

## 光纤是怎么诞生的

现在的布线和网络使用了大量的光纤，我一直在想光纤是怎么诞生的呢？最近我一直在查这方面的资料，今天终于看到了相关的资料，现在拿来和大家分享，让我们永远记住他们的名字：高锟（英籍华人）、美国贝尔研究所、美国康宁玻璃公司的马瑞尔、卡普隆、凯克。下面是相关的资料：

人类从未放弃过对理想光传输介质的寻找，经过不懈的努力，人们发现了透明度很高的石英玻璃丝可以传光。这种玻璃丝叫做光学纤维，简称“光纤”。人们用它制造了在医疗上用的内窥镜，例如做成胃镜，可以观察到距离一米左右的体内情况。但是它的衰减损耗很大，只能传送很短的距离。光的损耗程度是用每千米的分贝为单位来衡量的。直到 20 世纪 60 年代，最好的玻璃纤维的衰减损耗仍在每公里 1000 分贝以上。每公里 1000 分贝的损耗是什么概念呢？每公里 10 分贝损耗就是输入的信号传送 1 公里后只剩下了十分之一，20 分贝就表示只剩下百分之一，30 分贝是指只剩千分之一……1000 分贝的含意就是只剩下亿分之一，是无论如何也不可能用于通信的。因此，当时有很多科学家和发明家认为用玻璃纤维通信希望渺茫，失去了信心，放弃了光纤通信的研究。

激光器和光纤的发明，使人们看到了光通信的曙光。而要实现光纤通信，还需要在激光器和光纤的性能上有重大的突破。但是在这两方面的突破遇到了许多困难，尤其是光纤的损耗要达到可用于通信的要求，从每千米损耗 1000 分贝降低到 20 分贝似乎不太可能，以致很多科学家对实现光纤通信失去了信心。就在这种情况下，出生于上海的英籍华人高锟（K.C.Kao）博士，通过在英国标准电信实验室所作的大量研究的基础上，对光波通信作出了一个大胆设想。他认为，既然电可以沿着金属导线传输，光也应该可以沿着导光的玻璃纤维传输。1966 年 7 月，高锟就光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文，论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因，大胆地预言，只要能设法降低玻璃纤维的杂质，就有可能使光纤的损耗从每公里 1000 分贝降低到 20 分贝 / 公里，从而有可能用于通信。这篇论文使许多国家的科学家受到鼓舞，加强了为实现低损耗光纤而努力的信心。

世界上第一根低损耗的石英光纤 1970 年，美国康宁玻璃公司的三名科研人员马瑞尔、卡普隆、凯克成功地制成了传输损耗每千米只有 20 分贝的光纤。这是什么概念呢？用它和玻璃的透明程度比较，光透过玻璃功率损耗一半（相当于 3 分贝）的长度分别是：普通玻璃为几厘米、高级光学玻璃最多也只有几米，而通过每千米损耗为 20 分贝的光纤的长度可达 150 米。这就是说，光纤的透明程度已经比玻璃高出了几百倍！在当时，制成损耗如此之低的光纤可以说是惊人之举，这标志着光纤用于通信有了现实的可能性。

1970 年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，这立即引起了各国电信科技人员的重视，他们竞相进行研究和实验。1974 年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制作法 CVD 法（汽相沉积法），使光纤损耗降低到 1 分贝 / 公里；1977 年，贝尔研究所和日本电报电话公司几乎同时研制成功寿命达 100 万小时（实用中 10 年左右）的半导体激光器，从而有了真正实用的激光器。1977 年，世界上第一条光纤通信系统在美国芝加哥市投入商用，速率为 45Mb / s。

进入实用阶段以后，光纤通信的应用发展极为迅速，应用的光纤通信系统已经多次更新换代。70 年代的光纤通信系统主要是用多模光纤，应用光纤的短波长（850 纳米）波段，（1 纳米=1000 兆分之一米，即米）。80 年代以后逐渐改用长波长（1310 纳米），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 2.5Gb / s。进入 90 年代以后，传输波长又从 1310 纳米转向更长的 1550 纳米波长，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。

## 光纤资料大全之光纤分类

光纤的种类很多，分类方法也是各种各样的。

### 从材料角度分

按照制造光纤所用的材料分类，有石英系光纤、多组分玻璃光纤、塑料包层石英芯光纤、全塑料光纤和氟化物光纤等。

塑料光纤是用高度透明的聚苯乙烯或聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)制成的。它的特点是制造成本低廉，相对来说芯径较大，与光源的耦合效率高，耦合进光纤的光功率大，使用方便。但由于损耗较大，带宽较小，这种光纤只适用于短距离低速率通信，如短距离计算机网链路、船舶内通信等。目前通信中普遍使用的是石英系光纤。

### 按传输模式分

按光在光纤中的传输模式可分为：单模光纤和多模光纤。

多模光纤的纤芯直径为 50~62.5  $\mu\text{m}$ ，包层外直径 125  $\mu\text{m}$ ，单模光纤的纤芯直径为 8.3  $\mu\text{m}$ ，包层外直径 125  $\mu\text{m}$ 。光纤的工作波长有短波长 0.85  $\mu\text{m}$ 、长波长 1.31  $\mu\text{m}$  和 1.55  $\mu\text{m}$ 。光纤损耗一般是随波长加长而减小，0.85  $\mu\text{m}$  的损耗为 2.5dB/km, 1.31  $\mu\text{m}$  的损耗为 0.35dB/km，1.55  $\mu\text{m}$  的损耗为 0.20dB/km，这是光纤的最低损耗，波长 1.65  $\mu\text{m}$  以上的损耗趋向加大。由于  $\text{OH}^-$  的吸收作用，0.90~1.30  $\mu\text{m}$  和 1.34~1.52  $\mu\text{m}$  范围内都有损耗高峰，这两个范围未能充分利用。80 年代起，倾向于多用单模光纤，而且先用长波长 1.31  $\mu\text{m}$ 。

### 多模光纤

多模光纤(Multi Mode Fiber)：中心玻璃芯较粗(50 或 62.5  $\mu\text{m}$ )，可传多种模式的光。但其模间色散较大，这就限制了传输数字信号的频率，而且随距离的增加会更加严重。例如：600MB/KM 的光纤在 2KM 时则只有 300MB 的带宽了。因此，多模光纤传输的距离就比较近，一般只有几公里。

## 单模光纤

单模光纤(Single Mode Fiber) :中心玻璃芯很细(芯径一般为 9 或 10  $\mu\text{m}$ ) ,只能传一种模式的光。因此,其模间色散很小,适用于远程通讯,但还存在着材料色散和波导色散,这样单模光纤对光源的谱宽和稳定性有较高的要求,即谱宽要窄,稳定性要好。后来又发现在 1.31  $\mu\text{m}$  波长处,单模光纤的材料色散和波导色散一为正、一为负,大小也正好相等。这就是说在 1.31  $\mu\text{m}$  波长处,单模光纤的总色散为零。从光纤的损耗特性来看,1.31  $\mu\text{m}$  处正好是光纤的一个低损耗窗口。这样,1.31  $\mu\text{m}$  波长区就成了光纤通信的一个很理想的工作窗口,也是现在实用光纤通信系统的主要工作波段。1.31  $\mu\text{m}$  常规单模光纤的主要参数是由国际电信联盟 ITU - T 在 G652 建议中确定的,因此这种光纤又称 G652 光纤。

最佳传输窗口为依据

按最佳传输频率窗口分:常规型单模光纤和色散位移型单模光纤。

常规型:光纤生产厂家将光纤传输频率最佳化在单一波长的光上,如 1300  $\mu\text{m}$ 。

色散位移型:光纤生产厂家将光纤传输频率最佳化在两个波长的光上,如:1300  $\mu\text{m}$  和 1550  $\mu\text{m}$ 。

我们知道单模光纤没有模式色散所以具有很高的带宽,那么如果让单模光纤工作在 1.55  $\mu\text{m}$  波长区,不就可以实现高带宽、低损耗传输了吗?但是实际上并不是这么简单。常规单模光纤在 1.31  $\mu\text{m}$  处的色散比在 1.55  $\mu\text{m}$  处色散小得多。这种光纤如工作在 1.55  $\mu\text{m}$  波长区,虽然损耗较低,但由于色散较大,仍会给高速光通信系统造成严重影响。因此,这种光纤仍然不是理想的传输媒介。

为了使光纤较好地工作在 1.55  $\mu\text{m}$  处,人们设计出一种新的光纤,叫做色散位移光纤(DSF)。这种光纤可以对色散进行补偿,使光纤的零色散点从 1.31  $\mu\text{m}$  处移到 1.55  $\mu\text{m}$  附近。这种光纤又称为 1.55  $\mu\text{m}$  零色散单模光纤,代号为 G653。

G653 光纤是单信道、超高速传输的极好的传输媒介。现在这种光纤已用于通信干线网,特别是用于海缆通信类的超高速率、长中继距离的光纤通信系统中。

色散位移光纤虽然用于单信道、超高速传输是很理想的传输媒介，但当它用于波分复用多信道传输时，又会由于光纤的非线性效应而对传输的信号产生干扰。特别是在色散为零的波长附近，干扰尤为严重。为此，人们又研制了一种非零色散位移光纤即 G655 光纤，将光纤的零色散点移到  $1.55\ \mu\text{m}$  工作区以外的  $1.60\ \mu\text{m}$  以后或在  $1.53\ \mu\text{m}$  以前，但在  $1.55\ \mu\text{m}$  波长区内仍保持很低的色散。这种非零色散位移光纤不仅可用于现在的单信道、超高速传输，而且还可适应于将来用波分复用来扩容，是一种既满足当前需要，又兼顾将来发展的理想传输媒介。

还有一种单模光纤是色散平坦型单模光纤。这种光纤在  $1.31\ \mu\text{m}$  到  $1.55\ \mu\text{m}$  整个波段上的色散都很平坦，接近于零。但是这种光纤的损耗难以降低，体现不出色散降低带来的优点，所以目前尚未进入实用化阶段。

按折射率分布分

按折射率分布情况分：阶跃型和渐变型光纤。

阶跃型：光纤的纤芯折射率高于包层折射率，使得输入的光能在纤芯—包层交界面上不断产生全反射而前进。这种光纤纤芯的折射率是均匀的，包层的折射率稍低一些。光纤中心芯到玻璃包层的折射率是突变的，只有一个台阶，所以称为阶跃型折射率多模光纤，简称阶跃光纤，也称突变光纤。这种光纤的传输模式很多，各种模式的传输路径不一样，经传输后到达终点的时间也不相同，因而产生时延差，使光脉冲受到展宽。所以这种光纤的模间色散高，传输频带不宽，传输速率不能太高，用于通信不够理想，只适用于短途低速通讯，比如：工控。但单模光纤由于模间色散很小，所以单模光纤都采用突变型。这是研究开发较早的一种光纤，现在已逐渐被淘汰了。

为了解决阶跃光纤存在的弊端，人们又研制、开发了渐变折射率多模光纤，简称渐变光纤。

渐变型光纤：光纤中心芯到玻璃包层的折射率是逐渐变小，可使高次模的光按正弦形式传播，这能减少模间色散，提高光纤带宽，增加传输距离，但成本较高，现在的多模光纤多为渐变型光纤。渐变光纤的包层折射率分布与阶跃光纤一样，为均匀的。渐变光纤的纤芯折射率中心最大，沿纤芯半径方向逐渐减小。由

于高次模和低次模的光线分别在不同的折射率层界面上按折射定律产生折射,进入低折射率层中去,因此,光的行进方向与光纤轴方向所形成的角度将逐渐变小。同样的过程不断发生,直至光在某一折射率层产生全反射,使光改变方向,朝中心较高的折射率层行进。这时,光的行进方向与光纤轴方向所构成的角度,在各折射率层中每折射一次,其值就增大一次,最后达到中心折射率最大的地方。在这以后。和上述完全相同的过程不断重复进行,由此实现了光波的传输。可以看出,光在渐变光纤中会自觉地进行调整,从而最终到达目的地,这叫做自聚焦。

#### 按工作波长分

按光纤的工作波长分类,有短波长光纤、长波长光纤和超长波长光纤。

#### 常用光纤规格

单模: 8/125  $\mu\text{m}$ , 9/125  $\mu\text{m}$ , 10/125  $\mu\text{m}$

多模: 50/125  $\mu\text{m}$  欧洲标准 62.5/125  $\mu\text{m}$  美国标准

工业, 医疗和低速网络: 100/140  $\mu\text{m}$ , 200/230  $\mu\text{m}$

塑料光纤: 98/1000  $\mu\text{m}$  用于汽车控制。

#### 光纤制造

目前通信中所用的光纤一般是石英光纤。石英的化学名称叫二氧化硅( $\text{SiO}_2$ ),它和我们日常用来建房子所用的砂子的主要成分是相同的。但是普通的石英材料制成的光纤是不能用于通信的。通信光纤必须由纯度极高的材料组成;不过,在主体材料里掺入微量的掺杂剂,可以使纤芯和包层的折射率略有不同,这是有利于通信的。

制造光纤的方法很多,目前主要有:管内 CVD(化学汽相沉积)法,棒内 CVD 法,PCVD(等离子体化学汽相沉积)法和 VAD(轴向汽相沉积)法。但不论用哪一种方法,都要先在高温下做成预制棒,然后在高温炉中加温软化,拉成长丝,再进行涂覆、套塑,成为光纤芯线。光纤的制造要求每道工序都要相当精密,由计算机控制。在制造光纤的过程中,要注意:

光纤原材料的纯度必须很高。

必须防止杂质污染，以及气泡混入光纤。

要正确控制折射率的分布；

正确控制光纤的结构尺寸；

尽量减小光纤表面的伤痕损害，提高光纤机械强度。

### 光缆的优点

光导纤维是一种传输光束的细微而柔韧的媒质。光导纤维电缆由一捆光纤组成，简称为光缆。光缆是数据传输中最有效的一种传输介质，它的优点和光纤的优点类似，主要有以下几个方面：

(1) 频带较宽。

(2) 电磁绝缘性能好。光纤电缆中传输的是光束，由于光束不受外界电磁干扰与影响，而且本身也不向外辐射信号，因此它适用于长距离的信息传输以及要求高度安全的场合。当然，抽头困难是它固有的难题，因为割开的光缆需要再生和重发信号。

(3) 衰减较小。可以说在较长距离和范围内信号是一个常数。

(4) 中继器的间隔较大，因此可以减少整个通道中继器的数目，可降低成本。根据贝尔实验室的测试，当数据的传输速率为 420Mbps 且距离为 119 公里无中继器时，其误码率为，传输质量很好。而同轴电缆和双绞线每隔几千米就需要接一个中继器。

### 如何安装

在使用光缆互联多个小型机的应用中，必须考虑光纤的单向特性，如果要进行双向通信，那么就应使用双股光纤。由于要对不同频率的光进行多路传输和多路选择，因此在通信器件市场上又出现了光学多路转换器。

在普通计算机网络中安装光缆是从用户设备开始的。因为光缆只能单向传输。为了实现双向通信，光缆就必需成对出现，一个用于输入，一个用于输出。光缆两端接光学接口器。

安装光缆需格外谨慎。连接每条光缆时都要磨光端头，通过电烧烤或化学环氯工艺与光学接口连在一起，确保光通道不被阻塞。光纤不能拉得太紧，也不能形成直角。

### 常用光缆

光纤的类型由模材料(玻璃或塑料纤维)及芯和外层尺寸决定，芯的尺寸大小决定光的传输质量。常用的光缆有：

- 8.3 μm 芯、125 μm 外层、单模。
- 62.5 μm 芯、125 μm 外层、多模。
- 50 μm 芯、125 μm 外层、多模。
- 100 μm 芯、140 μm 外层、多模。

### 敷设方式

通信光缆自 70 年代开始应用以来，现在已经发展成为长途干线、市内电话中继、水底和海底通信以及局域网、专用网等有线传输的骨干，并且已开始向用户接入网发展，由光纤到路边(FTTC)、光纤到大楼(FTTB)等向光纤到户(FTTH)发展。针对各种应用和环境条件等，通信光缆有架空、直埋、管道、水底、室内等敷设方式。

### 架空光缆

架空光缆是架挂在电杆上使用的光缆。这种敷设方式可以利用原有的架空明线杆路，节省建设费用、缩短建设周期。架空光缆挂设在电杆上，要求能适应各种自然环境。架空光缆易受台风、冰凌、洪水等自然灾害的威胁，也容易受到外力影响和本身机械强度减弱等影响，因此架空光缆的故障率高于直埋和管道式的

光纤光缆。一般用于长途二级或二级以下的线路，适用于专用网光缆线路或某些局部特殊地段。

架空光缆的敷设法有两种：

1. 吊线式：先用吊线紧固在电杆上，然后用挂钩将光缆悬挂在吊线上，光缆的负荷由吊线承载。
2. 自承式：用一种自承式结构的光缆，光缆呈“8”字型，上部为自承线，光缆的负荷由自承线承载。

### 直埋光缆

这种光缆外部有钢带或钢丝的铠装，直接埋设在地下，要求有抵抗外界机械损伤的性能和防止土壤腐蚀的性能。要根据不同的使用环境和条件选用不同的护层结构，例如在有虫鼠害的地区，要选用有防虫鼠咬啮的护层的光缆。

根据土质和环境的不同，光缆埋入地下的深度一般在 0.8m 至 1.2m 之间。在敷设时，还必须注意保持光纤应变要在允许的限度内。

### 管道光缆

管道敷设一般是在城市地区，管道敷设的环境比较好，因此对光缆护层没有特殊要求，无需铠装。

管道敷设前必须选下敷设段的长度和接续点的位置。敷设时可以采用机械牵引或人工牵引。一次牵引的牵引力不要超过光缆的允许张力。

制作管道的材料可根据地理选用混凝土、石棉水泥、钢管、塑料管等。

### 水底光缆

水底光缆是敷设于水底穿越河流、湖泊和滩岸等处的光缆。这种光缆的敷设环境比管道敷设、直埋敷设的条件差得多。水底光缆必须采用钢丝或钢带铠装的结构，护层的结构要根据河流的水文地质情况综合考虑。例如在石质土壤、冲刷性强的季节性河床，光缆遭受磨损、拉力大的情况，不仅需要粗钢丝做铠装，甚

至要用双层的铠装。施工的方法也要根据河宽、水深、流速、河床、流速、河床土质等情况进行选定。

水底光缆的敷设环境条件比直埋光缆严峻得多,修复故障的技术和措施也困难得多,所以对水度光缆的可靠性要求也比直埋光缆高。

海底光缆也是水底电缆,但是敷设环境条件比一般水底光缆更加严峻,要求更高,对海底光缆系统及其元器件的使用寿命要求在 25 年以上。

### 海底光缆：结构与发展

1988 年,在美国与英国、法国之间敷设了越洋的海底光缆(TAT-8)系统,全长 6700 公里。这条光缆含有 3 对光纤,每对的传输速率为 280Mb/s,中继站距离为 67 公里。这是第一条跨越大西洋的通信海底光缆,标志着海底光缆时代的到来。1989 年,跨越太平洋的海底光缆(全长 13200 公里)也建设成功,从此,海底光缆就在跨越海洋的洲际海缆领域取代了同轴电缆,远洋洲际间不再敷设海底电缆。

光纤的传输容量大,中继站间的距离长,适用于海底长距离的通信。用于海底光缆的光纤比陆地光缆所用的光纤有更高的要求;要求低损耗、高强度、制造长度长,光缆的中继距离长,一般都在 50 公里以上,在光纤的传输性能方面要求在 25 年以内不会变化。在海底光缆的结构方面:要求能经受强大的压力和拉力,特别是深海光缆(敷设在水深 1000 米以上海底的光缆),在敷设和维修作业中除了光缆本身的重量外,还要加上海浪加到光缆上的动态应力,在如此大的负荷条件下,光缆的应变要限制在 0.7~0.8%之内;海底光缆的结构要求坚固、材料轻,但不能用轻金属铝,因为铝和海水会发生电化学反应而产生氢气,氢分子会扩散到光纤的玻璃材料中,使光纤的损耗变大。因此海底光缆既要防止内部产生氢气,同时还要防止氢气从外部渗入光缆。为此,在 90 年代初期,研制开发出一种涂碳或涂钛层的光纤,能阻止氢的渗透和防止化学腐蚀。光纤接头也要求是高强度的,要求接续保持原有光纤的强度和原有光纤的表面不受损伤。

按照上述要求和特点,海底光缆的基本结构是将经过一次或两次涂层处理后的光纤螺旋地绕包在中心加强构件(用钢丝制成)的周围。光纤设在螺旋形的U形槽塑料骨架中,槽内填满油膏或弹性塑料体形成纤芯。纤芯周围用高强度的钢丝绕包,在绕包过程中要把所有缝隙都用防水材料填满,再在钢丝周围绕包一层铜带并焊接搭缝,使钢丝和铜管形成一个抗压和抗拉的联合体,这个铜管还是传送远供电流的导体。在钢丝和铜管的外面还要再加一层聚乙烯护套。这样严密多层的结构是为了保护光纤、防止断裂以及防止海水的侵入,同时也是为了在敷设和回收修理时可以承受巨大的张力和压力。

即使是如此严密的防护,在80年代末还是发现过深海光缆的聚乙烯绝缘体被鲨鱼咬坏造成供电故障的实例。海缆系统的远程供电十分重要,海底电缆沿线的中继器,要靠登陆局远程供电工作。海底光缆用的数字中继器功能多,比海底电缆的模拟中继器的用电量要大好几倍,供电要求有很高的可靠性,不能中断。因此在有鲨鱼出没的地区,在海底光缆的外面还要加上钢带绕包两层和再加一层聚乙烯外护套。

进入90年代,海底光缆已经和卫星通信成为当代洲际通信的主要手段。我国自1989年开始到1998年底已经先后参与了18条国际海底光缆的建设与投资。其中第一个在中国登陆的国际海底光缆系统是1993年12月建成的中国——日本(C-J)海底光缆系统。1996年2月中韩海底光缆建成开通,分别在我国青岛和韩国泰安登陆,全长549公里;1997年11月,我国参与建设的全球海底光缆系统(FLAG)建成并投入运营,这是第一条在我国登陆的洲际光缆系统,分别在英国、埃及、印度、泰国、日本等12个国家和地区登陆,全长27000多公里,其中中国段为622公里;由中国电信和新加坡等地的电信公司共同发起的亚欧海底光缆系统,延伸段正在建设,该系统连接亚洲、欧洲和大洋洲,在33个国家和地区登陆,全长达38000公里,是世界上最长的海底光缆,采用先进的8波长波分复用技术,主干路由的设计容量高达40Gb/s,将在我国上海、汕头两地登陆,预计1999年底建成开通。

海底光缆承担的洲际通信业务量逐年上升,已经超过了卫星通信的业务量,成为现代洲际通信的主力。

## 最细的光纤

英国巴斯大学的物理学家们研究出世界上最细的用于通讯的光缆。每根光缆长为 10 公里，每个结仅有 0.00000001 毫米粗。

## 塑料光纤

很早以前人们就考虑过用塑料来制造光纤，但是由于塑料光纤的衰减太大、带宽太窄而没有考虑用于通信。近年来，通过日本、美国和欧洲一些国家的研究开发，降低了塑料光纤的衰减、增大了带宽，使它用于短距离的接入网成为可能。

塑料光纤最主要的优点是成本低、易于加工、重量轻、可挠性好、芯径和数值孔径都比较大，耦合效率较高，对施工和维护都比较方便。目前，塑料光纤大都用在短波长，GI 结构。据报道，日本和美国研制出的塑料光纤在 100m 上可以达到吉比特级。目前其市场正逐步上升，年增长率约为 20%，这很值得注意。

## 神鹰之目 导弹制导

用光纤制导导弹有些人可能迷惑不解。光纤细如蛛丝，高速飞行的导弹会不会拉断光纤呢？这的确是光纤制导中的一个关键问题。一般市场上出售的光纤的抗拉强度，远不能满足光纤制导的要求。而光纤制导用的光纤，是经过特殊加工的。这种光纤的外径只有 300 微米左右，可承受巨大的拉力，足以满足光纤制导的要求。

光纤制导就如同放风筝一样，制导导弹可从车辆和直升飞机上发射。操纵人员通过屏幕显示器观察导弹寻的器传来的信号，有如随同导弹一起飞向目标，当然其命中精度要高得多。导弹向前飞行时，从弹体内拉出一根细光纤。操纵手通过这根光纤向导弹发出控制指令。导弹就如同长“眼睛”一样盯住目标，直到击中为止。那么，光纤制导的导弹为什么能跟踪目标呢？原来这种导弹除了装有发动机、战斗部分和控制系统外，还在导弹头部安装“成像式寻的器”，如电视摄像机、红外线成像传感器等。它们起到眼睛的作用。实际上，导弹并不是瞄准目标发射，而是垂直发射的。当导弹飞到一定高度，寻的器“看”到地面情况，先将地物反射的光变换成电信号，再把电信号转变成一定波长的光信号，通过光纤

下行传回发射装置，并在显示器上显示出图像来。操纵手根据显示的图像选择目标，发出指令并通过光纤上传送给导弹，将导弹导引到目标上。

这根纤细的光纤在导弹和发射装置之间，起着双向传输光信号的作用。那么，上行和下行的光信号能否产生干扰呢？如果上行和下行的光信号采用同一波长的光，肯定会产生干扰的。但是光纤制导的下行光信号是镱铝砷激光器发出的波长为 850 纳米的红外激光，而上行光信号是铟镓砷磷发光二极管发射的波长为 1.06 微米的红外光，由于这两束光的波长不同，所以在光纤中传播不会产生互相干扰，并且可以通过光纤两端的双向耦合器把两者分开。

光纤制导技术，由于光信号在光纤中传播，所以不受大气的干扰，抗干扰的能力强，精度也高，由于光纤制导使用单根光纤，而红外有线制导使用两根导线，所以又具有体积小、重量轻的特点。这些优点使光纤制导具有广阔的发展前景。

#### 白衣天使的新搭档

光纤在医学上的应用自然首推胃镜了。

自 1869 年德国医生库什莫尔（Kussmaul）首先制成第一台胃镜以来，胃镜经历了 100 多年的历史。由硬式而至半曲，由金属而至光学纤维胃镜。纤维胃镜的普及确定是 30 年来胃肠病学领域划时代的进展，纤细而可屈的镜身，灵活的操纵部，日益变广的视角，越来越大的弯曲度使食道、胃、十二指肠粘膜在胃镜视野内暴露无遗，从而使消化科医师对胃粘膜病变识别有如皮肤科医师对皮损的观察，清晰、形象而逼真，胃镜检查等于给医生装上了可深入病人体内的“望远镜”。对于一个熟练的操作者，也不再存在盲区。因此，胃镜对临床诊断及随访观察都提供了最佳的工具。加上闭路电视及录像装置的配备，使图像再现十分方便，使用胃镜可以准确而高效地诊断各种食道、胃、十二指肠疾病。

# 塑料光纤及塑料光纤网络的短距离通信的优势、塑料光纤的研究进程及标准化 以及应用展望

## 一、引言

我们知道，在长距离通信中光纤早已唱起了主角，而在短距离如家庭内、交通工具内、办公大楼及办公室内的通信和多媒体传输中光纤的运用目前却还很少。但随着 INTERNET 数据通信、视频点播、可视电话、电视会议等多媒体业务的迅速扩大，对物理网络的宽带化、高速化提出了更高的要求，使光纤到户和光纤到桌面的传输网络逐步取代现有的光电混合形式成为最理想的传输网络，为用户提供宽带高速的信息服务，从而推动了全光交换技术的不断发展。在全光交换网络中，为用户提供宽带高速的信息服务，从而推动了全光交换技术的不断发展。在全光交换网络中，石英光纤来说，传输带宽和电磁兼容完全能满足使用要求，且网络技术很成熟，但熔接及器件成本高使其作为接入媒介主力受到限制。而塑料光纤在高速短距离通信传输中成本也对称电缆相当，在 100 米范围内传输带宽可达数 GHz，且易连接，可挠性好、易于弯曲等优势，尽管目前其系统性能还处于研究或应用初期阶段，但它在未来短距离通信中所担当的角色是不可忽视，它在价格及性能上的优势，使其在网络全光化中入户接入方面的应用具有广泛的前景。

## 二、塑料光纤及塑料光纤网络的优势

目前室内短距离信息传输媒介或技术主要有以下几种：

### 1、以基于铜导体的对绞线的同轴电缆

这一种使用成本低且满足现实需求而使用最多，但若满足用户将来对带宽和速率的更高要求，需要为克服电磁干扰、信息保密、扩大带宽、提高传输速率、保证传输距离等投入很高的研究资金，使用成本也因使用昂贵复杂的电子装置而变得很高，综合竞争力降低。

### 2、单模和多模石英光纤

该种技术比较成熟，但石英光纤芯径很细（ $10\ \mu\text{m}$ ）导致连接困难而成本较高，光电子器件技术要求高、价格昂贵，其易脆断和弯曲损耗限制其在狭窄空间

中安装使用。

### 3、红外及短距离移动通信等无线技术

此种技术在目前比较热闹门，世界各国对移动通讯的技术研究投入很大，技术也日新月异，相关产品更新换代速度很快，但当数据无线传输技术应用于象室内、交通工具内这样的短距离通讯时其使用成本就比较高，且电磁干扰问题、环境影响问题、传输带宽和速率问题，或为解决这些问题所必须的高研究成本和昂贵的使用设备投入等将会是其在短距离通信中应用的主要障碍。从现实实用和技术研究发展趋势看，要克服铜导体和无线传输技术的缺陷，POF 是实现短距离高速传输的优先选择目标。

塑料光纤（POF）与石英光纤相比，具有以下优点：

\*模量低，芯径大（0.3-1.0mm），接续时可使用简单的 POF 连接器，即使是光纤接续中心对准产生 30  $\mu\text{m}$  的偏差也不会影响耦合损耗；

\*数值孔径大（NA0.5 左右），受光角  $\theta$  可达 60°，而石英光纤只有 16°，可用便宜的 LED，并且耦合效率高；

\*挠曲性好，易于加工和使用；

\*在可见光区有低损耗窗口；

\*重量轻；

\*成本及加工费用低。

POF 网络在局域网系统中与其它传输介质相比，具有明显的优点：

\*POF 对电磁干扰不敏感，也不发生辐射，不同数据速率下的衰减恒定，误码率可预测，能在电噪声环境中使用；

\*其尺寸较长，可降低接头设计中公差控制的要求，故成网成本较低等。

现将 POF 与目前成本低、室内接入使用最流行的铜介质作比较：

目前 SI 型 POF 的使用成本与 UTP-5 电缆的相当，但传输性能和环境适当性比电缆好得多；同轴电缆的传输性能比较好，但使用距离最大 90 米，电缆外径大，也不易弯曲，影响安装使用，与之配套的电子设备和连接器件价格昂贵。

随着 POF 制造技术和原材料制备技术的不断进步，POF 的生产成本还会不断的降低；从目前的激光器、光电子集成器件、连接器的发展情况看，国内及国际

的相关技术进步很快，随着生产规模的不断扩大，相信发送接收器件的成本会有较大幅度的下降，使 POF 在接入通信中更具优势。

### 三、塑料光纤国内研究进程

塑料光纤的研究始于二十世纪 60 年代。1968 年美国杜邦公司用聚甲基丙烯酸甲酯为芯材制备出塑料光纤，但光损耗较大。1974 年日本三菱人造丝公司以 PMMA 和聚苯乙烯为芯材、以低折射率的氟塑料为包层开发出塑料光纤，其光损耗为 3500dB/km，难以用于通信。

80 年代日本的一些大企业和大学对低损耗塑料光纤的制备进行了大量的研究。1980 年三菱公司以高纯 MMA 单体聚合 PMMA，使塑料光纤损耗下降到 100-200dB/km。1983 年 NTT 公司开始用氘取代 PMMA 中的 H 原子，使最低光损耗可达到 20dB/km，并可传输近红外到可见光的光波。

1986 年，日本 Fujitsu 公司以 PC 为纤芯材料开发出 SI 型耐热 POF，耐热温度可达 135 摄氏度，衰减达 450dB/km。

1990 年，日本庆应大学的小池助教授开发成功折射率渐变型的塑料光纤，芯材为含氟 PMMA、包层为含氟，用界面凝胶技术制造。

该塑料光纤衰减在 60db/km 以下，光源 650-1300nm，100m 带宽 3GHz，传输速率 10Gb/s，超过了 GI 型石英光纤，并被广泛认为是高速多媒体时代光纤入户的新型光通信媒介。

1996 年，人们纷纷建议以塑料光纤为基础建立极低成本的用户网 ATM 物理层；1997 年，日本 NEC 公司进行了 155Mbit/s 的 ATM、LAN 的试验。

在 2000 年 OFC 会议上，日本 ASAHI GLASS 公司报道了氟化梯度塑料光纤衰减系数在 850nm 为 41dB/km，在 1300nm 为 33dB/km，带宽已达 100MHz.km。用这种光纤成功地进行了 50m、2.5Gbit/s 的高速传输试验和 70 摄氏度长期热老化试验。实验结论为氟化梯度塑料光纤完全能满足短距离的通信使用要求。

从国外的研究发展来看，塑料光纤的研究重点主要集中在以下三个方面：

\*降低光损耗；

\*提高带宽（由 SI 型转为 GI 型）；

\*提高耐热性。(聚碳酸酯(PC)、硅树脂、交联丙烯酸和共聚物可使耐热性提高到 125-150 摄氏度)

塑料光纤在衰减与带宽方面的最新实用进展为:日本 ASAHI GLASS 公司 2000 年 7 月称,该公司实施庆应大学的 GI-POF 技术商品化,采用全氟化聚合物 CYTOP 制造 GI 光纤,命名为 GI-GOF,商品名为 Lucina,衰减速率 3Gb/s,带宽大于 200MHz.km。

塑料光纤在耐热性方面的最新实用进展为:日本 JSR 与旭化株式会社联合发展耐热透明树脂 ARTON(norbornene,冰片烯)制造的 SI-POF,耐热 170 摄氏度,预计 2001 年上半年即可供应汽车市场。

#### 四、塑料光纤的标准化

随着 POF 技术的日趋成熟,产品在通信系统中的应用量不断扩大,人们对 POF 的技术性能及标准化进行了深入的研究,并制订出相应的标准,为塑料光纤的产业化打下基础。

ATM 论坛于 1997 年 5 月通过 155Mb/s POF 和硬塑料包层的标准,标准规定;在传输距离为 50 米、用 155Mbps 速率传输时使用 POF,在传输距离为 100 米时,使用硬塑料包层石英光纤。该标准中规定的一种 POF 是一种芯层和包层材料的折射率差很小的低数值孔径 POF。这种 POF 的带宽特性随光入射条件的变化而变化,当全模激励时,传输距离为 100m 时为 20MHz,带宽特性良好。

#### 五、塑料光纤短距离通信应用展望

塑料光纤作为短距离通信网络的理想传输介质,在未来家庭智能化、办公自动化、工控网络化。车载机载通信网、军事通信网的数据传输中具有重要的地位。

通过塑料光纤,我们可实现智能家电(家用 PC、HDTV、电话、数字成像设备、家庭安全设备、空调、冰箱、音响系统、厨用电器等)的联网,达到家庭自动化和远程控制管理,提高生活质量;通过塑料光纤,我们可实现办公设备的联网,如计算机联网可以实现计算机并行处理,办公设备间数据的高速传输可大大提高工作效率,实现远程办公等。

在低速局域网的数据速率小于 100Mbps 时,100 米范围内的传输用 SI 型塑料光纤即可实现;150Mbps50 米范围内的传输可用小数值孔径 POF 实现。

POF 在制造工业中可得到广泛的应用。通过转换器 POF 可以与 RS232、RS422、100Mbps 以太网、令牌网等标准协议接口相连，从而在恶劣的工业制造环境中提供稳定、可靠的通信线路。能够高速地传输工业控制信号和指令，避免因使用金属电缆线路而受电磁干扰导致通信传输中断的危险。

POF 重量轻且耐用，可以将车载机通信网络和控制系统组成一个网络，将微型计算机、卫星导航设备、移动电话、传真等外设纳入机车整体设计中，旅客还可通过塑料光纤网络在座位上享受音乐、电影、视频游戏、购物、Internet 等服务、

在军事通信上，POF 正在被开发用于高速传输大量的第三、保密信息，如利用 POF 重量轻、可挠性好、连接快捷，适用于在身配戴的特点，用于士兵穿戴式的轻型计算机系统，并能够插入通信网络下载、存储、发送、接收关键任务信息，且在头盔显示器中显示。

综上所述，塑料光纤的应用领域越来越广，国外在塑料光纤的应用开发上已取得了较大的成果，且不断在在加大新的应用研究投入，我国亦应就塑料光纤的研究和发展予以密切注视。

## 造成光纤衰减的多种原因

1、造成光纤衰减的主要因素有：本征，弯曲，挤压，杂质，不均匀和对接等。

本征：是光纤的固有损耗，包括：瑞利散射，固有吸收等。

弯曲：光纤弯曲时部分光纤内的光会因散射而损失掉，造成损耗。

挤压：光纤受到挤压时产生微小的弯曲而造成的损耗。

杂质：光纤内杂质吸收和散射在光纤中传播的光，造成的损失。

不均匀：光纤材料的折射率不均匀造成的损耗。

对接：光纤对接时产生的损耗，如：不同轴(单模光纤同轴度要求小于 0.8  $\mu\text{m}$ )，端面与轴心不垂直，端面不平，对接心径不匹配和熔接质量差等。

当光从光纤的一端射入，从另一端射出时，光的强度会减弱。这意味着光信号通过光纤传播后，光能量衰减了一部分。这说明光纤中有某些物质或因某种原因，阻挡光信号通过。这就是光纤的传输损耗。只有降低光纤损耗，才能使光信号畅通无阻。

## 2、光纤损耗的分类

光纤损耗大致可分为光纤具有的固有损耗以及光纤制成后由使用条件造成的附加损耗。具体细分如下：

光纤损耗可分为固有损耗和附加损耗。

固有损耗包括散射损耗、吸收损耗和因光纤结构不完善引起的损耗。

附加损耗则包括微弯损耗、弯曲损耗和接续损耗。

其中，附加损耗是在光纤的铺设过程中人为造成的。在实际应用中，不可避免地要将光纤一根接一根地接起来，光纤连接会产生损耗。光纤微小弯曲、挤压、

拉伸受力也会引起损耗。这些都是光纤使用条件引起的损耗。究其主要原因是在这些条件下，光纤纤芯中的传输模式发生了变化。附加损耗是可以尽量避免的。下面，我们只讨论光纤的固有损耗。

固有损耗中，散射损耗和吸收损耗是由光纤材料本身的特性决定的，在不同的工作波长下引起的固有损耗也不同。搞清楚产生损耗的机理，定量地分析各种因素引起的损耗的大小，对于研制低损耗光纤，合理使用光纤有着极其重要的意义。

### 3、材料的吸收损耗

制造光纤的材料能够吸收光能。光纤材料中的粒子吸收光能以后，产生振动、发热，而将能量散失掉，这样就产生了吸收损耗。

我们知道，物质是由原子、分子构成的，而原子又由原子核和核外电子组成，电子以一定的轨道围绕原子核旋转。这就像我们生活的地球以及金星、火星等行星都围绕太阳旋转一样，每一个电子都具有一定的能量，处在某一轨道上，或者说每一轨道都有一个确定的能级。距原子核近的轨道能级较低，距原子核越远的轨道能级越高。轨道之间的这种能级差别的大小就叫能级差。当电子从低能级向高能级跃迁时，就要吸收相应级别的能级差的能量。

在光纤中，当某一能级的电子受到与该能级差相对应的波长的光照射时，则位于低能级轨道上的电子将跃迁到能级高的轨道上。这一电子吸收了光能，就产生了光的吸收损耗。

制造光纤的基本材料二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 本身就吸收光，一个叫紫外吸收，另一个叫红外吸收。目前光纤通信一般仅工作在  $0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$  波长区，因此我们只讨论这一工作区的损耗。

石英玻璃中电子跃迁产生的吸收峰在紫外区的  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$  波长左右。随着波长增大，其吸收作用逐渐减小，但影响区域很宽，直到  $1 \mu\text{m}$  以上的波长。不过，紫外吸收对在红外区工作的石英光纤的影响不大。例如，在  $0.6 \mu\text{m}$  波长的

可见光区，紫外吸收可达  $1\text{dB}/\text{km}$ ，在  $0.8\ \mu\text{m}$  波长时降到  $0.2\sim 0.3\text{dB}/\text{km}$ ，而在  $1.2\ \mu\text{m}$  波长时，大约只有  $0.1\text{dB}/\text{km}$ 。

石英光纤的红外吸收损耗是由红外区材料的分子振动产生的。在  $2\ \mu\text{m}$  以上波段有几个振动吸收峰。由于受光纤中各种掺杂元素的影响，石英光纤在  $2\ \mu\text{m}$  以上的波段不可能出现低损耗窗口，在  $1.85\ \mu\text{m}$  波长的理论极限损耗为  $1\text{dB}/\text{km}$ 。

通过研究，还发现石英玻璃中有一些“破坏分子”在捣乱，主要是一些有害过渡金属杂质，如铜、铁、铬、锰等。这些“坏蛋”在光照射下，贪婪地吸收光能，乱蹦乱跳，造成了光能的损失。清除“捣乱分子”，对制造光纤的材料进行格的化学提纯，就可以大大降低损耗。

石英光纤中的另一个吸收源是氢氧根 ( $\text{OH}^-$ ) 期的研究，人们发现氢氧根在光纤工作波段上有三个吸收峰，它们分别是  $0.95\ \mu\text{m}$ 、 $1.24\ \mu\text{m}$  和  $1.38\ \mu\text{m}$ ，其中  $1.38\ \mu\text{m}$  波长的吸收损耗最为严重，对光纤的影响也最大。在  $1.38\ \mu\text{m}$  波长，含量仅占  $0.0001$  的氢氧根产生的吸收峰损耗就高达  $33\text{dB}/\text{km}$ 。

这些氢氧根是从哪里来的呢？氢氧根的来源很多，一是制造光纤的材料中有水分和氢氧化合物，这些氢氧化合物在原料提纯过程中不易被清除掉，最后仍以氢氧根的形式残留在光纤中；二是制造光纤的氢氧化物中含有少量的水分；三是光纤的制造过程中因化学反应而生成了水；四是外界空气的进入带来了水蒸气。然而，现在的制造工艺已经发展到了相当高的水平，氢氧根的含量已经降到了足够低的程度，它对光纤的影响可以忽略不计了。

#### 4、散射损耗

在黑夜里，用手电筒向空中照射，可以看到一束光柱。人们也曾看到过夜空中探照灯发出粗大光柱。那么，为什么我们会看见这些光柱呢？这是因为有许多烟雾、灰尘等微小颗粒浮游于大气之中，光照射在这些颗粒上，产生了散射，就射向了四面八方。这个现象是由瑞利最先发现的，所以人们把这种散射命名为“瑞利散射”。

散射是怎样产生的呢？原来组成物质的分子、原子、电子等微小粒子是以某些固有频率进行振动的，并能释放出波长与该振动频率相应的光。粒子的振动频率由粒子的大小来决定。粒子越大，振动频率越低，释放出的光的波长越长；粒子越小，振动频率越高，释放出的光的波长越短。这种振动频率称做粒子的固有振动频率。但是这种振动并不是自行产生，它需要一定的能量。一旦粒子受到具有一定波长的光照射，而照射光的频率与该粒子固有振动频率相同，就会引起共振。粒子内的电子便以该振动频率开始振动，结果是该粒子向四面八方散射出光，入射光的能量被吸收而转化为粒子的能量，粒子又将能量重新以光能的形式射出去。因此，对于在外部观察的人来说，看到的好像是光撞到粒子以后，向四面八方飞散出去了。

光纤内也有瑞利散射，由此而产生的光损耗就称为瑞利散射损耗。鉴于目前的光纤制造工艺水平，可以说瑞利散射损耗是无法避免的。但是，由于瑞利散射损耗的大小与光波长的4次方成反比，所以光纤工作在长波长区时，瑞利散射损耗的影响可以大大减小。

## 5、先天不足，爱莫能助

光纤结构不完善，如由光纤中有气泡、杂质，或者粗细不均匀，特别是芯-包层界面不平滑等，光线传到这些地方时，就会有一部分光散射到各个方向，造成损耗。这种损耗是可以想办法克服的，那就是要改善光纤制造的工艺。

散射使光射向四面八方，其中有一部分散射光沿着与光纤传播相反的方向反射回来，在光纤的入射端可接收到这部分散射光。光的散射使得一部分光能受到损失，这是人们所不希望的。但是，这种现象也可以为我们所利用，因为如果我们在发送端对接收到的这部分光的强弱进行分析，可以检查出这根光纤的断点、缺陷和损耗大小。这样，通过人的聪明才智，就把坏事变成了好事。