》《光纤通信系统设计》等，又在国内外学术刊物上发表了多篇学术论文。多次在全国通信学术会议上作大会报告。

叶培大 1915 年 10 月 18 日出生于上海市南汇县。1938 年毕业于天津国立北洋工学院电机系。1945—1946 年在美国哥伦比亚大学进修。1949 年前曾任前中央台工程师，金陵大学兼任副教授，1949 年—1952 年任天津大学电信系教授兼系主任。1955—1993 年任北京邮电学院教授，无线系系主任、副院长、院长、名誉院长。

现任北京邮电大学教授、名誉校长、中科院院士、国务院国家经济信息化联席会议专家组组长、邮电部科技委常委。

叶培大 1980 年被选为中国科学院学部委员（即现在的院士）。1988 年被选为 IEEE Fellow。1990 年被聘为麻省理工学院（MIT）电磁科学院成员，1993 年被选为 IC - CC Governer。

叶培大曾任国务院学位委员会电子与通信学科评议组成员兼召集人两任，国家自然科学基金委员会光学学科评议组组长三任。

叶培大曾任第三、第四、第五、第六届全国政协委员，第三、第四、第五屆民盟中央委员，现任民盟中央评译委员会常委。

赵梓森 1932 年生，广东省中山县人。1953 年毕业于上海交大电信工程系，分配到武汉后，在武汉电信学校、武汉邮电学院、邮电五二八厂、武汉邮电科技研究院先后从事教学及研究工作。1979 年加入中国共产党。曾担任研究室副主任、总工程师、所长、副总工程师，现任邮电部武汉邮电科学研究院副院长兼总工程师。是主任高级工程师，博士研究生导师，第四届湖北省政协委员，第六、七届全国人大代表，曾荣获湖北省特等劳模、全国邮电特等劳模、全国六三攻关先进个人、国家“五一”劳动奖章获得者、国家级特殊贡献科技工作者等荣誉称号。

赵梓森是我国光纤通信研究的开拓者之一。1973 年在我国率先提出开展光纤通信研究的建议及采用石英光纤作传输介质、半导体激光器作光源、脉冲编码调制式的技术路线，均被国务院科技办所采纳。迄今为止，国内各单位都沿用这一条技术路线。他在制订我国光纤通信发展的总体方案方面起了重要作用；组织和实施了我国第一次用光纤传输黑白电视试验；主持建设了我国第一条实用化光纤通信线路；承担了多项国家光纤通信科研工程；建立了一整套光纤通信系统工程设计的理论和方法。

他在国内外技术刊物上发表了十多篇有关光纤通信方面的论文，编著和参加编著了六本书，他撰写的《数字光纤通信系统原理》一书，曾在莫斯科和弗兰克福特作为我国优秀著作展出。最近又出版了他的《单模光纤通信系统原理》一书。

他是国家自然科学基金委员会委员；中国通信学会光通信专业委员会主任委员；邮电部科学技术委员会常委；湖北省科协副主席；IEEE 高级会员。

## 六 迈入光通信时代

目前世界各国已着手进行通讯事业中一个最宏大的项目——光纤通信。我们要用它作为信息高速公路系统的建筑基石，帮助我们管理好能源、运输和通信，提供保健设施和公共服务，加强国防，加速经济发展，并为人们的娱乐和教育提供资料。对人类来说，这是一种比以往人们所设想的更加灵活的、具有更高智能的、更复杂的“神经系统”。光通信将深深渗透在人类生活的各个方面，无处不起重要的作用。人类社会从此将迈入光通信的时代。

### 1. “信息高速公路”的基石

“信息高速公路”（Information Super Highway）又 136 称为“电子高速公路”，它是美国阿尔·戈尔于 1991 年提出的一个面向 21 世纪信息时代的“信息高速公路法案”。戈尔当上美国副总统之后，1993 年正式将该法案命名为“国家信息基础设施”（National Information Infrastructure 简称 NII）。1993 年 9 月 15 日美国副总统戈尔和商务部长布朗在华盛顿正式宣布“建立全国通讯网络”的计划。该计划包括如下三个要点：

由政府 and 私营机构共同承担，铺设覆盖全美国的光纤通信网络；

用光纤通信网络连接所有的通讯系统、电脑资料库、电脑消费设施；

用光纤通信网络传输图像、声音、文字和视频信号等各种传播媒体信息。

由此可见光纤通信网络在信息高速公路中起到了“脑神经”的重要作用。即信息高速公路是一组交互式的光纤计算机网络，它在两用户之间传递文字、图像、声音和数据等多媒体信息。所以说信息高速公路是计算机和光纤通信等多媒体技术的综合运用，其技术目标是开发并集成信息基础结构的每个组成部分。建立信息高速公路的作用可以刺激经济的发展，增加就业机会，缓解各种社会矛盾，并从根本上改变人们的生活、工作、学习和相互联系的方式，使生产、教育、研究、就业、保健和政府工作等各方面实现全面革新，为下个世纪的振兴和创建“信息文明”打下坚实的基础。

### 2. 有线城市

当蒸汽机首先出现在 18 世纪的人们面前时，没有人会想到这一发明将导致世界发生一场历史性的变革，从而使人类由农业社会向工业社会过渡迈出了一大步。但是今天光通信的发展及信息技术革命的到来将对人类的影响更加深刻。

人们用“有线城市”这个术语来描述家庭、商店和办公室都装有光缆电视、交互式电视或数据网等先进设施的城市。随着光纤技术在其理论和应用上的快速发展，为了适应 21 世纪甚至更远的通信需要，许多国家已开始用光缆替代普通的铜质电缆，这些光通信项目将直接或间接地影响每个人的日常生活，为今后先进的社会服务如家中购物、银行服务、有线电视、视频电话、视像网络和光纤数据传输等多项服务提供基础。

我们可以想象有这样一座城市，公园、鲜花、湖泊比比皆是，空气像水晶一样洁净，汽车停放在郊外的大停车场上。住宅和公寓都装有墙壁那样大

的电视屏幕和各种计算机终端。人们可以在家里办理银行业务，购买一切需要的东西。高层大厦间距离宽大，视野辽阔，住在这座城市里的人，全都能穿过花园或挡雨的林荫大道，步行到商店、餐馆和酒店去。送货业务服务周到，顾客需要时还可以把购货车推回家去。高速公共交通工具把人们送到戏院、大学、工作场所和停车场。人们在家工作是受到鼓励的，有些人由于采用可视电话和计算机设施，在家工作非常方便。只要通过电话信道和视频信道的交换，就可以召开各种会议。

光纤通信网络与计算机连接，使辅助教学组织得非常出色，人们可以在家里选看大型教育影片库中的各种影片，这样教师就可以腾出时间，集中精力，从事教育中更需要人去做创造性劳动。情报检索系统使居民可以从他们自己的电视荧光屏获得新闻、运动资料、天气预报、百科全书以及大容量存储的报告和文件等资料。当然，电视荧光屏决不能代替书籍，它只是使居民得以浏览当地有名图书馆中的书刊，然后由图书馆把需要的书刊送上门来，或者由居民亲自去借阅。

由于大多数人不再随身携带什么现金，所以大街上几乎不会发生抢劫事件。餐馆和商店都装有银行卡终端，转帐系统设计得使银行卡只能由所有者使用。居民可能随身携带无线电装置，需要时用它来呼叫警察或救护车。家庭都装有同警察局和消防队连接的防盗警报装置和火警装置。某些大楼为了安全起见，安装了同集中警卫站连接的电视摄像机。由于采用了有线水表、电表和煤气表等，一切公共事业费的交付都实现自动化。

家用终端为远距离医疗创造了良好条件，有些终端实现了计算机化，有些终端则通过视频线路同护士和医生联系。在需要叫救护车时，可以使用紧急通信。有些家庭装了打印机或传真机，可以用来获得公文、新闻、电子邮件、银行报表、航空公司时刻表等等。他们可以利用计算机来编辑所写的文件，并且把这些文件传送给一起写作的同事。让我们再具体的谈谈用光纤通信网络构成的“有线城市”给人们提供了哪些服务。

## 保健服务

保健服务需要医生和拥有高级设备的专业化医院进行逐个诊断。要使诊断有效可行，不但医院内部要有通信，各部门间也要互通。如果一个医师能在医院内，或在病人的家中调用有关病历、人口统计、快速分析和资料汇编，那么，保健服务必然会大大地提高效率。

光纤系统能为目视仪器和快速计算机控制的数据设备，提供一种不怕电磁干涉的通信干线。电磁干涉通常与高功率医院设备，诸如 x—光机联系在一起。直接观察非常重要。遥远监察病人、调用特种症状资料和直观外科手术，为边远乡村的助理医生带来了大量专门医院的资料。

与信息传输不同的一种光纤用途，就是利用光纤在医疗仪器中作传光导体和传直观图像的导体，照亮和观察那些不能到达的区域。如果光纤传输更好地被人们所控制，那么就有希望用光纤实现以全息模式的方式传输图像。可以设计一种单根光纤系统，用来传输数量精确的光功率，以此进行病理分析，作为外科医生的工具，或作为治愈某些疾病的新方法，诸如控制和破坏肿瘤。使每个人都能享受到优秀医师和先进的医疗设备对病情诊断与治疗。

## 社会团体服务

有线城市可以把社会团体用光纤通信网密切地连在一起，把那些有用的各地新闻、采购指南、邻里联欢活动、公共图书馆、急救队和计算机银行等连成一个完整的体系。

实验性系统已经表明，有线城市的价值与人们的感受有关，这是一项具有深远意义的社会实验。但因为它过分地受主要社会倾向性的影响，还远没有得到预期的结果。即使这样，有线城市仍然可看成一种创新的社会精神和一种不同形式服务的兴起。

作为有线城市的主要传输介质，光纤系统能够且也将是领先的主力军。在宽带低损传输系统中，提供一个组成整体的服务网是值得向往的办法。

## 办公事务的发展

一种与有线城市相似的概念就是未来办公室的概念，也称之为“智能建筑”。事务信息的检索、分配、发播和分析的功能，均由未来办公室内所使用的设备来实行。一位总经理只要按下按钮或者发出一个简单的声音指令，就能调集财政和工作情况的数据，把文件输入文字处理机以便编辑。接着标有姓名的文本就在办公楼中自动传递，同时在办公楼里的工作人员就能在各自的终端设备上收到以屏幕显示形式或硬拷贝形式的文件。对外还能完成远距离分发、报表控制、机器的数字控制和配制工资单，这些只不过是未来办公室中可能有的许多自动服务项目中的一小部分。视听会议和互相交换图表是另一种可能会有的服务项目。

这种系统的实现与有线城市并无多大区别，但是由于这种系统可以局限在一座大楼内，同时这些办事机构的服务项目比较单一，所以系统设备更容易满足要求。

## 娱乐

寻求娱乐常常在于有了满意的工作，便会在工作之余把剩余资金花到娱乐上去。我们已经被娱乐世界所吸引住了。如观赏体育运动、戏剧、收听收看无线电和电视节目，以及玩具和书本等。

收看电视也许已经成为一种最有影响的娱乐方式。它以广告收入为支持，每天吸引着千百万人，并以丰富多彩的电视节目给人们以娱乐享受。具有戏剧性的是它已经把一部分积极参加文娱活动的人，转变成了消极地守在电视机前的观众了。

由于地球同步卫星的应用，光缆电视（也称作共用天线电视，缩写为CATV）正在改变着电视工业，光缆电视为每个家庭提供许多信道，给人们以更多地选择节目的自由。视频磁带录像机和视频磁盘的商品化进入电视工业，这就注定要重新制订未来的工作方式。

例如光缆电视，观众为了有权选择更多的节目，则按月都得花一笔钱；而收费电视观众为了有权收看无广告电影节目，就要支付一笔额外的费用，当然这笔费用比起到电影院看电影的费用还是低很多。视频光盘商使消费者

拥有自己选择节目的权利，而录象机商则使顾客能在他们最方便时间观看一批节目。现时，电影院、剧场和书刊继续保持繁荣兴旺，备有更多的选择余地。

可以实现用光纤网把宽带信息送到每一个家庭，并且进而可由这个网，用交换方式提供视频服务。交换式电视网既可以满足大多数观众的广泛需求，同时也可以收入具有一定商业效果的前提下，为少数观众提供特殊服务。这种设计等于建立了视频图书馆，从而以最灵活的方式满足观众的个人需求。

## 教育

应用这种先进的技术，教学过程肯定会进行得更加有效。事实上，用计算机和视频磁带，一个预先制好的教学磁带代替面授，并加以计算机辅助教学，这可能是最有效的方法。教师的作用成了引导学生的作用。教师引导学生进行生动的争论与批评式的讨论，并与有经验人展开争论以打开青年人的思想境界。人们发现，在分成若干校园且拥有大量学生的大学里，使用闭路电视是进行多种课程教学的好方法。官方指定的教学内容将得到改善，信息中更多的信息将被人们所利用。

在教育部门中应用宽带通信系统，其作用是显而易见的。

## 3. 家庭通信必备

在信息时代，人们社会生活的范围扩大、节奏加快，通信将并且已经把人们紧密地联接在一起，成为社会交往中不可分离的纽带。随着人们观念的更新和生活方式的改变，光通信终端如可视电话、高清晰度电视、传真机和多媒体电脑等将成为家庭必需品。

可视电话 在通电话的同时可以看到对方图像的通信方式，就是可视电话。它不仅有电视接收机，还有电视摄像机。当你接通电话的时候，同时启动了电视系统。摄像机把打电话的人的影像摄下来，通过可视电话交换机送到对方的电视荧光屏上，所以，既能听到对方讲话的声音，又能看到对方的形象。

除了能实现可视电话用户之间的接续外，它还可以用来召开电视电话会议。如果通过摄像机、显示设备和通信网络来传递和显示“与会者”的声音和图像，就可形成一个会议电视系统。参加会议的人虽然相隔很远，但是就像是在一间会议室里开会一样。这是一种多对多的通信方式，在两个或两个以上的地方举办可视电话会议，其会议场面可以通过光纤通信线路送到“与会者”面前的屏幕上，并且在商讨过程中，还可以将各种文件、图表和实物在屏幕上显示出来。在现代化的工矿企业中，用它来指挥、调度生产，非常方便。要是安装在手术台旁，在千里以外也可以看到手术进行的情况，便于进行会诊和技术交流。

传送活动彩色画面的可视电话已经研制成功，并开始实用化阶段。国外还开始研究“21世纪的通信技术”——三维图像的传输技术。

**高清晰度电视** 大家在电视荧光屏上观看节目的时候，都会有这样的感觉：就是电视荧光屏上的图像不够清楚，图像上人和景物的层次也赶不上电影。其主要原因是电视广播的图像本身清晰度不够高，所以通过增加电视图像的行数，可以使人看电视就像看电影那样清晰，那样层次分明。这种电视就叫高清晰度电视。

日本首先在七十年代研制出了高清晰度电视，经过多年的改进，已经达到了电影的水平。用户在家中通过高清晰度电视就可以更加清楚地收看由图文信息中心检索的各种可视图文信息。如电视机与公共教育网连接使孩子不出家门就可以聆听教师的教导，观看清晰的动态图像和丰富多彩的场景，大大提高学生的接受能力等。随着高清晰度电视的发展和普及，将使人们的生活更加充实而富有情趣。

**传真机** 今天打开报纸，在很多照片上注有“传真照片”的字样，它说明这些照片是像打电话那样，都是从外地通过采用一种叫作传真的通信方式传给新闻单位的。传真机是传真的主要设备，是一种通过有线或无线通信方式传送静止图像和文字符号的技术。它主要由发送部分和接收部分组成。发送方把要传送的文件、手迹或静止图像分解成许多像点，然后通过扫描变成电信号，再经过调制、放大后传往对方；收方在收到这些电信号后，经过放大、解调等过程，用记录头在记录纸上复制出与发方原稿相同的文件、手迹或静止图像。

利用传真不只可以传送真迹、相片和报纸，而且还可以用来传送气象图和与航海人员安全有关的图表。近年来，所谓电子邮政技术有了发展，今后信函也可通过传真电路来传送。到那时，原来需要几天才能到达对方手中的信件，只消几分钟就能收到。这种传真方式称为信函传真。它使传统的邮政概念发生了根本性的变化。传真通信取代传统的邮政通信已为时不远了，家庭所需要的报纸直接在住户中录印的愿望将变成现实。

**多媒体电脑** 多媒体电脑是进一步拓宽计算机应用领域的新兴技术。它能把文字、数据、图形、图像和声音等信息媒体作为一个集成体由计算机来处理，把计算机带入了一个声、文、图集成的应用领域。多媒体电脑必须要有显示屏、键盘、鼠标、操纵感、视频录像盘、摄像机、输入输出和电信传送等多种外部设备。

将可视电话、传真机、高清晰度电视和计算机组成一个整体就是多媒体系统，其巨大的信息流量只能依靠光纤光缆通信来完成。

#### 4. 科学与未来

有线城市问世以后，过不了多久就会出现有线世界，再配合激光卫星通信与个人移动通信，从而形成全球综合信息网。人们进行通信的方式将发生革命性的变化，从而加快信息技术的更新，导致人们日常生活的改革及新型文化和语言的出现。

光纤通信技术向量子光通信发展，实现无中继全光通信网。同步卫星——低空卫星——地面接收站都用激光相连，可以保证超大容量信息的及时传送。

人们在办公室将能方便地使用各种袖珍电视机、笔记本计算机、手提式

印刷机及重量只有一百克的袖珍复印机。

以语言为基础，使声音信息于打印形式互相转换的愿望将成为现实：能够同时听取几个人口授而自动打印出文件的机器已开始实用化。能自动把文件从一种语言翻译成另一种语言的设备也已开发出来。

光盘将成为企业和家庭保存有用信息最好的储存工具。人机对话的磁盘或光盘也将问世，通过一种录音转换设备不仅能在家庭电视机上显示内容，还可以使观众与之对话。

能够超高速处理大容量信息的光计算机将取得突破性进展。美国贝尔实验室的科学家预言：通用光计算机将在 21 世纪制造出来。它比现在的超级计算机的运算速度还要快一万倍。

新型的信息传播技术将使全球形成一种崭新的信息与通信网系统，它能以更快的速度传送和处理数量日益增加的数据、信息和知识。

由于光纤通信网与家中的终端设备连接为多媒体系统，使得我们可以在家中利用全世界的娱乐和信息资源，所以足不出户就可以处理一切公务：如在家中向商场购物和预约订货，参加各种必需的会议，医生可以给远在千里的病人看病或者与著名的大夫会诊，工程人员可以调用世界各国的数据库和图像资料，等等，人们将觉得家是最舒适、经济和安全的办公地点。

由于交互式电视信息系统使有线电视可供选择的频道增加到几百个，而且各家庭同发射台可以进行双向通信，用户可以点播节目，还可以参与节目的制作。人们在电视台提供的所有娱乐节目之间轻快漫游，以便选择看哪一个频道。所以人们乐于把休息时间花在看电视上。

由于可以在家中办公，高楼大厦将失去优势，而将使城市变得平展。绿化将变得越来越重要，城市不再是川流不息的人群和车辆，空气变得更加清新怡人。

学生在家中就可以参加学习与考试，人们接受教育的程度将一样，城乡差别将逐步缩小，并且人们更愿意到郊区度假。

爱好体育的人们可以通过电视屏幕与明星交谈，索取完整的资料和重大比赛的图像。可以了解世界上任何地方的体育赛事，并可以很快得到各参赛队的资料、队员介绍和比赛成绩，等等实例举不胜数。

我们正迈向一个新的时代，个人和组织之间可以自由活动，就好像没有国界一样。由于信息和知识的国际化，人们对产品的服务质量的要求也趋于一致，生活方式的差别将逐渐缩小将逐步形成一种环球文化。少数地方的风俗习惯也许会被当成新奇的事物和纪念品而保留，但是大多数的地方产品将同民族风俗和语言一起慢慢地消失。世界上几千种语言也许 90% 将消失，而只剩下几百种。由于英语在国际上的主导地位日益增强，人们将发现掌握知识就必须学好英语，并且用英语表达自己的思想要比用母语更容易一些，而他们的孩子将在讲英语的环境中长大。最终英语也许会成为世界上大多数人的母语。另一方面，随着技术的发展和人们交往范围的广泛，将会发展出很多复杂的术语。同时，社会生活和思维方式的不断变化还将创造出更多不同的代际文化。

总而言之，光通信的发展将不仅会影响电信网的面貌和社会的进步，而且将深刻地影响甚至改变人们的工作、思想、甚至生活方式。光通信已成为信息时代最坚实的基础，并将继续推动社会向更深层次的文明和进步发展。



