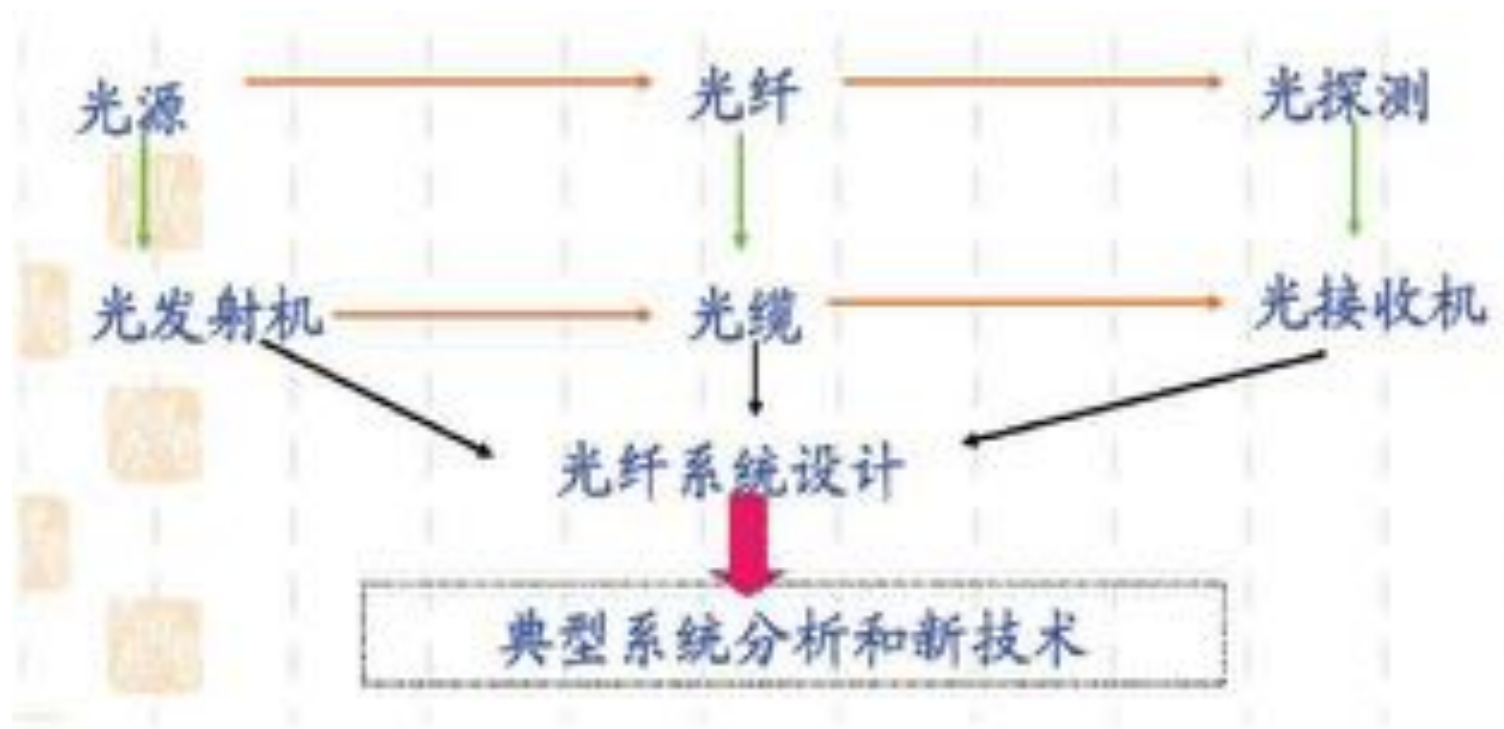


# 第 4 章 光纤通信技术





# 第4章 光纤通信技术

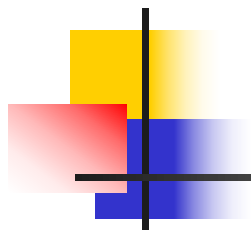
---

## 4.1 光纤通信概述

### 4.1.1 光纤通信基本概念

光纤通信是以**光为载波**，**以光纤为传输介质**的通信方式。  
通信系统追求的最终技术目标：可靠地实现最大可能的信息传输容量和传输距离。

通信系统的传输容量取决于：对载波调制的频带宽度，载波频率越高，频带宽度越宽。



## 光通信与光纤通信比较

### Optical Communication VS

### Optical Fiber Communication

**Optical Communication:** 运用光为载体来传送信息的所有通信方式的总称，不管传输所使用的媒介是什么

**Optical Fiber Communication:** 单纯依靠光纤作为传输媒介的通信方式



# 光纤通信的优点和应用

---

通信系统的传输容量取决于对载波调制的频带宽度，载波频率越高，频带宽度越宽。

- 光通信的主要特点：

- 载波频率高；
- 频带宽度；（图1.1）
- 光通信利用的传输媒介-光纤，可以在宽波长范围内获得很小的损耗（图1.2）

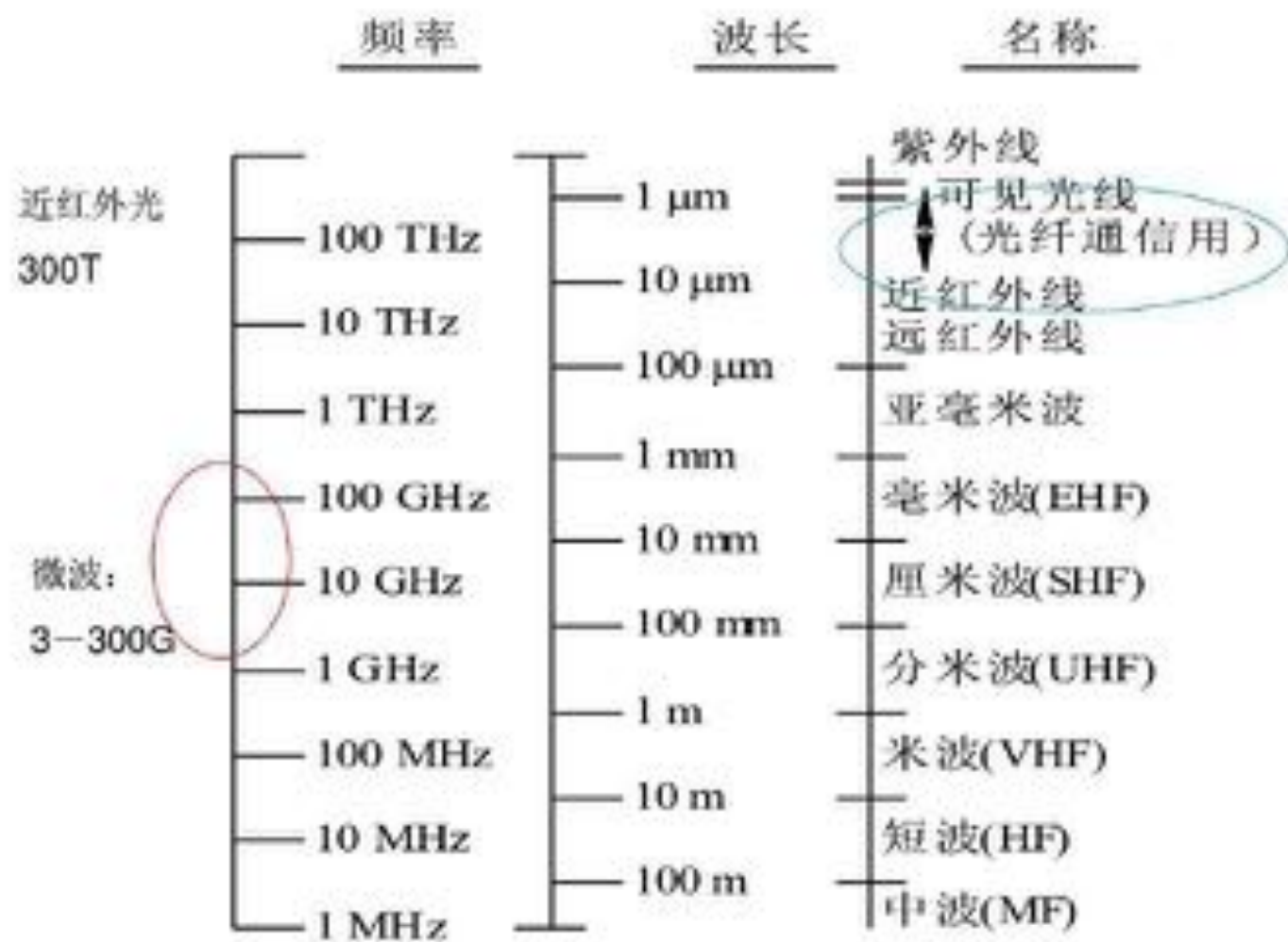


图 1.1 部分电磁波频谱

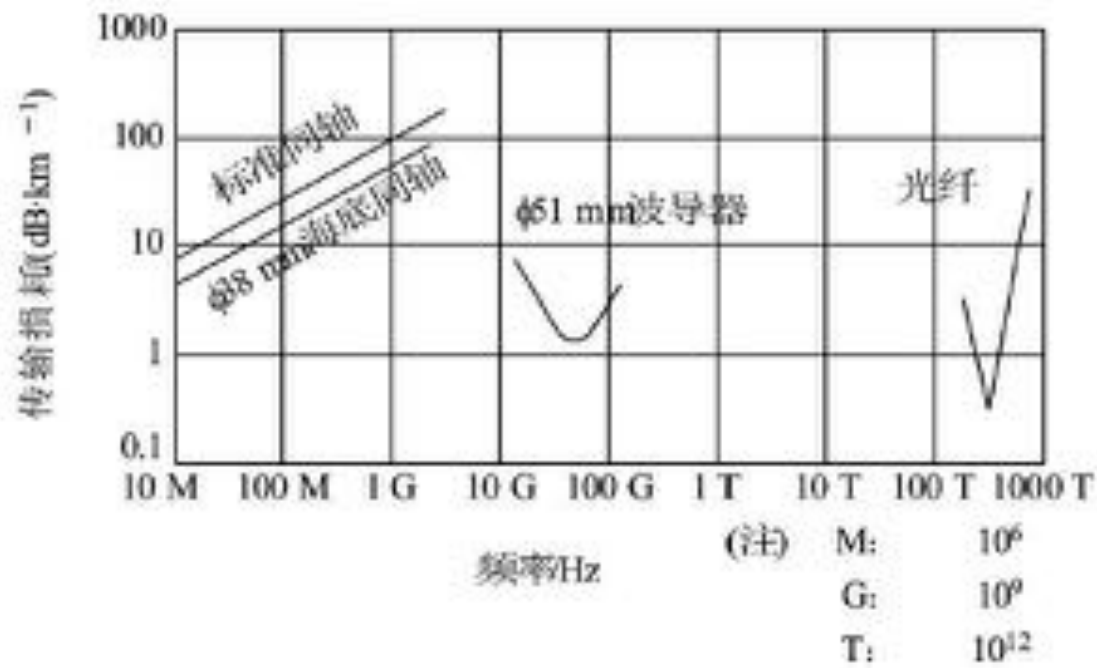
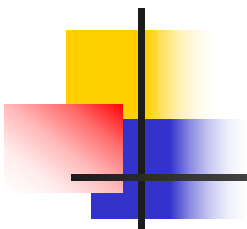


图 1.2 各种传输线路的损耗特性



在光纤通信系统中，作为载波的光波频率比电波频率高得多，而作为传输介质的光纤又比同轴电缆或波导管的损耗低得多，因此，相对于电缆通信或微波通信，光纤通信具有许多独特的优点。

### **1. 容许频带很宽，传输容量很大**

目前，单波长光纤通信系统的传输速率一般为2.5 Gb/s和10Gb/s。



## 2. 损耗小，中继距离长

石英光纤在 $1.31\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波长，传输损耗分别为 $0.50\text{dB/km}$ 和 $0.20\text{dB/km}$ ，甚至更低。因此，中继距离长。

传输容量大、传输误码率低、中继距离长的优点，使光纤通信系统不仅适合于长途干线网而且适合于接入网的使用，这也是降低每公里话路的系统造价的主要原因。



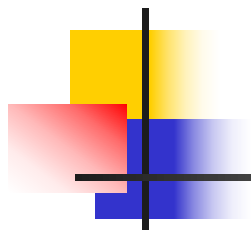


### 3. 重量轻、体积小

光纤重量很轻，直径很小。即使做成光缆，在芯数相同的条件下，其重量还是比电缆轻得多，体积也小得多。

### 4. 抗电磁干扰性能好

光纤由电绝缘的石英材料制成，光纤通信线路不受各种电磁场的干扰和闪电雷击的损坏。无金属光缆非常适合于存在强电磁场干扰的高压电力线周围和油田、煤矿等易燃易爆环境中使用。光纤(复合)架空地线(OPGW)是光纤与电力输送系统的地线组合而成的通信光缆，已在电力系统的通信中发挥重要作用。



## 5. 泄漏小，保密性能好

在光纤中传输的光泄漏非常微弱，即使在弯曲地段也无法窃听。没有专用的特殊工具，光纤不能分接，因此信息在光纤中传输非常安全。

## 6. 节约金属材料，有利于资源合理使用

制造同轴电缆和波导管的铜、铝、铅等为金属材料；而制造光纤的石英( $\text{SiO}_2$ )在地球上基本上是取之不尽的材料。

总之，光纤通信不仅在技术上具有很大的优越性，而且在经济上具有巨大的竞争能力，因此其在信息社会中将发挥越来越重要的作用。

## 4.1.2 光纤通信系统的基本组成

下图示出单向传输的光纤通信系统，包括发射、接收和作为广义信道的基本光纤传输系统。

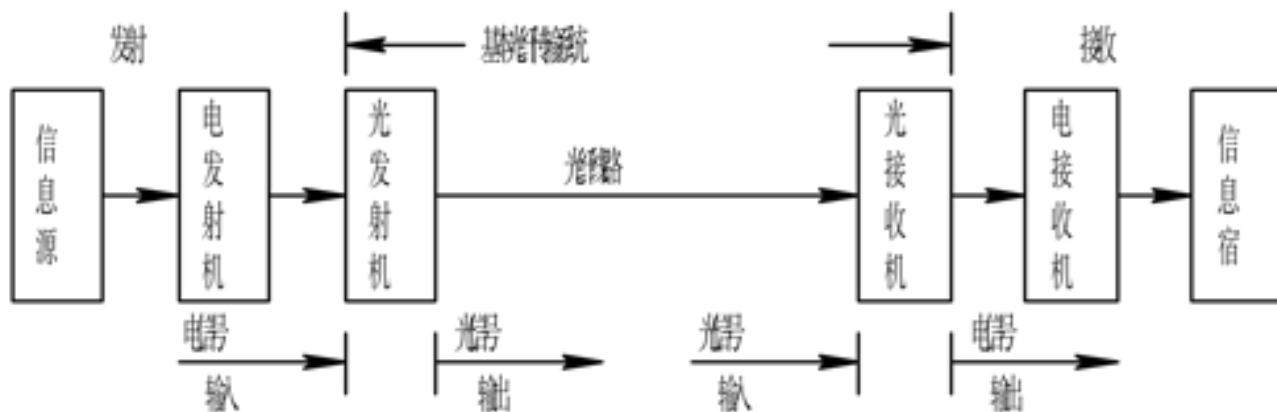


图 4-1 光纤通信系统的基本组成(单向传输)

## 4.2 光纤和光缆

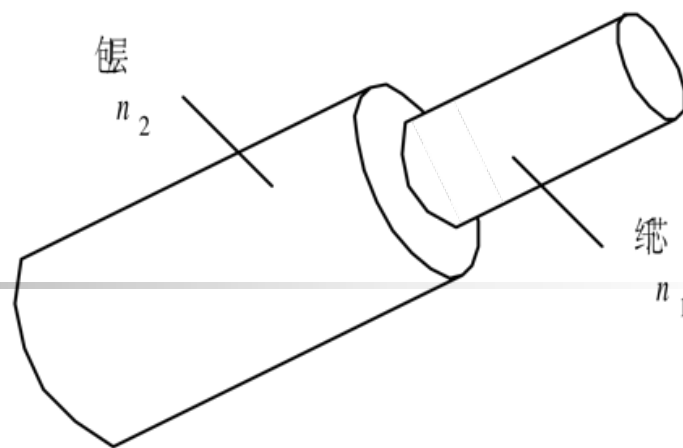


图4-2 光纤的外形

### 4.2.1 光纤结构和类型

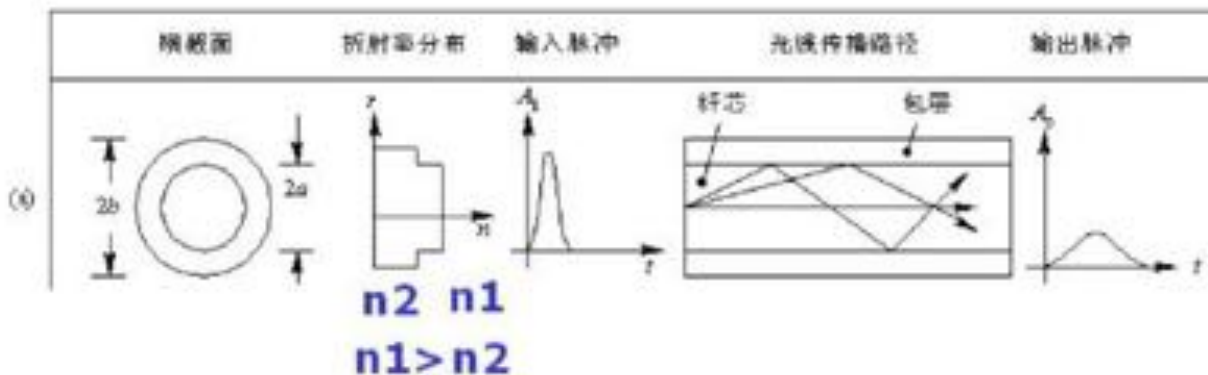
#### 1. 光纤结构

**光纤 (Optical Fiber)** 是由中心的纤芯和外围的包层同轴组成的圆柱形细丝。

**纤芯：** 折射率比包层稍高，损耗比包层更低，光能量主要在纤芯内传输。

**包层：** 为光的传输提供反射面和光隔离，并起一定的机械保护作用。光纤的外形如图4-2所示。

设纤芯和包层的**相对折射率差** $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$ 的典型值，一般单模光纤为0.3% ~ 0.6%，多模光纤为1% ~ 2%。



## 2. 光纤类型

光纤种类很多，这里只讨论作为信息传输波导用的由高纯度石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 制成的光纤。

实用光纤主要有三种基本类型：

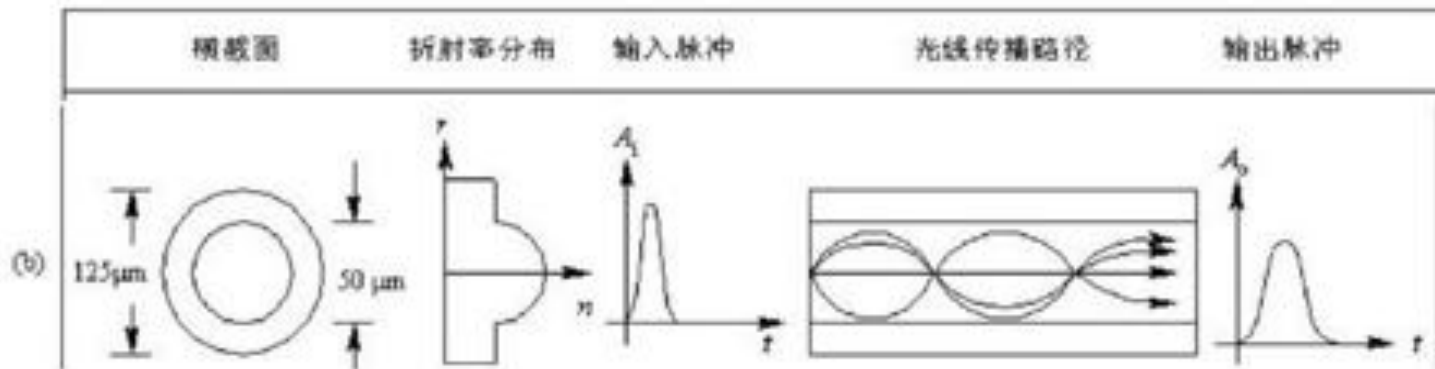
(a) **突变型多模光纤** (Step-Index Fiber, **SIF**) 如图4-3(a) 纤芯

折射率为  $n_1$  保持不变，到包层突然变为  $n_2$ 。

一般纤芯直径  $2a = 50 \sim 80 \mu\text{m}$ ，

光线以**折线形状**沿纤芯中心轴线方向传播，

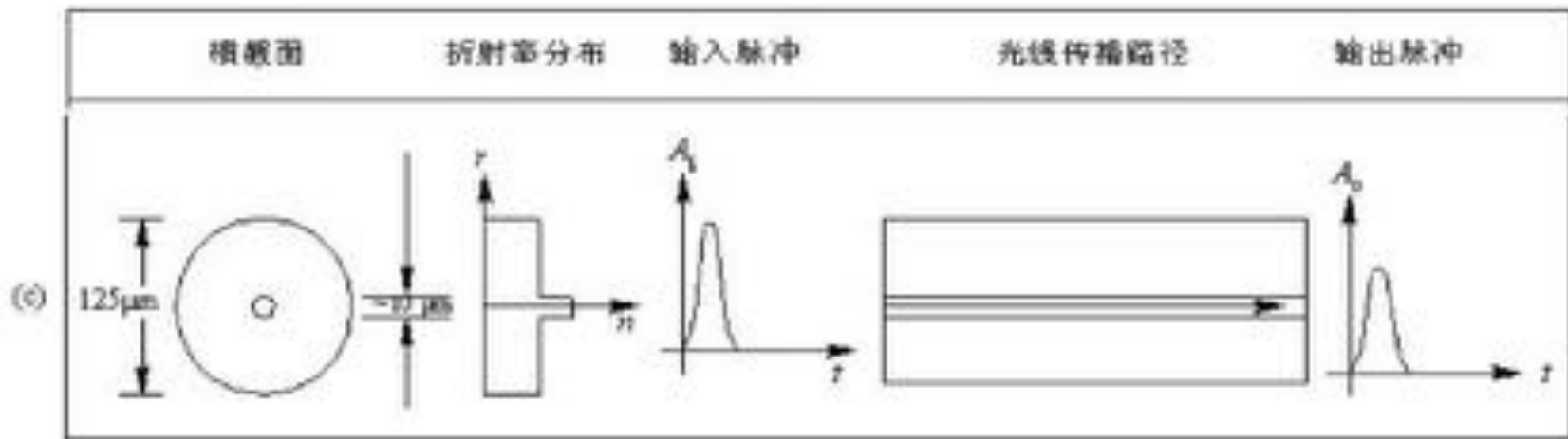
特点是**信号畸变大**。



## (b) 渐变型多模光纤 (Graded-Index Fiber, GIF)

在纤芯中心折射率最大为 $n_1$ ，沿径向 $r$ 向外围逐渐变小，直到包层变为 $n_2$ 。

一般纤芯直径 $2a$ 为 $50\mu\text{m}$ ，  
 光线以正弦形状沿纤芯中心轴线方向传播  
 (离轴近的 $n \uparrow$ ， $V = V_0/n \downarrow$ )  
 特点是信号畸变小。



(c) **单模光纤** (Single-Mode Fiber, **SMF**) 如图4-3(c)

折射率分布和突变型光纤(纤芯直径 $50\sim 80\mu\text{m}$ )相似,  
纤芯直径只有 $8\sim 10\mu\text{m}$ ,

光线以**直线形状**沿纤芯中心轴线方向传播。因为这种  
光纤只能传输一个模式, 所以称为单模光纤。



# 几何光学方法

---

- 几何光学方法分析问题的两个出发点
  - 数值孔径
  - 时间延迟
- 通过分析光束在光纤中传播的空间分布和时间分布
- 几何学法分析问题的两个角度
  - 突变型多模光纤
  - 渐变型多模光纤



## 4.2.2 光纤传光原理

### 1. 突变型多模光纤

设纤芯和包层折射率分别为 $n_1$ 和 $n_2$ ，空气的折射率 $n_0=1$ ，纤芯中心轴线与 $z$ 轴一致，如图4-4所示。

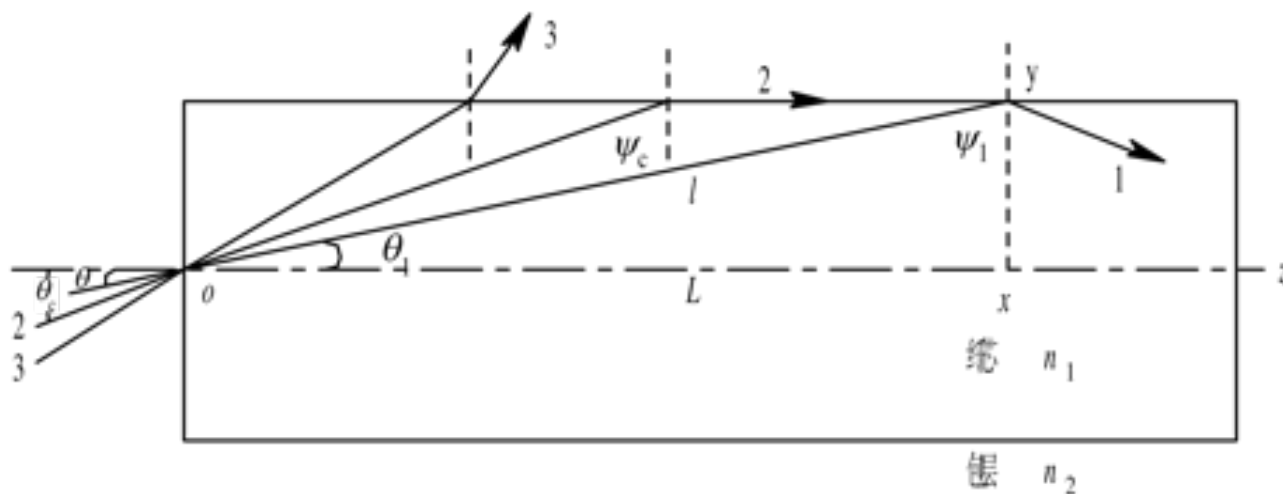
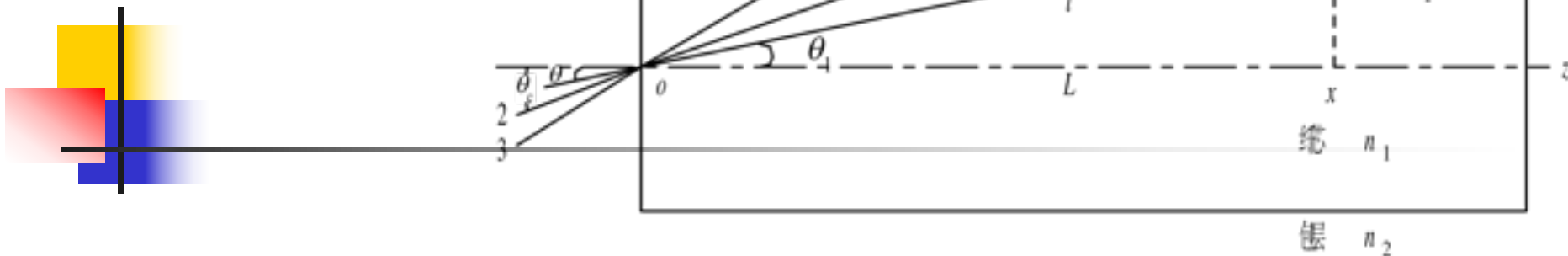


图4-4 突变型多模光纤的光线传播原理



光线以**小角度 $\theta$** 从空气入射到纤芯( $n_0 < n_1$ ), 折射角为 $\theta_1$ , 光线在纤芯与包层交界面以角度 $\psi_1$ 入射到包层( $n_1 > n_2$ )。根据斯奈尔(Snell)定律得到

$$n_0 \sin \theta = n_1 \sin \theta_1 = n_1 \cos \psi_1 \quad (4-1)$$

改变角度 $\theta$ 时,

如光线2: 当 $\theta = \theta_c$ 时, 相应的光线将以 $\psi_c$ 入射到交界面, 并沿交界面向前传播(折射角为 $90^\circ$ );

如光线1: 当 $\theta < \theta_c$ 时, 光线在交界面发生全反射而返回纤芯;

如光线3: 当 $\theta > \theta_c$ 时, 光线在交界面折射进入包层并逐渐消失;



## 数值孔径(Numerical Aperture, NA)

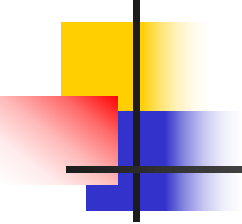
只有在半锥角为 $\theta \leq \theta_c$ 的圆锥内入射的光束才能在光纤中传播。根据这个传播条件，定义临界角 $\theta_c$ 的正弦为数值孔径

根据定义和斯奈尔定律

$$NA = n_0 \sin \theta_c = n_1 \cos \psi_c, n_1 \sin \psi_c = n_2 \sin 90^\circ \quad (4-2)$$

$N_0=1$ ，由式 (4-2) 经简单计算得到

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (4-3)$$


$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta}$$

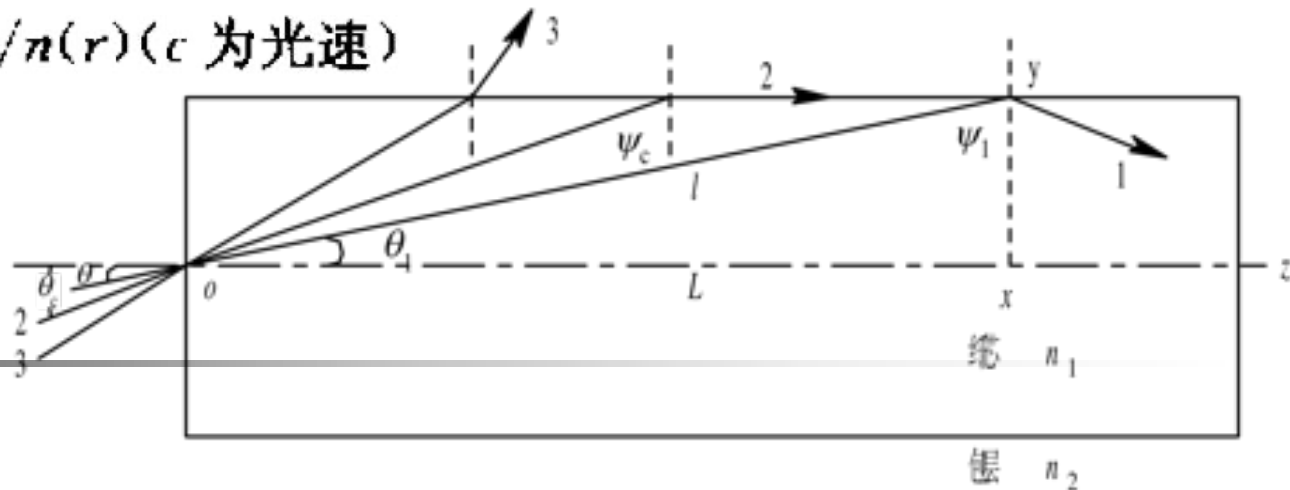
---

式中： $\Delta=(n_1-n_2)/n_1$ 为纤芯与包层相对折射率差。

NA表示光纤接收和传输光的能力

- NA(或 $\theta_c$ )越大，光纤接收光的能力越强，从光源到光纤的耦合效率越高。纤芯对光能量的束缚越强，光纤抗弯曲性能越好。
- 对于无损耗光纤，在 $\theta_c$ 内的入射光都能在光纤中传输。
- 但NA越大，经实际光纤传输后产生的信号畸变越大，因而限制了信息传输容量。
- 所以要根据实际使用场合，选择适当的NA

光线传播速度  $v(r) = c/n(r)$  ( $c$  为光速)

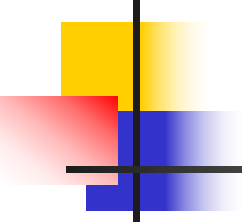


**时间延迟** 根据图4.4，入射角为 $\theta$ 的光线在长度为 $L$ ( $ox$ )的光纤中传输，所经历的路程为 $l(oy)$ ，在 $\theta$ 不大的条件下，最大入射角( $\theta=\theta_c$ )和最小入射角( $\theta=0$ )的光线之间时间延迟差近似为

$$\Delta\tau = \frac{n_1 L}{c \sin \psi_c} - \frac{n_1 L}{c} = \frac{n_1 L}{c} \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \approx \frac{n_1 L}{c} \Delta \quad (4-4)$$

式中， $c$  为真空中的光速。这种时间延迟差在时域产生脉冲展宽，或称为信号畸变。由此可见，突变型多模光纤的信号畸变是由于不同入射角的光线经光纤传输后，其时间延迟不同而产生的，其大小与  $\Delta$  成正比。

可见， $NA$  越大，经光纤传输后产生的信号畸变越大，因而限制了信息传输容量。所以要根据实际使用场合，选择适当的  $NA$ 。



渐变型多模光纤具有自聚焦效应，不仅不同入射角相应的光线会聚在同一点上，而且这些光线的 $\text{时间延迟}$ 也近似相等。

这因为光线传播速度 $v(r)=c/n(r)$ ( $c$ 为光速)

- 入射角略大时，光线经历的路程较长，远离中心轴线， $n(r)$ 较小，传播速度较快，补偿了较长的路程。
- 入射角小的光线情况正相反，其路程较短，但速度较慢。所以这些光线的 $\text{时间延迟}$ 近似相等。
- 所以渐变型多模光纤信号畸变比突变型多模光纤的信号畸变要小。



### 4.2.3 光纤传输特性

---

损耗和色散是光纤最重要的传输特性:

损耗Attenuation 限制系统的传输距离

色散Dispersion 则限制系统的传输容量

产生信号畸变的主要原因是光纤中存在色散



## (一) 光纤色散 Dispersion

### 1. 色散、带宽和脉冲展宽

**色散**(Dispersion)是在光纤中传输的光信号，由于不同成分的光的时间延迟不同而产生的一种物理效应。

色散的种类：                      原因

模式色散：不同模式的时间延迟不同

材料色散：光纤的折射率随波长而改变

波导色散：波导的结构参数与波长有关

模式色散 >> 材料色散 > 波导色散

补充：色散系数：单位线宽光源在单位长度光纤上所引起的时延差，  $\text{ps}/\text{km}\cdot\text{nm}$

$$D = \frac{\Delta\tau}{L \cdot \Delta\lambda}$$





## (二) 光纤损耗 Attenuation

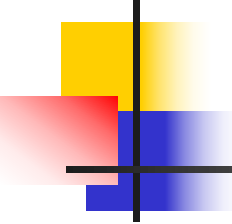
损耗的存在→光信号幅度减小→限制系统的传输距离。  
在最一般的条件下，在光纤内传输的光功率 $P$ 随距离 $z$ 的变化，可以用下式表示 <sub>$\alpha$</sub>   
损耗的大小用损耗系数表示。

$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \frac{P_i}{P_0} \quad (\text{dB/km}) \quad (4-5)$$

式中： $\alpha$ 是损耗系数。设长度为 $L(\text{km})$ 的光纤，输入光功率为 $P_i$ ，输出光功率为 $P_0$ 。

习惯上 $\alpha$ 的单位用 $\text{dB/km}$

## 1. 损耗的机理



后图是单模光纤的损耗谱，图中示出各种机理产生的损耗与波长的关系，这些机理包括吸收损耗和散射损耗两部分。

吸收损耗 是由SiO<sub>2</sub>材料引起的固有吸收和由杂质引起的吸收产生的。

散射损耗 主要由材料微观密度不均匀引起的瑞利(Rayleigh)散射和由光纤结构缺陷(如气泡)引起的散射产生的。

瑞利散射损耗是光纤的固有损耗，它决定着光纤损耗的最低理论极限。如果  $\Delta = 0.2\%$ ，在  $1.55\ \mu\text{m}$  波长，光纤最低理论极限为  $0.149\ \text{dB/km}$ 。



## 2. 损耗测量

---

光纤损耗测量有两种基本方法：

一种是测量通过光纤的传输光功率，称剪断法和插入法；

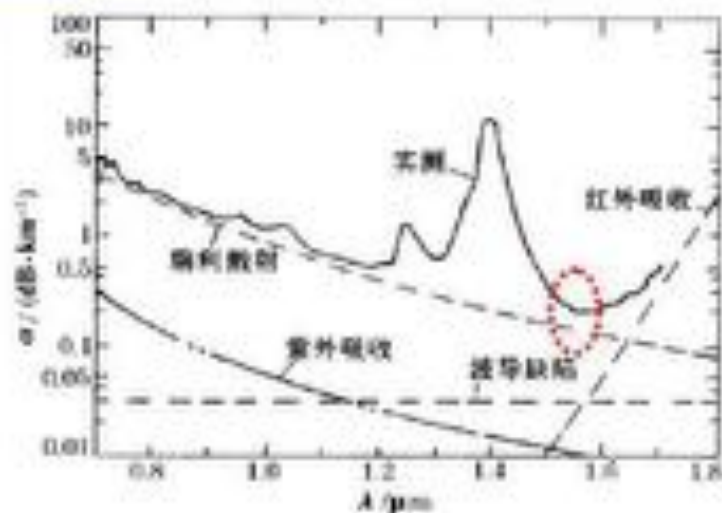
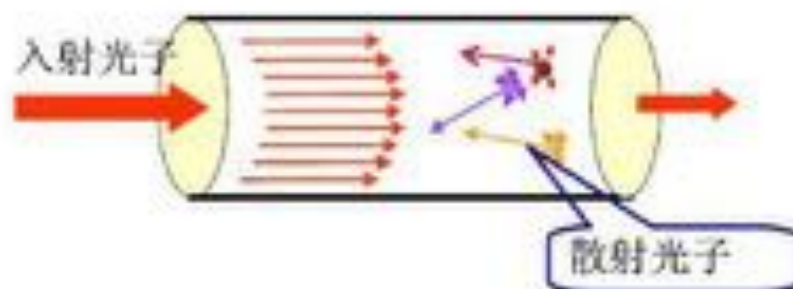
$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \frac{P_i}{P_0} \quad (\text{dB/km})$$

另一种是测量光纤的后向散射光功率，称后向散射法。

在工程上最实用的是后向散射法。

由于瑞利散射光功率与传输光功率成比例。利用与传输光相反方向的瑞利散射光功率来确定光纤损耗系数的方法，称为后向散射法。

## 瑞利散射损耗



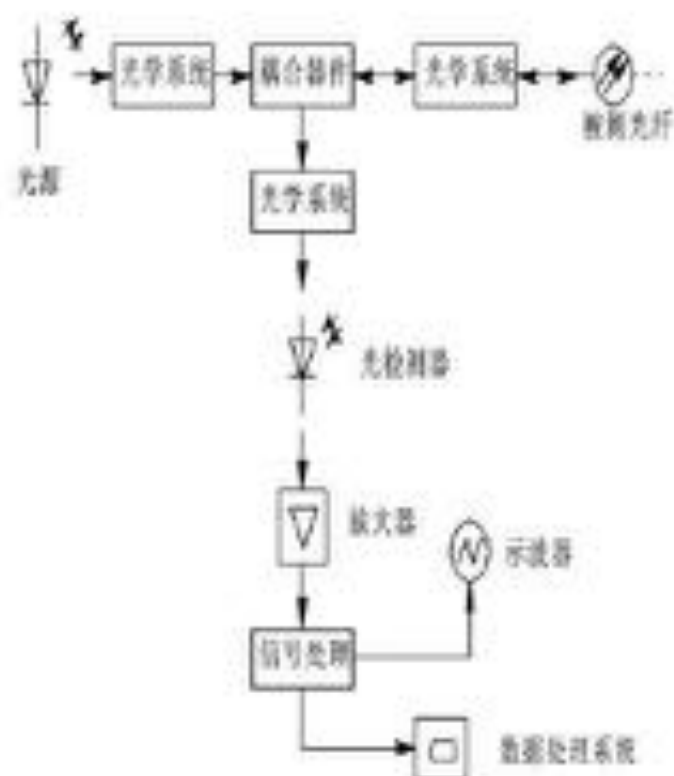


图4-6 后向散射法光纤损耗测量系统

A 输入端反射区；  
 BC恒定斜率区  
 C连接器、接头或局部缺陷引起损耗；  
 D介质缺陷(例如气泡)引起的反射；  
 E输出端反射区(光纤断点)，用以确定光纤长度。

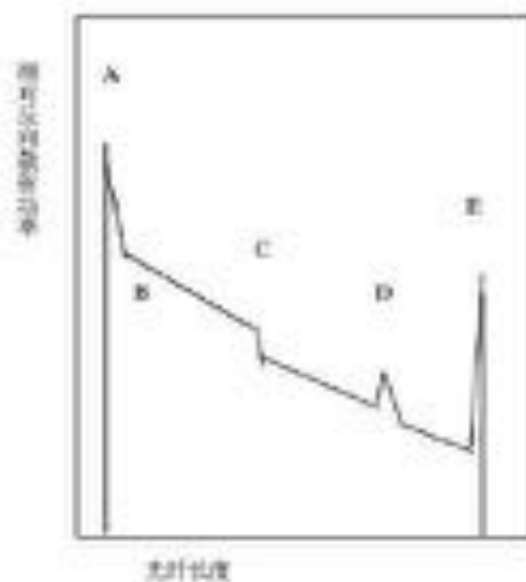
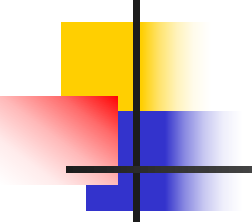


图4-7后向散射功率曲线的示例



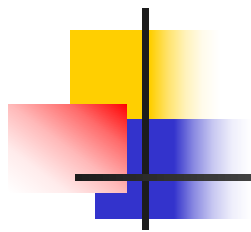
设在光纤中正向传输光功率为P，经过L1和L2点(L1<L2)时分别为P1和P2(P1>P2)，从这两点返回输入端(L=0)。光检测器的后向散射光功率分别为Pd(L1)和Pd(L2)，经分析推导得到，正向和反向平均损耗系数

$$\alpha = \frac{10}{2(L_2 - L_1)} \lg \frac{Pd(L_1)}{Pd(L_2)} \text{ (dB / Km)} \quad (4-6)$$

式中：右边分母中因子2是光经过正向和反向两次传输产生的结果。后向散射法不仅可以测量损耗系数，还可利用光在光纤中传输的时间来确定光纤的长度L。

$$L = \frac{ct}{2n_1} \quad (4-7)$$

式中：c为光速；n1为光纤的纤芯折射率；t为光脉冲从发出到返回的时间。



用后向散射法的原理设计的测量仪器称为光时域反射仪(OTDR)。

Optical time domain reflectometer

优势：采用单端输入和输出，不破坏光纤，使用非常方便；

测量用途广：OTDR不仅可以测量光纤损耗系数和光纤长度，还可以测量连接器和接头的损耗，观察光纤沿线的均匀性和确定故障点的位置，确实是光纤通信系统工程现场测量不可缺少的工具。



### (三) 电力系统特种光缆

它将光缆技术和输电线技术相结合，架设在10 ~ 500kV不同电压等级的电力杆塔上和输电线路路上，具有高可靠、长寿命等突出优点，在我国电力通信领域普遍使用。就目前来看，电力特种光缆主要包括：

全介质自承式光缆ADSS

架空地线复合光缆OPGW

缠绕式光缆GWWOP

捆绑式光缆AL-Lash

相线复合光缆OPPC

但主要使用的是ADSS、OPGW



# 1. ADSS光缆

目前世界上ADSS光缆的结构主要有4种类型，如图4-9。

A型：中心束管式ADSS光缆； B型：层绞式ADSS光缆；

C型：分布式增强型ADSS光缆； D型：带状式ADSS光缆。

其中A型与B型在电力系统中应用较广泛。



图4-9 几种无金属自承式架空光缆（ADSS）的结构图

- GYXTS(中心束管式光缆)



型号: GYXTS

标准: YD/T 769-2003

GYTA层绞式光缆



型号: GYTA

标准: YD/T 901-2001



## ADSS光缆主要特点:

- 采用具有高弹性模量的高强度芳纶纱作为抗张元件。重量轻、光缆几何尺寸小，缆重仅为普通光缆的三分之一，可直接架挂在电力杆塔的适当位置上，对杆塔增加的额外负荷很小；
- 外护套经过中性离子化浸渍处理，使光缆具有极强的抗电腐蚀能力；
- 光缆采用无金属材料，绝缘性能好，能避免雷击，电力线出故障时，不会影响光缆的正常运行；
- 利用现有电力杆塔，可以不停电施工，与电力线同杆架设，可降低工程造价；
- 运行温度范围宽：  $-40 \sim +70^{\circ}\text{C}$ ；
- 使用跨距范围：  $50 \sim 1200\text{m}$ 。



## 2. OPGW光缆的结构和特点

---

OPGW光缆是将光纤媒体复合在输电线路的架空地线里,地线和通信功能合二为一。

OPGW光缆主要是由铝包钢线或铝合金线组成的外部绞线包裹着光纤缆、中心加强件等组成的。

OPGW按光纤与其外层束管的“紧密”程度分为“松套”和“紧套”两种类型,大多数厂家都采用松套结构。

目前电力系统主要使用如图4-10所示几种结构的OPGW光缆。

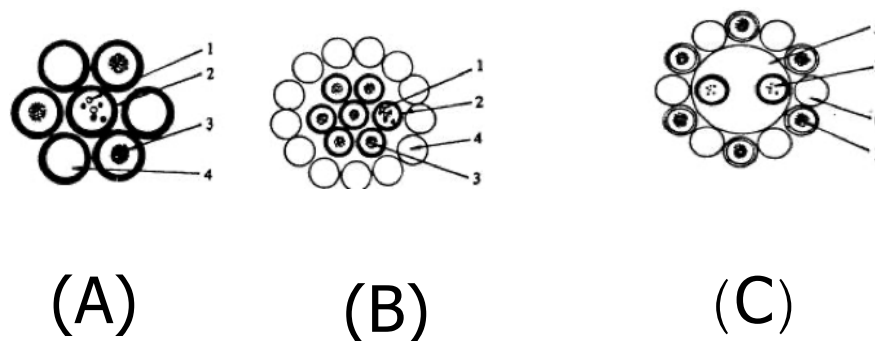


图4-10 几种OPGW光缆结构示意图

1: 光纤; 2: 不锈钢钢管(铝管 / 塑管); 3: 铝包钢线; 4: 铝合金线; 5: 螺旋型带槽铝合金骨架; 6: 镀锌钢管

A型: 中心束管式; B型: 偏管层绞式; C型: 骨架式  
OPGW光缆



## OPGW主要特点是:

---

- (1) OPGW既可避雷,又可用于通信,不需要另外加挂光缆。
- (2) 光缆位于OPGW中,外层有铝包钢线或铝合金线包裹,光缆受到保护,可靠性较高。
- (3) OPGW是随着电力线架设的,因而节省了施工费。
- (4) OPGW是架设在输电线路铁塔上的,这种铁塔比起邮电部门的通信电杆可靠、安全,且不易被盗窃。



### 3. 缠绕式光缆GWWOP

---

**GWWOP**光缆是将无金属的介质光缆缠绕在已运行的输电线路地线上。它是由松套缓冲管与小强度件或填充件绞绕在一起以形成圆形光纤单元,光纤单元是用交联聚乙烯护套加以保护。这个护套提供了机械和环境保护,并且抗电弧和雷击。其主要特点:

(1)抗干扰能力强、耐高温、抗老化,且不易被盗窃。

(2)**GWWOP**光缆重量很轻,且使用专用的机械缠绕在输电线路地线上,所以,在光缆架设时不需对原杆塔作复核与改动即可施工。

(3)光缆可在任何自承塔上熔接。**GWWOP**光缆的缺点是易受外界损坏。



#### 4. 全介质捆绑光缆AD-LASH

---

AD-LASH光缆是将非金属光缆采用捆绑式架设方法,通过捆绑机用捆绑带把光缆与架空地线或相线捆绑在一起。

AD-LASH光缆的特点是:

- (1)光缆直径小、重量轻,将它捆绑在送电线路上,基本不会产生垂直的重力荷载,不会对原有杆塔造成明显的影响。
- (2)光缆的全介质设计减轻了光缆的重量。避免了送电线路短路或者雷击影响。



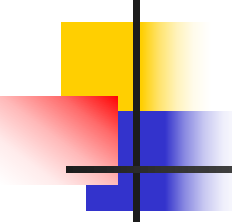


A D L



G W W O P

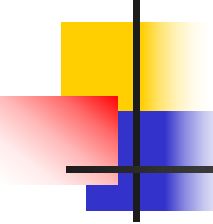
捆绑光缆和地线缠绕光缆示意图



(3)可以在地线或者相线上简单快捷地安装。 AD-LASH光缆的设计使得其外护套具, 有耐高温及防电腐蚀等特点, 因此,AD-LASH光缆不但可以在地线上安装,也可以在地线35kV及以下的相线上安装。

(4)光缆由粘性捆绑带固定,不会在地线或者相线上移动。 光缆的捆绑带表面有粘性物质,它可以使光缆、捆绑带及送电线路牢固地粘连在一起,光缆不能左右移动,不会对光缆的外护套造成摩擦损伤。

(5)光缆安装完成后,由捆绑带承受重量,光缆不会受永久性张力,不会由于张力而产生应力衰减。




(6)光缆与地线或相线被平行地捆绑在一起,不会有环形状态产生。其缺点是易受外界损坏,且高压送电线路档距较大,杆塔较高,捆绑机施工比较困难。

## 5. 光缆结构类型的选择

电力特种光缆的选型主要是由它要架设的输电线路的情况决定的。

ADSS光缆是目前使用较多的类型,可在现有的输电线路附挂,不停电施工,但在500KV超高压输电线路上有抗电腐蚀能力较弱的缺点,且需验算铁塔的承受能力。

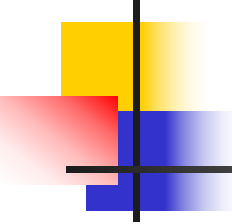
ADSS适合于在已运行的220KV及以下输电线路上使用。其安全性能稍次于OPGW光缆,但施工周期较OPGW短,工程造价也比OPGW低。



OPGW光缆适合于新建的220 ~ 500KV线路。若使用在已经运行的线路上，则必须对承挂的杆塔结构进行复核验算，必要时还需对已有线路杆塔结构进行加强或改造，同时还要更换原有线路地线。工程量大，施工要求比较高，施工周期和故障恢复周期均较长。

GWWOP光缆适合于在已运行的电力线路上使用。该型光缆虽然工程造价最低，但易受外界损害。

根据目前电力系统使用光缆的情况，一般在220kV及以下老线路采用抗电腐蚀的ADSS光缆；在新建的220kV及以上输电线路采用OPGW光缆；对ADSS抗拉强度不能满足要求的特大跨越档距可考虑采用GWWOP光缆；对35kV及以下运行时间较长的送电线路可考虑采用AD-LASH光缆。



另外,随着电力系统光纤通信的发展,出现了ADSS、OPGW与普通光缆交替使用的情况。位于城镇地区的电业局、供电局及调度大楼等,由于高压输电线路很少伸入到城市中心,因而需在部分10KV配电线路上附挂普通光缆,或沿城市规划的电缆沟进入市区以便于电力调度、供电自动化及行政管理工作。

## 6. 光缆应用中出现的問題和主要解决措施

随着电力通信网建设的加快,运行中ADSS和OPGW暴露出来许多问题,主要集中在ADSS外护套电腐蚀和OPGW雷击问题。



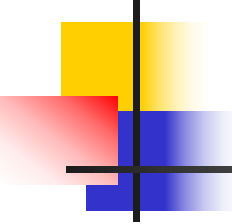
## 4.3光源与光检测器

---

通信用光器件可以分为有源器件和无源器件两种类型。

有源器件包括光源、光检测器和光放大器。

无源器件主要有连接器、耦合器、波分复用器、调制器、光开关和隔离器等。



### 4.3.1光源

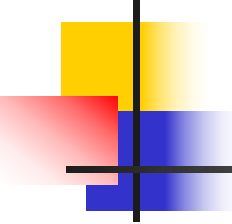
---

光源是光发射机的关键器件，其功能是把电信号转换为光信号。

目前光纤通信广泛使用的光源主要有：

半导体激光二极管或称激光器(LD: Laser Diode)

发光二极管或称发光管(LED: Light-Emitting Diode)。



## 第4节 光端机

---

一 光发射机

二 光接收机





# 一 光发射机

---

数字光发射机的功能:

- 电端机输出的数字基带电信号转换为光信号  
(常简称为电/光或者E/O转换)

是通过电信号对光的调制而实现的

- 用耦合技术注入光纤线路

受调制的光源特性参数有: 功率、幅度、频率和相位

- 直接调制
- 外调制 (间接调制; 如电光调制器-电信号改变电光体晶体的折射率)

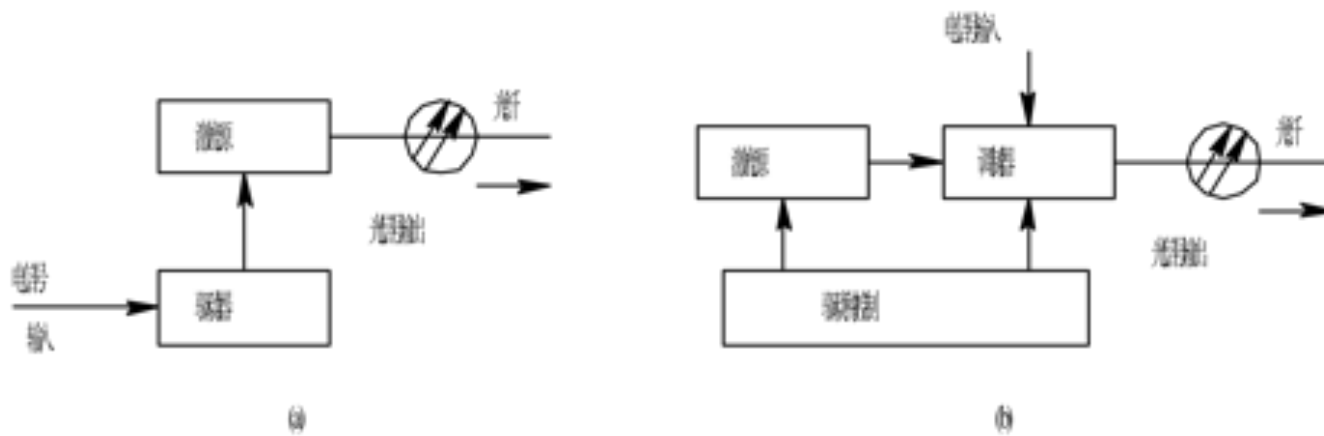


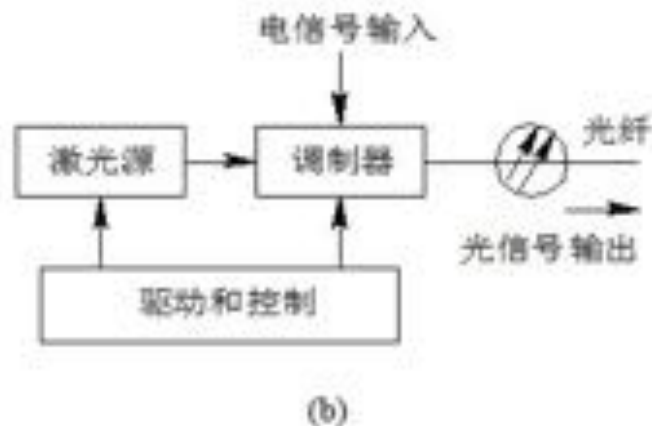
图 4-20 两种调制方案  
(a) 直接调制; (b) 间接调制(外调制)



# 1、直接调制

- 电信号直接调制**LD**激光器或**LED**发光二极管的驱动电流，使输出光随电信号变化而实现。
- 这种方案技术简单，成本较低，容易实现，但调制速率受激光器的频率特性所限制。

## 2、外调制



- 外调制是把激光的产生和调制分开，用独立的调制器调制激光器的输出光而实现的。如图(b)所示。
- 目前最常用：电光调机器。这种调节器是利用电信号改变电光晶体的折射率，使通过调节器的参数随电信号改变而实现调制的。
- 外调制方式虽然技术复杂，但是传输速率和接受灵敏度很高，在大容量的波分复用和相干光通信系统中使用，是很有发展前途的通信方式。

## (二) 光发射机基本组成

数字光发射机的方框图如图4-22所示，主要有光源和电路两部分。电路的设计应以光源(关键)为依据，使输出光信号准确反应输入电信号。

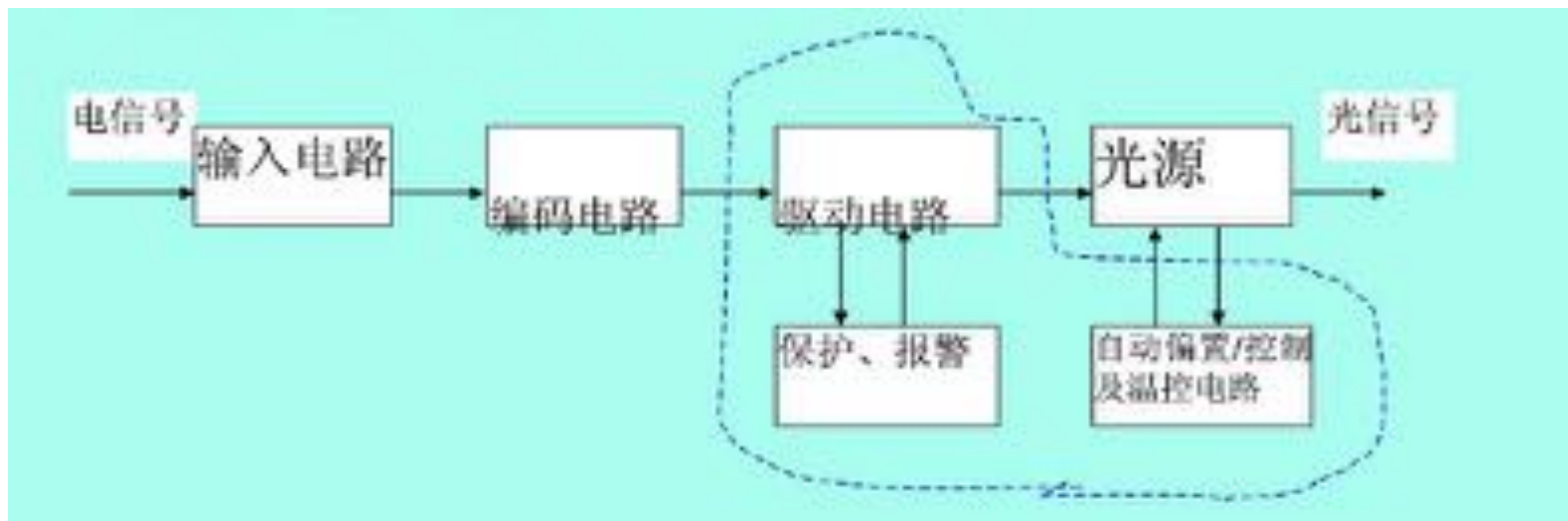


图4-22 直接调制的数字光发送机框图



# 线路编码电路

---

电端机输出的数字信号是适合电缆传输的双极性码，而光源不能发射负脉冲，要变换为适合于光纤传输的**单极性码**调制电路和控制电路：

(1)输出光脉冲的**通断比**（全“1”码平均光功率和全“0”码平均光功率的比值，或消光比的倒数）应大于10，以保证足够的光接收信噪比

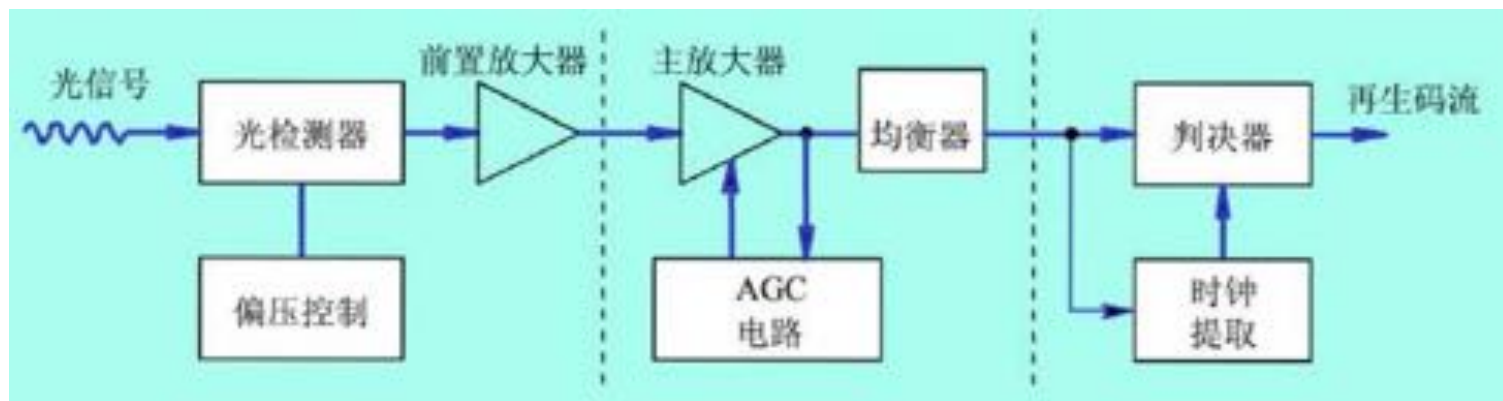
(2)**对激光器应施加足够的偏置电流**，以便抑制在较高速率调制下保证发射机正常工作

(3)应采用**自动功率控制（APC）**和**自动温度控制（ATC）**，以保证输出光功率有足够的稳定性

## 二 光接收机

### (一) 光接收机基本组成

强度调制——直接检测方式的数字光接收机方框图示于图4.23。主要包括：  
光检测器、前置放大器、主放大器、均衡器、时钟提取电路、取样判决器以及自动增益控制 (AGC) 电路。





# 1. 光检测器

---

光检测器是光接收机实现光 / 电转换的关键器件，其性能特别是响应度和噪声直接影响光接收机的灵敏度。

对光检测器的要求如下：

- (1) 波长响应要和光纤低损耗窗口（ $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.31\mu\text{m}$  和  $1.55\mu\text{m}$ ）兼容；
- (2) 响应度要高，在一定的接收光功率下，能产生最大的光电流；
- (3) 噪声要尽可能低，能接收极微弱的光信号；
- (4) 性能稳定，可靠性高，寿命长，功耗和体积小。

目前，适合于光纤通信系统应用的光检测器有PIN光电二极管和雪崩光电二极管（APD）。





## (二) 光电集成接收机

---

图4.23 中除光检测器以外的所有元件都是标准的电子器件，很容易用标准的集成电路(IC)技术将它们集成在同一芯片上。

不论是硅 (Si) 还是砷化镓 (GaAs) IC技术都能够使集成电路的工作带宽超过2GHz，甚至达到10GHz。

为了适合高传输速率的需求，人们一直在努力开发单片光接收机，即用“**光电集成电路 (OEIC) 技术**”在同一芯片上集成包括光检测器在内的全部元件。

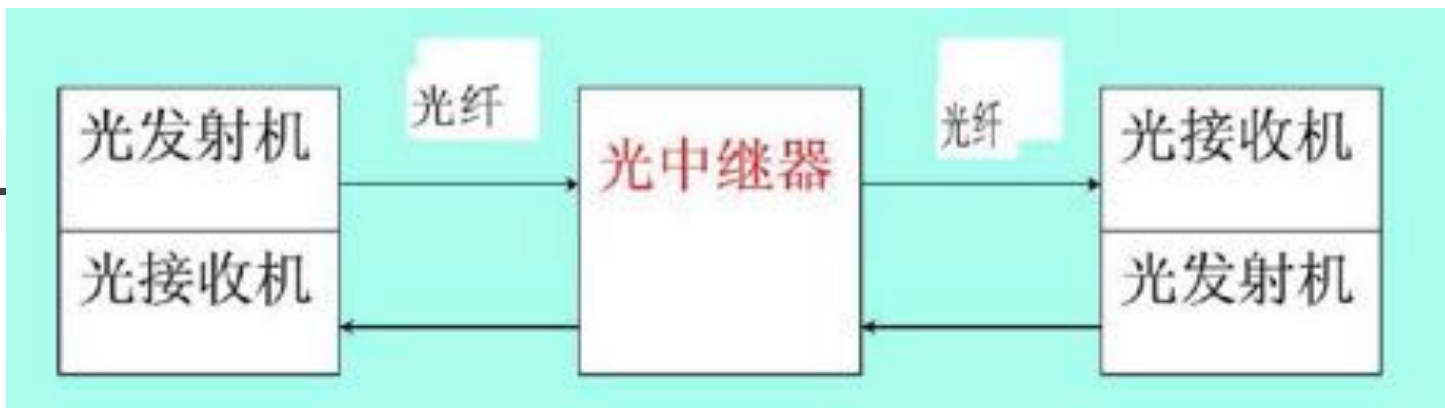
# 系统结构

光纤通信系统：双向系统

由发射端机（电 / 光）、接收端机（光 / 电）、光中继器、监控系统、备用系统等组成。



图4-24 光纤通信系统示意图

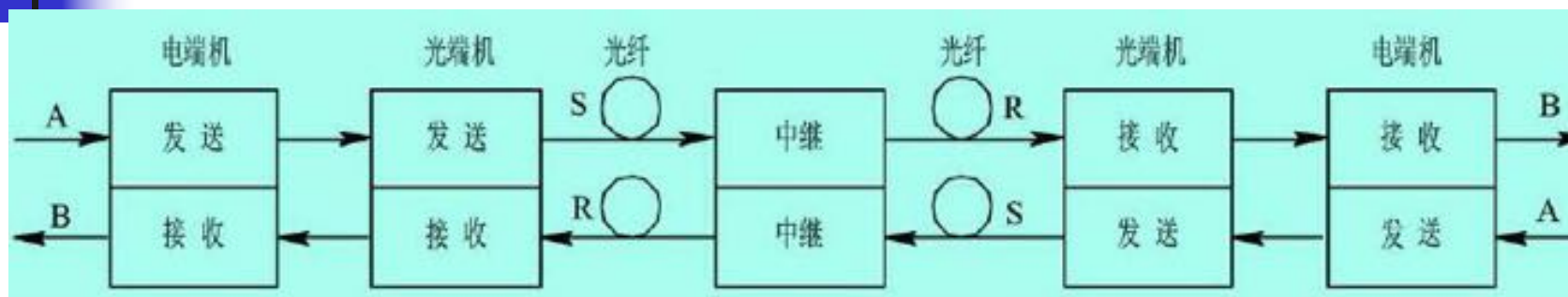


## 光中继器

**传统**光中继器：**光—电—光**的转换形式，即先将受到的微弱光信号用光检测器转换成电信号后进行放大、整形和再生后，恢复出原来的数字信号，然后再对光源进行调制，变换为光脉冲信号后送入光纤继续传输。

现代光纤放大器实用化：**光纤放大器**能直接放大光信号，对信号的格式和速率具有高度的透明性，使得整个系统更加简单、灵活。

# 光纤通信系统接口指标



**光接口：** 光纤通信系统特有的接口

**S点：** 平均发送光功率和消光比

**R点：** 接收机灵敏度和动态范围

光中继器两侧均与光纤相连，两侧的接口均为光接口。

**电接口：** A输入口、B输出口。

输入口和输出口： 比特率及容差、反射损耗。

输入口： 输入口允许衰减和抗干扰能力、输入抖动容限；

输出口： 输出口脉冲波形、无输入抖动时的输出抖动容限



### 三、光纤传输系统的设计

---

对数字光纤通信系统而言，系统设计的主要任务是：

根据用户对传输距离和传输容量（话路数或比特率）及其分布的要求，按照国家相关的技术标准和当前设备的技术水平，经过综合考虑和反复计算。

选择最佳路由和局站设置、传输体制和传输速率以及光纤光缆和光端机的基本参数和性能指标，以使系统的实施达到最佳的性能价格比。

在技术上，系统设计的主要问题是确定中继距离，尤其对长途光纤通信系统，中继距离设计是否合理，对系统的性能和经济效益影响很大。



## 中继距离的设计有三种方法:

---

- 最坏情况法（参数完全已知）
- 统计法（所有参数都是统计定义）
- 半统计法（只有某些参数是统计定义）

这里我们采用最坏情况设计法，用这种方法得到的结果，设计的可靠性为**100%**，但要牺牲可能达到的最大长度。**中继距离受光纤线路损耗和色散（带宽）的限制，明显随传输速率的增加而减小。**中继距离和传输速率反映着光纤通信系统的技术水平。



### 三、光纤传输系统的设计

---

从前面的性能讨论知道, **最大中继距离**的4个影响因素:

- 平均发射光功率  $P_T$
- 光接收机灵敏度  $P_{\min}$
- 光纤的衰减系数
- 光纤的色散

下面我们分两种情况讨论:



## 1. 中继距离主要受光纤衰减限制的情况

---

如果在光纤通信系统中，信号的码速不是很高，带宽足够宽，则光纤的色散对传输距离的影响不大，可认为光纤传输系统的最大中继距离主要仅受光纤衰减的影响。

在这种情况下，要求S和R两点之间光纤线路总损耗必须不超过系统的总功率衰减

$$L = \frac{P_T - P_{\min} - 2\alpha_c - M_e}{\alpha_f + \alpha_s + \alpha_m}$$

( 4-12)





## 2. 色散对中继距离的影响

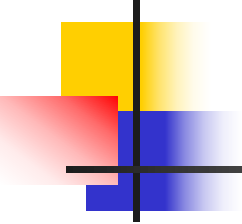
---

当光纤系统的码速大于140Mb/s时，如果中继距离过长，由于色散的影响，会造成数字信号脉冲过大的展宽，引起码间干扰，从而降低光接收机的灵敏度。

就目前的速率系统而言，仅考虑色散影响的中继距离的计算公式为

$$L_D = \frac{\varepsilon \times 10^6}{f_b \times \Delta\lambda \times D}$$

( 4-13 )



式中:  $L_D$  为传输距离, Km;  
 $f_b$  为线路码速率, Mb/S;  
 $D$  为色散系数, ps/km·nm;  
 $\Delta\lambda$  为光源谱线宽度;

$$L_D = \frac{\varepsilon \times 10^6}{f_b \times \Delta\lambda \times D}$$

$\varepsilon$  为与色散代价有关的系数。由所选用的光源类型来决定, 若采用多纵模激光器, 取  $\varepsilon$  为 0.115;

若采用单纵模激光器和半导体发光二极管, 则取  $\varepsilon$  为 0.306。

对于某一传输速率的系统而言, 在考虑上述两个因素的同时, 分别算出两个中继距离  $L$  和  $L_D$ , 然后取距离短的为该传输速率的实际中继距离。