

# 第 5 章 光纤通信系统

## 本章要点

- 。光通信概念与特点
- 。光纤通信系统组成及原理
- 。光纤结构、分类、传光原理
- 。光源分类、发光机理、特点
- 。光检测器分类、检测原理、特点
- 。光端机、光中继组成原理
- 。光网络分类

## 5. 1 光纤通信概述

### 5. 1. 1 光纤通信的基本概念

#### 1、光通信的发展史

- 。我国古代使用的烽火台就是大气光通信的最好例子。
- 。后来的手旗、灯光甚至交通红绿灯等均可划入光通信的范畴。
- 。近代光通信的雏形可追溯到 1880 年 Bell 发明的光电话。
- 。但通信光电话未能像其它电通信方式那样得到发展。
- 。1966 年英籍华人高琨博士提出光导纤维的概念在全世界范围内掀起了发展光纤通信的高潮。
- 。1978 年工作于  $0.8\mu\text{m}$  的第一代光波系统正式投入商业应用。
- 。上世纪 80 年代初，早期的采用多模光纤的第二代光波通信系统问世。
- 。1990 年，工作于  $2.4\text{Gb/s}$ ， $1.55\mu\text{m}$  的第三代光波系统已能提供通信商业业务。

- 。第四代光波系统以采用光放大器(OA)增加中继距离和采用频分与波分复用(FDM 与 WDM)增加比特率为特征。
- 。第五代光波通信系统的研究与发展也经历了 20 多年历程,已取得突破性进展。它基于光纤非线性压缩抵消光纤色散展宽的新概念产生的光孤子,实现光脉冲信号保形传输。

## 2、光纤通信:

以光波为载波,以光导纤维为传输媒介的通信方式。

## 3、光纤通信系统的基本组成:

- (1) 光发送机;
- (2) 光纤;
- (3) 光中继器;
- (4) 光接收机;
- (5) 电发送机;

(6) 电接收机等。

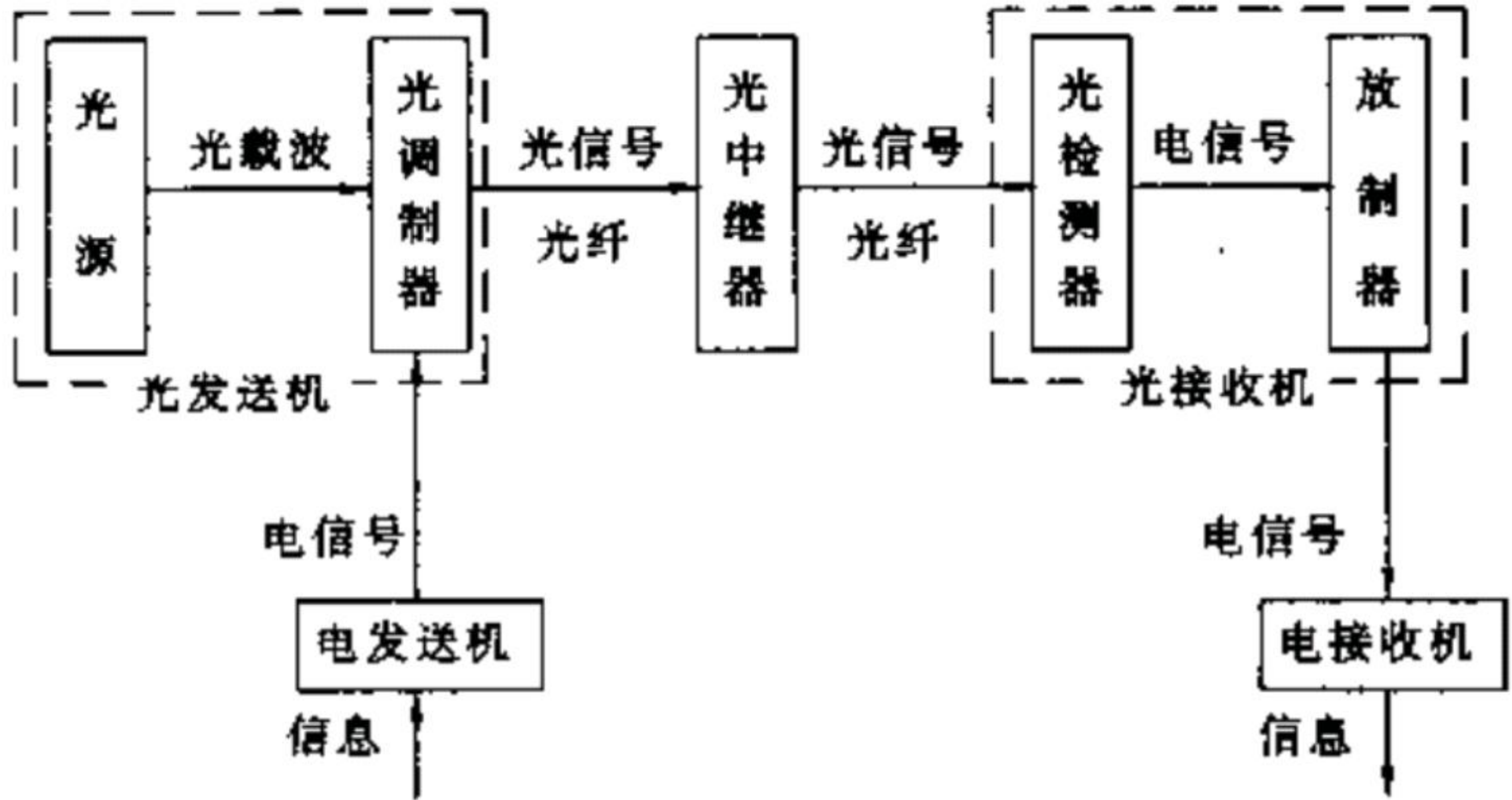


图 5-1 光纤通信系统示意图

## 5.1.2 光纤通信的主要特点

### 1、通信容量大:

光纤通信用频率很高的光波作为载波，具有很宽的传输频带。

是目前通信容量最大的一种通信方式。

已投入商用的光纤通信系统，传输速率可达 2.5Gb/s、10Gb/s、40Gb/s 或更高)。

### 2、中继距离长:

光纤的传输损耗很低，无中继传输距离很长，比电缆系统的中继距离大得多。

用石英玻璃制成的光纤在 1.55um 波长的传的损耗降至 0.2dB / km，甚至达到  
0.15dB / km。

这一优点对于长途干线，特别是海底光缆通信来说，具有重大意义。

### 3、抗电磁干扰:

光纤是由玻璃制成的，传输的是光信号，因此不怕电磁干扰，也不受外界光的影响。

强电、雷电等也不会影响光纤的传输性能。

甚至在核辐射的环境中，光纤通信仍能正常进行。

这是电通信所不能比拟的。

#### 4、不产生串话，保密性好：

光在光纤中传输时，几乎不向外泄漏光能。

因此在同一光缆中，数根光纤之间不会相互干扰，既不产生串话，也难以被窃听。

所以光纤通信与无线电和有线电通信相比有更好的保密性。

#### 5、光缆尺寸小、重量轻：

光纤的外径仅 1.25 $\mu\text{m}$ ，套塑后的尺寸也小于 1mm，用它制成的 6—18 芯光缆的外径约 12mm，比相同容量的电缆细小得多。

光纤的主要原料是硅，光缆比电缆轻得多。所以，光纤的运输和敷设都较方便。

#### 6、节省有色金属和能源：

光纤材料石英资源丰富且价格便宜。

#### 7、光纤不会锈蚀、使用寿命长。

可用 20 年以上。

8、光纤接头没有电火花，可用于军火仓库、石油化工等易燃易爆的环境中。

## 5.2 光纤和光缆

### 5.2.1 光纤的结构与分类

#### 1、光纤的结构

通信用的光纤是一种能够导光的透明玻璃丝，外径一般为 125 $\mu\text{m}$ 。

纤芯、包层材料为不同折射率的掺杂石英材料。

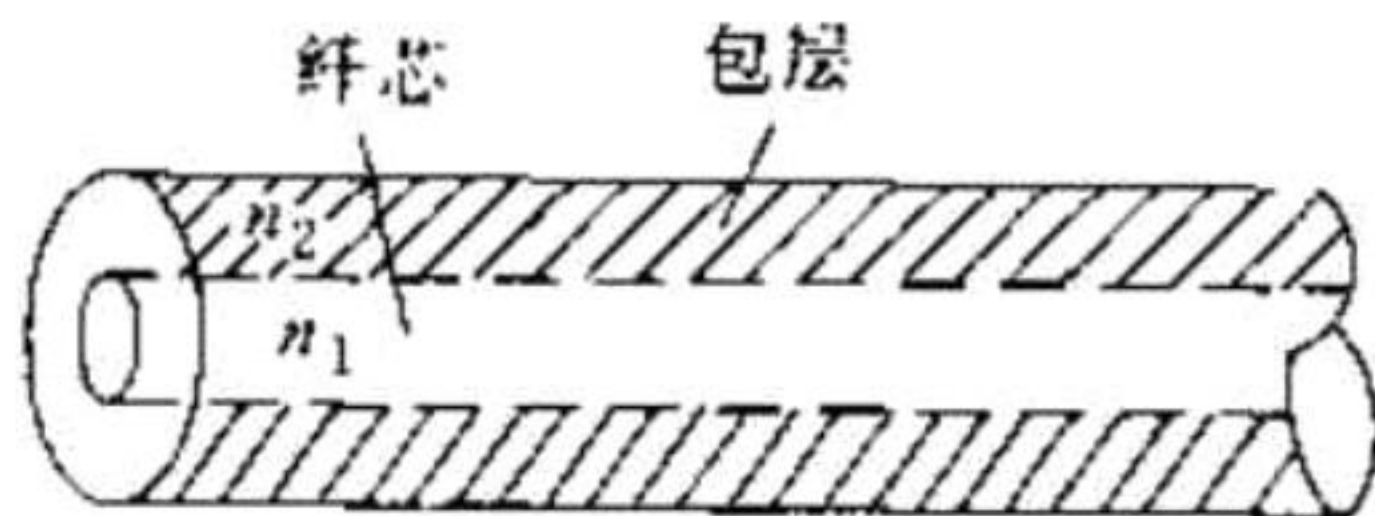


图 5-2 光纤的结构

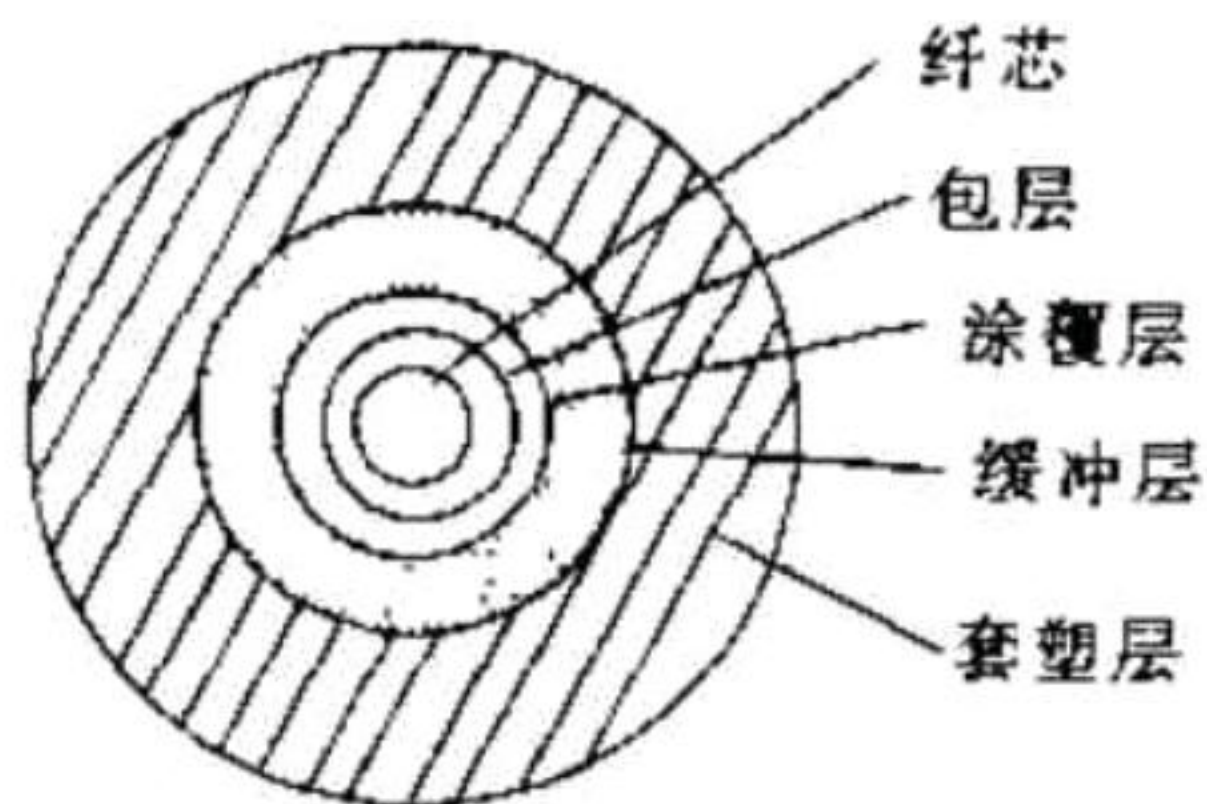


图 5-3 成品光纤的横断面结构



## 2、光纤的分类

### (1) 按光纤剖面折射率分布分类:

- 阶跃光纤: 纤芯的折射率与包底的折射率成阶跃型分布。
- 渐变型光纤: 纤芯的折射率分布曲线近似为抛物线。
- 三角型光纤: 纤芯折射率分布曲线为三角形, 是一种新型单模光纤。

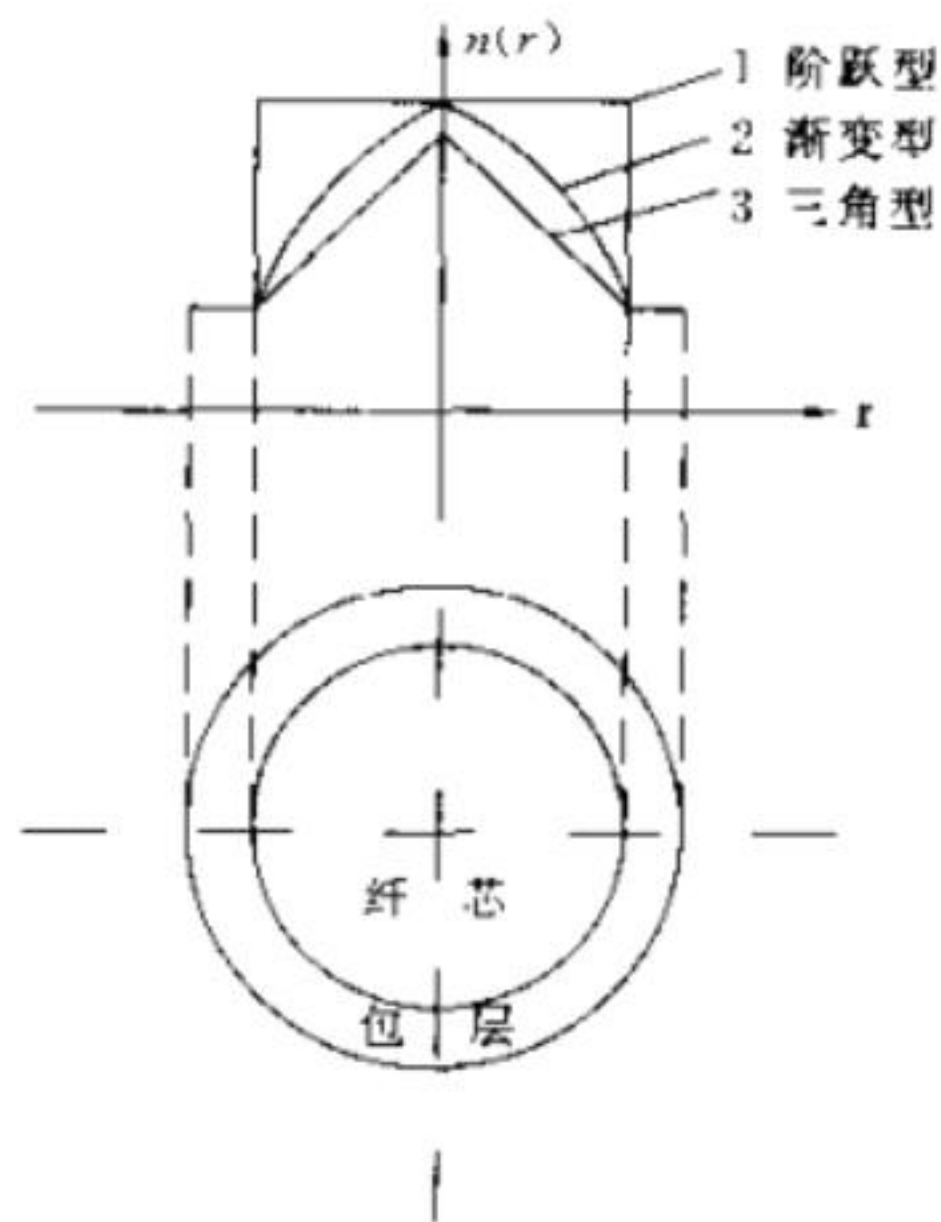


图 5-4 光纤纤芯的折射率分布

## (2) 按光纤包层的不同分类:

单包层光纤、双包层光纤、四包层光纤等。

## (3) 按传导模的数目分类:

### ■ 多模光纤:

所传输光波的模式有多个,多模光纤的纤芯直径为  $50\mu\text{m}$ 。

光纤剖面折射率为渐变型。

可用于中容量、中距离通信系统。

### ■ 单模光纤:

所传输光波的模式只有一个,即只能传输基模(最低阶模)的光纤。

单模光纤的纤芯直径仅几微米(一般为  $8\mu\text{m} - 10\mu\text{m}$ ),但外径与多模光纤一样,均为  $125\mu\text{m}$ 。

适用于大容量、长距离通信系统。

光纤中能够传播的模式数目的多少取决于光纤的工作频率(波长)、折射率剖面分布和结构参数。对于结构确定的光纤,当工作频率小于某一值(用归一化截止频率表示,即光纤的归一化频率小于其归一化截止频率)时,光纤只能传输基模,即为单模光纤,否则为多模光纤。

#### (4) 按光纤的套塑层分类:

##### ■ 紧套光纤

光纤被套管紧紧箍住,不能再其中松动。

是多层整体结构。

##### ■ 松套光纤

护套为松套管,光纤可以松动。

管内填充油膏,防渗水。

管内有多根光纤时,称为松套管光纤束。

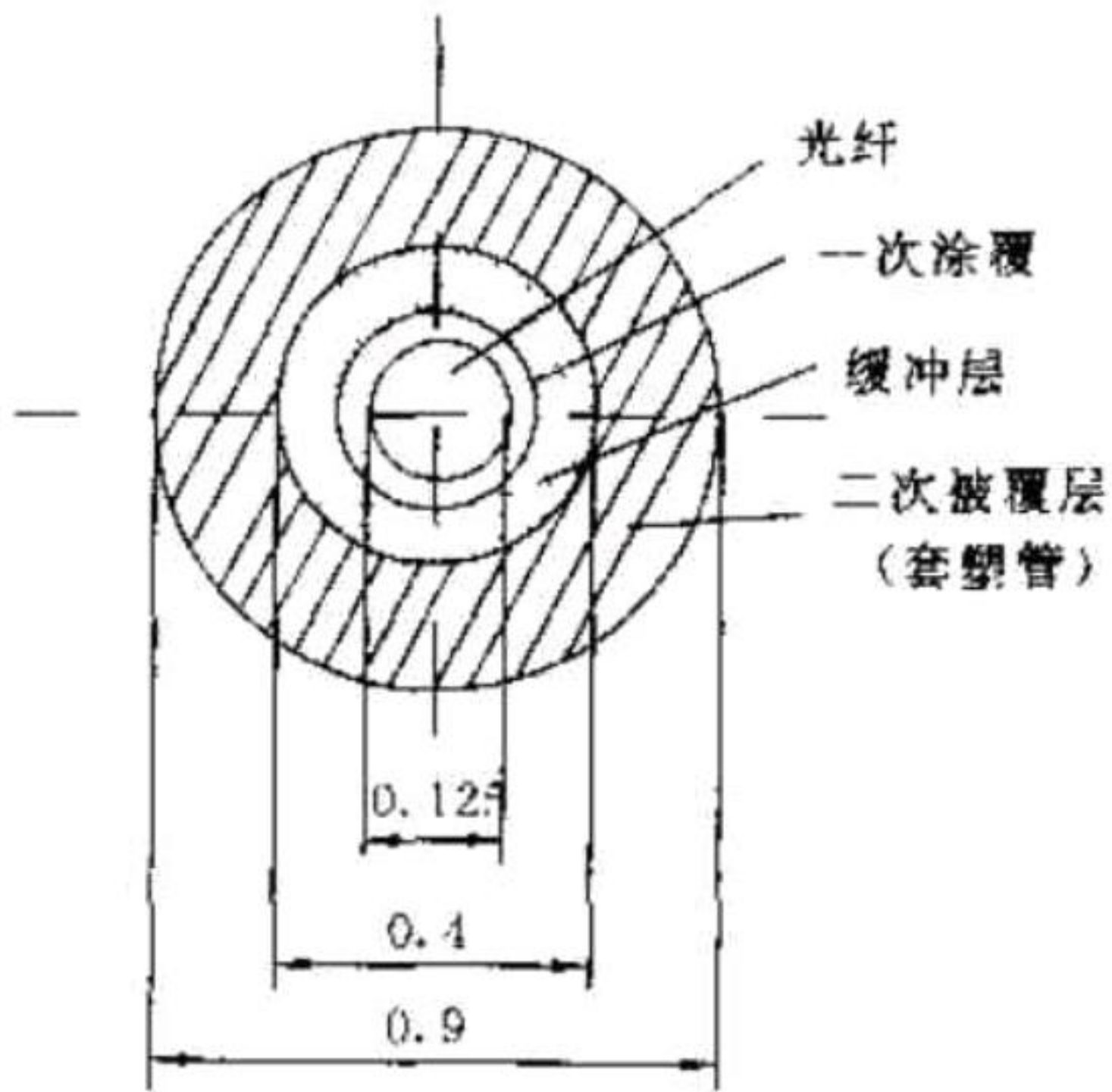


图 5-5 紧套光纤结构示意图

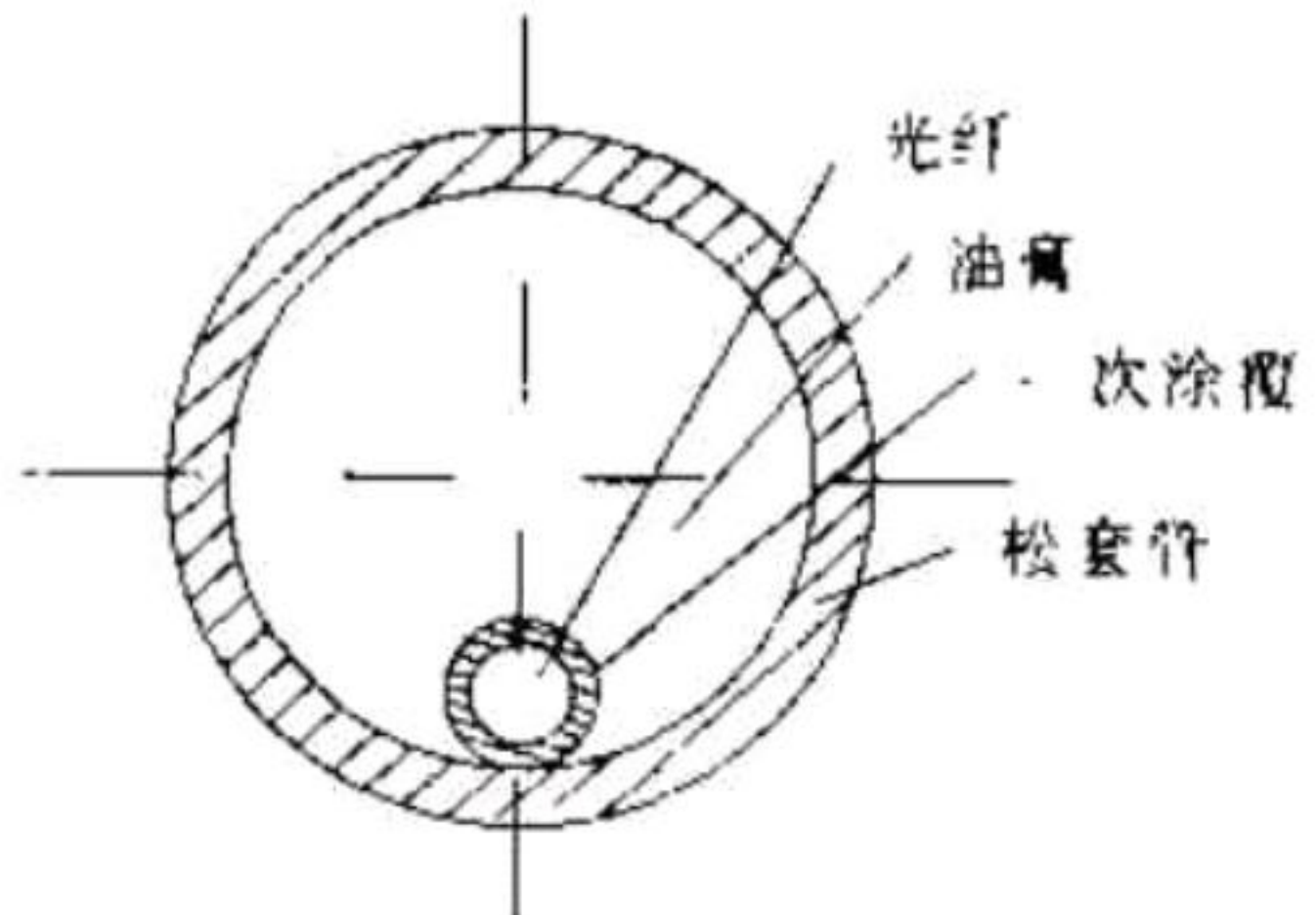
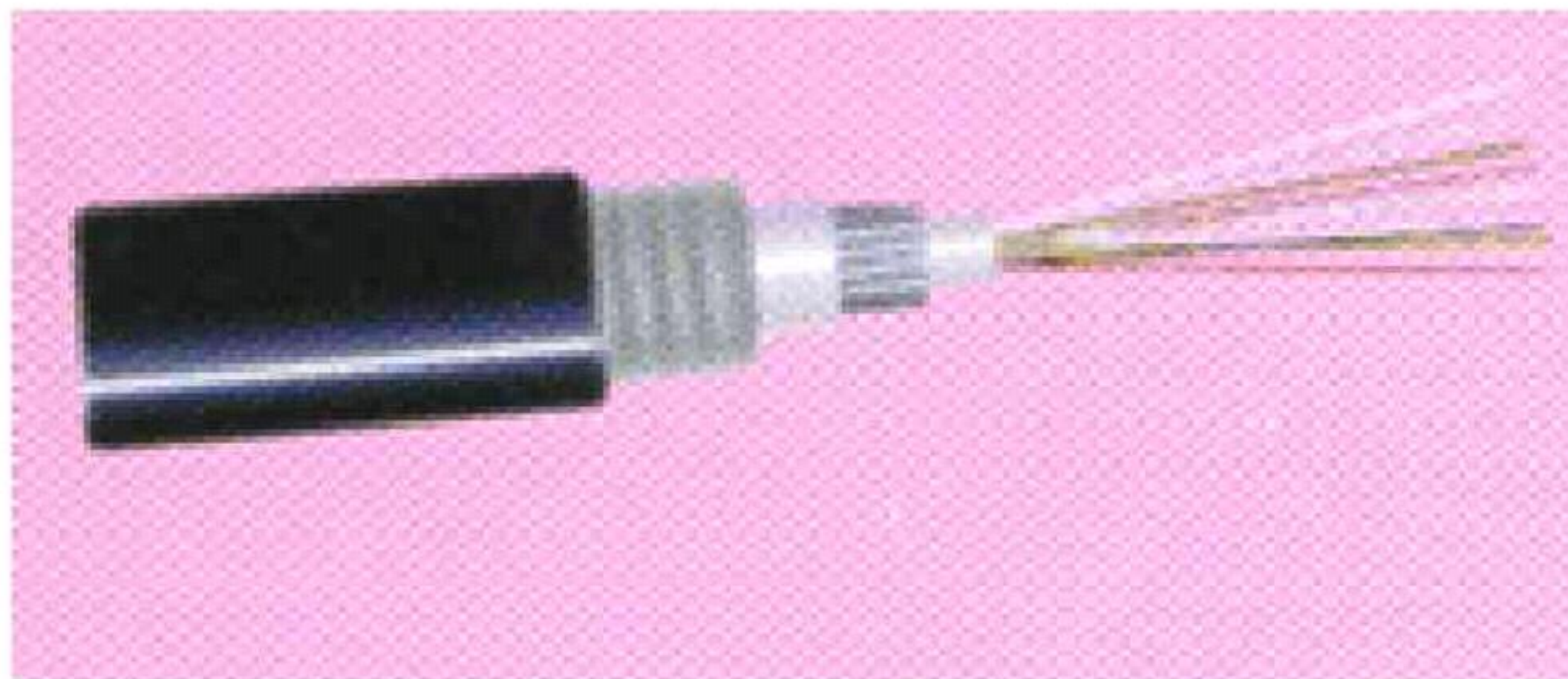


图 5-6 松套光纤结构示意图

(5) 按光纤材料分:

石英光纤、塑料光纤、氟化物光纤等。



光纤实物图

## 5.2.2 光纤的导光原理

### 1、光的折射和全反射

#### (1) 折射与反射

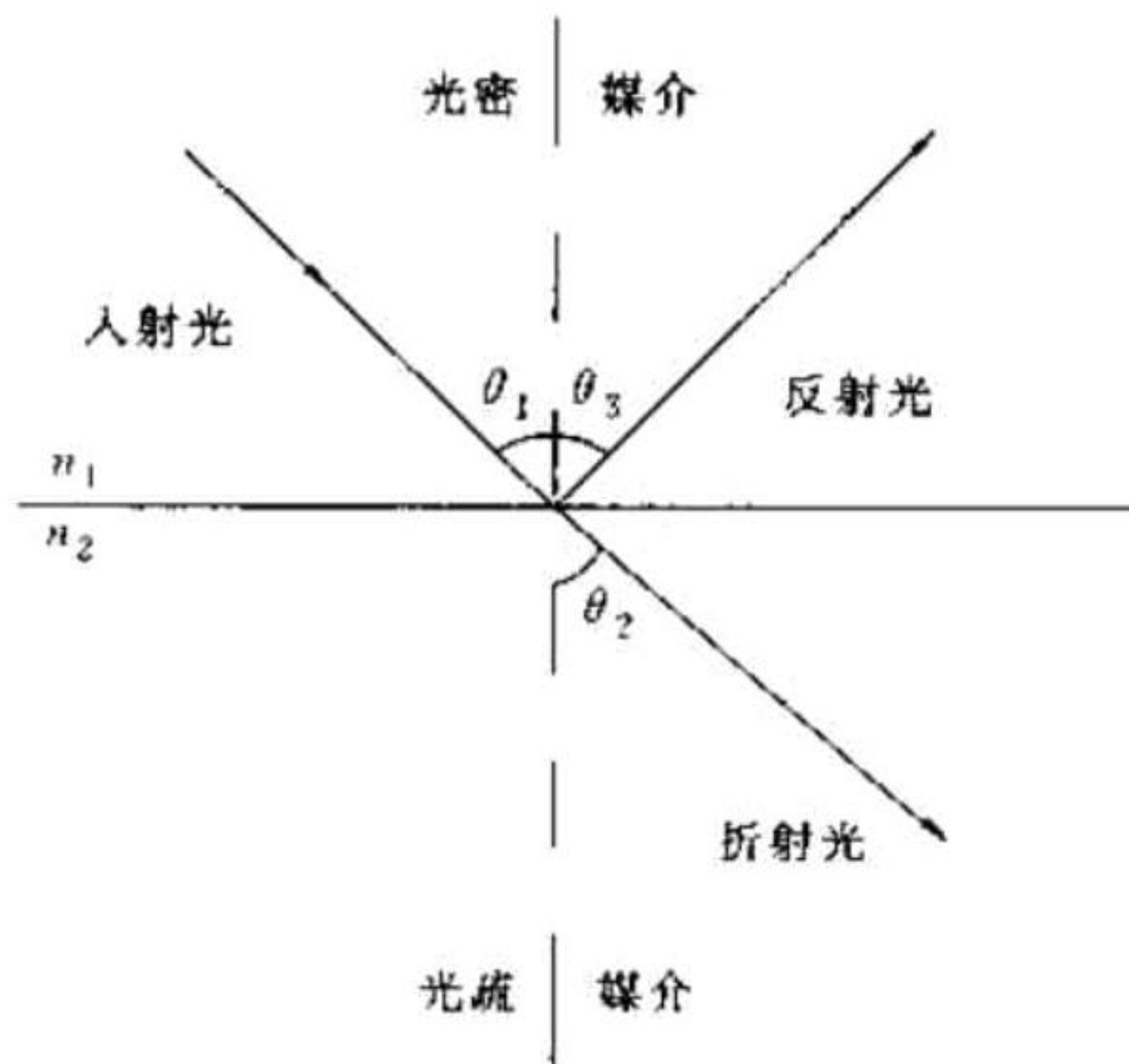


图 5-8 光的反射与折射

(2) 折射定律:  $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

(3) 临界角:

即使折射角达到  $90^\circ$  时的入射角。

(4) 全反射:

如果入射角大于临界角, 光线将全部反射回光密媒介, 这种现象称为全反射。

光纤就是利用光的这种全反射特性导光的。

## 2、光纤的导光原理

阶跃光纤导光原理

渐变光纤导光原理

光纤导光利用了纤芯的折射率略高于包层折射率的特点。

落于数值孔径圆锥角以内的光线都能被收集到光纤中传播而不泄漏。

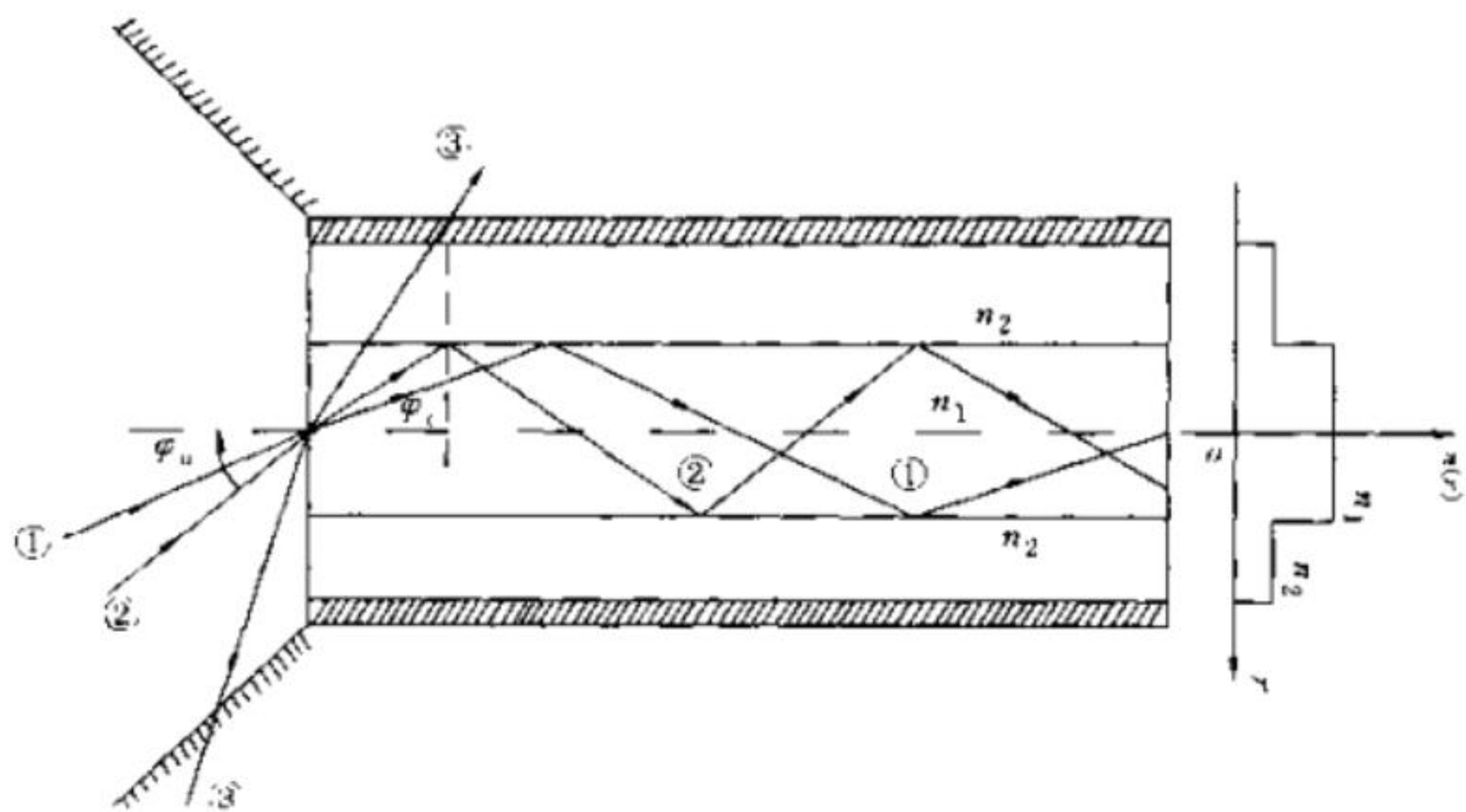


图 5-10 阶跃型光纤的导光原理

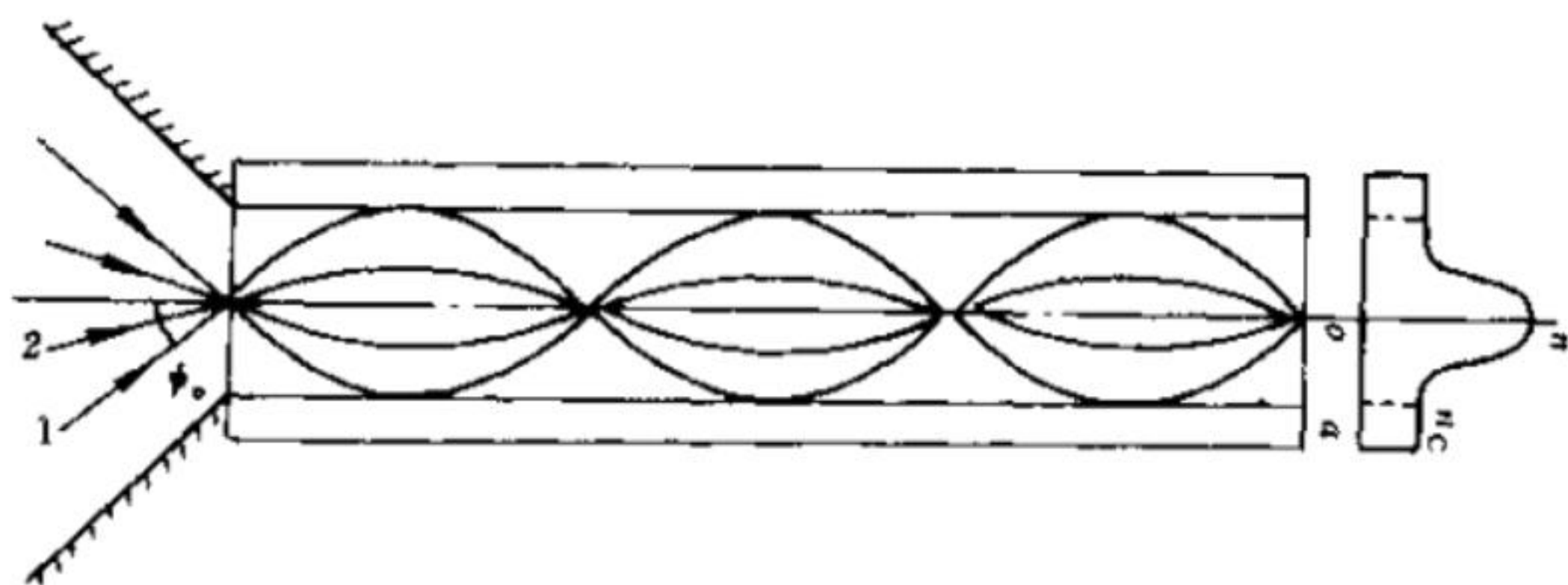


图 5-11 渐变型光纤的导光原理



## 5.2.3 光纤的传输特性

### 1、光纤的衰减特性

#### (1) 光纤损耗:

光信号随着传播距离不断减弱的现象, 是限制传输距离的关键因素。

#### (2) 产生衰减的原因:

吸收损耗、散射损耗、几何缺陷损耗、弯曲损耗等。

这些损耗可归纳为本征损耗、光纤制造损耗和附加损耗等 3 类。

#### (3) 本征损耗:

指光纤材料固有的一种损耗, 其大小取决于光纤材料, 是光纤的极限衰耗。

目前, 通信光纤所用材料为石英玻璃, 其本征损耗是由  $\text{SiO}_2$  的固有吸收和玻璃体中的瑞利散射造成的。

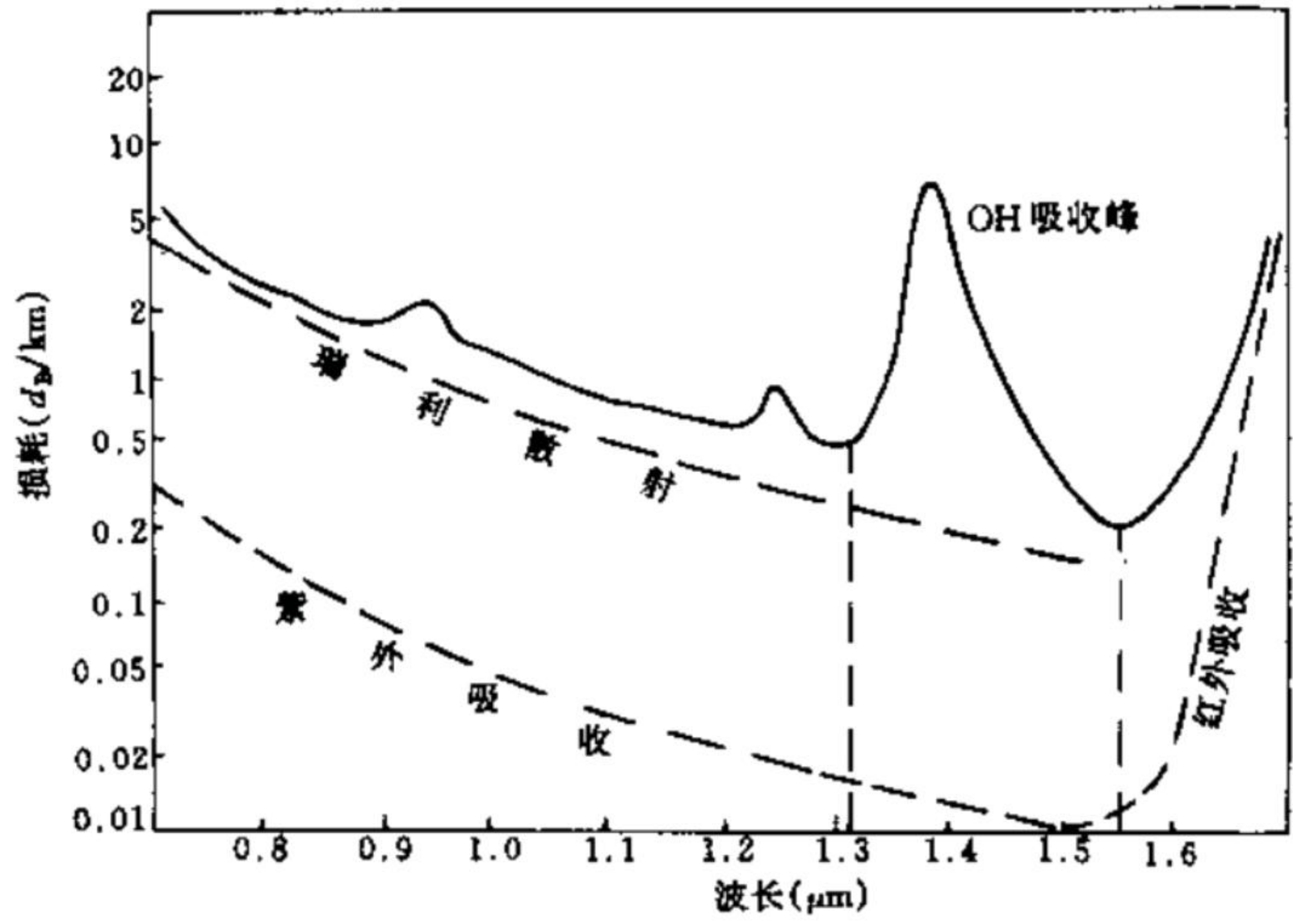


图 5-12 石英光纤损耗谱示意图

#### (4) 光纤制造损耗:

在制造光纤(提纯、熔炼、拉丝等)的工艺过程中产生的,主要由光纤中不纯成分的吸收和光纤的结构缺陷引起。

随着光纤制造工艺的日趋完善,光纤制造损耗逐渐减小。

#### (5) 附加损耗:

在成纤之后出现的损耗,主要是由于光纤受到弯曲和微弯曲而产生。

主要包括:弯曲损耗、微弯曲。

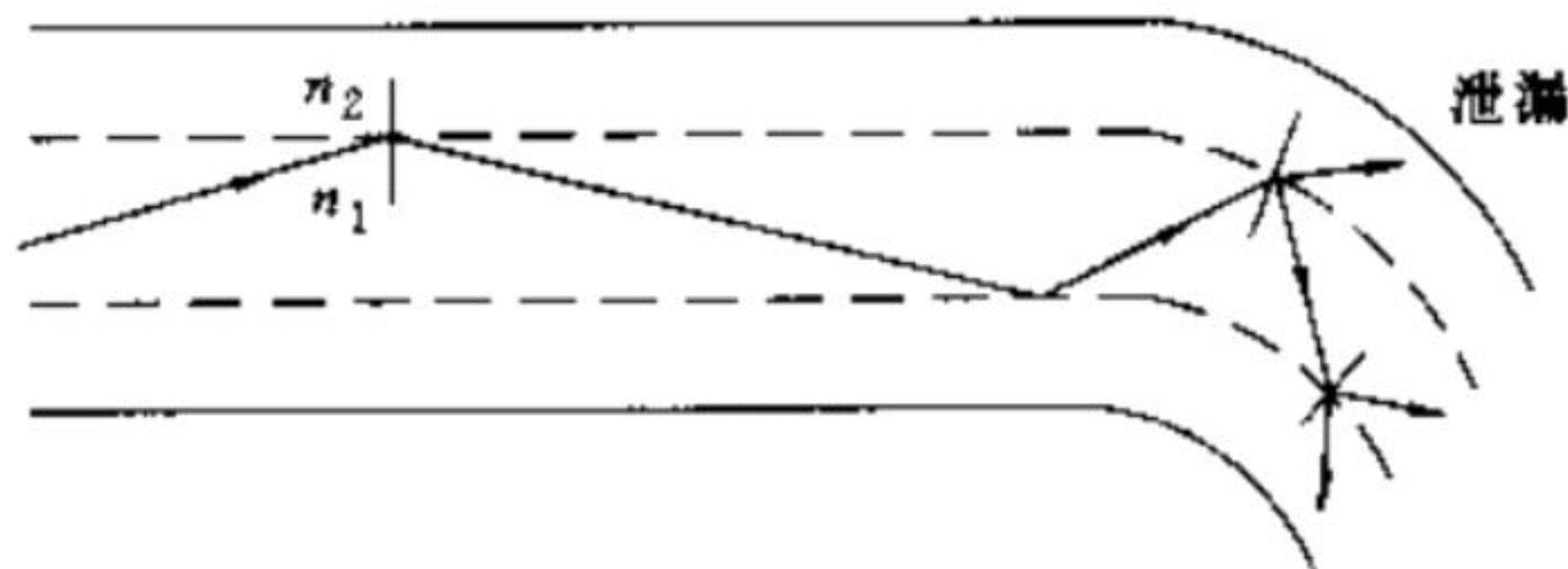


图 5-13 光纤的弯曲损耗

## 2、光纤的色散特性

### (1) 光纤的色散效应:

指光纤中不同频率（波长）成分传播速度不同，不同传播模式传播速度不同，从而引起光脉冲产生时间弥散的现象。

色散效应是限制光线通信系统传送容量和距离的关键因素之一。

### (2) 光纤色散分类:

- **模式色散**: 光纤中不同传送模式的传输速度不同引起的色散。（几何光学解释）
- **模内色散**: 同一模式中不同频率成分传输速率不同引起的色散。 $V = C / n(f)$

多模光纤的色散: 模式色散为主, 模内色散较轻

单模光纤的色散: 只有模内色散

### (3) 减小色散的措施:

- 采用谱宽较窄的光源（减小模内色散）
- 采用单模光纤、零色散位移光纤

## 5.2.4 光缆

### 1、光缆的结构

多根光纤和辅助联络信号线、加强构件以及外护层等组成。

### 2、光缆的类型

#### (1) 层绞式光缆

特点：可沿用传统电缆制造设备制造。

成本较低。

抗侧压力差。

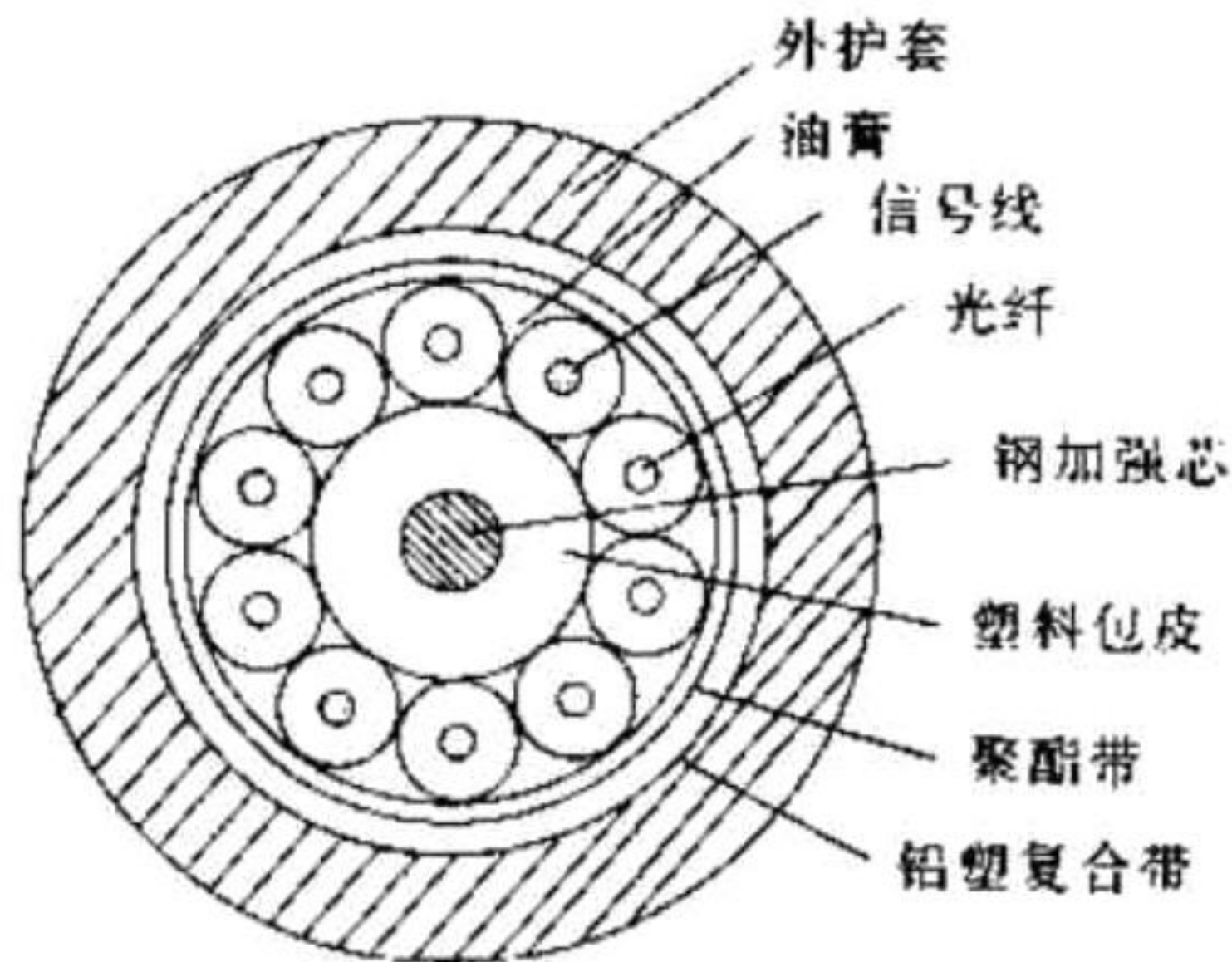
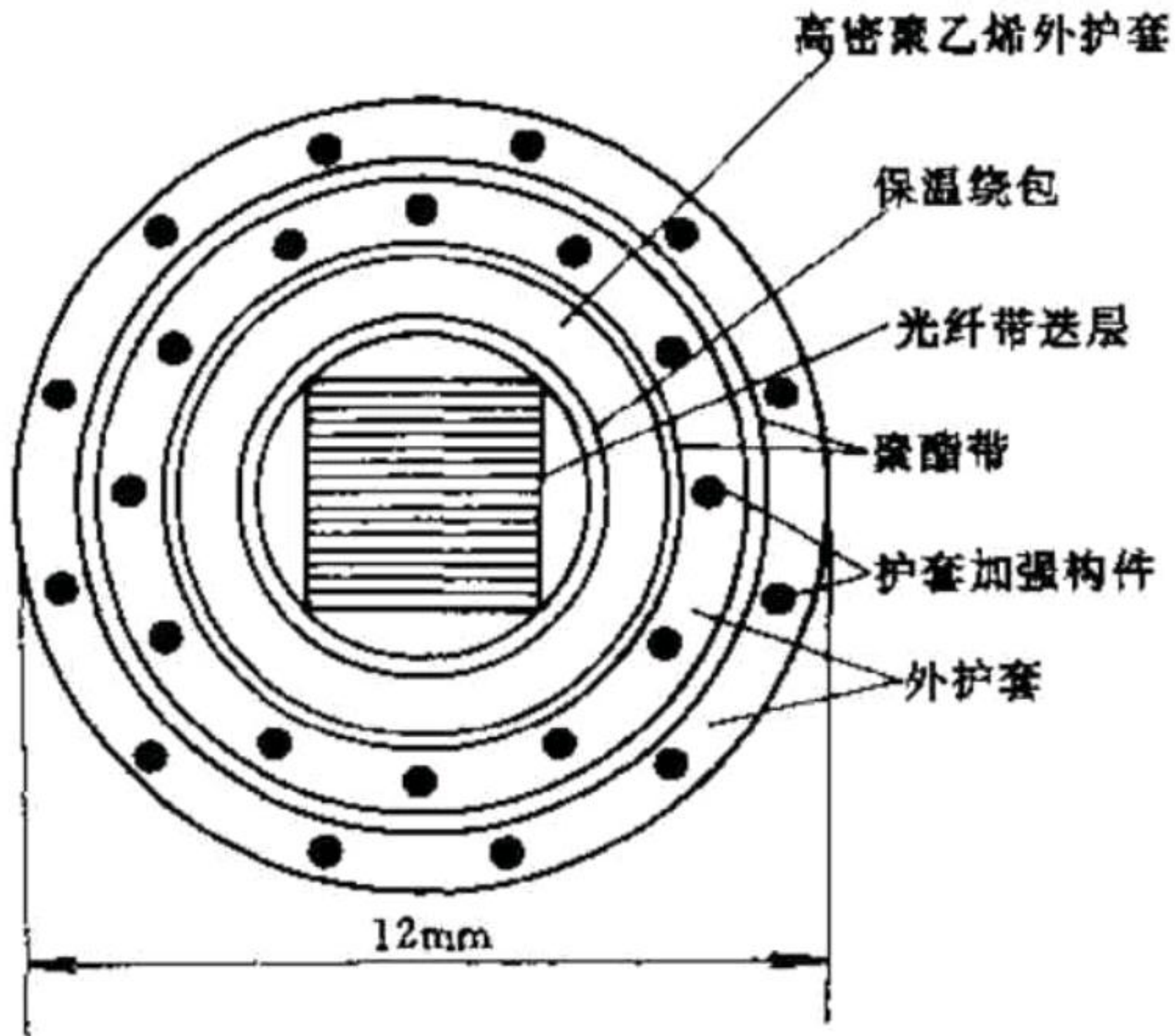
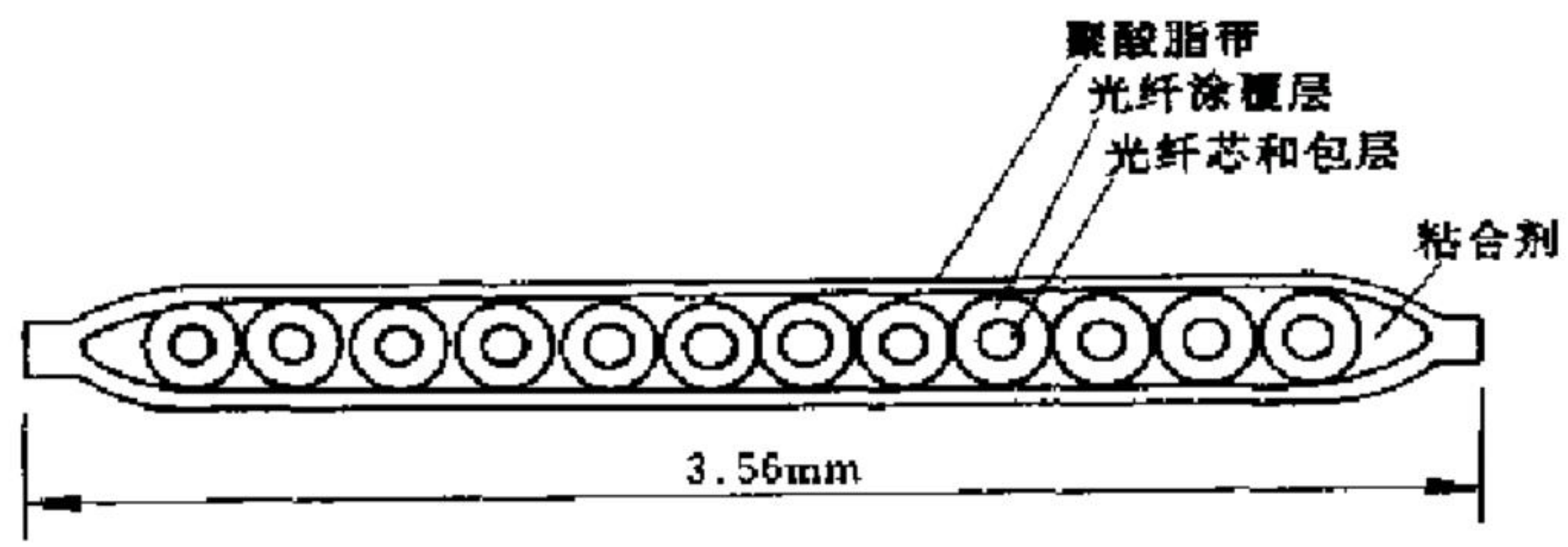


图 5-16 层绞式光缆横断面

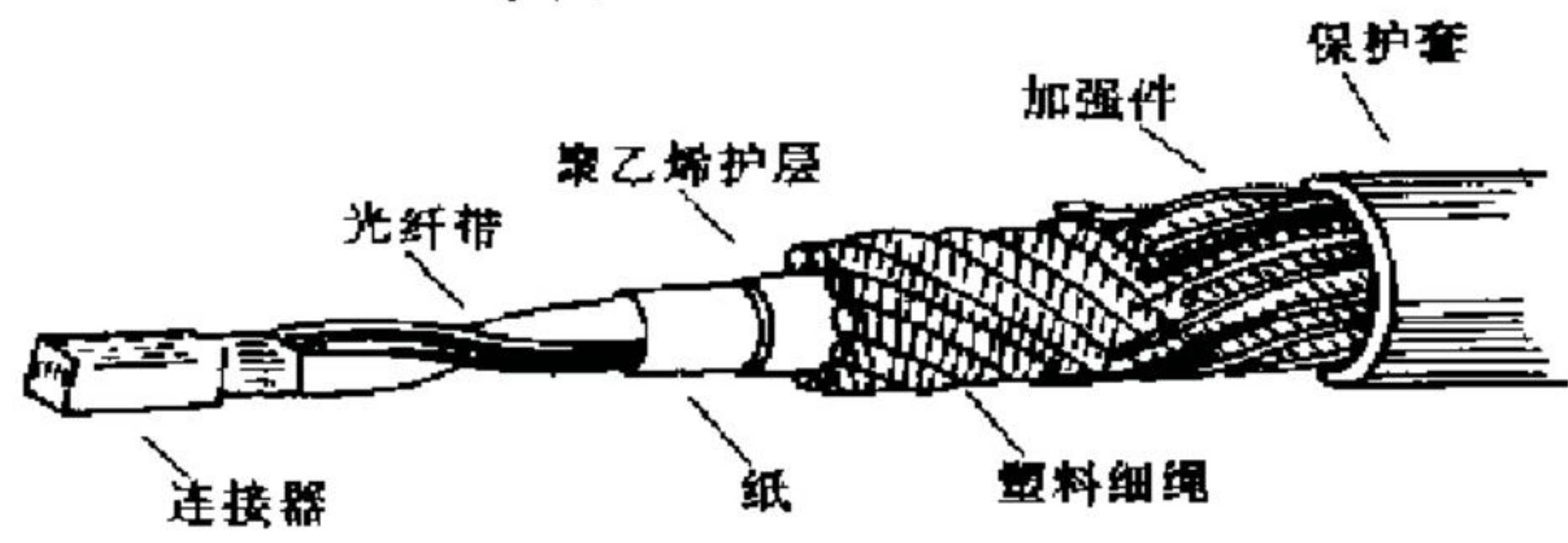
### (2) 带状单元式光缆



(a) 带状单元式光缆横断面



(b) 光纤带横断面



(c) 144 芯紧带结构光缆

图 5-17 带状单元式光缆

### (3) 螺旋骨架式光缆

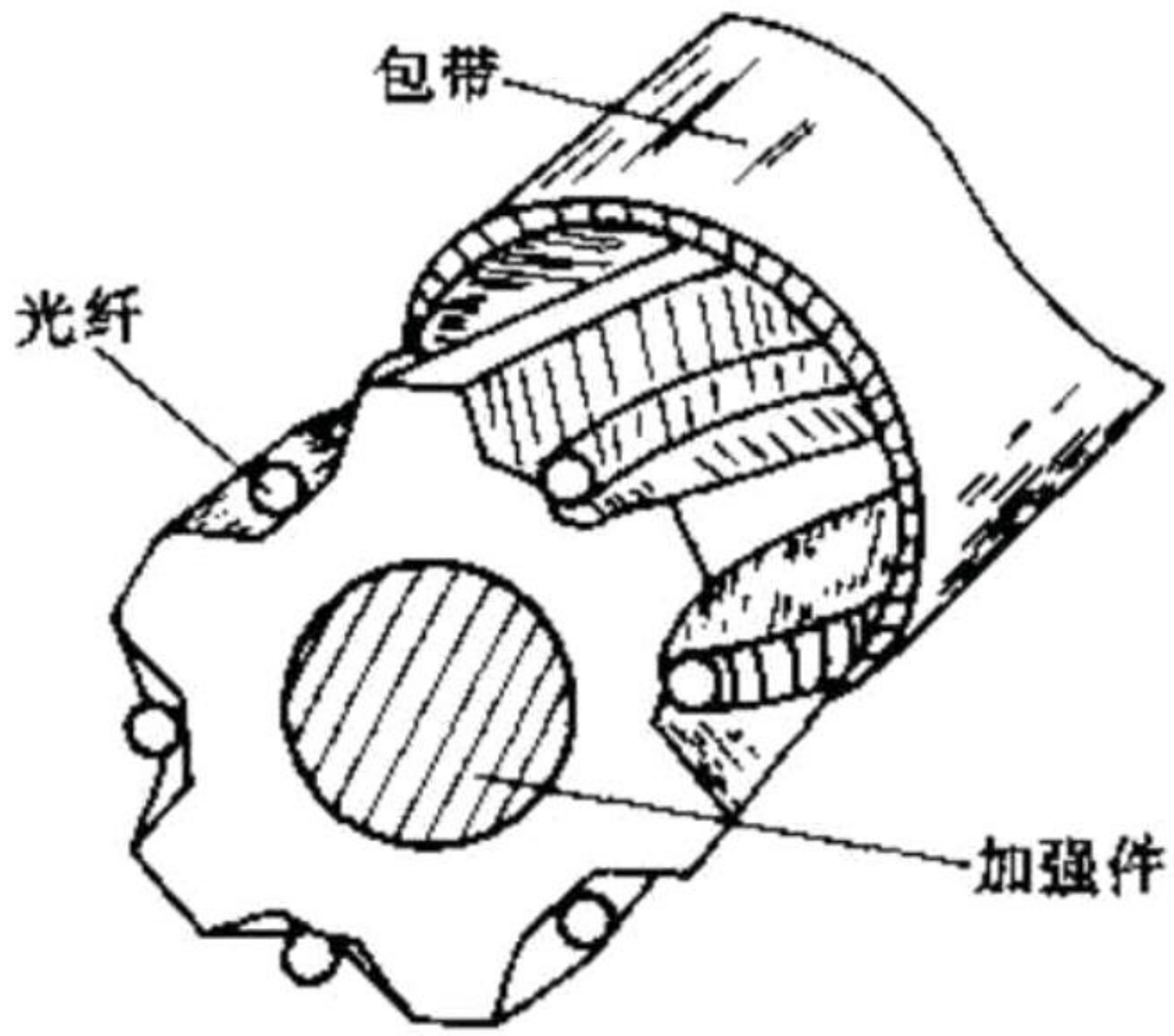


图 5-18 螺旋骨架式光缆

特点：制造工艺复杂，成本高。但性能好，有较大抗侧压能力。



### 5.3 光纤传输设备

光纤传输设备包括：终端设备和中继设备，即光端机和光中继机。

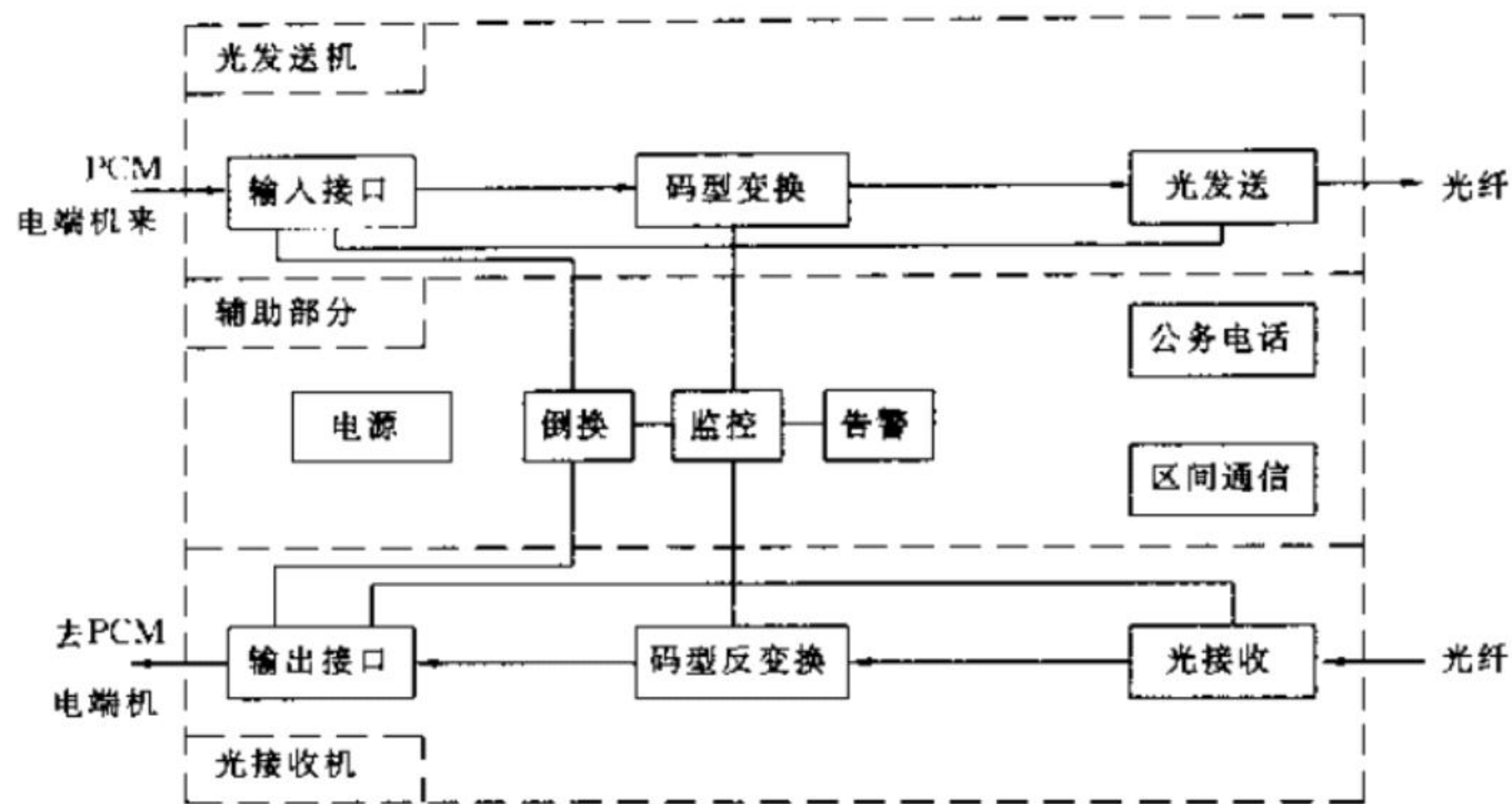


图 5-20 数字光纤通信系统终端机的组成方框图



光端机实物图

### 5.3.1 光端机的作用及其基本组成

#### 1、作用：

光端机位于电端机和光纤传输线路之间，它的作用一是将电端机汇集的各种待传送的电信号转换成适合光纤传输的光信号送入光纤，将光纤传输线路传来的对端的已调光信号转变成电信号，经处理后送至电端机。

#### 2、基本组成：

光发送机+光接收机+辅助电路

### 5.3.2 光发送电路

#### 1、基本组成及其作用

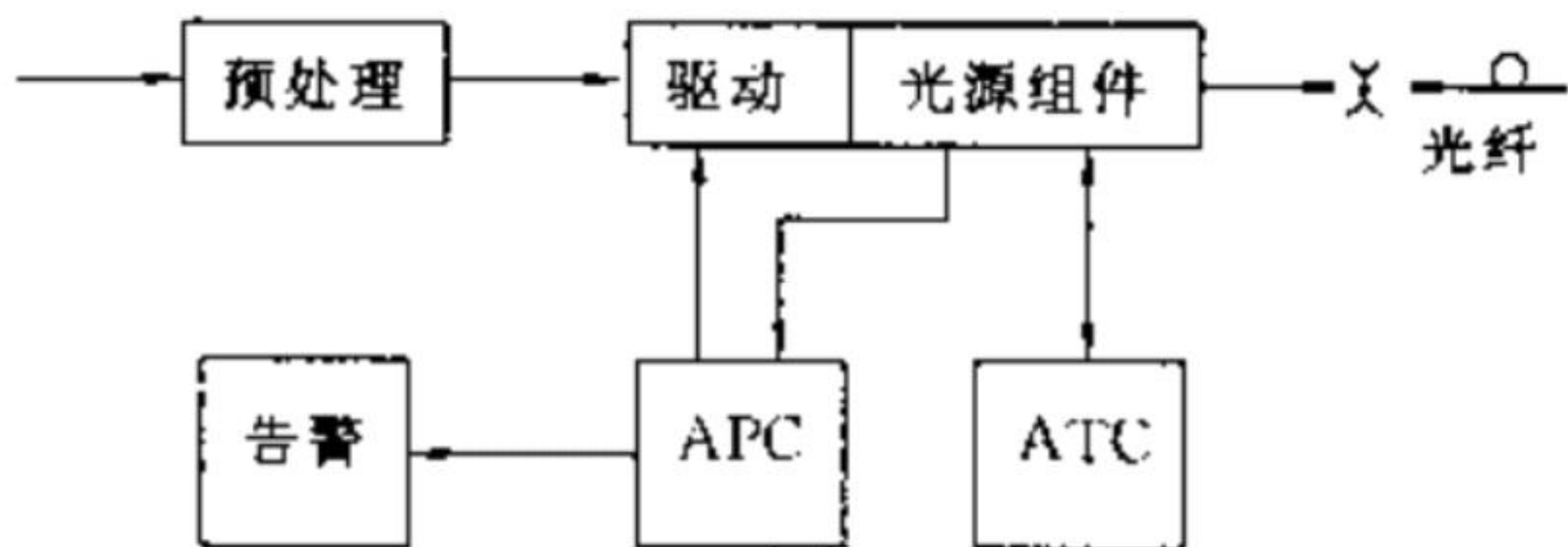


图 5-21 光发送电路方框图

将经过处理的电信号对光源进行调制，形成已调光信号复合到光纤中。

光源驱动——也称光调制，用待传电信号控制发光强弱。

光源——产生光载波。

ATC——光源自动温度控制。

APC——自动光功率控制。

## 2、光源

### (1) 对光源的要求

- 发光波长应与光纤的低损耗窗口相符。

已知石英光纤的 3 个低损耗窗口分别为 0.85 $\mu\text{m}$ 、1.33 $\mu\text{m}$  和 1.55 $\mu\text{m}$ 。

- 光源输出的光功率要足够大，且稳定度要高。

一般要求有数十微瓦至数毫瓦才能使光中继段距离满足系统要求。

- 可靠性高，寿命长。

必须保证长期连续工作，工作寿命一般要在 10 万小时以上。

- 发光谱线宽度要窄。

即单色性要好，以减少光纤的色散，保证高速率、长距离。

- 调制性能要好。

主要指调制效率和较高的调制速率(即响应速度要快)，以满足大容量高速率光纤通信系统的需要。

- 与光纤的耦合效率要高，使能量集中注入光纤。
- 光源要体积小、重量轻，便于安装。

当前使用的光源：发光二极管 LED、半导体激光二极管 LD

## (2) 半导体光源的发光机理

- 原子能级结构：导带、价带、禁带、跃迁、复合
- 发光波长与能级差关系： $f = (E_i - E_j) / h$ 。  $h$  为普朗克常数。
- 粒子数反转状态：高能级电子数多于低能级电子数的状态。
- 自发辐射与自发光
  - ◆ 自发辐射：高能级电子由于状态不稳定而自发地跃迁到低能级的过程。
  - ◆ 自发光：由于自发辐射释放出的光子。属于非相干光。
- 受激吸收：低能级电子吸收光子而跃迁到高能级的过程。
- 受激辐射与相干光

- ◆ 受激辐射：高能级电子受光子激发而跃迁到低能级并释放光子的过程。
- ◆ 相干光：受激辐射产生的光子与激发光子同频、同相、同方向，称相干光。

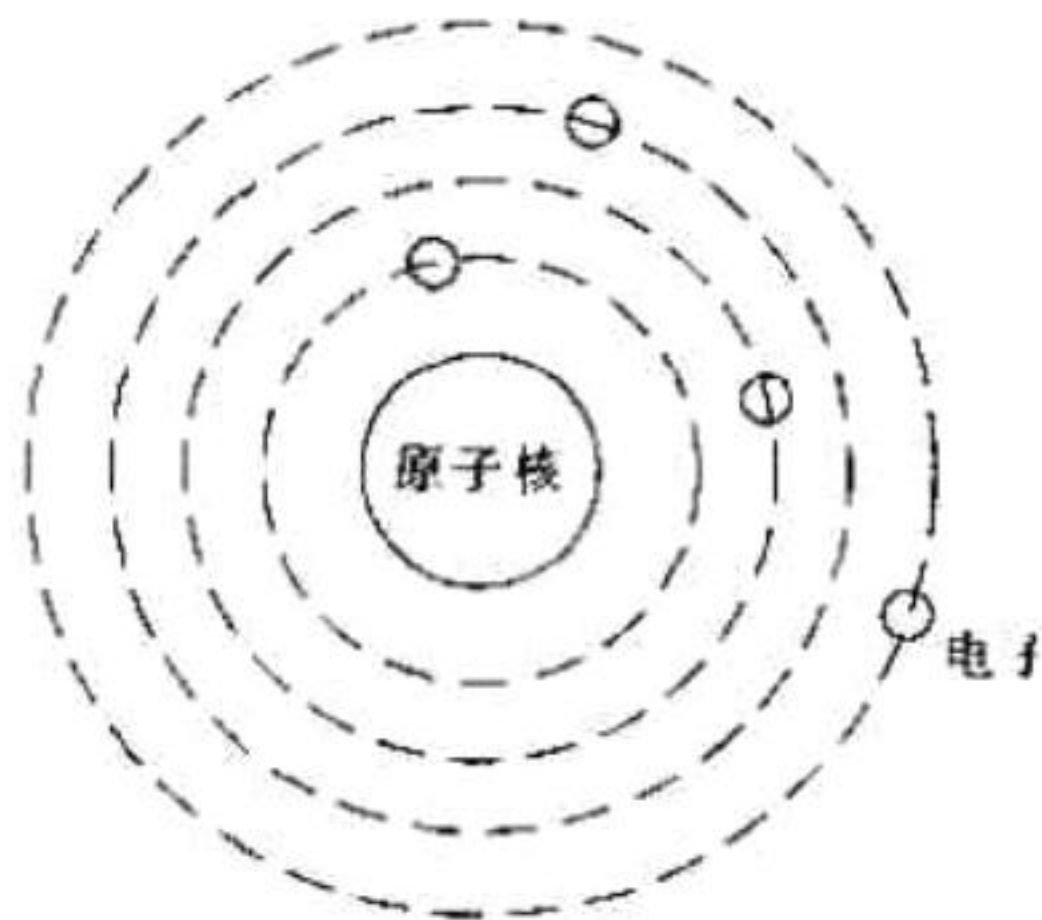


图 5-22 原子结构示意图

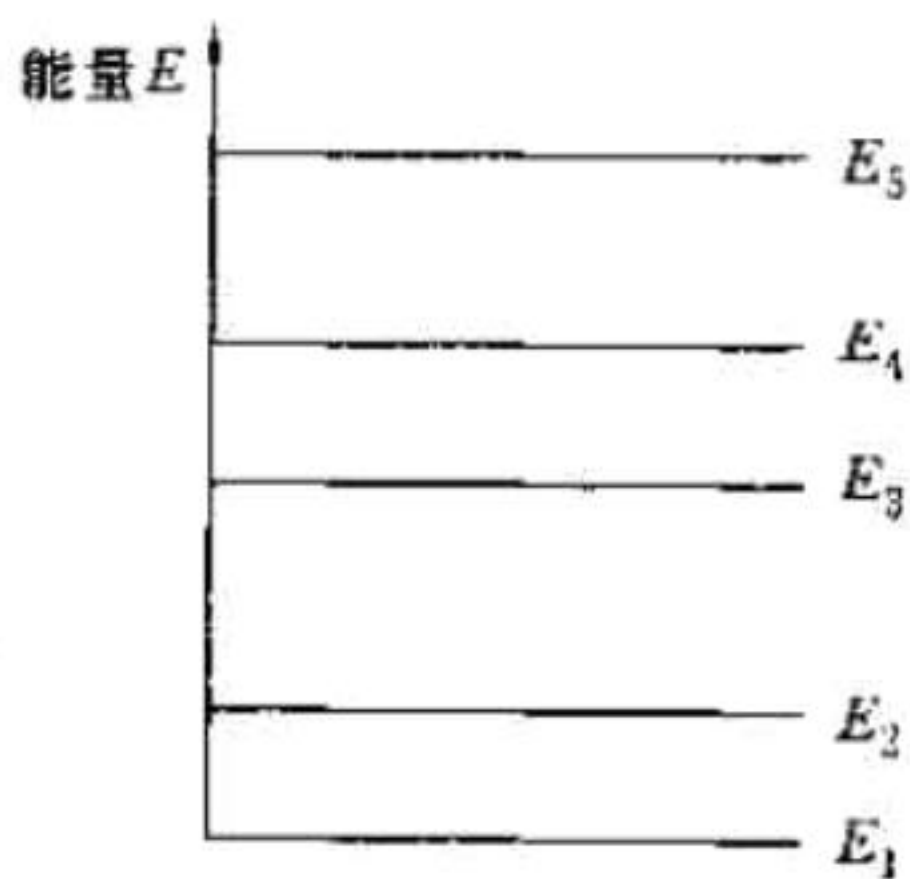


图 5-23 能级示意图

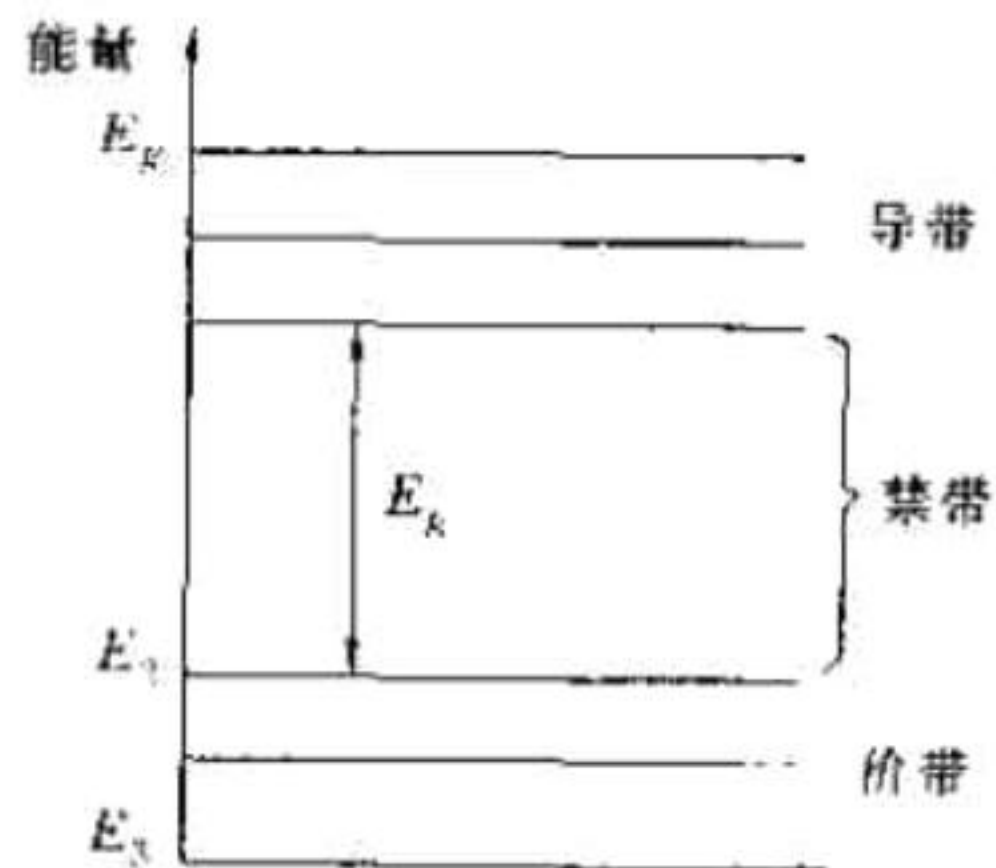


图 5-24 半导体的能带结构

### ■ LED 发光原理、特点

- ◆ LED 利用外加电流使发光区呈现粒子数反转状态，利用自发辐射发光。
- ◆ LED 发出的光为非相干光，且光谱线宽度较大。

### ■ LD (激光二极管) 发光原理、特点

- ◆ LD 利用光学谐振腔的选频放大作用，产生同频、同相、同方向的相干光。
- ◆ LD 产生的为相干光（激光），且谱线宽度极窄。

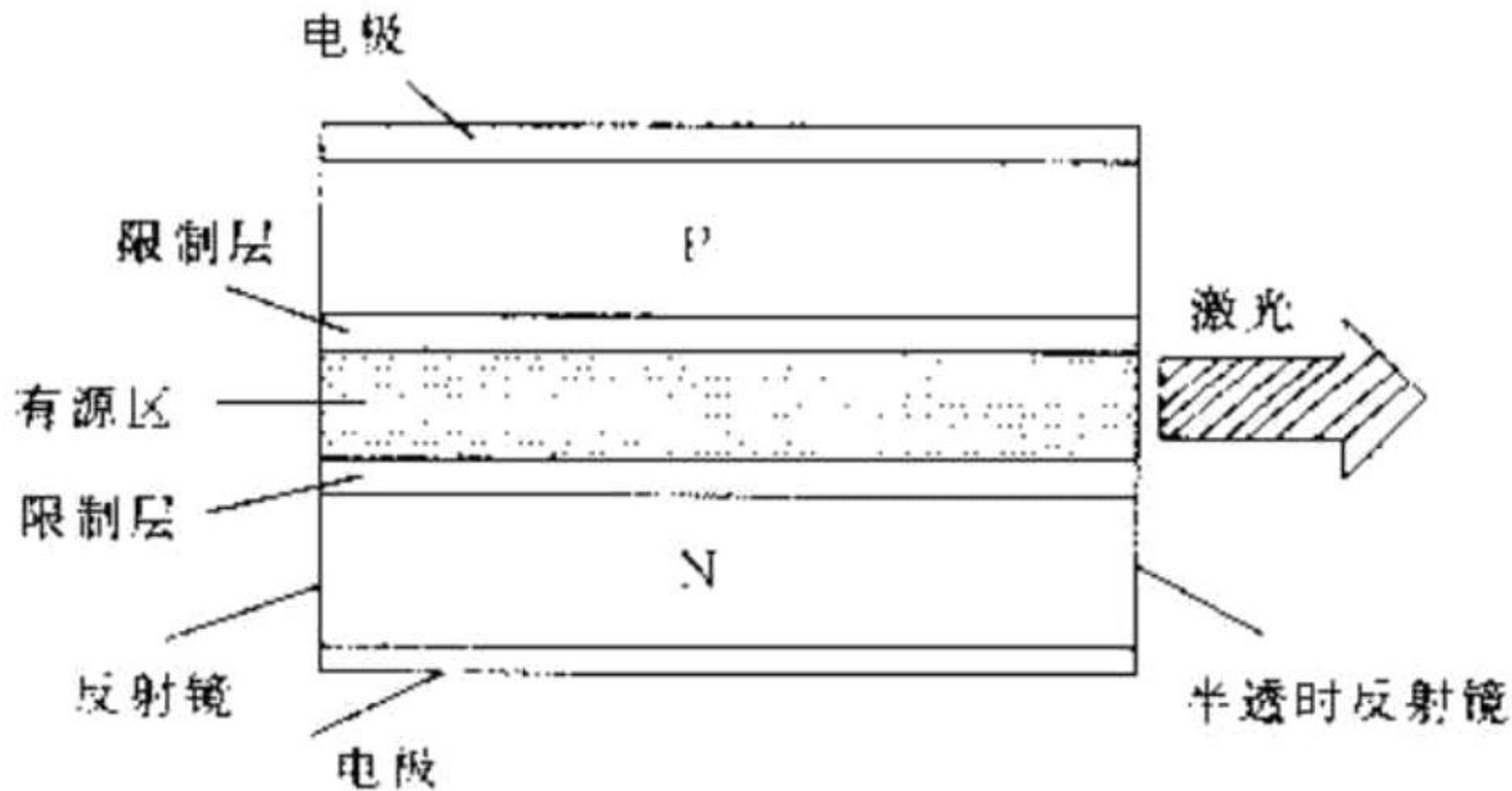


图 5-25 激光二极管示意图



### (3) 半导体激光器 LD 的特性

#### ■ P-I 特性:

半导体激光器的输出光功率  $P$  与注入电流  $I$  之间的光系曲线。

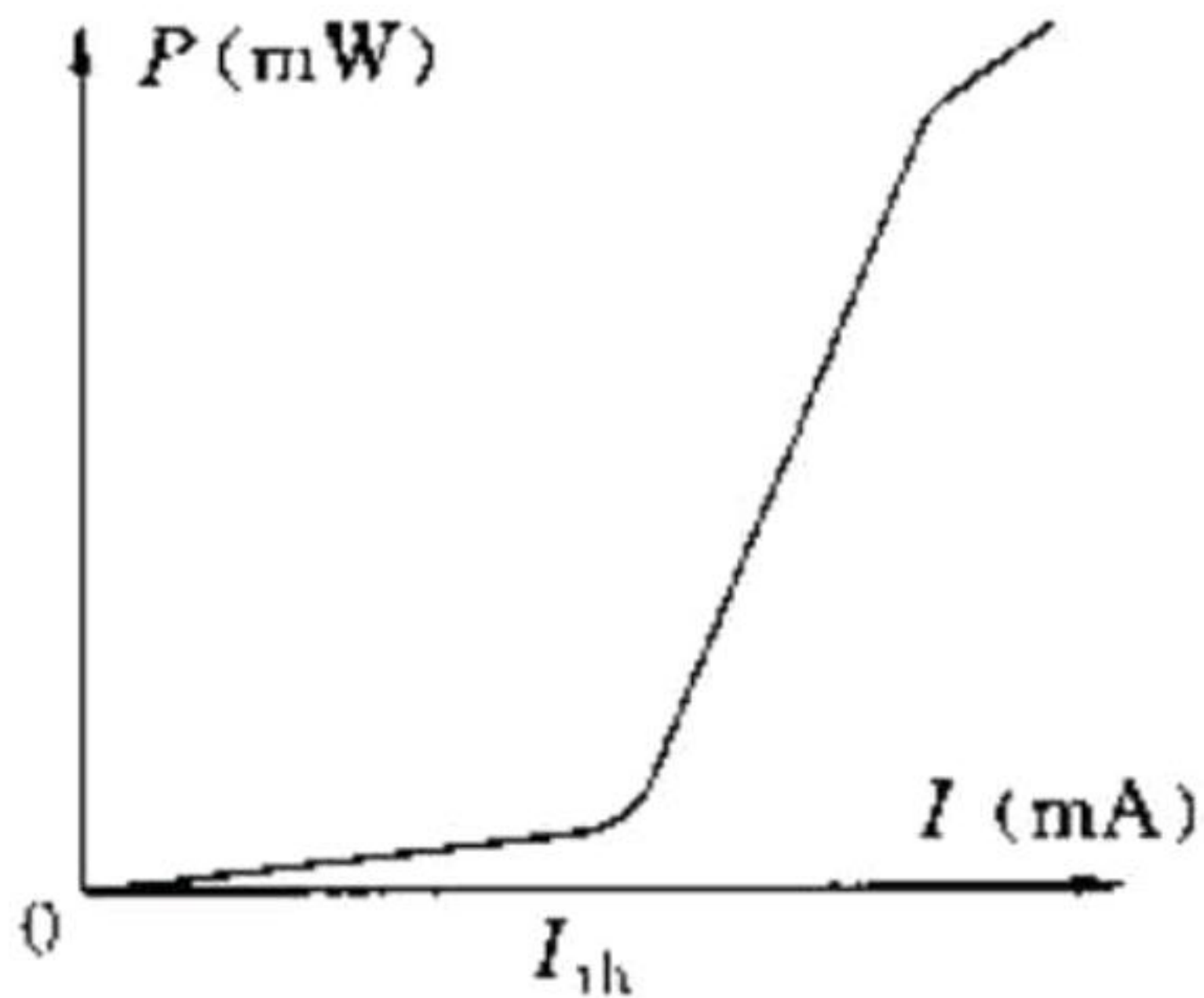


图 5-26 激光器的  $P$ - $I$  特性

### ■ 光谱特性:

反映激光器光谱单色性。

图中所示谱宽为 1 埃 ( $10^{-10}\text{m}$ ), 可满足高速率单模光纤通信系统的需要。

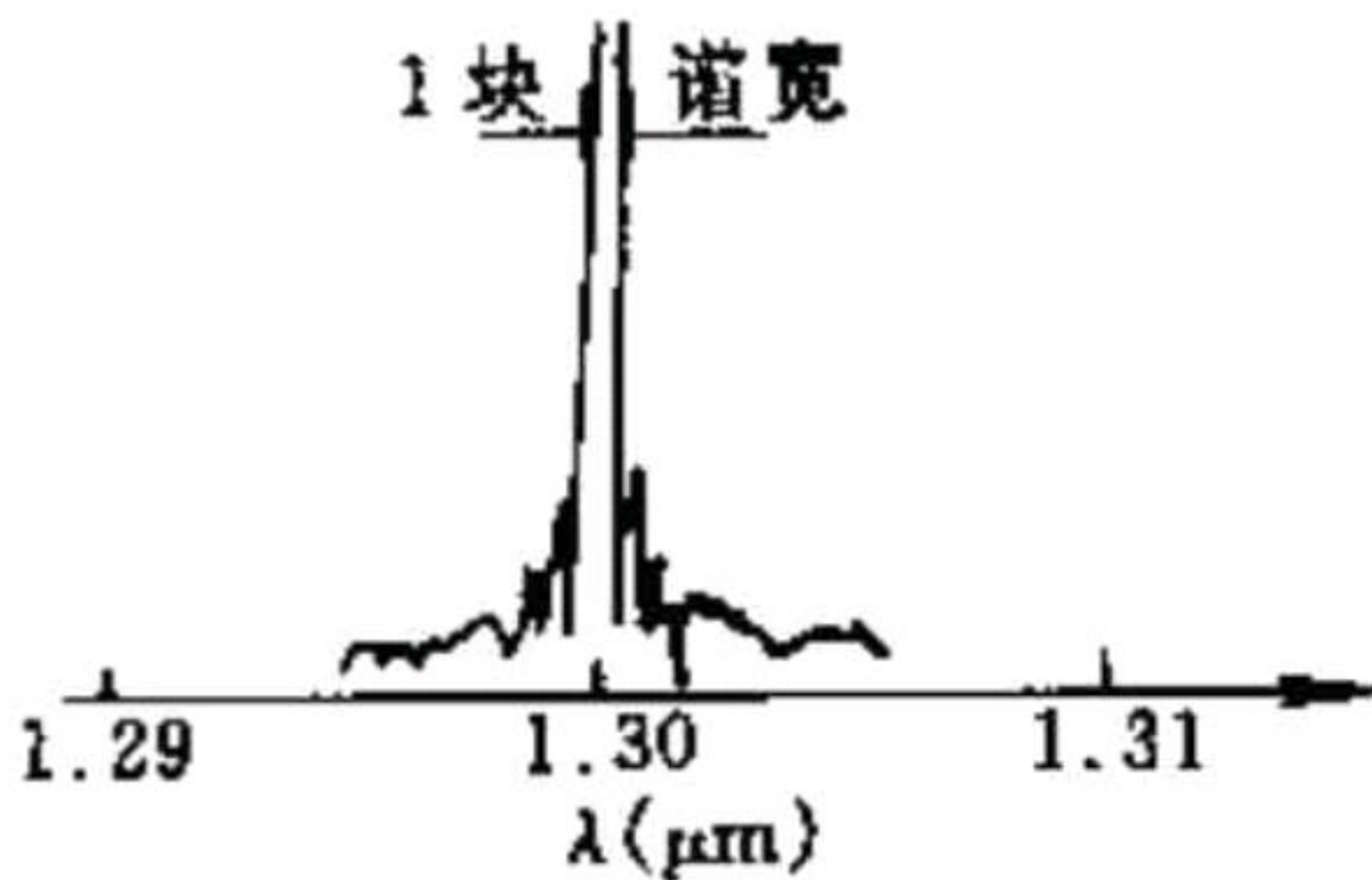


图 5-27 典型的单模激光器的光谱特性

### ■ 温度特性:

反映 LD 阈值电流、发光功率与温度的关系。

采用 APC、ATC 控制。

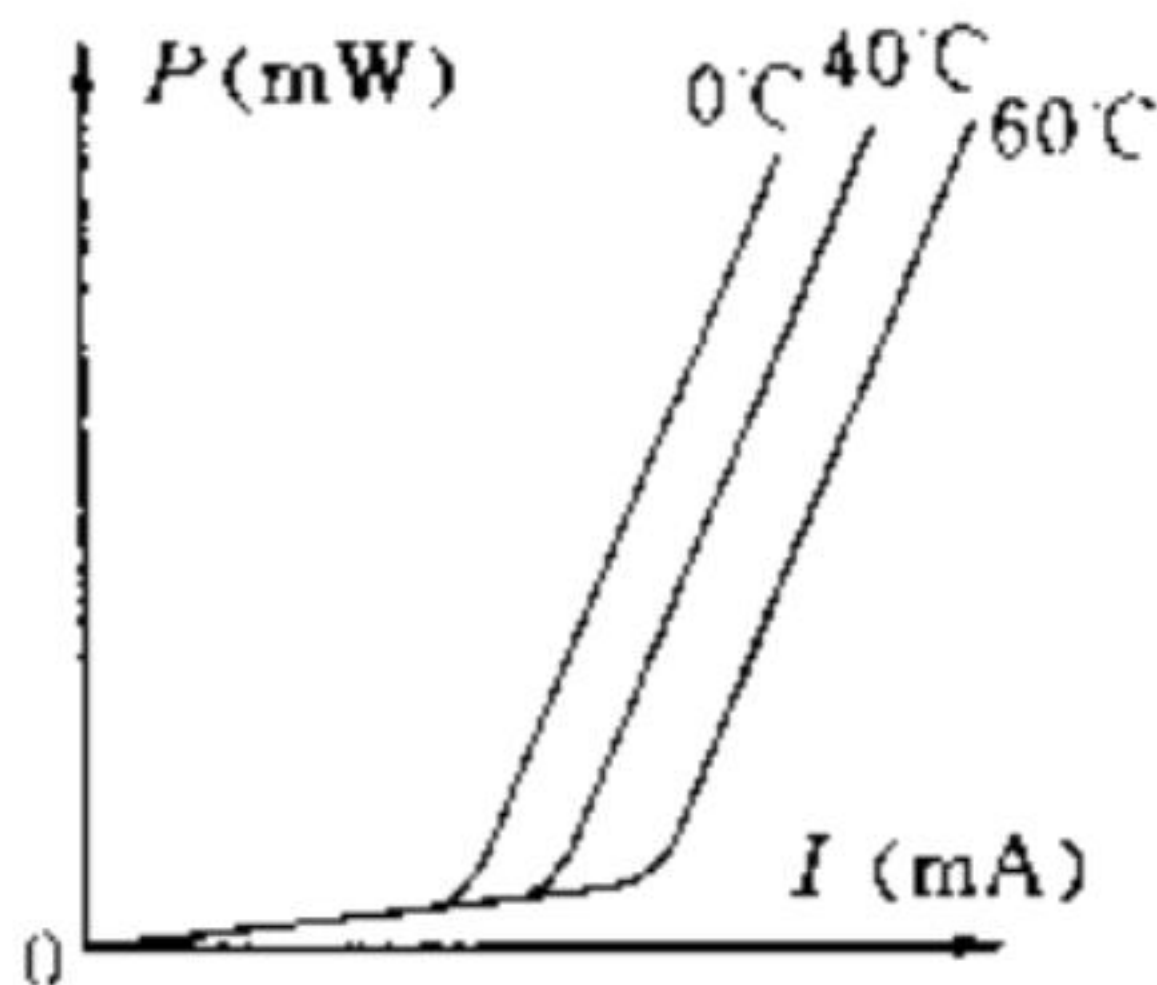


图 5-28 激光器的温度特性

### (4) 发光二极管 LED 的特性:

无阈值电流、谱线宽度大、温度特性好。

适于传输模拟信号，不需要自动温控，寿命长，价格低，用于中低速、短距离系统。

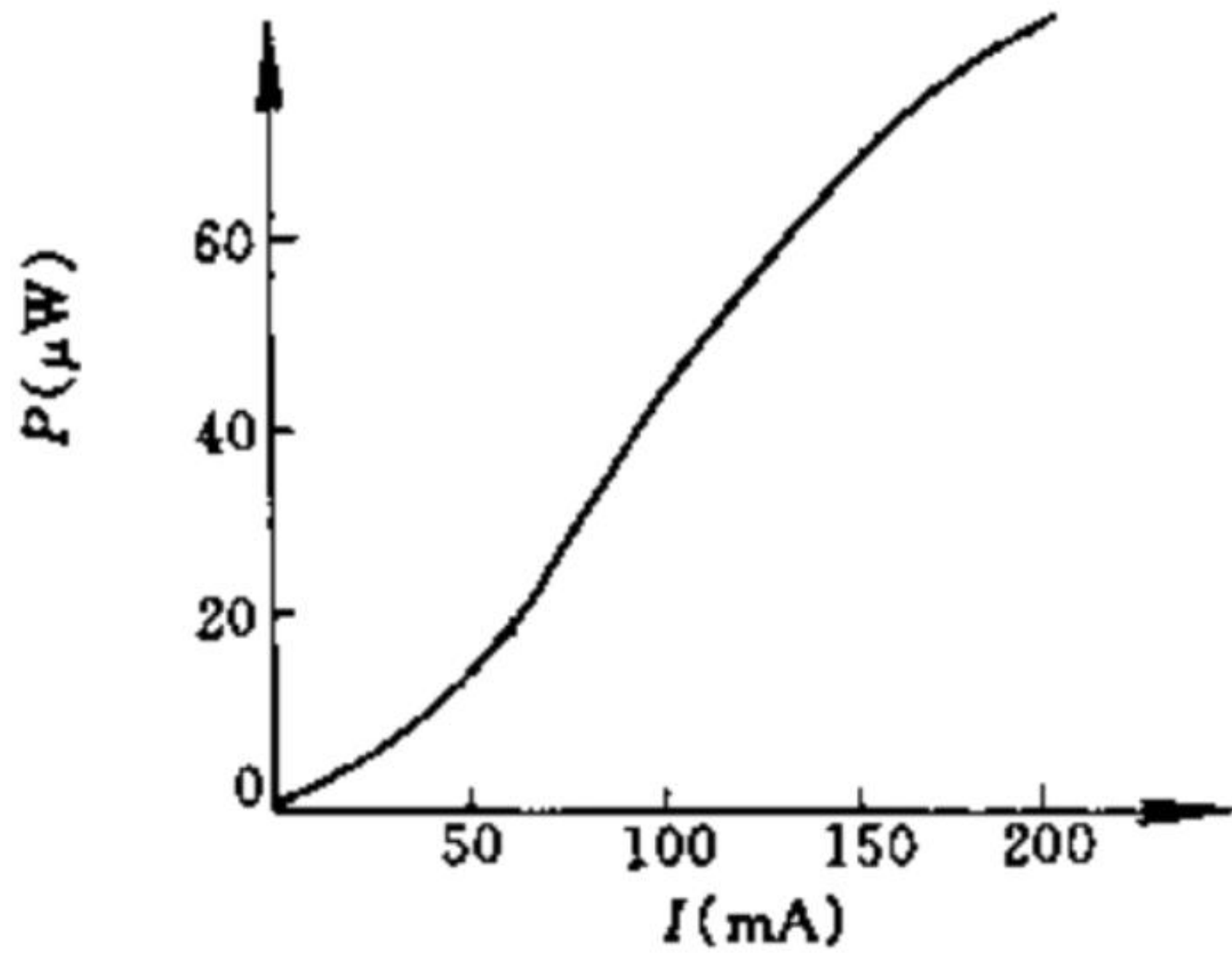


图 5-29 发光二极管的  $P$ - $I$  特性

### 3、光调制(光源驱动)

#### (1) 光调制:

用待发送的电信号控制光载波的某一参量使之携带发送信息的过程，也就是完成电 / 光变换的过程。

目前，在光纤数字通信中主要采用直接光强度调制。

#### (2) 光强度调制:

用经过处理的数字信号直接控制光源的发光强度。

#### (3) 对光源驱动电路要求:

良好的高速开关性能。

目前，直接光强度的调制速率已达到 20G/s。

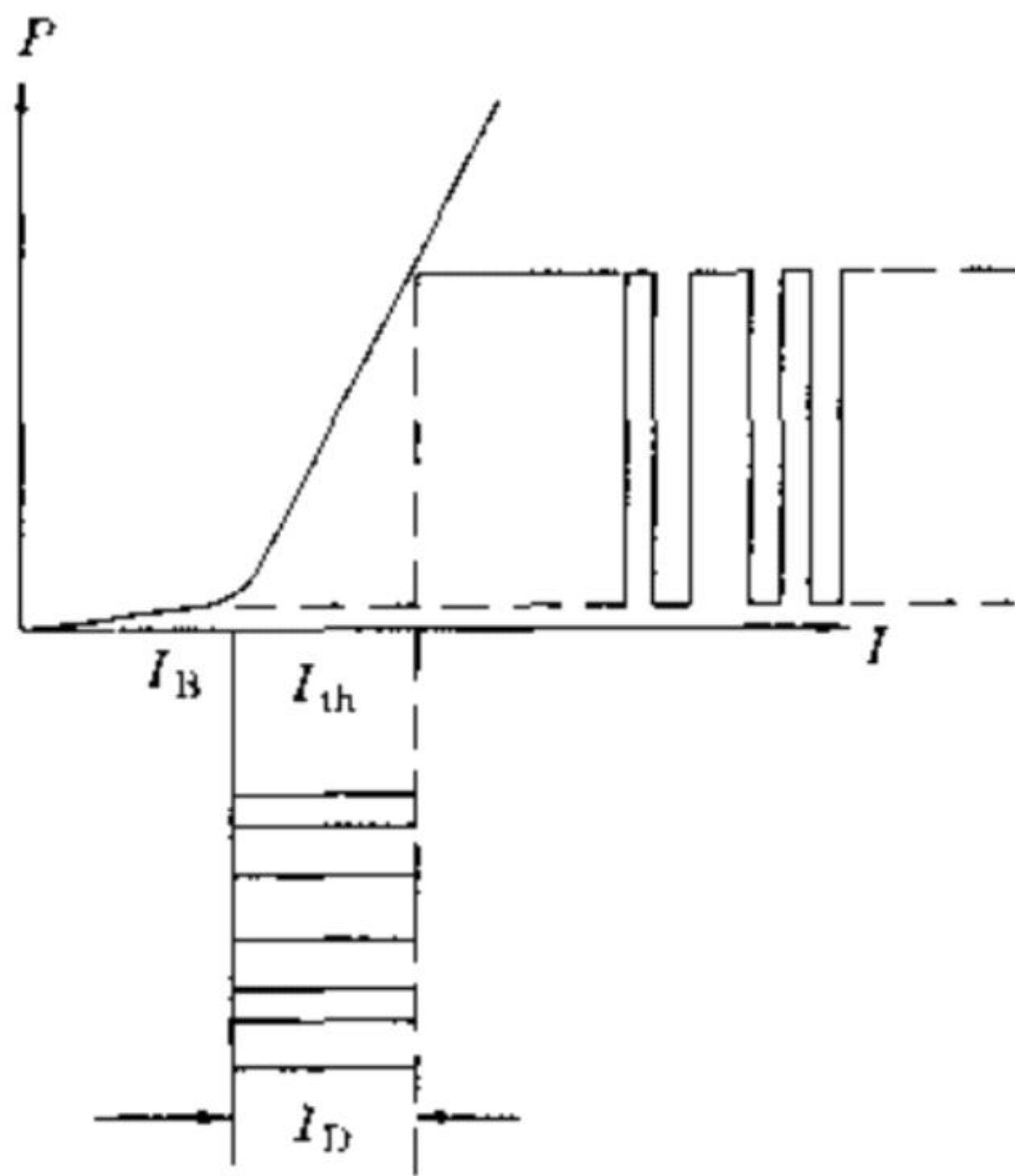


图 5-30 激光器的调制原理

### 5. 3. 3 光接收电路

#### 1、基本组成及其作用

##### (1) 基本组成

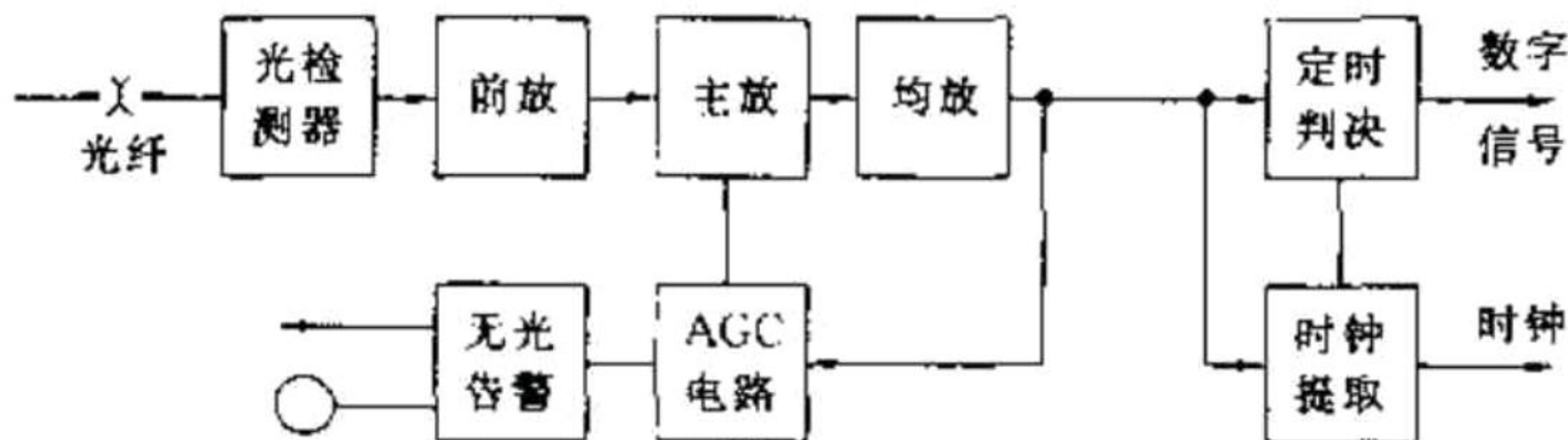


图 5-31 光接收电路方框图

在光端机中，这些电路都装在同一个机盘中，称为光接收盘。

##### (2) 光接收电路的作用：

将通过光纤传来的光信号变为电信号，再经放大、均衡和定时再生恢复为原数字信号。

## 2、光检测器

### (1) 光检测器:

把光信号变为电信号的器件。

### (2) 光纤通信系统对光检测器的主要要求:

- 在系统所用的波长内有足够高的灵敏度，能把微弱光信号转换为电信号输出。
- 有足够高的响应速度，对光信号有快速响应能力。
- 产生的噪声要小。
- 工作稳定可靠。光检测器应有较好的温度特性和较长的工作寿命。
- 体积小、使用简便，适于在光端机中安装使用。

### (3) 光纤通信系统中应用的半导体光检测器:

PIN 光电二极管、雪崩光电二极管 (APD)。

#### PIN 光电二极管:

- PN 结的光电效应 (基本光电二极管):



光生载流子、光生电流。

效率低，相应速度慢，光线通信不用。

■ PIN 工作原理 (PIN 光电二极管):

简单光电二极管的改进，响应速度快。

无增益，接收灵明度有限，不能用于长距离通信。



图 5-33 PIN 光电二极管工作原理

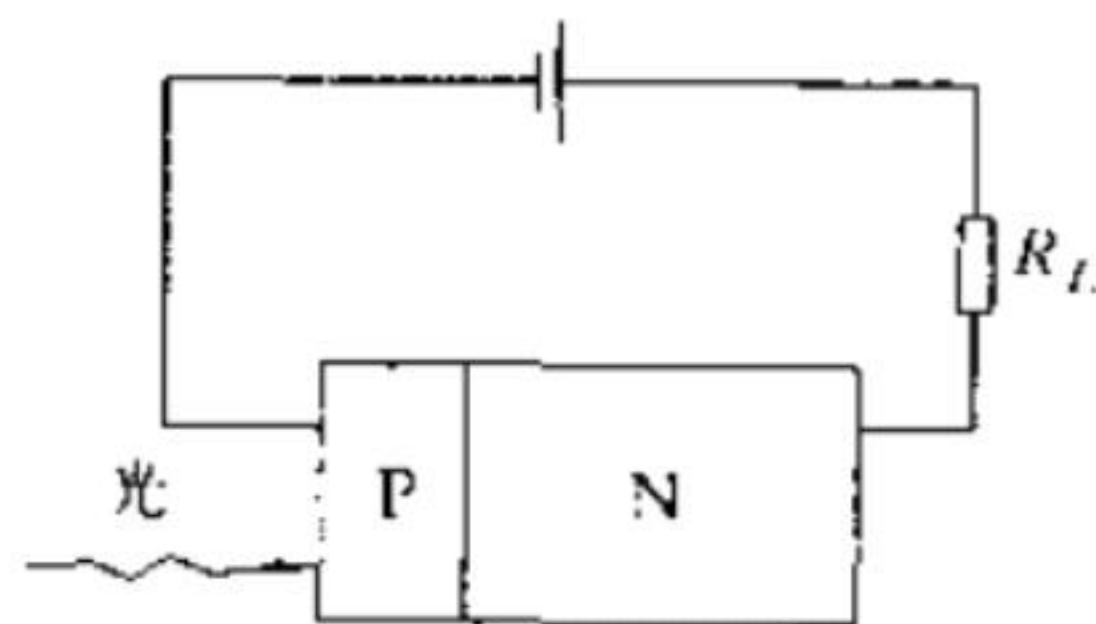


图 5-32 PN 光电二极管工作原理

APD 光电二极管:

外加反向偏压，受光照射时，产生雪崩效应，获得较大光电流。

转换效率高，接收机灵敏度高，可用于长距离通信。

温度特性差，需要温度补偿电路。

偏压高，使用是比 PIN 管复杂，价格高。

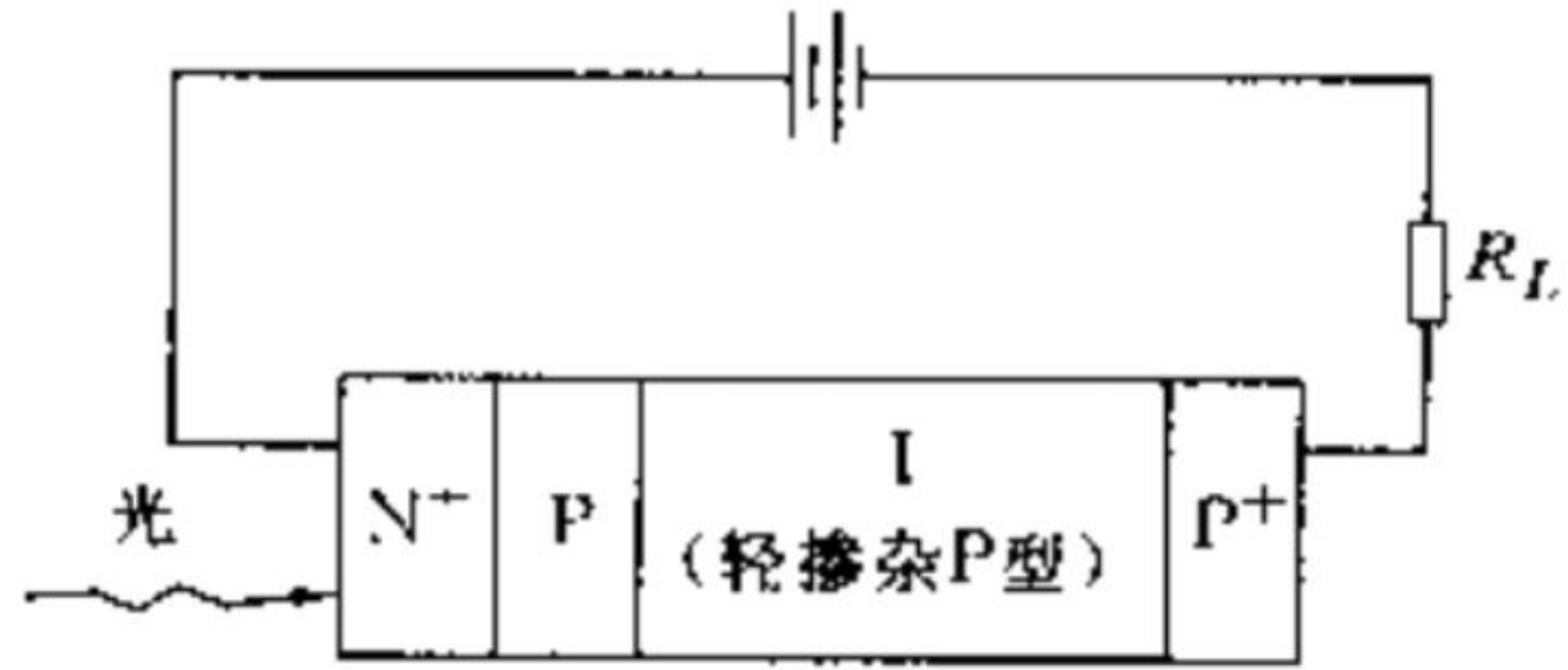


图 5-34 雪崩光电二极管工作原理

### 5.3.4 接口及线路码型变换

光端机与 PCM 数字复用设备间用电缆连接。

PCM 设备（单极性码）— 电缆（双极性码）— 光端机（单极性码）

考虑码型、接口电平、阻抗匹配等，光端机需要输入输出接口电路和码型变换电路。

#### 1、接口处理

##### (1) 输入接口电路：

- **输入接口：** 电缆与光发送端机之间接口
- **作用：**
  - ◆ 均衡放大，补偿线路衰减和畸变。
  - ◆ 码型变换：将接口码型转变为适合光纤传输的单极性非归零码。

接口码型主要有两种，即 HDB3 码和 CMI 码（传号反转码），均为双极性码。

## (2) 输出接口电路

- **输出接口**：光接收端机与 PCM 设备之间接口
- **作用**：

把单极性 NRZ 码变为 HDB 3 码(或 CMI 码)，以满足接口码型的要求，送往 PCM 设备。

## 2、线路码型变换与反变换

### (1) 对线路码型的主要要求

- 能提供足够的定时信息，即连“0”、连“1”数要小。
- “0”、“1”分布均匀、直流分量较恒定，以利于接收端的判决和稳定光源。
- 有一定规律，便于进行不中断业务的误码监测。
- 设备简单、功耗低。

### (2) 线路码型的种类

种类比较多，常用以下三种：

### ■ 扰码二进制码:

减小连“0”、连“1”数，便于定时，减小支流起伏。

没有规律，难以实现不中断业务的误码检测，通常和其他码联合使用。

### ■ mBnB 码:

$n > m$ ，加大码间距，提高检错/纠错能力。

码速率增加，但有一定的规律性。

传输特性好，容易实现不中断业务误码检测，目前使用多。

### ■ mB1H 码:

插入混合码，H 为奇偶校验码和监控码的混合形式。

### 5.3.5 光中继机

#### 1、作用：

在远距离光纤通信系统中，由于受发送光功率、光接收机灵敏度、光纤线路的衰减和色散等因素的制约，光端机之间的最大传输距离是有限的。光中继机的作用是补偿光能的衰减，恢复信号的原形。

#### 2、基本组成和工作原理

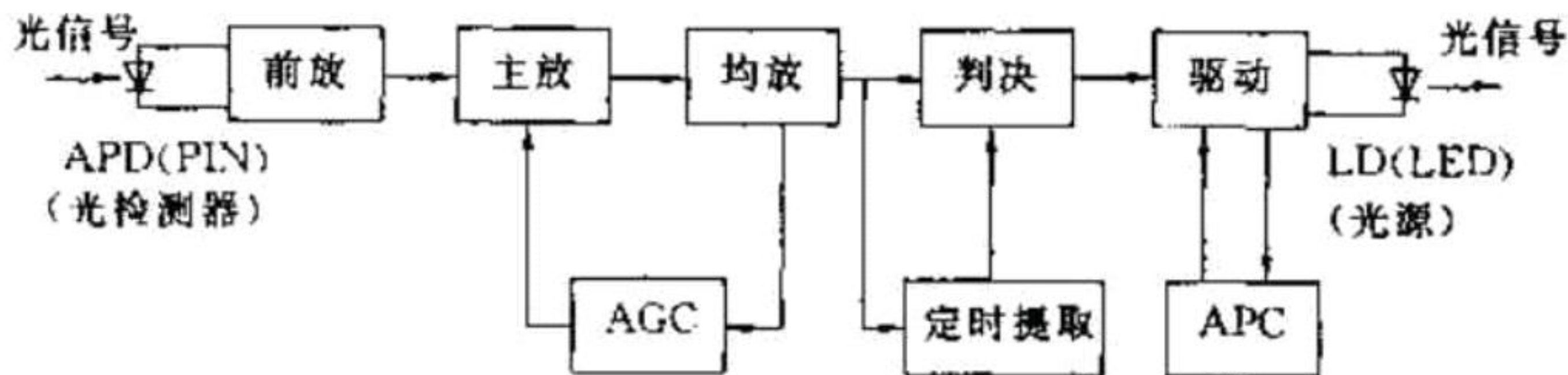


图 5-35 数字光中继机方框图

## 5.3.6 监控系统

### 1、监控系统的基本概念

#### (1) 监控系统作用:

监控系统是光纤数字通信系统的重要组成部分,用来对组成光纤数字通信系统的各种设备进行监视和控制,以便维护和管理。

#### (2) 监控内容:

表 5-1 基本监控内容

监控内容	项 目	备 注
通信设备的监视	①机内电源异常;②收无光;③发无光;④误码率;⑤失步;⑥光源寿命告警	每个站
电源的监视	①输出电压异常;②保险丝断;③整流器异常;④市内停电	本地供电中继站
远供系统的监视	①远供电流异常;②输出电压异常;③不平衡	远供中继站
环境监视	①门告警;②火灾;③温度、湿度告警	无人中继站
遥 测	①LD 偏置电流;②AGC 电压	每个站
遥 控	①系统倒换;②电源通断;③风扇或空调启动或断开	端站、无人中继站

## 2、监控系统的基本组成

一般采用 集中监控方式。

组成：主监控站、辐监控站、端站监控设备 T-SV、中继站监控设备 R-SV

监控过程、通信协议：略。

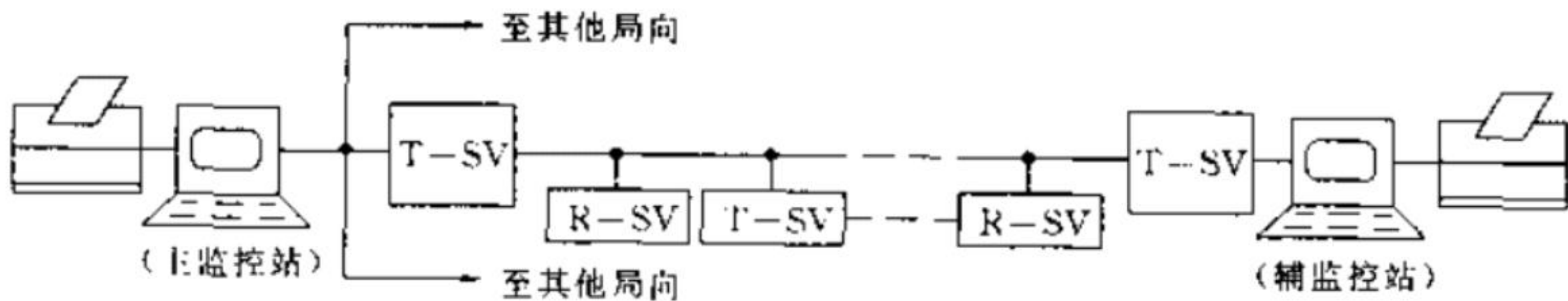


图 5-36 监控系统的基本组成

## 3、监控信息的传输方式

监控信息可以使用光缆中的铜线传输，也可以用光纤信道传输。

目前多用光纤信道传输，又有两种方法：



### (1) 时分复用法:

又称为插入比特法, 即将监控信息插入到信息码流中。

如, 光纤线路码型采用插入型码(如 mB1H 码), 可利用其部分插入比特把监控等信息按时分复用方式插入主信号码流进行传输。

### (2) 频分复用法:

利用光纤通信主信号速率高、辅助信号速率低的特点, 在频谱上分开两种信息。

如, 对主信号脉冲顶端调幅法就是常见的一种方法。

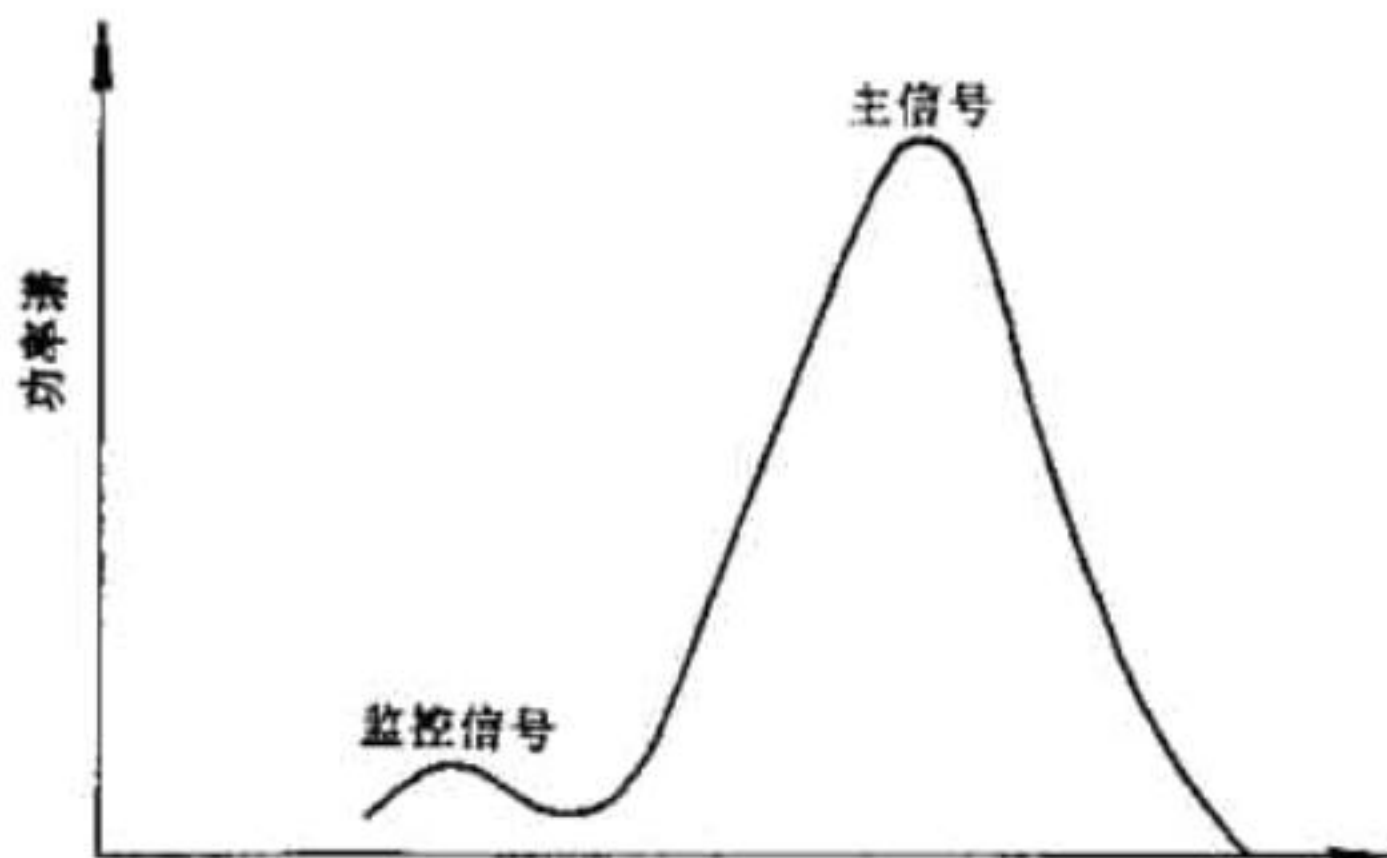


图 5-37 频分复用主、辅信号功率谱示意图

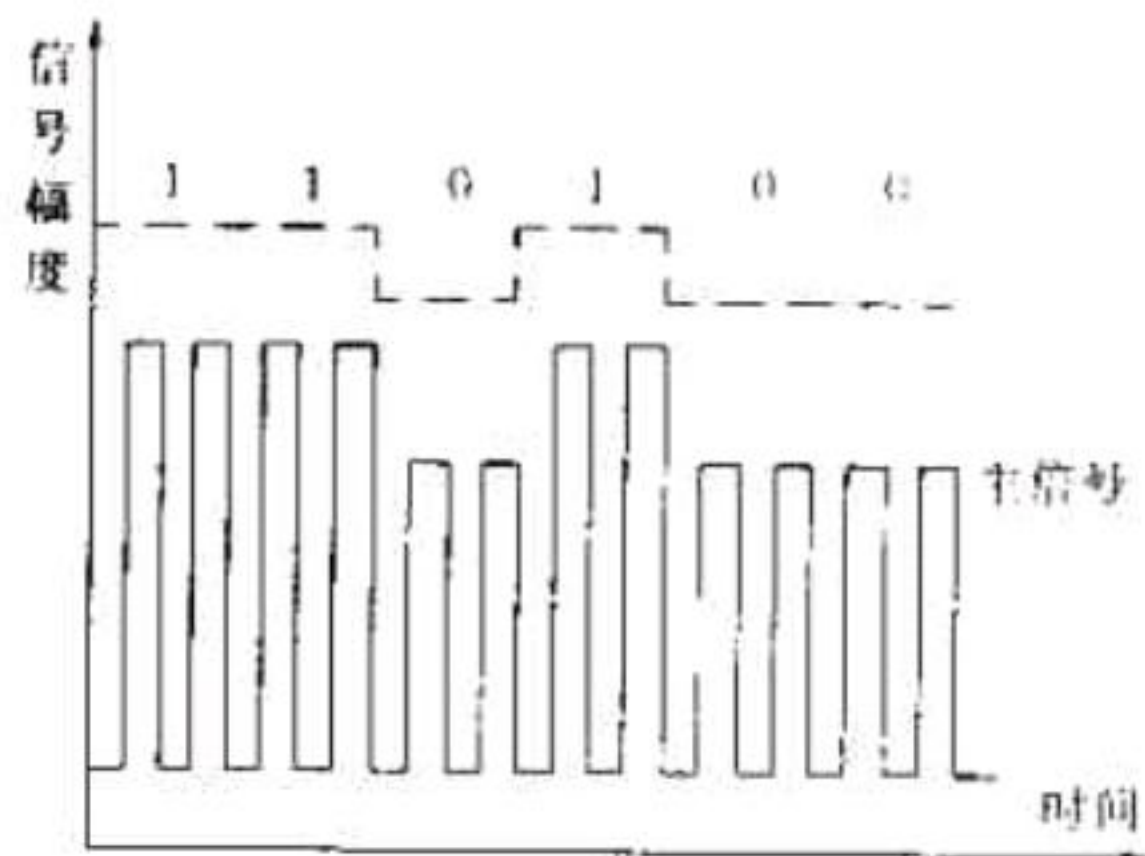


图 5-38 主信号脉冲调幅示意图

## 5.4 光纤通信网络

### 5.4.1 光纤通信网络的分类

#### 1、按主要性能分类:

##### (1) 按网的最大覆盖范围(或网径)分类:

- ◆ 宽域网 (WAN, Wide Area Network)
- ◆ 城域网 (MAN, Metropolitan Area Network)
- ◆ 局域网 (LAN, Local Area Network)

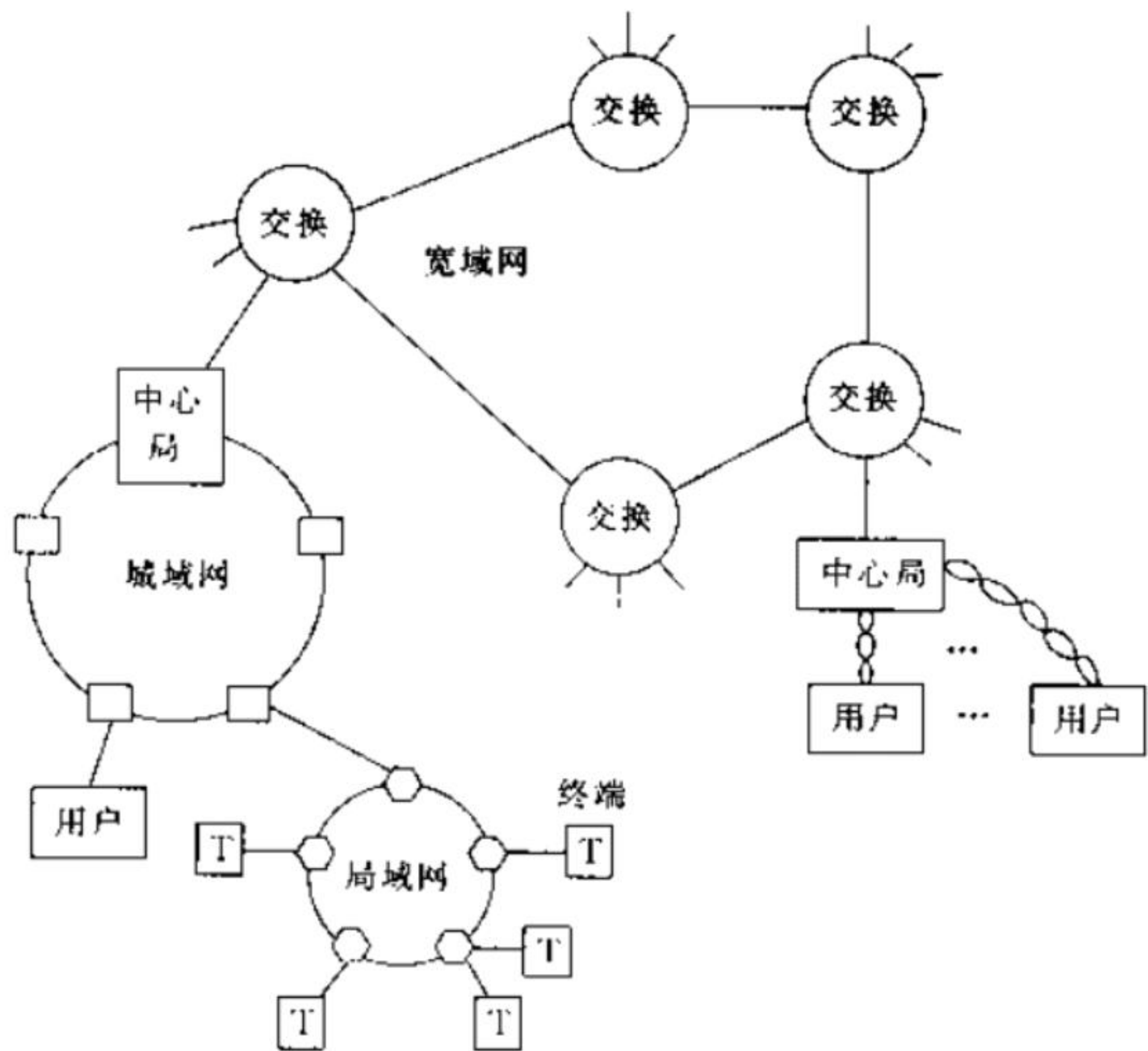


图 5-39 宽域网及其与 MAN 和 LAN 的互联

## (2) 从通信业务的种类分

- 计算机网络
- 综合业务数字网

## (3) 按网的数据速率或频带分类

- 低速  $\leq 10\text{M}$
- 中速 10-50M
- 高速  $> 50\text{M}$

## 2、按技术特征分类

### (1) 按网络拓扑结构分类:

总线形、环形、星形、树形结构及其组合结构形式。

### (2) 按媒介接入控制子层 (MAC) 的特征分类

分类复杂, 包括不同的复接方式和交换方式。

复接方式有时分、波分、空分、码分, 还有混合方式;

基本交换方式有电路交换、分组交换、ATM 交换

### 3、按技术体制分类:

准同步数字(PDH)光传输网络, 和同步数字(SDH)光传输网络。

PDH 网络可分为基群、二次群、三次群、四次群及五次群网络。

SDH 网络可分为 STM—1 (155Mb)、STM—4 (622Mb) 及 STM—16 (2.5Gb / s) 网络。

## 5.4.2 光纤用户接入网

用户接入网: 由终端局到用户之间的所有线路和设备构成的网络。

### 1、发展光纤用户接入网的必要性和可行性 (p187)

发展光纤用户接入网的重要意义

发展光纤用户接入网的可行性

### 2、光纤接入网的拓扑结构

(1) 总线型; (2) 星形; (3) 环形; (4) 树形; (5) 网状。

### 3、光纤接入网的基本形式:

- ◆ FTTH 光纤到家
- ◆ FTTB 光纤到大楼
- ◆ FTTC 光纤到路边
- ◆ FTTO 光纤到办公室
- ◆ FTTZ 光纤到小区
- ◆ FTTF 光纤到楼层
- ◆ FTTN 光纤到邻里
- ◆ FTTR 光纤到远端节点

### 4、有源光网络 AON 和无源光网络 PON

典型接入网方案: PON-FTTC、 ADS-FTTC、 HFC

### 5、混合光纤/同轴电缆接入网 (HFC)

指其传输介质采用光纤和同轴电缆混合组成的接入网。

HFC 技术的工作原理如图 5—44 所示

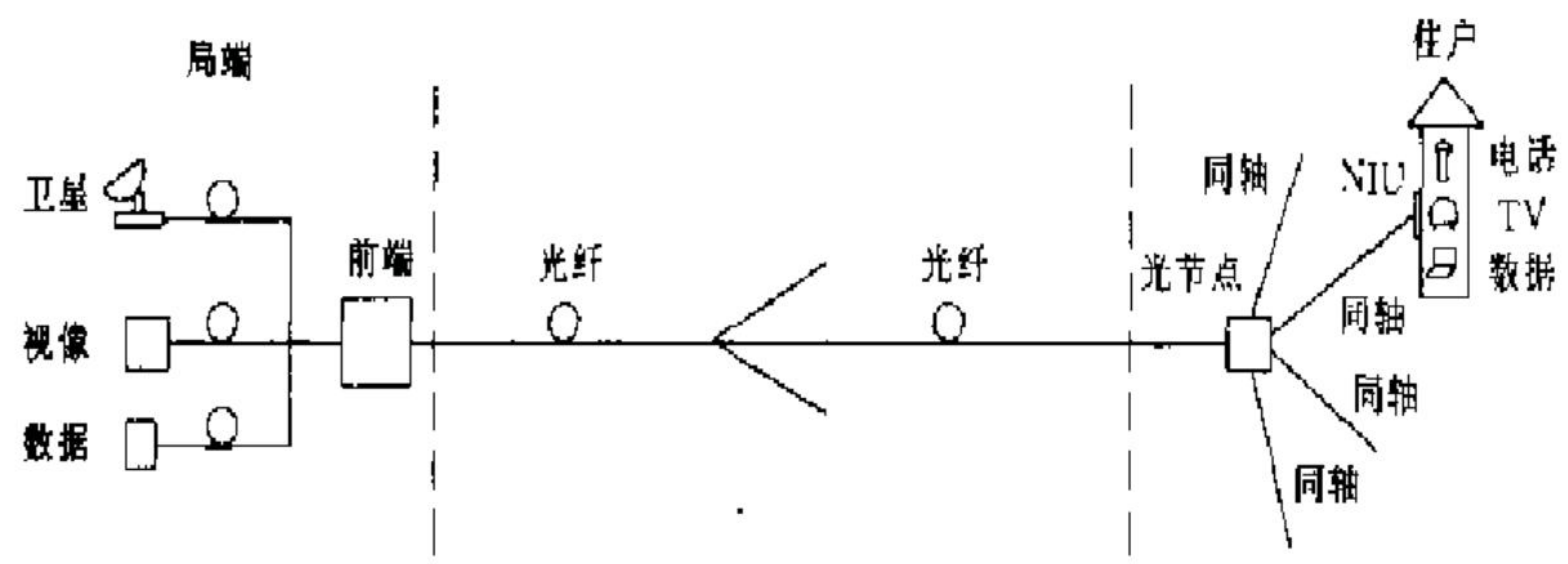


图 5-44 HFC 工作原理示意图

## 6、交换型数字视像方式(SDV)

HFC 接入网是为住宅用户提供视像(以模拟视像业务为主)宽带业务的一种接入网方式,特别适合单向、模拟的有线电视传送。

为了进一步适于双向数字、通信等业务迅速发展的需要,出现了交换型数字视像(SDV)方式。

(1) SDV 的概念——是将 HFC 与 FTTC 结合起来的一种组网方式,由一个 FTTC 双向数字光纤网与一个单向的 HFC 模拟光纤网重叠而成。(参见下页图)

(2) SDV 的主要优点:

- 1) 数字视像和模拟视像可以兼容,具有很大的灵活性;
- 2) 较好地解决 FTTC 供电难的问题;
- 3) 能较可靠地传送电信业务;
- 4) 可以充分利用现行 HFC 有线电视网,不必改造。



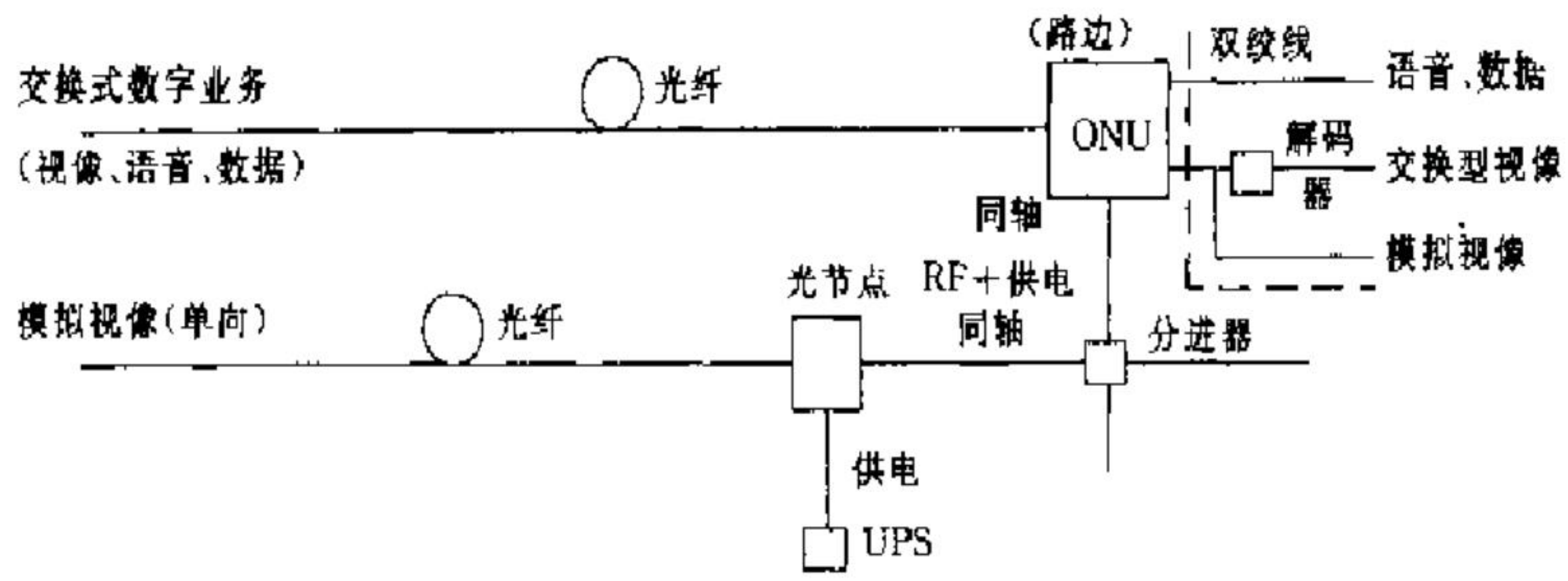


图 5-46 SDV 结构原理图

SDV 主干传输部分采用共缆分纤的 SDM(空分复用)方式分别传送双向数字信号(包括交换型数字视像和语音)和单向模拟视像信号。

## 5.3 光纤通信的新发展

### 5.5.1 光放大器

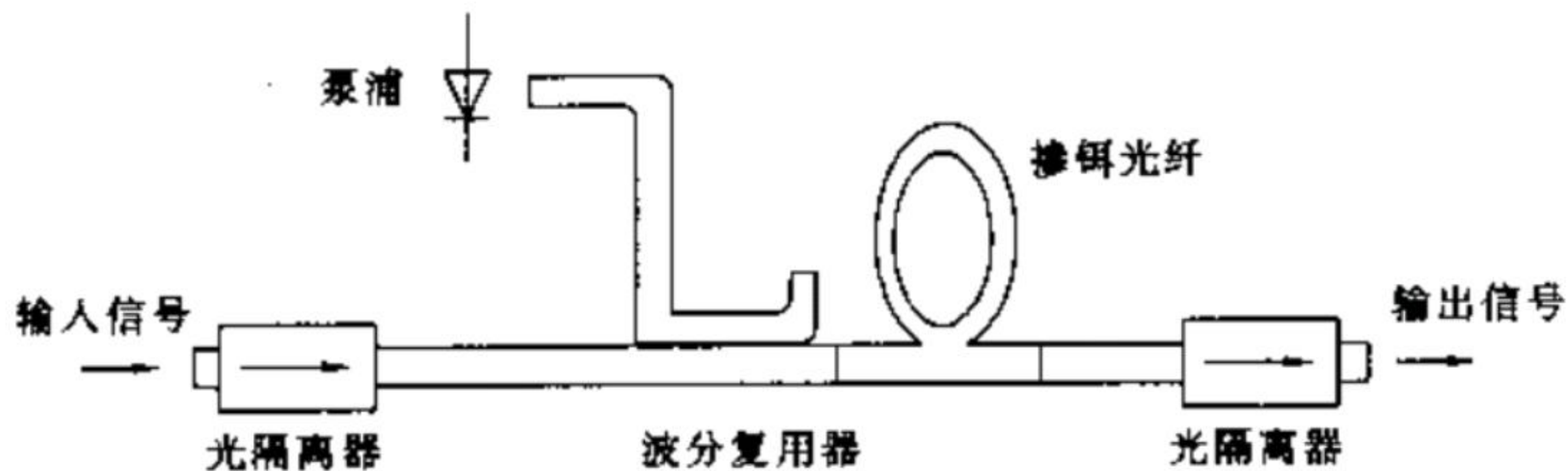
- 。任何光纤通信系统的传输距离都受光纤损耗或色散限制。
- 。再生中继器的基本功能是通过进行光—电—光转换，并在光信号转变为电信号时进行再生、整形和定时处理，恢复信号形状和幅度，再转换回光信号，沿光纤线路继续传输。
- 。这种方式有许多缺点：通信设备很复杂，系统的稳定性和可靠性不高；  
    信号容易失真，影响通信质量；  
    传输容量也受到一定的限制。
- 。解决的办法：  
    直接在光路上对信号进行放大后传输。  
    即用一个全光传输型中继器代替目前的这种光—电—光型再生中继器。

。目前情况:

已经发明了几种光放大器, 能将光信号直接放大。

其中掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术已经相当成熟。

。掺铒光纤放大器 (EDFA)



(a) 光纤放大器的原理示意图

### 5.5.2 相干光通信

目前光通信大都采用非相干光的强度调制—直接检测（IM-DD）方式。

特点是经济简单，但通信距离和容量都处于低水平。

采用和无线通信超外差接受方式相同的原理，发展了采用相干光作为载波的光外差接收技术。

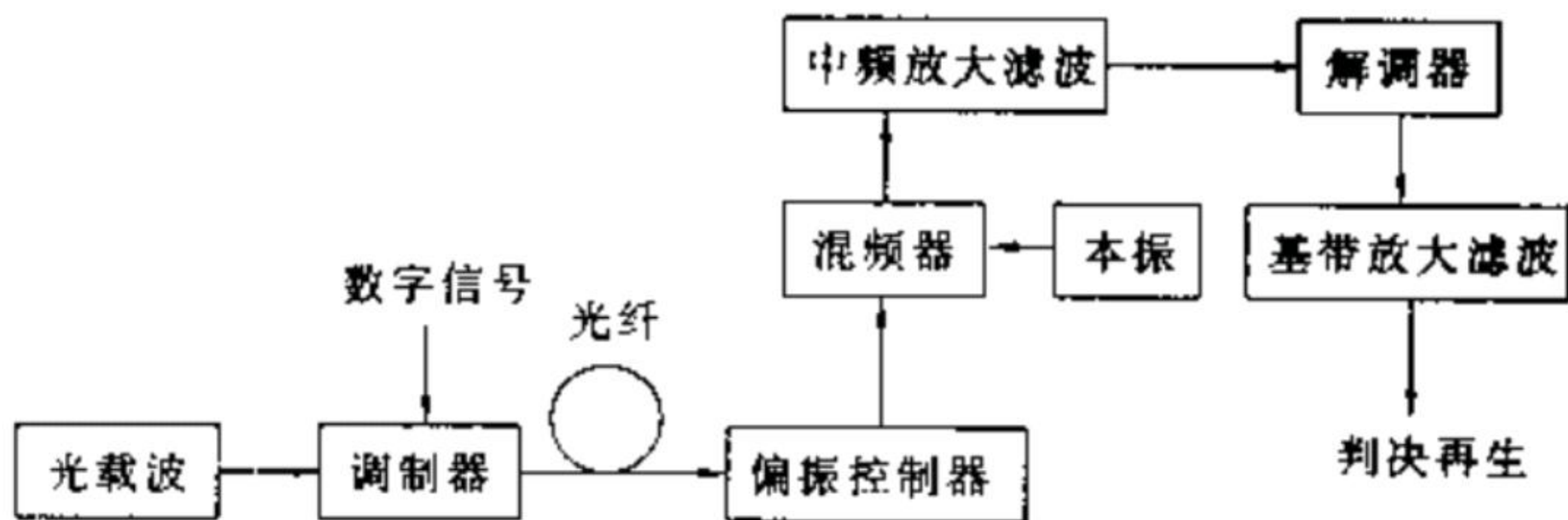


图 5-48 相干光通信系统原理框图

### 相干光通信的优点:

- (1) 光外差接收机灵敏度可以大幅度提高, 比 IM-DD 方式高 10-25dB。
- (2) 可以延长中继间距。
- (3) 可以大幅度提高通信容量。

## 5.3.3 多信道光纤通信系统

利用复用技术, 在同一根光纤上传输多条信道, 提供了充分利用极大光纤容量的通信方式, 称作多信道光纤通信系统。

有多种复用技术: 光波分复用、光频分复用、光时分复用以及副载波复用等。

### 1、光波分复用(WDM)系统

由于光纤具有很宽的带宽, 因此可以在一根光纤中传输多个波长的光载波。

**光波分复用**——将两种或多种不同波长的光载波信号(携带各种类型的信息)在发送端经复用器(亦称合波器)汇合在一起,并耦合到光线路的同一根光纤中传输;在接收端经分波器(亦称解复用器或去复用器)将各种波长的光载波分离后由光接收机作相应的处理而恢复原信号。

图 5—49 给出了点对点四波分复用系统的基本原理示意图。

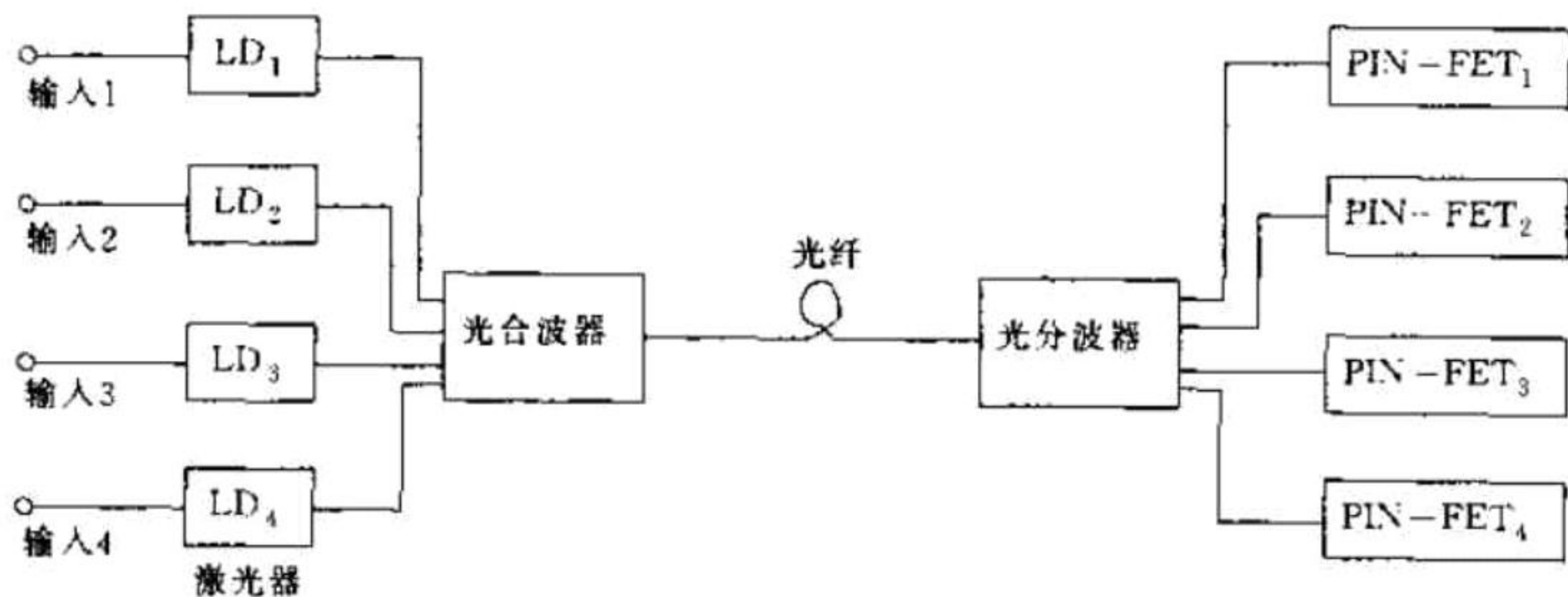


图 5-49 点对点四波分复用系统的基本原理示意图

## 2、光频分复用(OFDM)系统

- 。光频分复用与光波分复用在本质上没有差别，都是利用不同的光载波传输信息。
- 。若在同一根光纤中传输的光载波路数不多，载波之间的间距较大，这种光载波的复用通常称为光波分复用；
- 。若光载波的路数较多，波长间隔较小而密集，则称为光频分复用，也称为密集波分复用(DWDM)。
- 。WDM 与 OFDM 相比，WDM 多用于沿线设置光纤放大器的长途干线和海下光缆系统；OFDM 多应用于光纤用户网和综合光纤局域网。

## 3、光时分复用(OTDM)系统

- 。光时分复用(OTDM)是用多个电信道信号分别调制频率相同但在时间上相互错开的光脉冲载波，然后进行光复用；
- 。接收端用 OTDM 解复用器(光开关)在定时的控制下分出不同信道的光信号，然后分别解调，恢复出原各信道电信号。

#### 4 副载波复用(SCM)系统

上述复用都是指光波的复用。

**副载波复用**——将所要传输的信号先用于调制一个射频(超短波到微波的频率)载波，再将射频信号调制发射光源。

**接收端**：经光电转换后恢复带有信号的射频波，再通过射频波检测还原成原信号。

**特点**：副载波光纤通信要经过两次调制、两次解调。

两重载波分别是光波和射频波，射频波也就是副载波。



## 5.5.4 光孤子通信

### 1、光孤子的物理概念

光孤子的存在是光纤群速度色散和自相位调制平衡的结果。

群速度色散使脉冲展宽。

自相位调制使波形中较高频率成分不断积累，使波形变陡。

两种因素相互平衡，可保持波形稳定不变。

自相位调制——光纤折射率随光强度变化，产生非线性相位位移的机理。

### 2、光孤子通信系统的组成和工作原理

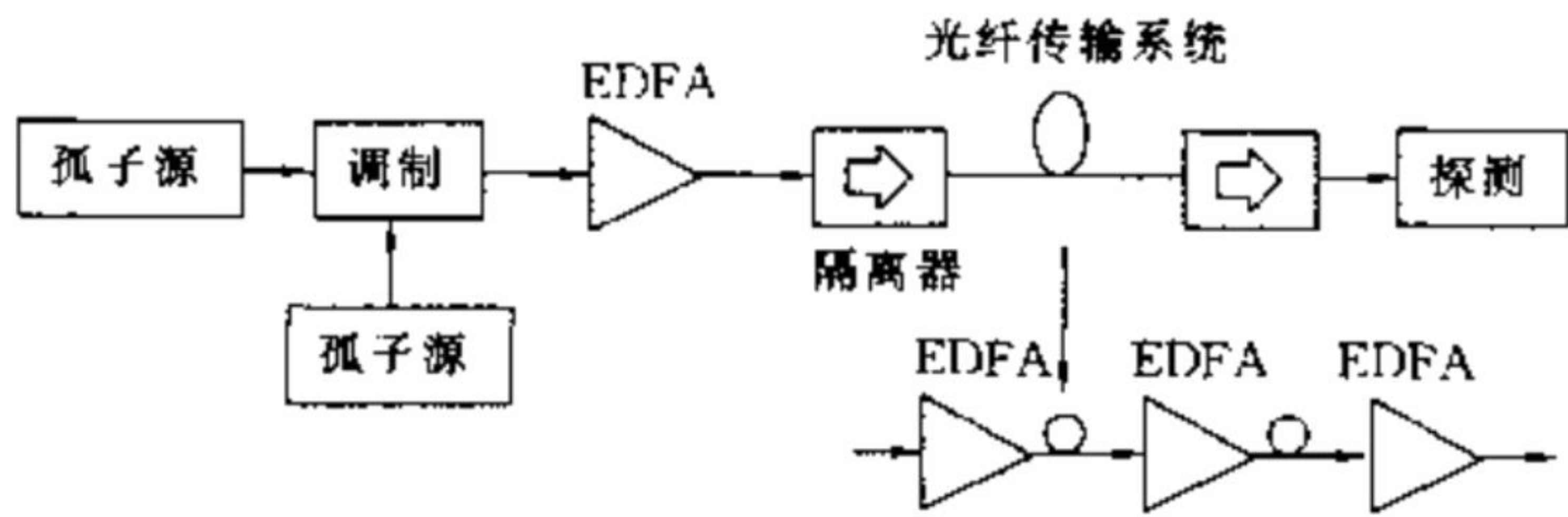


图 5-52 光孤子通信系统的构成框图