

通信技术业务知识丛书

光 通 信

吴 彝 尊 编 著

通信技术业务知识丛书

光 通 信

吴 彝 尊 编著

•

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号

北京邮票厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

•

开本：787×1092 1/32 1979年6月第一版
印张：124/32 页数：28 1979年6月北京第一次印刷
字数：29千字 印数：1—26,400册

统一书号：15045·总2306—有5123

定价：0.16元

出 版 说 明

1978年,华国锋主席在全国科学大会上发出“广泛地普及科学文化知识,提高全民族的科学文化水平”的号召后,全国各地的通信部门都积极开展了学习技术业务的活动。为了帮助通信部门的领导干部和广大职工学习邮电通信的技术业务知识,更好地为早日实现四个现代化服务,我们准备陆续出版一套《通信技术业务知识》的科学普及读物。

这套科学普及读物,计划大部分取材于各通信单位的技术业务讲座。考虑到通信部门领导干部和职工的工作需要,在内容上,除与一般科普读物一样,着重讲解一般原理概念,力求通俗易懂、深入浅出外,并适当地对所介绍的某些通信技术进行技术与经济上的分析和介绍国外的发展概况。

一九七八年十月

目 录

导言

一、什么是光通信?	1
光波	1
从光波的发现到应用	6
迅速发展的光导纤维通信	9
光导纤维通信的优点	11
二、光导纤维通信系统的组成	14
光导纤维通信系统	14
模拟信号与编码信号体系	16
光端机	21
三、光导纤维	25
光导纤维的结构	25
光导纤维的传输原理	26
光导纤维的种类型式	30
四、光频器件	34
激光的特点	34
激光器件的基本工作原理	37
激光器的种类	43
砷化镓半导体激光器	43
光波解调器件	46
五、光导纤维通信的展望	48

一、什么是光通信？

光 波

“光通信”，就是指利用光波来进行的各种通信工作，例如用光波通电话、通电视等等。

很自然，大家又会问：那么光波又是什么呢？光波，其实是我们常见的一种自然现象。从通信和无线电技术来讲，光波就是一般的无线电波，也就是电磁波的一种。电磁波是电磁能量在空间波动传播的现象，其情况与水波在水中

传播相类似。任何波动传播都可用图1所示的图形来表示。通常，我们称每秒

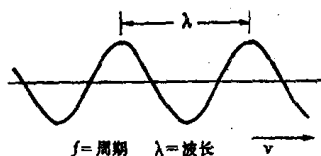


图1 波动传播示意图

钟振动的次数为波动的频率，用 f 代表；两个相邻振动最大值之间的距离称为波长，用 λ 代表；任何波动都是以一定的速度在传播，正如水池中的水波以一定速度向四周传播一样，波动的传播速度，用 v 代表。无线电波也就是类似这样一种波动，不过这种波动是电磁能量在空间的振动变化而已。但是无线电波的频率、波长以及传播速度，我

们不能直接观察到，而是需要通过一定的仪表才能看到无线电波的波动现象。无线电波的传播速度是很快的，每秒钟能传播 3×10^8 米，也就是约每秒钟传播30万公里。根据每秒钟振动的频率和相邻振动最大值之间的距离，显然可以得到这样的关系，即：

$$(f)(\lambda) = 3 \times 10^8 (\text{米})$$

因此，我们对无线电波，常常可以说它是频率为多少的无线电波，或者是波长为多少的无线电波。这两种说法是通用而等效的，因为对无线电波来说，频率 f 与波长 λ 的乘积按上面等式是一个常数，知道 f 不难求得 λ ，而知道了 λ 不难求得 f ，通常我们划分无线电波就是以它的波长或频率来作区分的。通信上用的短波波段和微波波段，就是指频率与波长不同的无线电波，它们的频率与波长范围大体可表示如下：

短波： $f = 3 \times 10^6$ (周) $\sim 30 \times 10^6$ (周) [3兆周 \sim 30兆周]

$$\lambda = 100 (\text{米}) \sim 10 (\text{米})$$

微波： $f = 1000 \times 10^6$ 周 $\sim 10000 \times 10^6$ 周 [1千兆周 \sim 10千兆周]

$$\lambda = 30 (\text{厘米}) \sim 3 (\text{厘米})$$

以上所举的微波波段范围是仅指常用的微波范围，确切地来讲，微波的频率与波长范围比上列范围要宽得多。为了便于下面对比说明问题，这里只列举了通常使用的频率与波长。

上述频率数字说明，所谓微波也就是一般的无线电波，只不过它的变化频率(f)比广播用的短波提高了几百倍，概括地讲，也就是提高了两个数量级(即：“米”与“分米”相差一个数量级，“分米”与“厘米”又是一个数量级)，可是微波频段的利用已经给无线电应用史带来了巨大的变化。在三十年代后期和四十年代初期，由于人们掌握了微波频带的一些基本技术，从而使通信迅速进入了雷达、微波中继通信等等一系列新的技术领域。建立微波通信干线，能在很多城市之间传送上千路电话或者彩色电视，这对短波波段来讲，是绝对不可能做到的事。显而易见，无线电波频率的提高，常常意味着一些新技术领域的发展开始。目前，由微波领域向光波领域过渡，这正预示着无线电波频率历史发展的又一次飞跃。

原来光也具有波动的性质，它和普通无线电波一样，都是一种电磁波，也是电磁能量的波动传播，但是它的频率比一般微波频率高得多。我们可以看一下目前光导纤维通信中常用的光波频率和波长。

$$(1) f = 4000 \times 10^5 \times 10^6 \text{ (周)} \sim 3300 \times 10^5 \times 10^6 \text{ (周)}$$

$$(4 \text{ 亿兆周} \sim 3.3 \text{ 亿兆周})$$

$$\lambda = 0.75 \text{ (微米)} \sim 0.9 \text{ (微米)}$$

$$(2) f = 3000 \times 10^5 \times 10^6 \text{ (周)} \sim 2720 \times 10^5 \times 10^6 \text{ (周)}$$

$$(3 \text{ 亿兆周} \sim 2.72 \text{ 亿兆周})$$

$$\lambda = 1 \text{ (微米)} \sim 1.1 \text{ (微米)}$$

上述单位“微米”，就是指长度的量度单位，1微米等于一米的百万分之一，即百万分之一米，这比一般头发丝的粗细还小几百倍。所以，光波是一种频率极高、波长极短的无线电波。

波长在一定范围内的光能够引起正常人的视觉，我们称它为可见光。可见光的波长与频率大致属于下列范围。

$$f = 7900 \times 10^5 \times 10^6 (\text{周}) \sim 3950 \times 10^5 \times 10^6 (\text{周})$$

$$\lambda = 0.38 (\text{微米}) \sim 0.76 (\text{微米})$$

在光通信中所用的无线电波，通常就是其频率和波长基本上与可见光的频率和波长相当的电磁波。由于这一原因，我们称它为光波通信。

但事实上，光通信中采用的光波不一定是可见光。通常把处于可见光频率相近，其频率低于可见光频段的电磁波称作红外线；将处于可见光频率附近，其频率高于可见光频段的电磁波叫做紫外线。红外线与紫外线均可理解为不可见的光波。目前，光导纤维通信所用的频段多在红外线波段。

由上述所列举的数字来看，光波虽然是无线电波，但是它的频率比微波频率大约还提高了10万倍，它的波长很短很短，是以微米级来衡量的（比微波提高了五个数量级）。我们知道，微波比短波的频率仅提高两个数量级，已经在通信中发生了巨大的变化，能建立大容量通信的微波电路，能通上千路的电话与

多路电视。现在光波频率又比微波频率提高了五个数量级，它给通信所带来的变化之大，是不难推断的。仅以传输的信息量来讲，原则上光波传输的信息量会比微波大10万倍左右。所以，光波通信传输的通话容量是很惊人的，从这一点来说，也足够使我们理解光波频段得到应用的重大意义。当然，光波波段的应用不仅仅限于通信，正如微波波段的应用远远不限于通信一样。众所周知，目前激光技术的应用正深入到工程技术、物理、化学、生物、医学、军事等各个方面，所以光波频段这一无线电领域的应用，确是一次技术领域的革命性变化。

其实，人类对光波认识最早，人眼就是光波频段的无线电波最好接收机，自然界的光波也最容易产生，任何燃烧都会产生这类无线电波，而且它的辐射能力很强，形式上也不需要任何天线就能传播，所以我们随时可以感到光波的存在。但是，在人类历史上又长期未掌握这个波段的无线电技术，如我们发现无线电波并加以应用的历史已近一百年，而光频波段的无线电技术的发现与应用只是在六十年代以后的事（如应用光波作光通信、光雷达等）。这是因为有一系列技术问题需要解决。下面我们从光通信的发展历史概况谈起，可以大致了解一下这方面存在的技术问题。

从光波的发现到应用

利用光波来作通信，其实在古代就开始了，象烽火、旗语这类传输信号的方式，可以说是最原始的光通信方式。到了1880年，开始利用光能来传送电话。前面说过，光实际上就是一种电磁波，那时美国人贝尔发明了光电话，他利用声音振动话筒的薄膜，并使射到薄膜的光束反射强弱发生变化，这样就把声音调制到光波上，再在接收端用光电池使光能转换为电能，于是得到了原来的声音。这种光电话的通信方式，事实上也是一种无线电波的通信方式，它比1896年实现无线电通信还早十六年。以后，光电话的通信原理曾得到一定的改进与发展，直到第一次、第二次世界大战时还得到应用，不过为了保密等原因，多改为红外线通信，它的应用只处于辅助地位，因而没有得到发展。而与此同时，一般无线电波的通信则得到很大的发展，从而促进和形成了今天一整套的电信技术工业。

为什么光电话通信方式不能很快得到发展？这是因为存在着：

1. 光波源的问题

在六十年代以前，光波通信都是用自然光源，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，它不可能产生象无线电电波那样单纯、那样有规律的电磁波。一般自然光源的光波含有可见光的各个频率成份，也常含有紫外线、红外线的成份，因而不是象图(1)所示的那样有规律的波动，而是非常杂乱的波动。这类电磁波动人工不好控制它的变化，也不好处理，所以不能象短波波段和微波波段的电磁波那样进行复杂的通信工作。

2. 光波的空间传播易受气候影响

光波与短波、微波相比较，光波传播易受气候影响。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。因此气候不好时，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。

以上两个问题，第一个是光源问题，因为它表示着人类是否能象掌握一般无线电技术那样，掌握光波的产生与调制等等光频波段技术。直到六十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波特性的光波振荡，这种光波可以象无线电波一样受人工控制。

光波振荡的产生，无疑地引起了无线电波应用的又一次剧变。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光机所合作、联系探讨了这方面问题，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研究室。在国外，日本也大体在这时期开始进行光通信的研究工作。当时，大家都注意到由于激光的发现，在原则上已解决了光波源的问题（虽然在光频波段的接收、调制等等大量实际工作还需要进行研究），于是光波的传播受气候影响的问题，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用的关键问题。1966年，英国电报电话公司的一些研究人员发表文章，论证了利用光导纤维作为光波的传输手段的可能性。

光导纤维，早在三十年代已有生产，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。也就是说，在一公

里长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。但上述英国的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一百倍，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，这就为使用光纤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，基本上都得到解决，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。

国外对光导纤维通信的研究工作的开展是非常迅速的，估计在1980年，光导纤维通信就有可能进入实用阶段，1985年以后可能成为地面通信的主要方式之一。

迅速发展的光导纤维通信

光导纤维的发展很迅速，尤其是近年来变化很大，国外对光导通信的研究工作，近一两年来已经进

行工程性的实验，期望在最近期间投入短距离试验性的应用。如日本，在1977年作过60公里光导纤维通信实验，每8公里设一个中继站，每根光导纤维通480路电话(按编码通信术语来讲，即相当于每秒钟通 32×10^6 比特的数字信息，或可写成通信速率为32兆比特/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)，据说通信速率可达到400~800兆比特/秒，也就是通话容量可达到一万路以上。光导纤维已作成光缆形状，实验所用光缆含有8根光导纤维，即为8芯光缆。预计近期将在东京敷设20公里光缆电路，正式作为通话使用，考虑所用光缆包含24对光纤，通信容量能达到几万路电话。美国早在1975年就进行过10公里左右的光导纤维通信系统实验，通信速率为44.7兆比特/秒，所用光缆为144芯，是目前报道中最多的光芯数。美国光缆已进行商品生产，激光器件质量也较好，正在进行短距离试验性的应用。意大利于1977年在市话网内作了光导纤维通信试验性的通信实验，所用光导纤维是美国的产品，但制成电缆是在意大利进行的，据报道可传9公里不需要中继站，每根光缆含有8根光导纤维，整个光缆可传输8000路电话。

目前，国外已有几十个国家在进行光通信的实验性通话，并且具有一定水平。有些国家感到某些技术还有困难，引进了一些技术或者购买它的相应产品，

因此使试验性应用进展很快。估计在1980年初期，光导纤维通信设备即能应用在大城市电话传输交换电路上，同时将很快应用在电视信号传输的电路上。

光导纤维通信的优点

光导纤维通信工作自1970年低损耗光导纤维试制成功，到现在不过八年时间，已经初步投入试验性应用，这在通信技术发展史上可以说是突飞猛进；从它的发展远景来看，有可能导致通信技术发生革命性的变化。光导通信的研究工作所以能飞速发展，这是由于它具有突出的优点。

1. 频带宽，通信容量大

光波频率比微波频率大体高过10万倍，因而它的带宽与通信容量也相应提高了10万倍。比如说，通常一个微波通道带宽占据微波频率的百分之一上下，在这样的微波通道上就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，也就是说一个光波通道带宽占用光波频率的百分之一，则在这个光波通道上可通上亿路电话，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。

我们说，实现上述通信容量从理论上讲是完全有可能的。然而，在实践中，由于器件以及光导纤维传输特性等等问题，目前在一根光导纤维上，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，或者几十路电视节目，这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。

2. 线径小，重量轻

实际制作的一般光导纤维直径只有0.1~0.2毫米，相当于头发丝粗细，谈不上什么体积和重量，再加上各种防护材料，以及由于中继站远距离供电需要，在电缆中加上铜线，最后作成光缆，其直径及重量也要比通常的电缆小得多。目前日本试用的8根光导纤维的光缆，据说其重量每公里仅几十公斤，而一般的电缆就要比它重几十倍，这样给敷设和使用都带来很大的方便，对航空运输工具来讲，更是理想的取代笨重电缆的通信材料。

3. 不受电磁干扰，保密性能好

一般性的外界电磁干扰频率都较低，不在光频段，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送。由于光导纤维通信

抗干扰能力特别强，国外对高压变电站这类常有电火花发生、电磁干扰强的场所，目前正在考虑将光导纤维电路用于通信与控制设备，同时由于光导纤维绝缘性能好，还可以大大减少高压事故的发生。此外，光频还易于完全屏蔽，偷听、泄密的可能性可基本消除。

4. 成本可能很低

初期，制造光导纤维成本并不低，但随着技术的发展，成本将会迅速下降，因为它的体积小，用料少，玻璃原料丰富，目前国外光缆价格(一般质量)已比高质量的同轴电缆经济，估计随着技术的改进，还有大幅度降低成本的可能。激光器件也是这样，目前成本虽然还高，但由于用料少，随着工艺技术的发展，成本也会大幅度下降，而且激光器件使用的数量很少。我们知道，每个国家使用通信电缆的数量都很大，今后若能用成本很低的光缆代替，它的经济价值是很可观的。

5. 节省有色金属，资源丰富

用光导纤维取代电缆，可节省大量的铜料，而且光导纤维的原料——玻璃，到处都可找到，这将大大有利于通信事业的发展。