

# 光纤

微细的光纤封装在塑料护套中，使得它能够弯曲而不至于断裂。通常，光纤的一端的发射装置使用发光二极管（light emitting diode,LED）或一束激光将光脉冲传送至光纤，光纤的另一端的接收装置使用光敏元件检测脉冲。



在日常生活中，由于光在光导纤维的传导损耗比电在电线传导的损耗低得多，光纤被用作长距离的信息传递。

通常光纤与光缆两个名词会被混淆。多数光纤在使用前必须由几层保护结构包覆，包覆后的缆线即被称为光缆。光纤外层的保护层和绝缘层可防止周围环境对光纤的伤害，如水、火、电击等。光缆分为：光纤，缓冲层及披覆。光纤和同轴电缆相似，只是没有网状屏蔽层。中心是光传播的玻璃芯。

在多模光纤中，芯的直径是  $50\mu\text{m}$  和  $62.5\mu\text{m}$  两种，大致与人的头发的粗细相当。而单模光纤芯的直径为  $8\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 。芯外面包围着一层折射率比芯低的玻璃封套，以使光线保持在芯内。再外面的是一层薄的塑料外套，用来保护封套。光纤通常被扎成束，外面有外壳保护。纤芯通常是由石英玻璃制成的横截面积很小的双层同心圆柱体，它质地脆，易断裂，因此需要外加一保护层。

编辑本段发展历史发明

1870年的一天，英国物理学家丁达尔到皇家学会的演讲厅讲光的全反射原理，他做了一个简单的实验：在装满水的木桶上钻个孔，然后用灯从桶上边把水照亮。结果使观众们大吃一惊。人们看到，放水的水从水桶的小孔里流了出来，水流弯曲，光线也跟着弯曲，光居然被弯弯曲曲的水俘获了。

人们曾经发现，光能沿着从酒桶中喷出的细酒流传输；人们还发现，光能顺着弯曲的玻璃棒  
光纤

前进。这是为什么呢？难道光线不再直进了吗？这些现象引起了丁达尔的注意，经过他的研究，发现这是全反射的作用，即光从水中射向空气，当入射角大于某一角度时，折射光线消失，全部光线都反射回水中。表面上看，光好像在水流中弯曲前进。

后来人们造出一种透明度很高、粗细像蜘蛛丝一样的玻璃丝——玻璃纤维，当光线以合适的角度射入玻璃纤维时，光就沿着弯弯曲曲的玻璃纤维前进。由于这种纤维能够用来传输光线，所以称它为光导纤维。

大事记

1880-AlexandraGrahamBell 发明光束电话传输

光纤

1960-电射及光纤之发明

1960-玻璃纤维的传输损耗大于  $1000\text{dB}/\text{km}$ ，其他材料包括光圈波导、气体透镜波导、空心金属波导管等

1966-七月，英籍、华裔学者高锟博士（K.C.Kao）在 PIEEE 杂志上发表论文《光频率的介质纤维表面波导》，从理论上分析证明了用光纤作为传输媒体以实现光通信的可能性，并预言了制造通信用的超低耗光纤的可能性

1970-美国康宁公司三名科研人员马瑞尔、卡普隆、凯克用改进型化学相沉积法（MCVD 法）成功研制成传输损耗只有 20dB/km 的低损耗石英光纤。

1970-美国贝尔实验室研制出世界上第一只在室温下连续波工作的砷化镓铝半导体激光器

1972-传输损耗降低至 4dB/km

1973-我国邮电部武汉邮电学院开始研究光纤通信

1974-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），使光纤传输损耗降低到 1.1dB/km。

1976-美国在亚特兰大的贝尔实验室地下管道开通了世界上第一条光纤通信系统的试验线路。采用一条拥有 144 个光纤的光缆以 44.736Mbps 的速率传输信号，中继距离为 10 km。采用的是多模光纤，光源用的是发光管 LED，波长是 0.85 微米的红外光。

1976-传输损耗降低至 0.5dB/km

1977-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

1977-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

1977-首次实际安装电话光纤网路

1978-FORT 在法国首次安装其生产之光纤电

1979-赵梓森拉制出我国自主研发的第一根实用光纤，被誉为“中国光纤之父”

1979-传输损耗降低至 0.2dB/km

1980-多模光纤通信系统商用化（140Mb/s），并着手单模光纤通信系统的现场试验工作

1982-我国邮电部重点科研工程“八二工程”在武汉开通

1990-单模光纤通信系统进入商用化阶段（565Mb/s），并着手进行零色散移位光纤和波分复用及相干通信的现场试验，而且陆续制定数字同步体系（SDH）的技术标准

1990-传输损耗降低至 0.14dB/km，已经接近石英光纤的理论衰耗极限值 0.1dB/km

1990-区域网络及其他短距离传输应用之光纤

1992-贝尔实验室与日本合作伙伴成功地试验了可以无错误传输 9000 公里的光放大器，其最初速率为 5Gbps，随后增加到 10Gbps

1993-SDH 产品开始商用化（622Mb/s 以下）

1995-2.5Gb/s 的 SDH 产品进入商用化阶段

1996-10Gb/s 的 SDH 产品进入商用化阶段

1997-采用波分复用技术（WDM）的 20Gb/s 和 40Gb/s 的 SDH 产品试验取得重大突破

1999-中国生产的 8×2.5Gb/sWDM 系统首次在青岛至大连开通，沈阳至大连的 32×2.5Gb/sWDM 光纤通信系统开通

2000-到屋边光纤=>到桌边光纤

2005-3.2Tbps 超大容量的光纤通信系统在上海至杭州开通

2005 FTTH(Fiber To The Home)光纤直接到家庭

2012 年，中国的光纤产能已达到 1 亿 2 千万芯公里，预计到 2013 年将达到 1 亿 8 千万芯公里。

原理种类光及其特性：

1.光是一种电磁波

可见光部分波长范围是：390~760nm(纳米)。大于 760nm 部分是红外光，小于 390nm 部分是

紫外光。光纤中应用的是：850nm，1310nm，1550nm 三种。

## 2.光的折射，反射和全反射。

因光在不同物质中的传播速度是不同的，所以光从一种物质射向另一种物质时，在两种物质的交界面处会产生折射和反射。而且，折射光的角度会随入射光的角度变化而变化。当入射光的角度达到或超过某一角度时，折射光会消失，入射光全部被反射回来，这就是光的全反射。不同的物质对相同波长光的折射角度是不同的（即不同的物质有不同的光折射率），相同的物质对不同波长光的折射角度也是不同。光纤通讯就是基于以上原理而形成的。

### 1.光纤结构：

光纤裸纤一般分为三层：中心高折射率玻璃芯（芯径一般为 50 或 62.5  $\mu\text{m}$ ），中间为低折射率硅玻璃包层（直径一般为 125  $\mu\text{m}$ ），最外是加强用的树脂涂层。

#### 光纤

### 2.数值孔径：

入射到光纤端面的光并不能全部被光纤所传输，只是在某个角度范围内的入射光才可以。这个角度就称为光纤的数值孔径。光纤的数值孔径大些对于光纤的对接是有利的。不同厂家生产的光纤的数值孔径不同（AT&T CORNING）。

### 3.光纤的种类：

光纤的种类很多，根据用途不同，所需要的功能和性能也有所差异。但对于有线电视和通信用的光纤，其设计和制造的原则基本相同，诸如：①损耗小；②有一定带宽且色散小；③接线容易；④易于成统；⑤可靠性高；⑥制造比较简单；⑦价廉等。光纤的分类主要是从工作波长、折射率分布、传输模式、原材料和制造方法上作一归纳的，兹将各种分类举例如下。

（1）工作波长：紫外光纤、可观光纤、近红外光纤、红外光纤（0.85  $\mu\text{m}$ 、1.3  $\mu\text{m}$ 、1.55  $\mu\text{m}$ ）。

（2）折射率分布：阶跃（SI）型光纤、近阶跃型光纤、渐变（GI）型光纤、其它（如三角型、W 型、凹陷型等）。

（3）传输模式：单模光纤（含偏振保持光纤、非偏振保持光纤）、多模光纤。

（4）原材料：石英光纤、多成分玻璃光纤、塑料光纤、复合材料光纤（如塑料包层、液体纤芯等）、红外材料等。按被覆材料还可分为无机材料（碳等）、金属材料（铜、镍等）和塑料等。

（5）制造方法：预塑有汽相轴向沉积（VAD）、化学汽相沉积（CVD）等，拉丝法有管律法（Rod intube）和双坩锅法等。

#### 一 石英光纤

石英光纤（Silica Fiber）是以二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）为主要原料，并按不同的掺杂量，来控制纤芯和包层的折射率分布的光纤。石英（玻璃）系列光纤，具有低耗、宽带的特点，现在已广泛应用于有线电视和通信系统。

石英玻璃光导纤维的优点是损耗低,当光波长为 1.0~1.7  $\mu\text{m}$ （约 1.4  $\mu\text{m}$  附近），损耗只有 1dB/km，在 1.55  $\mu\text{m}$  处最低，只有 0.2dB/km。

#### 二 掺氟光纤

掺氟光纤（Fluorine Doped Fiber）为石英光纤的典型产品之一。通常，作为 1.3  $\mu\text{m}$  波域的通信用光纤中，控制纤芯的掺杂物为二氧化锗（ $\text{GeO}_2$ ），包层是用  $\text{SiO}_2$  作成的。但掺氟光纤的纤芯，大多使用  $\text{SiO}_2$ ，而在包层中却是掺入氟素的。由于，瑞利散射损耗是因折射率的变动而引起的光散射现象。所以，希望形成折射率变动因素的掺杂物，以少为佳。氟素的作用主要是可以降低  $\text{SiO}_2$  的折射率。因而，常用于包层的掺杂。

石英光纤与其它原料的光纤相比，还具有从紫外线光到近红外线光的透光广谱，除通信用途之外，还可用于导光和图像传导等领域。

### 三 红外光纤

作为光通信领域所开发的石英系列光纤的工作波长，尽管用在较短的传输距离，也只能用于  $2\mu\text{m}$ 。为此，能在更长的红外波长领域工作，所开发的光纤称为红外光纤。红外光纤 (Infrared Optical Fiber) 主要用于光能传送。例如有：温度计量、热图像传输、激光手术刀医疗、热能加工等等，普及率尚低。

### 四 复合光纤

复合光纤 (Compound Fiber) 是在  $\text{SiO}_2$  原料中，再适当混合诸如氧化钠 ( $\text{Na}_2\text{O}$ )、氧化硼 ( $\text{B}_2\text{O}_3$ )、氧化钾 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 等氧化物制作成多组分玻璃光纤，特点是多组分玻璃比石英玻璃的软化点低且纤芯与包层的折射率差很大。主要用在医疗业务的光纤内窥镜。

### 五 氟氯化物光纤

氟化物光纤氯化物光纤 (Fluoride Fiber) 是由氟化物玻璃作成的光纤。这种光纤原料又简称 ZBLAN (即将氟化锆 ( $\text{ZrF}_2$ )、氟化钡 ( $\text{BaF}_2$ )、氟化镧 ( $\text{LaF}_3$ )、氟化铝 ( $\text{AlF}_3$ )、氟化钠 ( $\text{NaF}$ ) 等氯化物玻璃原料简化成的缩写。主要工作在  $2\sim 10\mu\text{m}$  波长的光传输业务。由于 ZBLAN 具有超低损耗光纤的可能性，正在进行着用于长距离通信光纤的可行性开发，例如：其理论上的最低损耗，在  $3\mu\text{m}$  波长时可达  $10^{-2}\sim 10^{-3}\text{dB/km}$ ，而石英光纤在  $1.55\mu\text{m}$  时却在  $0.15\sim 0.16\text{dB/km}$  之间。目前，ZBLAN 光纤由于难于降低散射损耗，只能用在  $2.4\sim 2.7\mu\text{m}$  的温敏器和热图像传输，尚未广泛实用。最近，为了利用 ZBLAN 进行长距离传输，正在研制  $1.3\mu\text{m}$  的掺镨光纤放大器 (PDFA)。

### 六 塑包光纤

塑包光纤 (Plastic Clad Fiber) 是将高纯度的石英玻璃作成纤芯，而将折射率比石英稍低的如硅胶等塑料作为包层的阶跃型光纤。它与石英光纤相比较，具有纤芯粗、数值孔径 (NA) 高的特点。因此，易与发光二极管 LED 光源结合，损耗也较小。所以，非常适用于局域网 (LAN) 和近距离通信。

### 七 塑料光纤

[1]这是将纤芯和包层都用塑料 (聚合物) 作成的光纤。早期产品主要用于装饰和导光照明及近距离光链路的光通信中。原料主要是有机玻璃 (PMMA)、聚苯乙烯 (PS) 和聚碳酸酯 (PC)。损耗受到塑料固有的 C-H 结合结构制约，一般每 km 可达几十 dB。为了降低损耗正在开发应用氟素系列塑料。由于塑料光纤 (Plastic Optical fiber) 的纤芯直径为  $1000\mu\text{m}$ ，比单模石英光纤大 100 倍，接续简单，而且易于弯曲施工容易。近年来，加上宽带化的进度，作为渐变型 (GI) 折射率的多模塑料光纤的发展受到了社会的重视。最近，在汽车内部 LAN 中应用较快，未来在家庭 LAN 中也可能得到应用。

### 八 单模光纤

单模光纤这是指在工作波长中，只能传输一个传播模式的光纤，通常简称为单模光纤 (SMF: Single Mode Fiber)。目前，在有线电视和光通信中，是应用最广泛的光纤。由于，光纤的纤芯很细 (约  $10\mu\text{m}$ ) 而且折射率呈阶跃状分布，当归一化频率  $V$  参数  $< 2.4$  时，理论上，只能形成单模传输。另外，SMF 没有多模色散，不仅传输频带较多模光纤更宽，再加上 SMF 的材料色散和结构色散的相加抵消，其合成特性恰好形成零色散的特性，使传输频带更加拓宽。SMF 中，因掺杂物不同与制造方式的差别有许多类型。凹陷型包层光纤 (DePr-essed Clad Fiber)，其包层形成两重结构，邻近纤芯的包层，较外倒包层的折射率还低。

### 九 多模光纤

多模光纤将光纤按工作波长以其传播可能的模式为多个模式的光纤称作多模光纤 (MMF: Multi Mode Fiber)。纤芯直径为  $50\mu\text{m}$ ，由于传输模式可达几百个，与 SMF 相比传输带宽主要受模式色散支配。在历史上曾用于有线电视和通信系统的短距离传输。自从出现 SMF 光纤后，似乎形成历史产品。但实际上，由于 MMF 较 SMF 的芯径大且与 LED 等光源结合

容易,在众多 LAN 中更有优势。所以,在短距离通信领域中 MMF 仍在重新受到重视。MMF 按折射率分布进行分类时,有:渐变(GI)型和阶跃(SI)型两种。GI 型的折射率以纤芯中心为最高,沿向包层徐徐降低。由于 SI 型光波在光纤中的反射前进过程中,产生各个光路径的时差,致使射出光波失真,色散较大。其结果是传输带宽变窄,目前 SI 型 MMF 应用较少。

#### 十 色散位移光纤

单模光纤的工作波长在 1.3 $\mu\text{m}$  时,模场直径约 9 $\mu\text{m}$ ,其传输损耗约 0.3dB/km。此时,零色散波长恰好在 1.3 $\mu\text{m}$  处。石英光纤中,从原材料上看 1.55 $\mu\text{m}$  段的传输损耗最小(约 0.2dB/km)。由于现在已经实用的掺铒光纤放大器(EDFA)是工作在 1.55 $\mu\text{m}$  波段的,如果在此波段也能实现零色散,就更有利于应用 1.55 $\mu\text{m}$  波段的长距离传输。于是,巧妙地利用光纤材料中的石英材料色散与纤芯结构色散的合成抵消特性,就可使原在 1.3 $\mu\text{m}$  段的零色散,移位到 1.55 $\mu\text{m}$  段也构成零色散。因此,被命名为色散位移光纤(DSF: Dispersion Shifted Fiber)。加大结构色散的方法,主要是在纤芯的折射率分布性能进行改善。在光通信的长距离传输中,光纤色散为零是重要的,但不是唯一的。其它性能还有损耗小、接续容易、成缆化或工作中的特性变化小(包括弯曲、拉伸和环境变化影响)。DSF 就是在设计中,综合考虑这些因素。

#### 十一 色散平坦光纤

色散位移光纤(DSF)是将单模光纤设计零色散位于 1.55 $\mu\text{m}$  波段的光纤。而色散平坦光纤(DFF: Dispersion Flattened Fiber)却是将从 1.3 $\mu\text{m}$  到 1.55 $\mu\text{m}$  的较宽波段的色散,都能作到很低,几乎达到零色散的光纤称作 DFF。由于 DFF 要作到 1.3 $\mu\text{m}$ ~1.55 $\mu\text{m}$  范围的色散都减少。就需要对光纤的折射率分布进行复杂的设计。不过这种光纤对于波分复用(WDM)的线路却是很适宜的。由于 DFF 光纤的工艺比较复杂,费用较贵。今后随着产量的增加,价格也会降低。

#### 十二 色散补偿光纤

对于采用单模光纤的干线系统,由于多数是利用 1.3 $\mu\text{m}$  波段色散为零的光纤构成的。可是,现在损耗最小的 1.55 $\mu\text{m}$ ,由于 EDFA 的实用化,如果能在 1.3 $\mu\text{m}$  零色散的光纤上也能令 1.55 $\mu\text{m}$  波长工作,将是非常有益的。因为,在 1.3 $\mu\text{m}$  零色散的光纤中,1.55 $\mu\text{m}$  波段的色散约有 16ps/km/nm 之多。如果在此光纤线路中,插入一段与此色散符号相反的光纤,就可使整个光线路的色散为零。为此目的所用的是光纤则称作色散补偿光纤(DCF: Dispersion Compensation Fiber)。DCF 与标准的 1.3 $\mu\text{m}$  零色散光纤相比,纤芯直径更细,而且折射率差也较大。DCF 也是 WDM 光线路的重要组成部分。

#### 十三 偏振保持光纤

在光纤中传播的光波,因为具有电磁波的性质,所以,除了基本的光波单一模式之外,实质上还存在着电磁场(TE、TM)分布的两个正交模式。通常,由于光纤截面的结构是圆对称的,这两个偏振模式的传播常数相等,两束偏振光互不干涉,但实际上,光纤不是完全地圆对称,例如有着弯曲部分,就会出现两个偏振模式之间的结合因素,在光轴上呈不规则分布。偏振光的这种变化造成的色散,称之为偏振模式色散(PMD)。对于现在以分配图像为主的有线电视,影响尚不太大,但对于一些未来超宽带有特殊要求的业务,如:

- ①相干通信中采用外差检波,要求光波偏振更稳定时;
- ②光机器等对输入输出特性要求与偏振相关时;
- ③在制作偏振保持光耦合器和偏振器或去偏振器等时;
- ④制作利用光干涉的光纤敏感器等,

凡要求偏振波保持恒定的情况下,对光纤经过改进使偏振状态不变的光纤称作偏振保持光纤(PMF: Polarization Maintaining fiber),或称其为固定偏振光纤。

#### 十四 双折射光纤

双折射光纤是指在单模光纤中，可以传输相互正交的两个固有偏振模式的光纤。折射率随偏振方向变异的现象称为双折射。它又称作 PANDA 光纤，即偏振保持与吸收减少光纤（Polarization—maintaining AND Absorption—reducing fiber）。它是在纤芯的横向两侧，设置热膨胀系数大、截面是圆形的玻璃部分。在高温的光纤拉丝过程中，这些部分收缩，其结果在纤芯 y 方向产生拉伸，同时又在 x 方向呈现压缩应力。致使纤材出现光弹性效应，使折射率在 X 方向和 y 方向出现差异。依此原理达到偏振保持恒定的效果。

#### 十五 抗恶劣环境光纤

通信用光纤通常的工作环境温度可在 $-40\sim+60^{\circ}\text{C}$ 之间，设计时也是以不受大量辐射线照射为前提的。相比之下，对于更低温或更高温以及能在遭受高压或外力影响、曝晒辐射线的恶劣环境下，也能工作的光纤则称作抗恶劣环境光纤（Hard Condition Resistant Fiber）。一般为了对光纤表面进行机械保护，多涂覆一层塑料。可是随着温度升高，塑料保护功能有所下降，致使使用温度也有所限制。如果改用抗热性塑料，如聚四氟乙稀（Teflon）等树脂，即可工作在 $300^{\circ}\text{C}$ 环境。也有在石英玻璃表面涂覆镍（Ni）和铝（Al）等金属的。这种光纤则称为耐热光纤（Heat Resistant Fiber）。另外，当光纤受到辐射线的照射时，光损耗会增加。这是因为石英玻璃遇到辐射线照射时，玻璃中会出现结构缺陷（也称作色心：Colour Center），尤在 $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ 波长时损耗增大。防止办法是改用掺杂 OH 或 F 素的石英玻璃，就能抑制因辐射线造成的损耗缺陷。这种光纤则称作抗辐射光纤（Radiation Resistant Fiber），多用于核电站的监测用光纤维镜等。

#### 十六 密封涂层光纤

为了保持光纤的机械强度和损耗的长时间稳定，而在玻璃表面涂装碳化硅（SiC）、碳化钛（TiC）、碳（C）等无机材料，用来防止从外部来的水和氢的扩散所制造的光纤（HCF Hermetically Coated Fiber）。目前，通用的是在化学气相沉积（CVD）法生产过程中，用碳层高速堆积来实现充分密封效应。这种碳涂层光纤（CCF）能有效地截断光纤与外界氢分子的侵入。据报道它在室温的氢气环境中可维持 20 年不增加损耗。当然，它在防止水分侵入，延缓机械强度的疲劳进程中，其疲劳系数（Fatigue Parameter）可达 200 以上。所以，HCF 被应用于严酷环境中要求可靠性高的系统，例如海底光缆就是一例。

#### 十七 碳涂层光纤

在石英光纤的表面涂敷碳膜的光纤，称之碳涂层光纤（CCF：Carbon Coated Fiber）。其机理是利用碳素的致密膜层，使光纤表面与外界隔离，以改善光纤的机械疲劳损耗和氢分子的损耗增加。CCF 是密封涂层光纤（HCF）的一种。

#### 十八 金属涂层光纤

金属涂层光纤（Metal Coated Fiber）是在光纤的表面涂布 Ni、Cu、Al 等金属层的光纤。也有再在金属层外被覆塑料的，目的在于提高抗热性和可供通电及焊接。它是抗恶劣环境性光纤之一，也可作为电子电路的部件用。早期产品是在拉丝过程中，涂布熔解的金属而成的。由于此法因被玻璃与金属的膨胀系数差异太大，会增微小弯曲损耗，实用化率不高。近期，由于在玻璃光纤的表面采用低损耗的非电解镀膜法的成功，使性能大有改善。

#### 十九 掺稀土光纤

在光纤的纤芯中，掺杂如何（Er）、钕（Nd）、镨（Pr）等稀土族元素的光纤。1985 年英国的索斯安普顿（Southampton）大学的佩恩（Payne）等首先发现掺杂稀土元素的光纤（Rare Earth Doped Fiber）有激光振荡和光放大的现象。于是，从此揭开了掺饵等光放大的面纱，现在已经实用的 $1.55\mu\text{m}$ EDFA 就是利用掺饵的单模光纤，利用 $1.47\mu\text{m}$ 的激光进行激励，得到 $1.55\mu\text{m}$ 光信号放大的。另外，掺错的氟化物光纤放大器（PDFA）正在开发中。

#### 二十 喇曼光纤

喇曼效应是指往某物质中射入频率  $f$  的单色光时，在散射光中会出现频率  $f$  之外的  $f \pm fR$ ， $f \pm 2fR$  等频率的散射光，对此现象称喇曼效应。由于它是物质的分子运动与格子运动之间的能量交换所产生的。当物质吸收能量时，光的振动数变小，对此散射光称斯托克斯 (stokes) 线。反之，从物质得到能量，而振动数变大的散射光，则称反斯托克斯线。于是振动数的偏差  $fR$ ，反映了能级，可显示物质中固有的数值。利用这种非线性媒体做成的光纤，称作喇曼光纤 (RF: Raman Fiber)。为了将光封闭在细小的纤芯中，进行长距离传播，就会出现光与物质的相互作用效应，能使信号波形不畸变，实现长距离传输。当输入光增强时，就会获得相干的感应散射光。应用感应喇曼散射光的设备有喇曼光纤激光器，可供作分光测量电源和光纤色散测试用电源。另外，感应喇曼散射，在光纤的长距离通信中，正在研讨作为光放大器的应用。

#### 二十一 偏心光纤

标准光纤的纤芯是设置在包层中心的，纤芯与包层的截面形状为同心圆型。但因用途不同，也有将纤芯位置和纤芯形状、包层形状，作成不同状态或将包层穿孔形成异型结构的。相对于标准光纤，称这些光纤叫异型光纤。偏心光纤 (Excentric Core Fiber)，它是异型光纤的一种。其纤芯设置在偏离中心且接近包层外线的偏心位置。由于纤芯靠近外表，部分光场会溢出包层传播 (称此为渐消波，Evanescent Wave)。利用这一现象，就可检测有无附着物质以及折射率的变化。偏心光纤 (ECF) 主要用作检测物质的光纤敏感器。与光时域反射计 (OTDR) 的测试法组合一起，还可作分布敏感器用。

#### 二十二 发光光纤

采用含有荧光物质制造的光纤。它是在受到辐射线、紫外线等光波照射时，产生的荧光一部分，可经光纤闭合进行传输的光纤。发光光纤 (Luminescent Fiber) 可以用于检测辐射线和紫外线，以及进行波长变换，或用作温度敏感器、化学敏感器。在辐射线的检测中也称作闪光光纤 (Scintillation Fiber)。发光光纤从荧光材料和掺杂的角度上，正在开发着塑料光纤。

#### 二十三 多芯光纤

通常的光纤是由一个纤芯区和围绕它的包层区构成的。但多芯光纤 (Multi Core Fiber) 却是一个共同的包层区中存在多个纤芯的。由于纤芯的相互接近程度，可有两种功能。其一是纤芯间隔大，即不产生光耦合的结构。这种光纤，由于能提高传输线路的单位面积的集成密度。在光通信中，可以作成具有多个纤芯的带状光缆，而在非通信领域，作为光纤传像束，有将纤芯作成成千上万个的。其二是使纤芯之间的距离靠近，能产生光波耦合作用。利用此原理正在开发双纤芯的敏感器或光回路器件。

#### 二十四 空心光纤

将光纤作成空心，形成圆筒状空间，用于光传输的光纤，称作空心光纤 (Hollow Fiber)。空心光纤主要用于能量传送，可供 X 射线、紫外线和远红外线光能传输。空心光纤结构有两种：一是将玻璃作成圆筒状，其纤芯与包层原理与阶跃型相同。利用光在空气与玻璃之间的全反射传播。由于，光的大部分可在无损耗的空气中传播，具有一定距离的传播功能。二是使圆筒内面的反射率接近 1，以减少反射损耗。为了提高反射率，有在筒内设置电介质，使工作波长段损耗减少的。例如可以作到波长 10.6 $\mu$ m 损耗达几 dB/m 的。

#### 二十五 高分子光导纤维

按材质分，有无机光导纤维和高分子光导纤维，目前在工业上大量应用的是前者。无机光导纤维材料又分为单组分和多组分两类。单组分即石英，主要原料为四氯化硅、三氯氧磷和三溴化硼等。其纯度要求铜、铁、钴、镍、锰、铬、钒等过渡金属离子杂质含量低于 10ppb。除此之外，OH<sup>-</sup>离子要求低于 10ppb。石英纤维已被广泛使用。多组分的原料较多，主要有二氧化硅、三氧化二硼、硝酸钠、氧化铯等。这种材料尚未普及。高分子光导纤维是以透明聚合物制得的光导纤维，由纤维芯材和包皮鞘材组成。芯材为高纯度高透光性的聚甲基丙烯酸

甲酯或聚苯乙烯抽丝制得的纤维，外层为含氟聚合物或有机硅聚合物等。

高分子光导纤维的光损耗较高，1982年，日本电报电话公司利用氰化甲基丙烯酸甲酯聚合抽丝作芯材，光损耗率降低到20dB/km。但高分子光导纤维的特点是能制大尺寸，大数值孔径的光导纤维，光源耦合效率高，挠曲性好，微弯曲不影响导光能力，配列、粘接容易，便于使用，成本低廉。但光损耗大，只能短距离应用。光损耗在10~100dB/km的光导纤维，可传输几百米。

## 二十六 保偏光纤

保偏光纤：保偏光纤传输线偏振光，广泛用于航天、航空、航海、工业制造技术及通信等国民经济的各个领域。在以光学相干检测为基础的干涉型光纤传感器中，使用保偏光纤能够保证线偏振方向不变，提高相干信噪比，以实现物理量的高精度测量。保偏光纤作为一种特种光纤，主要应用于光纤陀螺，光纤水听器传感器和DWDM、EDFA等光纤通信系统。由于光纤陀螺及光纤水听器等可用于军用惯导和声呐，属于高科技产品，而保偏光纤又是其核心部件，因而保偏光纤一直被西方发达国家列入对我禁运的清单。保偏光纤在拉制过程中，由于光纤内部产生的结构缺陷会造成保偏性能的下降，即当线偏振光沿光纤的一个特征轴传输时，部分光信号会耦合进入另一个与之垂直的特征轴，最终造成出射偏振光信号偏振消光比的下降。这种缺陷就是影响光纤内的双折射效应。保偏光纤中，双折射效应越强，波长越短，保持传输光偏振态越好。

保偏光纤的应用及未来发展方向

保偏光纤在今后几年内将有较大的市场需求。随着世界新技术的飞速发展和新产品的不断开发，保偏光纤将沿着以下几个方向发展：

- (1) 采用光子晶体光纤新技术制造新型的高性能保偏光纤；
- (2) 开发温度适应性保偏光纤，以适应航空航天等领域环境的要求；
- (3) 开发出各种掺稀土保偏光纤，满足光放大器等器件应用的需求；
- (4) 开发氟化物保偏光纤，促进纤维光学干涉技术在红外天文学技术领域的发展；
- (5) 低衰减保偏光纤：随着单模光纤技术的不断完善，损耗、材料色散和波导色散已经不再是影响光纤通信的主要因素，单模光纤的偏振模色散(PMD)逐渐成为限制光纤通信质量的最严重的瓶颈，在10 Gbit/s及以上的高速光纤通信系统中表现尤为突出。
- (6) 利用克尔效应和法拉第旋光效应制造偏振光器件。

另外根据光纤头不一样还有：C-Lens. G-Lens.格林透镜

## 4.常用光纤规格：

单模：8/125 μm，9/125 μm，10/125 μm

多模：50/125 μm，欧洲标准

62.5/125 μm，美国标准

工业，医疗和低速网络：100/140 μm，200/230 μm

塑料：98/1000 μm，用于汽车控制

传输优点直到1960年，美国科学家Maiman发明了世界上第一台激光器后，为光通讯提供了良好的光源。随后二十多年，人们对光传输介质进行了攻关，终于制成了低损耗光纤，从而奠定了光通讯的基石。从此，光通讯进入了飞速发展的阶段。

光纤传输有许多突出的优点：

频带宽

频带的宽窄代表传输容量的大小。载波的频率越高，可以传输信号的频带宽度就越大。在VHF频段，载波频率为48.5MHz~300MHz。带宽约250MHz，只能传输27套电视和几十套调频广播。可见光的频率达100000GHz，比VHF频段高出一百多万倍。尽管由于光纤对

不同频率的光有不同的损耗，使频带宽度受到影响，但在最低损耗区的频带宽度也可达30000GHz。目前单个光源的带宽只占了其中很小的一部分(多模光纤的频带约几百兆赫，好的单模光纤可达10GHz以上)，采用先进的相干光通信可以在30000GHz范围内安排2000个光载波，进行波分复用，可以容纳上百万个频道。

#### 损耗低

在同轴电缆组成的系统中，最好的电缆在传输800MHz信号时，每公里的损耗都在40dB以上。相比之下，光导纤维的损耗则要小得多，传输1.31 $\mu$ m的光，每公里损耗在0.35dB以下若传输1.55 $\mu$ m的光，每公里损耗更小，可达0.2dB以下。这就比同轴电缆的功率损耗要小一亿倍，使其能传输的距离要远得多。此外，光纤传输损耗还有两个特点，一是在全部有线电视频道内具有相同的损耗，不需要像电缆干线那样必须引入均衡器进行均衡；二是其损耗几乎不随温度而变，不用担心因环境温度变化而造成干线电平的波动。

#### 重量轻

因为光纤非常细，单模光纤芯线直径一般为4 $\mu$ m~10 $\mu$ m，外径也只有125 $\mu$ m，加上防水层、加强筋、护套等，用4~48根光纤组成的光缆直径还不到13mm，比标准同轴电缆的直径47mm要小得多，加上光纤是玻璃纤维，比重小，使它具有直径小、重量轻的特点，安装十分方便。

#### 抗干扰能力强

因为光纤的基本成分是石英，只传光，不导电，不受电磁场的作用，在其中传输的光信号不受电磁场的影响，故光纤传输对电磁干扰、工业干扰有很强的抵御能力。也正因为如此，在光纤中传输的信号不易被窃听，因而利于保密。

#### 保真度高

因为光纤传输一般不需要中继放大，不会因为放大引入新的非线性失真。只要激光器的线性好，就可高保真地传输电视信号。实际测试表明，好的调幅光纤系统的载波组合三次差拍比C/CTB在70dB以上，交调指标cM也在60dB以上，远高于一般电缆干线系统的非线性失真指标。

#### 工作性能可靠

我们知道，一个系统的可靠性与组成该系统的设备数量有关。设备越多，发生故障的机会越大。因为光纤系统包含的设备数量少(不像电缆系统那样需要几十个放大器)，可靠性自然也就高，加上光纤设备的寿命都很长，无故障工作时间达50万~75万小时，其中寿命最短的是光发射机中的激光器，最低寿命也在10万小时以上。故一个设计良好、正确安装调试的光纤系统的工作性能是非常可靠的。

#### 成本不断下降

目前，有人提出了新摩尔定律，也叫做光学定律(Optical Law)。该定律指出，光纤传输信息的带宽，每6个月增加1倍，而价格降低1倍。光通信技术的发展，为Internet宽带技术的发展奠定了非常好的基础。这就为大型有线电视系统采用光纤传输方式扫清了最后一个障碍。由于制作光纤的材料(石英)来源十分丰富，随着技术的进步，成本还会进一步降低；而电缆所需的铜原料有限，价格会越来越高。显然，今后光纤传输将占绝对优势，成为建立全省、以至全国有线电视网的最主要传输手段。

编辑本段结构原理光导纤维是由两层折射率不同的玻璃组成。内层为光内芯，直径在几微米至几十微米，外层的直径0.1~0.2mm。一般内芯玻璃的折射率比外层玻璃大1%。根据光的折射和全反射原理,当光线射到内芯和外层界面的角度大于产生全反射的临界角时，光线透不过界面，全部反射。

光纤衰减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，造成的损耗。

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。

人为衰减

在实际的工作中，有时也有必要进行人为的光纤衰减，如用于光通信系统当中的调试光功率性能、调试光纤仪表的定标校正,光纤信号衰减的光纤衰减器。

生产方法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。

VAD 法制光纤预制棒

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称精密，由计算机控制。在制造光纤的过程中，要注重：

- ①光纤原材料的纯度必须很高。
- ②必须防止杂质污染，以及气泡混入光纤。
- ③要准确控制折射率的分布；
- ④正确控制光纤的结构尺寸；
- ⑤尽量减小光纤表面的伤痕损害，提高光纤机械强度。

管棒法

将内芯玻璃棒插入外层玻璃管中（尽量紧密），熔融拉丝；

双坩埚法

在两个同心铂坩埚内，将内芯和外层玻璃料分别放入内、外坩埚中；

分子填充法

将微孔石英玻璃棒浸入高折射率的添加剂溶液中，得所需折射率分布的断面结构，再进行拉丝操作，它的工艺比较复杂。在光导纤维通信中还可利用内外气相沉积法等，以保证能制造出光损耗率低的光导纤维。

光纤分类根据不同光纤的分类标准的分类方法，同一根光纤将会有不同的名称。

按光纤的材料分类

按照光纤的材料，可以将光纤的种类分为石英光纤和全塑光纤。

石英光纤一般是指由掺杂石英芯和掺杂石英包层组成的光纤。这种光纤有很低的损耗和中等程度的色散。目前通信用光纤绝大多数是石英光纤。

全塑光纤是一种通信用新型光纤，尚在研制、试用阶段。全塑光纤具有损耗大、纤芯粗(直径 100~600  $\mu\text{m}$ )、数值孔径(NA)大(一般为 0.3~0.5, 可与光斑较大的光源耦合使用)及制造成本较低等特点。目前, 全塑光纤适合于较短长度的应用, 如室内计算机联网和船舶内的通信等。

按光纤剖面折射率分布分类

按照光纤剖面折射率分布的不同, 可以将光纤的种类分为阶跃型光纤和渐变型光纤。

按传输模式分类

按照光纤传输的模式数量, 可以将光纤的种类分为多模光纤和单模光纤。

单模光纤是只能传输一种模式的光纤。单模光纤只能传输基模(最低阶模), 不存在模间时延差, 具有比多模光纤大得多的带宽, 这对于高码速传输是非常重要的。单模光纤的模场直径仅几微米( $\mu\text{m}$ ), 其带宽一般比渐变型多模光纤的带宽高一两个数量级。因此, 它适用于大容量、长距离通信。

按照国际标准规定分类(按照 ITU-T 建议分类)

为了使光纤具有统一的国际标准, 国际电信联盟(ITU-T)制定了统一的光纤标准(G 标准)。

按照 ITU-T 关于光纤的建议, 可以将光纤的种类分为:

G.651 光纤(50/125  $\mu\text{m}$  多模渐变型折射率光纤)

G.652 光纤(非色散位移光纤)

G.653 光纤(色散位移光纤 DSF)

G.654 光纤(截止波长位移光纤)

G.655 光纤(非零色散位移光纤)。

为了适应新技术的发展需要, 目前 G.652 类光纤已进一步分为了 G.652A、G.652B、G.652C 三个子类, G.655 类光纤也进一步分为了 G.655A、G.655B 两个子类。

按照 IEC 标准分类, IEC 标准将光纤的种类分为

A 类多模光纤:

A1a 多模光纤(50/125  $\mu\text{m}$  型多模光纤)

A1b 多模光纤(62.5/125  $\mu\text{m}$  型多模光纤)

A1d 多模光纤(100/140  $\mu\text{m}$  型多模光纤)

B 类单模光纤:

B1.1 对应于 G652 光纤, 增加了 B1.3 光纤以对应于 G652C 光纤

B1.2 对应于 G654 光纤

B2 光纤对应于 G.653 光纤

B4 光纤对应于 G.655 光纤

系统运用高分子光导纤维开发之初, 仅用于汽车照明灯的控制和装饰。现在主要用于医学、装饰、汽车、船舶等方面, 以显示元件为主。在通信和图像传输方面, 高分子光导纤维的应用日益增多, 工业上用于光导向器、显示盘、标识、开关类照明调节、光学传感器等。

通信应用

光纤

光导纤维可以用在通信技术里。1979年9月, 一条3.3公里的120路光缆通信系统在北京建成, 几年后上海、天津、武汉等地也相继铺设了光缆线路, 利用光导纤维进行通信。

多模光导纤维做成的光缆可用于通信, 它的传导性能良好, 传输信息容量大, 一条通路可同时容纳数十人通话。可以同时传送数十套电视节目, 供自由选看。

利用光导纤维进行的通信叫光纤通信。一对金属电话线至多只能同时传送一千多路电话, 而根据理论计算, 一对细如蛛丝的光导纤维可以同时通一亿路电话! 铺设1000公里的同轴

电缆大约需要 500 吨铜，改用光纤通信只需几公斤石英就可以了。沙石中就含有石英，几乎是取之不尽的。

#### 医学应用

光导纤维内窥镜可导入心脏和脑室，测量心脏中的血压、血液中氧的饱和度、体温等。用光导纤维连接的激光手术刀已在临床应用，并可用作光敏法治癌。

另外，利用光导纤维制成的内窥镜，可以帮助医生检查胃、食道、十二指肠等的疾病。光导纤维胃镜是由上千根玻璃纤维组成的软管，它有输送光线、传导图像的本领，又有柔软、灵活，可以任意弯曲等优点，可以通过食道插入胃里。光导纤维把胃里的图像传出来，医生就可以窥见胃里的情形，然后根据情况进行诊断和治疗。

#### 传感器应用

光导纤维可以把阳光送到各个角落，还可以进行机械加工。计算机、机器人、汽车配电盘等也已成功地用光导纤维传输光源或图像。如与敏感元件组合或利用本身的特性，则可以做成各种传感器，测量压力、流量、温度、位移、光泽和颜色等。在能量传输和信息传输方面也获得广泛的应用。

#### 艺术应用

由于光纤的良好物理特性，光纤照明和 LED 照明已越来越成为艺术装修美化的用途。应用如下：

门头店名（标设）和 LOGO 采用粗光纤制作光晕照明。 光纤艺术

门头的局部轮廓采用  $\Phi 18$ （ $\Phi 14$ ）的侧光纤进行照明。

场所外立面局部采用光纤三维镜。

采用艺术分布的光纤点阵，配置光纤照明 YY-S150 光纤扫描机。

在草坪上布置光纤地灯。

光纤瀑布、光纤立体球等艺术造型。 光纤艺术

同时也用在装饰显示、广告显示。

光纤也可以用作各种视觉艺术的展示等，光纤的特性得到充分的应用，如图所示：

光纤成为装饰品：利用光纤发光的特性，可以做成各种色彩的荧光光纤，满天星光纤花瓶，做礼品晚会用，还是室内装饰都很漂亮：如下图：

#### 井下探测技术

过去，石油工业只能利用现有的技术开采油气储量，常常无法满足快速投资回收和最大化油气采收率的需求，并导致原油采收率平均只有 35%左右。井下系统供应商预测，通过利用智能井技术可以使原油采收率提高到 50%~60%。

在开发井中传感器之前，收集井下信息的唯一方法是测井。测井方法虽然能提供有价值的数  
据，但作业成本高，并有可能对井产生损害。因此，需要更好的井下技术提高无干扰流动监测和控制。

可以共同提高采收率的技术有：

- 电子井下传感器，提供定点温度和压力监测；
- 流量和含水量传感器；
- 井下电-液压操控流动控制系统；
- 基于实时油藏动态数据；
- 优化油藏模拟；
- 高温光纤井下传感器；
- 电子与光纤井口湿式连接系统。

过去几年，传感器技术愈来愈多地从其它行业转向海上和井下，特别是光纤传感器技术，光纤传感器极大地提高了高温系统的可靠性。近期，大型井下设备供应商经常与光纤探测技术

专业公司合作或收购这类公司，充分证实了这项技术的潜力。

光纤传感器系列包括 3 项被证实的核心技术和 1 项待开发的技术：

- 分布式温度探测（DTS）。该项技术凭借一定长度的光纤监测不同位置上温度的变化。其温度分辨率为 0.1°C，位置分辨率为 1m（光纤长度大于 10000m）。
- 光纤还可以作为直接读值的机械点源传感器。最简单的形式，可能只是一个空腔，随外部压力改变长度，入射到空腔的光信号强度随空腔长度而下降。光纤传送设备允许在一根光纤上组合多个传感器，测量不同物理变量。
- 化学探测。专业光纤的开发与工业应用正在增长，它们对化学物质的存在和丰度比较敏感。这种技术还不太先进，但很有发展潜力。

#### 光纤收发器

光纤收发器是一种将短距离的双绞线电信号和长距离的光信号进行互换的以太网传输媒体转换单元，在很多地方也被称之为光电转换器。产品一般应用在以太网电缆无法覆盖、必须使用光纤来延长传输距离的实际网络环境中，且通常定位于宽带城域网的接入层应用；同时在帮助把光纤最后一公里线路连接到城域网和更外层的网络上发挥了巨大的作用。

企业在进行信息化基础设施建设时，通常更多地关注路由器、交换机乃至网卡等用于节点数据交换的网络设备，却往往忽略介质转换这种非网络核心必不可少的设备。特别是在一些要求信息化程度高、数据流量较大的政府机构和企业，网络建设时需要直接上连到以光纤为传输介质的骨干网，而企业内部局域网的传输介质一般为铜线，确保数据包在不同网络间顺畅传输的介质转换设备成为必需品。

#### 收发器分类

目前国外和国内生产光纤收发器的厂商很多，产品线也极为丰富。为了保证与其他厂家的网卡、中继器、集线器和交换机等网络设备的完全兼容，光纤收发器产品必须严格符合 10Base-T、100Base-TX、100Base-FX、IEEE802.3 和 IEEE802.3u 等以太网标准，除此之外，在 EMC 防电磁辐射方面应符合 FCC Part15。时下由于国内各大运营商正在大力建设小区网、校园网和企业网，因此光纤收发器产品的用量也在不断提高，以更好地满足接入网的建设需要。

随着光纤收发器产品的多样化发展，其分类方法也各异，但各种分类方法之间又有着一定的关联。

#### 按光纤性质分类

单模光纤收发器：传输距离 20 公里至 120 公里

多模光纤收发器：传输距离 2 公里到 5 公里

按光纤来分，可以分为多模光纤收发器和单模光纤收发器。由于使用的光纤不同，收发器所能传输的距离也不一样，多模收发器一般的传输距离在 2 公里到 5 公里之间，而单模收发器覆盖的范围可以从 20 公里至 120 公里。需要指出的是因传输距离的不同，光纤收发器本身的发射功率、接收灵敏度和使用波长也会不一样。

如 5 公里光纤收发器的发射功率一般在 -20~-14db 之间，接收灵敏度为 -30db，使用 1310nm 的波长；而 120 公里光纤收发器的发射功率多在 -5~0dB 之间，接收灵敏度为 -38dB，使用 1550nm 的波长。

#### 按所需光纤分类：

单纤光纤收发器：接收发送的数据在一根光纤上传输

双纤光纤收发器：接收发送的数据在一对光纤上传输

顾名思义，单纤设备可以节省一半的光纤，即在一根光纤上实现数据的接收和发送，在光纤资源紧张的地方十分适用。这类产品采用了波分复用的技术，使用的波长多为 1310nm 和 1550nm。但由于单纤收发器产品没有统一国际标准，因此不同厂商产品在互联互通时可能

会存在不兼容的情况。另外由于使用了波分复用，单纤收发器产品普遍存在信号衰耗大的特点。目前市面上的光纤收发器多为双纤产品，此类产品较为成熟和稳定，但需要更多的光纤。

按工作层次/速率分类

100M 以太网光纤收发器：工作在物理层

10/100M 自适应以太网光纤收发器：工作在数据链路层

按工作层次/速率来分，可以分为单 10M、100M 的光纤收发器、10/100M 自适应的光纤收发器和 1000M 光纤收发器。其中单 10M 和 100M 的收发器产品工作在物理层，在这一层工作的收发器产品是按位来转发数据。该转发方式具有转发速度快、通透率高、时延低等方面的优势，适合应用于速率固定的链路上，同时由于此类设备在正常通信前没有一个自协商的过程，因此在兼容性和稳定性方面做得更好。

而 10/100M 光纤收发器是工作在数据链路层，在这一层光纤收发器使用存储转发的机制，这样转发机制对接收到的每一个数据包都要读取它的源 MAC 地址、目的 MAC 地址和数据净荷，并在完成 CRC 循环冗余校验以后才将该数据包转发出去。存储转发的的好处一来可以防止一些错误的帧在网络中传播，占用宝贵的网络资源，同时还可以很好地防止由于网络拥塞造成的数据包丢失，当数据链路饱和时存储转发可以将无法转发的数据先放在收发器的缓存中，等待网络空闲时再进行转发。这样既减少了数据冲突的可能又保证了数据传输的可靠性，因此 10/100M 的光纤收发器适合于工作在速率不固定的链路上。

C-LENS

G-LENS

格林透镜

按结构分类

桌面式（独立式）光纤收发器：独立式用户端设备

机架式（模块化）光纤收发器：安装于十六槽机箱，采用集中供电方式

按结构来分，可以分为桌面式（独立式）光纤收发器和机架式光纤收发器。桌面式光纤收发器适合于单个用户使用，如满足楼道中单台交换机的上联。机架式（模块化）光纤收发器适用于多用户的汇聚，如小区的中心机房必须满足小区内所有交换机的上联，使用机架便于实现对所有模块型光纤收发器的统一管理和统一供电，目前国内的机架多为 16 槽产品，即一个机架中最多可加插 16 个模块式光纤收发器。

按管理类型分类

非网管型以太网光纤收发器：即插即用，通过硬件拨码开关设置电口工作模式

网管型以太网光纤收发器：支持电信级网络管理

按网管来分，可以分为网管型光纤收发器和非网管型光纤收发器。随着网络向着可运营可管理的方向发展，大多数运营商都希望自己网络中的所有设备均能做到可远程网管的程度，光纤收发器产品与交换机、路由器一样也逐步向这个方向发展。对于可网管的光纤收发器还可以细分为局端可网管和用户端可网管。局端可网管的光纤收发器主要是机架式产品，多采用主从式的管理结构，即一个主网管模块可串联 N 个从网管模块，每个从网管模块定期轮询它所在子架上所有光纤收发器的状态信息，向主网管模块提交。主网管模块一方面需要轮询自己机架上的网管信息，另一方面还需收集所有从子架上的信息，然后汇总并提交给网管服务器。如武汉烽火网络所提供的 OL200 系列网管型光纤收发器产品支持 1（主）9（从）的网管结构，一次性最多可管理 150 个光纤收发器。

按电源分类

内置电源光纤收发器：内置开关电源为电信级电源

外置电源光纤收发器：外置变压器电源多使用在民用设备上

按电源来分，可以分为内置电源和外置电源两种。其中内置开关电源为电信级电源，而外置

变压器电源多使用在民用设备上。前者的优势在于能支持超宽的电源电压,更好地实现稳压、滤波和设备电源保护,减少机械式接触造成的外置故障点;后者的优势在于设备体积小和价格便宜。

按工作方式分类

全双工方式 (full duplex) 是指当数据的发送和接收分流, 分别由两根不同的传输线传送时, 通信双方都能在同一时刻进行发送和接收操作, 这样的传送方式就是全双工制, 如图 1 所示。在全双工方式下, 通信系统的每一端都设置了发送器和接收器, 因此, 能控制数据同时在两个方向上传送。全双工方式无需进行方向的切换, 因此, 没有切换操作所产生的时间延迟。半双式方式 (half duplex) 是指使用同一根传输线既作接收又作发送, 虽然数据可以在两个方向上传送, 但通信双方不能同时收发数据, 这样的传送方式就是半双工制。采用半双工方式时, 通信系统每一端的发送器和接收器, 通过收/发开关转接到通信线上, 进行方向的切换, 因此, 会产生时间延迟。目前市面上有些晶片, 只能使用全双工环境, 无法支持半双工, 若接至其他品牌的交换机 (N-Way Switch) 或集线器 (HUB), 其又使用半双工模式, 则一定会造成严重的冲撞及丢包。

辨别光纤的方法颜色辨别

黄色的代表单模

橙色的代表多模

外套标识辨别

50/125, 62.5/125 为多模, 并且可能标有 mm

9/125(g652)为单模, 并且可能标有 sm

光纤磨制端头, 在在放大镜下可辨别

多模呈同心圆

单模中间有一黑点

熔接机熔接时从屏上可辨别

多模纤中间没白条

单模中间有一白条

同时, 熔接机对多模光缆不做熔接损耗计算。再, 单模与多模光纤熔接机不能熔接。

单模收发器可以用于多模光缆链路, 但注意跳线要用多模的。

依据信号在光纤中传输的模式, 主要分两大类: 单模和多模。模式通常是指光信号在光纤内的传输路径, 单模的传输路径就是中心轴线; 将光纤沿中轴线切出一个剖面, 光信号在剖面上利用全反射进行传输。光纤可以拥有这种剖面无限多个, 所以光信号的传输路径就会有无限多条, 即有无限多种模式, 如此传输的光纤就被称作多模光纤。

单模的纤芯尺寸一般是 8~10um, 在单模中信号沿直线进行传播, 也就是一种模式。多模的纤芯比较大, 50um 或是 62.5um, 可以同时进行多种模式的传输。

单模的传输带宽高, 传输距离远, 主要用于中长距离的信号传输系统, 如光纤到户、地铁和道路等长距离网络。但是, 因为单模的纤芯比较小, 与发射机连接时需要精确对接, 从而耦合到较高的光源。这使得单模光纤网络系统的其他配件价格升高, 单模光发射机的价格比多模的就贵不少。使用单模连接器进行端接时, 要注意精确对接, 不然会产生数值较高的插入损耗, 降低光纤传输性能。

而多模能主要用于满足短距离网络的传输。事实上, 多模光纤能够支持万兆以太网 550 米内的垂直子系统布线和短距离建筑群子系统布线, 以及 40G/100G 网络 150 米内的数据中心布线。并且, 多模光纤系统的光电转换元件比单模更便宜, 现场安装和端接也更简单。

中国光纤的发展光纤作为宽带接入一种主流的方式，有着通信容量大、中继距离长、保密性能好、适应能力强、体积小重量轻、原材料来源广价格低廉等的优点，未来在宽带互联网接入的应用可预料会非常广泛。

根据市场研究与预测公司 IDC 预计 2012 年中国光纤接入用户数将超过 2660 万户，未来 5 年保持 56.4% 的年复合增长率，而且中国已成为全球最大的光网络设备市场之一。截至 2011 年底，中国光纤接入端口数已超过 1 亿个，同比增长超过 100%；中国光纤接入用户数已达 1556 万户，同比增长超过 370%。比起中国 1.58 亿的宽带用户数，光纤接入用户数还将会非常有非常广阔的上升空间。根据我国光纤宽带发展计划，到 2015 年全国互联网出口带宽达到 5T，城市家庭带宽接入能力基本达到 20M 以上，农村家庭带宽能力基本达到 4M 以上；家庭光纤接入覆盖超过 500 万户；无线局域网的公共运营热点规模将超过 15 万个；届时将实现全市公益性机构光纤到达率 100%，实现全部科技园区、工业园区、商务楼宇、宾馆酒店等商务类场所的光纤到楼、到办公室。

这些数据都表明，中国的宽带市场蕴藏着巨大的潜力，必将是未来宽带运营商对抗的主战场之一。而光纤宽带的普及也是大势所趋。所以未来宽带市场的斗争很大程度上是光纤宽带的斗争。