



# 通信光电子基础 实验指导书

徐春燕

2016 年 10 月

# 目 录

实验一	光纤识别和光纤剥皮切割实验 .....	1
实验二	数字光发端机的平均光功率及消光比测量 .....	9
实验三	半导体 LED 光源 P-I 曲线特性测量 .....	13
实验四	用 OTDR 测量光纤长度、损耗及断点 .....	18
实验五	波分复用器的性能指标测量 .....	24
实验六	光纤发送接收系统实验 .....	29

---

# 实验一 光纤识别和光纤剥皮切割实验

## 一、实验目的

1. 了解光纤结构和分类;
2. 掌握单模、多模光纤的识别方法;
3. 掌握光纤剥皮钳的使用方法;
4. 掌握光纤切割刀的使用方法。

## 二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 单模光纤
3. 多模光纤
4. 光纤剥皮钳
5. 光纤切割刀
6. 透明胶带、酒精、棉球

## 三、实验原理

### 1. 光纤的结构

光纤是光导纤维（Optical Fiber，OF）的简称。是指由透明材料制成的纤芯和在它周围采用比纤芯的折射率稍低材料制成的包层所被覆，并将射入纤芯的光信号，经包层界面反射，使光信号在纤芯中传播前进的媒体。一般光纤是一种高度透明的玻璃丝，由纯石英经复杂的工艺拉制而成。在长距离内具有束缚和传输光的作用。图 1-1 是光纤结构示意图，由纤芯、包层和外套涂敷层三部分组成多层同轴圆柱体。

纤芯：纤芯的作用是传导光波，由高纯度的  $\text{SiO}_2$  和极少量的掺杂剂（如  $\text{P}_2\text{O}_5$ ）制成，掺杂的目的是提高纤芯对光的折射率  $n_1$ ，直径在  $8.3\mu\text{m}$ - $62.5\mu\text{m}$ 。

包层：包层的作用是将光波限制在纤芯中传播，由高纯度的  $\text{SiO}_2$  和极少量的掺杂剂（如  $\text{B}_2\text{O}_3$ ）制成，掺杂的目的是使包层的折射率  $n_2$  略低于纤芯折射率  $n_1$ ，从而造成一种光波导效应，使大部分的光波被束缚在纤芯中传输。直径在  $125\mu\text{m}$ - $140\mu\text{m}$ 。

涂敷层：涂敷层作为光纤的保护层，用于抵制外界水气的侵蚀和机械的擦伤，同时加强光纤的柔韧性。涂覆层一般又包含一次涂覆层、缓冲层、二次涂覆层。一次涂覆层由丙烯酸酯、有机硅或硅橡胶材料组成，缓冲层一般为性能良好的填充油膏，二次涂覆层为聚丙烯或尼龙等高聚物。涂覆后的光纤其外径约  $1.5\text{mm}$ ，通常所说的光纤为此种光纤。

在涂层外，往往加有塑料外套。

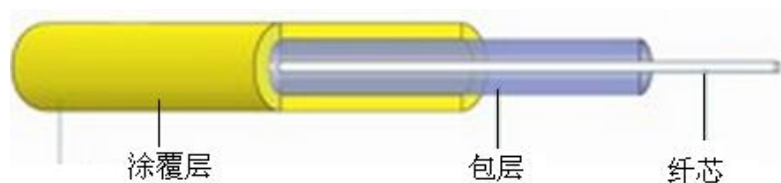


图 1-1 光纤结构示意图

## 2. 光缆的结构

为了便于工程上的安装和敷设，常常将若干根光纤组合成光缆。光缆的结构繁多，我国较为普遍采用层绞式和骨架式两种结构。光缆中的钢质加强心，一方面是为了提高其抵抗张力的能力；另一方面由于钢质心的热膨胀系数小于塑料，所以它能抵制塑料的伸缩从而使光缆的温度特性有所改善。图 1-2 为层绞式光缆结构。

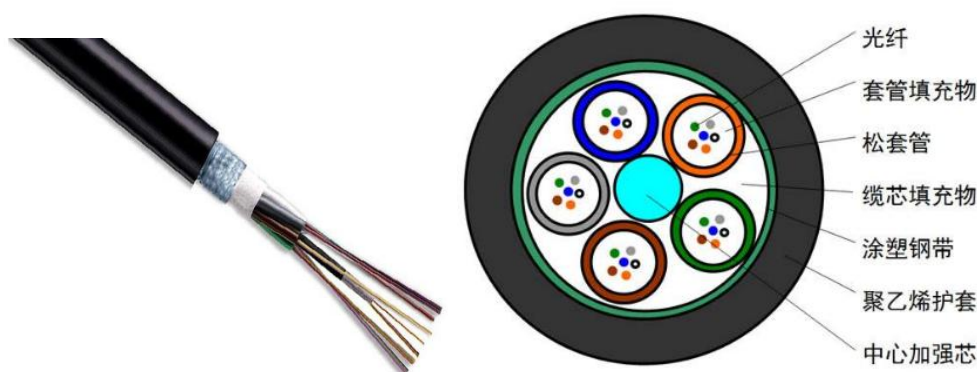


图 1-2 层绞式光缆结构

## 3. 基本概念

裸纤：由纤芯和包层组成的光纤，强度和柔韧性较差。

光纤芯线：经过涂覆后的光纤。

尾纤和光纤跳线：光纤线路的两端一般是通过一段短光纤把线路与光端机连接起来的。这一段短光纤长度为 3 米或 5 米、10 米，因其位置处于光纤线路的尾部，故常称为尾纤，又称为光纤跳线。

## 4. 光纤的分类

### (1) 按光纤截面上折射率分布分类

按光纤截面上的折射率可分为阶跃型光纤、渐变型光纤、W 型光纤（双包层光纤）及其它型（如三角型、凹陷型等），如图 1-3。

阶跃型光纤：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。

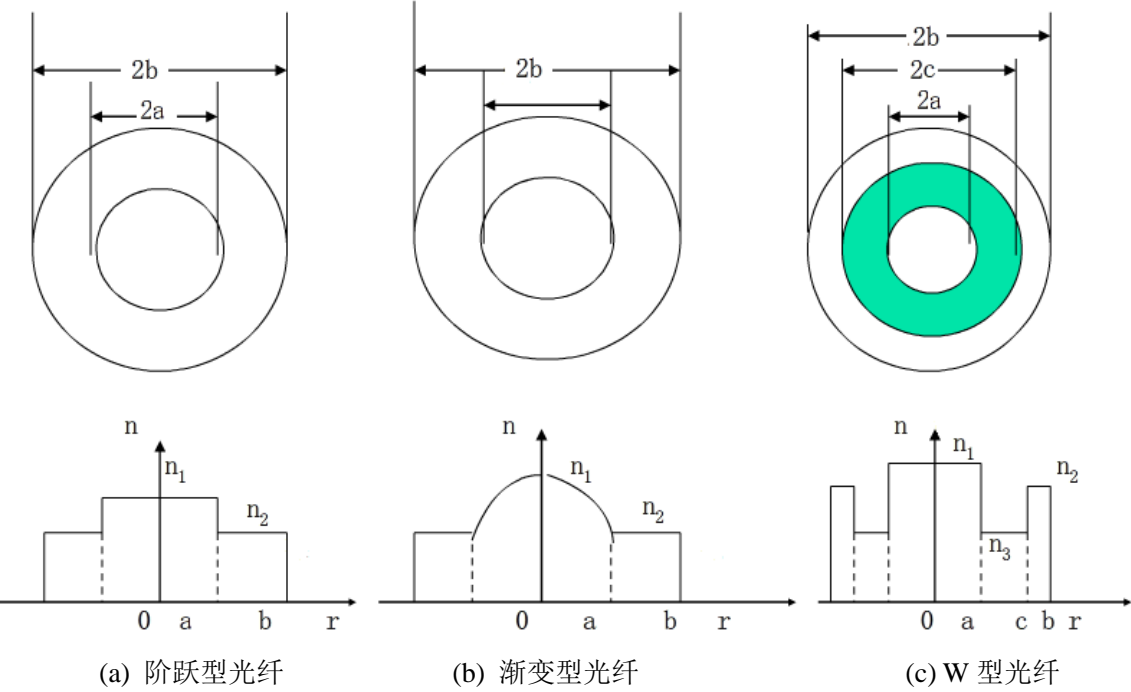


图 1-3 光纤截面折射率分布分类

**渐变型光纤：**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。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。

**W 型光纤（双包层光纤）：**在纤芯与包层之间设有一折射率低于包层的缓冲层，使包层折射率介于纤芯和缓冲层之间。

## （2）按传输模式的数量分类

按传输光波的模式数量来分，有单模光纤和多模光纤两大类。

---

单模光纤只传输一种模式，要求入射光的波长大于光纤的截止波长，纤芯直径较细，通常在  $3\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$  范围内。单模光纤对于光的传输损耗将是最小的，因为光场只在光纤的中心传导。但是由于纤芯直径很小，对于光纤与光源的耦合及光纤之间的接续将带来明显困难。单模光纤可彻底消除模间色散，在波长为  $1.27\mu\text{m}$  时，材料色散趋近于零，或者可以使得材料色散与波导色散相抵消。因此，长距离大容量的长途通信干线及跨洋海底光缆线路全部采用单模光纤。由于  $1.55\mu\text{m}$  波长时单模光纤的损耗更低，人们已研究了使光纤的零色散波长移到  $1.55\mu\text{m}$  的技术和使激光器（LD）的频谱更窄的技术，以求同时达到最低的损耗及最宽的带宽，从而最大限度地增大中继距离及信息容量。

多模光纤可传输多种模式，模式的数目取决于芯径、数值孔径（接收角）、折射率分布特性和波长。将单模光纤的纤芯增大，光纤将成为多模光纤。多模光纤的纤芯直径远远大于单模光纤，一般为  $50$ - $200\mu\text{m}$ ，典型尺寸为  $50\mu\text{m}$  左右。在临界角内，各个模式的入射光波分别以不同角度，在光纤内的纤芯与包层的界面处发生全反射而沿光纤传输。

突变型多模光纤的纤芯部分折射率保持不变，而在纤芯与包层的界面折射率发生突变。这种光纤模间群时延时差大，一般传输带宽为  $100\text{MHz}\cdot\text{Km}$ 。常做成大芯径（例如  $100\mu\text{m}$ ）、大数值孔径（例如 NA 大于 0.3）光纤，提高光源与光纤的耦合效率，适用于短距离、小容量的系统。这种光纤的使用相当广泛。

单模光纤和多模光纤的包层直径都为  $125\mu\text{m}$ - $140\mu\text{m}$ 。

#### （3）按工作波长分类

可分为紫外光纤、可观光纤、近红外光纤、红外光纤（ $850\text{nm}$ 、 $1300\text{nm}$ 、 $1310\text{nm}$ 、 $1550\text{nm}$ ）

#### （4）按原材料分类

可分为石英玻璃、多成分玻璃、塑料、复合材料（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. 一般成品光纤的主要参数

#### （1）光纤的纤芯折射率分布

如 4（1）中所述。

#### （2）光纤的尺寸

一般光纤的外径是  $125\mu\text{m}$ ，单模光纤纤芯芯径是  $9$ - $10\mu\text{m}$ ，多模光纤的纤芯芯径是  $40$ - $50\mu\text{m}$ ，同心度偏差  $1$ - $5\mu\text{m}$ ，这是对于光纤通信所用光纤的尺寸。

#### （3）光纤的传播损耗

引起光纤损耗的原因主要有四方面：

1) 光纤的吸收损耗，这是由于光纤材料和杂质对光能的吸收而引起的，它们把光能以热能的形式消耗于光纤中，是光纤损耗中重要的损耗，吸收损耗包括以下几种：

① 物质本征吸收损耗 这是由于物质固有的吸收引起的损耗。它有两个频带，一个在近

---

红外的  $8\sim 12\ \mu\text{m}$  区域里，这个波段的本征吸收是由于振动。另一个物质固有吸收带在紫外波段，吸收很强时，它的尾巴会拖到  $0.7\sim 1.1\ \mu\text{m}$  波段里去。

② 掺杂剂和杂质离子引起的吸收损耗 光纤材料中含有跃迁金属如铁、铜、铬等，它们有各自的吸收峰和吸收带并随它们价态不同而不同。由跃迁金属离子吸收引起的光纤损耗取决于它们的浓度。另外， $\text{OH}^-$  存在也产生吸收损耗， $\text{OH}^-$  的基本吸收极峰在  $2.7\ \mu\text{m}$  附近，吸收带在  $0.5\sim 1.0\ \mu\text{m}$  范围。对于纯石英光纤，杂质引起的损耗影响可以不考虑。

③ 原子缺陷吸收损耗 光纤材料由于受热或强烈的辐射，它会受激而产生原子的缺陷，造成对光的吸收，产生损耗，但一般情况下这种影响很小。

## 2) 光纤的散射损耗

光纤内部的散射，会减小传输的功率，产生损耗。散射中最重要的是瑞利散射，它是由光纤材料内部的密度和成份变化而引起的。光纤材料在加热过程中，由于热骚动，使原子得到的压缩性不均匀，使物质的密度不均匀，进而使折射率不均匀。这种不均匀在冷却过程中被固定下来，它的尺寸比光波波长要小。光在传输时遇到这些比光波波长小，带有随机起伏的不均匀物质时，改变了传输方向，产生散射，引起损耗。另外，光纤中含有的氧化物浓度不均匀以及掺杂不均匀也会引起散射，产生损耗。

## 3) 波导散射损耗

这是由于交界面随机的畸变或粗糙所产生的散射，实际上它是由表面畸变或粗糙所引起的模式转换或模式耦合。一种模式由于交界面的起伏，会产生其他传输模式和辐射模式。由于在光纤中传输的各种模式衰减不同，在长距离的模式变换过程中，衰减小的模式变成衰减大的模式，连续的变换和反变换后，虽然各模式的损失会平衡起来，但模式总体产生额外的损耗，即由于模式的转换产生了附加损耗，这种附加的损耗就是波导散射损耗。要降低这种损耗，就要提高光纤制造工艺。对于拉得好或质量高的光纤，基本上可以忽略这种损耗。

## 4) 光纤弯曲产生的辐射损耗

光纤是柔软的，可以弯曲，可是弯曲到一定程度后，光纤虽然可以导光，但会使光的传输途径改变。由传输模转换为辐射模，使一部分光能渗透到包层中或穿过包层成为辐射模向外泄漏损失掉，从而产生损耗。当弯曲半径大于  $5\sim 10\text{cm}$  时，由弯曲造成的损耗可以忽略。

## (4) 数值孔径

入射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。数值孔径是描述光纤受光程度的参数，通常用光从空气入射到纤芯允许的最大入射角的正弦值来描述。

## (5) 带宽

带宽是光纤的一个重要参数，它使渐变型光纤像一个低通滤波器一样，对光发射机的功率调制产生影响。它使光纤的传输函数的大小随调制频率升高而减小，而在整个频谱内的相

---

关相位失真保持很小。为计算方便，这种频响可以近似为一个等效的高斯低通滤波器，最高带宽仅可能在某一个波长上发生，对于其它波长，带宽将减少下来，那带宽是波长的函数。其低通滤波器的截止频率与玻璃组成材料及剖面折射率分布有关。

#### （6）有效截止波长

这是描述单模光纤的一个重要参数。它表明，在单模光纤的波长域中仅可以传播的模，所谓截止波长是指基模。

测量有效截止波长的方法有多种，一般采用挠曲法，在这种方法中，首先将一段光纤在直线状态下测量一下损耗；然后在弯曲状态下测量损耗。这样可以推算出由于弯曲增加的衰减，而有效截止波长就是这样定义的，在截止波长下由于弯曲增加的损耗是 0.1dB。

当工作频率低于这个截止波长所对应的频率时，规定的传播模不能存在，大于截止波长相应频率光进入包层区域损耗掉。这个名词是从以前波导理论研究中借用来的。

#### （7）模场直径。

这是单模光纤的另一重要参数，也称为光点尺寸。在单模光纤中主要传送的是基模，而模场直径与基模光斑的大小有关，它以基模场强减少到  $1/e$  处的宽度来定标，它表征入纤的光功率分布。

## 四、实验步骤

### 1. 识别单模光纤和多模光纤

识别单模光纤与多模光纤的基本方法是从光纤的产品规格代号中去了解。如我国光纤光缆型号的规格代号的第二部分用 J 代表多模渐变型光纤，用 T 代表多模阶跃型光纤，用 Z 代表多模准阶跃型光纤，用 D 代表单模光纤。

其次是从光纤的纤芯直径去识别。单模光纤的芯径很细，通常芯径小于  $10\mu\text{m}$ ；多模光纤的芯径比单模光纤大几倍。

第三种方法是从光纤外套的颜色上识别。通常黄色和白色表示单模光纤，橙色表示多模光纤。本实验系统配置的光纤外套是黄色的和白色的为单模。

### 2. 识别单模光纤和多模光纤的传输参数

光纤传输特性有工作波长、信号传输模式、带宽与损耗等，通常这些通过光纤光缆的型号标志来识别，也可以用仪表来测试。

每种光纤都有特定的工作波长，当注入光信号的波长等于工作波长时，光纤损耗最小，反之光纤损耗增大。因此把不同波长的光信号注入光纤，测量光纤损耗，当光纤损耗最小时，该光信号的波长即为尾纤的工作波长。

### 3. 剥除光纤涂覆层

双口光纤剥皮钳用于剥离光纤的涂覆层，如图 1-4 所示，顶部 1.98mm 的开孔可用于剥离



尾纤外护层，钳刃上的 V 型口和  $140\ \mu\text{m}$  的开孔可用于剥离  $125\ \mu\text{m}$  光纤的  $250\ \mu\text{m}$  覆层。

为了剥离单模光纤，钳口已调校得很小，勿须再作调整。

用剥皮钳剥除光纤涂覆层，预留裸纤长度为 30-40mm。光纤涂覆层的剥除，要掌握平、稳、快三字剥纤法。“平”，即持纤要平。左手拇指和食指捏紧光纤，使之成水平状，所露长度以 5cm 为准，余纤在无名指、小拇指之间自然打弯，以增加力度，防止打滑。“稳”，即剥纤钳要握得稳。“快”即剥纤要快，剥皮钳应与光纤垂直，上方向内倾斜一定角度，然后用钳口轻轻卡住光纤右手，随之用力，顺光纤轴向平推出去，整个过程要自然流畅，一气呵成。

观察光纤剥除部分的涂覆层是否全部剥除，若有残留，应重新剥除。



图 1-4 光纤剥皮钳

#### 4. 裸纤的清洁

将棉花撕成层面平整的扇形小块，沾少许酒精（以两指相捏无溢出为宜），折成“V”形，夹住已剥覆的光纤，顺光纤轴向擦拭，力争一次成功，一块棉花使用 2~3 次后要及时更换，每次要使用棉花的不同部位和层面，这样即可提高棉花利用率，又防止了光纤的两次污染。

注意：请用纯度大于 99% 的酒精。

#### 5. 裸纤的切割

裸纤的切割是光纤端面制备中最为关键的部分，精密、优良的切刀是基础，而严格、科学的操作规范是保证。



---

图 1-5 KL-21B 光纤切割刀结构图

首先要清洁切刀和调整切刀位置，切刀的摆放要平稳，切割时，动作要自然、平稳、勿重、勿急，避免断纤、斜角、毛刺及裂痕等不良端面的产生。对切刀“V”形槽、压板、刀刃进行清洁，谨防端面污染。

切割步骤：

- （1）确认装置有刀片的滑动板在面前一端，打开大小压板，如图 1-5 所示；
- （2）目测光纤涂覆层边缘对准切割器标尺上（12-20cm）适当的刻度后，左手将光纤放入导向压槽内，要求裸光纤笔直地放在左、右橡胶垫上。
- （3）合上小压板、大压板，推动装置有刀片的滑块，使刀片划切光纤下表面，并自由滑动至另一侧，切断光纤；
- （4）左手扶住切割器，右手打开大压板并取走光纤碎屑，用透明胶带粘住光纤碎屑。因为光纤碎屑是碎玻璃，属于危险品，不要进入眼睛和皮肤内。
- （5）用左手捏住光纤同时右手打开小压板，仔细移开切好端面的光纤，注意：整洁的光纤断面不要碰及它物。

## 六、实验总结

1. 单模光纤和多模光纤参数比较。
2. 操作过程的体会。

---

## 实验二 数字光发端机的平均光功率及消光比测量

### 一、实验目的

1. 了解数字光发端机平均光功率的指标要求；
2. 掌握光发端机输出光功率的测试方法。
3. 了解数字光发端机的消光比的指标要求；
4. 掌握数字光发端机的消光比的测试方法。

### 二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 光功率计（FC-FC 单模尾纤）
3. 20M 双踪示波器 1 台
4. 信号连接线
5. 万用表
6. 螺丝刀

### 三、实验原理

在光纤通信中，首先要将电信号转变为光信号，最常用的光源是半导体激光器和发光二极管。半导体光源体积小，发光面积可以与光纤芯径相比较，从而有较高的耦合效率；发射光波长适合在光纤中低损耗传输；可以直接进行强度调制，即只要将信号电流注入半导体光源，就可以得到相应的光信号输出；可靠性较高，尤其是半导体激光器，不仅发射功率大，耦合效率高、响应速度快，而且发射光的相干性也较好，在一些高速率、大容量数字光纤通信系统中得到广泛应用。

本实验系统中，提供了半导体激光器和半导体发光二极管两种光源。本章节中将对半导体激光器的指标进行测量。

#### 1. 数字光发端机的平均光功率测量

给光发端机的数字驱动电路送入一伪随机码二进制序列为测试信号，用光功率计直接测试光发端机的光功率，此数值即为数字发送单元的平均光功率。平均光功率是在额定电流下测得的，否则结果有偏差。实验测量结构示意图如图 2-1 所示。

#### 2. 数字光发端机的消光比测量

消光比指光发射端机的数字驱动电路送全“0”码，测得此时的光功率  $P_0$ ；给光发射端机的数字驱动电路送全“1”码，测得此时的光功率  $P_1$ ，将  $P_0$ 、 $P_1$  代入公式：

$$EXT = 10Lg \frac{P_0}{P_1} \quad (\text{dB}) \quad (2-1)$$

即得到光发射端机的消光比

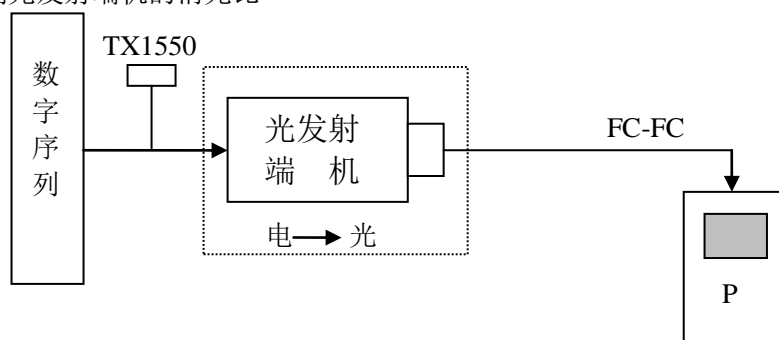


图 2-1 平均光功率测试结构示意图

本实验平台上的 1310 数字光端机，参数可调，按式 2-1 测量可得到激光器的消光比。

本实验平台上的 1550 数字光端机，由于其一体化设计时作过处理，因此输入全“0”时光功率计测不出光功率（极小），即消光比为零。本实验主要对激光/探测器的消光比进行测量。由于激光器的输入电路采用了隔直电容，对于输入全“1”或全“0”，其输出功率不变。如果直接输入全“1”和全“0”，将无法测出消光比。但是我们知道，当输入全“1”时，使得激光器的电流最大，输入全“0”时，激光器的电流最小。因此我们可以采用，当激光器电流最小时(对应全“0”)，测出此时的光功率  $P_0$ ；当激光器电流最大时(对应全“1”)，测得此时光功率  $P_1$ ，将  $P_0$ 、 $P_1$  代入公式（式 2-1），即得到激光器的消光比。

## 四、实验步骤

### 1. 1550nm 数字光发端机的平均光功率测量

(1) 关闭系统电源，按照图 2-1 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好（TX1550 通过尾纤接到光功率计），注意收集好器件的防尘帽（实验结束要盖回去），连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“码型变换实验-- CMI 码设置” 确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 SW101 拨码器设置的 8 比特周期性序列，如 10001000。

(3) 示波器测试 P101 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P101、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 使送入光发端机信号（TX1550）幅度最大，记录信号电平值。即将拨码器设置序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“dBm”，读取此时光功率  $P$ ，即为 1550nm

---

光发射端机在正常工作情况下，对于拨码器设置 32K 的 10001000 序列的平均光功率，记录码型和光功率。

(6) 拨码器设置其它序列组合，W205 保持不变，记录码型和对应的输出光功率，得出你的结论。

(7) 按返回键，液晶菜单选择“码型变换实验—CMI 码 PN”。确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 15 位 m 序列。以同样的方法测试，记录码型、速率和平均光功率值。

(8) 改变 W205 值，以同样的方法测试，记录 TX1550 点信号电平值和对应的输出光功率，得出你的结论。

## **2. 1550nm 数字光端机消光比测量**

(1) 关闭系统电源，按照图 2-1 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好（TX1550 法兰输出通过尾纤接到光功率计），注意收集好器件的防尘帽（实验结束要盖回去），连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“码型变换实验-- CMI 码设置” 确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 SW101 拨码器设置的 8 比特周期性序列，如 10001000。

(3) 示波器测试 P101 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P101、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 使送入光发端机信号（TX1550）幅度最大，记录信号电平值。即将拨码器设置序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“mW”，设置拨码器 SW101 为 11111111，读取此时光功率 P1，即为 1550nm 光发射端机在正常工作情况下，对于全 1 码的输出光功率，记录码型和光功率。

(6) 拨码器 SW101 设置为 00000000，W205 保持不变，记录码型和对应的输出光功率 P0。

(7) 将 P0、P1 代入公式 2-1，算出此数字光端机的消光比 EXT。

(8) 关闭系统电源，拆除各光器件并套好防尘帽。

注：由于 1550 数字光端机，其一体化设计时作过处理，输入全“0”时，光功率输出为 0，光功率计测不出光功率，即 P0=0。

## **3. 1310nm 数字光端机消光比测量**

(1) 关闭系统电源，将 1310nm 激光器的 TX1310 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好（TX1310 法兰输出通过尾纤接到光功率计），注意收集好器件的防尘帽（实验结束要盖回去），连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

(2) 将 K01，K02 短路帽拔掉（注意保存好），用万用表红表笔接 TP202，黑表笔接 TP203，三用表设置直流（200mA 档位）。

---

(3) 打开系统电源，调节光功率计工作波长为“1310nm”单位“mw”。顺时针调整电位器 W202 使电流表（即通过激光器的电流）指示 5mA。读出此时光功率 P0,即为激光器对应于全“0”码的输出光功率。

(4) 逆时针调整电位器 W202，使电流表指示为 14mA，读出此时光功率 P1，即为激光器对应于全“1”码的输出功率。

(5) 将 P0、P1 代入公式 2-1，算出此激光器的消光比 EXT。

(6) 关闭系统电源，拆除各光器件、电流表。电流表的表笔扎到电压电阻档位，开关旋转到交流 750V，以保护电表。套好光纤、光发射器、光接收器的防尘帽，插好 K01，K02 短路帽，整理好设备。

## 五、实验总结

1. 记录数字光发射端机的平均光功率，标上必要的实验参数说明，归纳出光发射机输出的光功率与输入电信号的那些参数有关。
2. 记录数字光发射端机的消光比，标上必要的实验说明。
3. 光纤通信系统中的消光比大小对系统传输特性有何影响？为什么？

---

## 实验三 半导体 LED 光源 P-I 曲线特性测量

### 一、实验目的

1. 学习发半导体 LED 的发光原理；
2. 了解半导体 LED 平均输出光功率与注入电流的关系；
2. 掌握半导体 LED 的 P-I 曲线测试及绘制方法。

### 二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 半导体 LED（850nm）光通信模块
3. 光功率计 1 个
4. 万用表 1 个
5. FC-ST 多模尾纤 1 根
6. 20M 双踪示波器 1 台
7. 平口螺丝刀 1 个
8. 信号连接线

### 三、实验原理

广泛应用于光纤通信系统的有两种半导体光源：发光二极管（Light Emitting Diode, LED）和激光二极管（Laser Diode, LD）。这两种光源的主要区别在与：LED 输出的是非相干光，其谱宽宽，入纤功率小，调制速率低；而 LD 是相干光输出，谱宽窄，入纤功率大，调制速率高。LED 适宜于短距离低速系统，LD 适宜于长距离高速系统。

发光二极管（LED）结构简单，是一个正向偏置的 PN 同质节，电子-空穴对在耗尽区辐射复合发光，称为电致发光。发光二极管（LED）发射的不是激光，输出功率较小、具有较宽的谱宽（30~60nm）、发射角较大（ $\approx 100^\circ$ ）、与光纤的耦合效率较低。其优点是：寿命很长，理论推算可达  $10^8$  至  $10^{10}$  小时，其次是受温度影响较小，输出光功率与注入电流的线性关系较好，价格也比较便宜，驱动电路简单，不存在模式噪声等问题。半导体发光二极管（LED）可以做为中短距离、中小容量的光纤通信系统的光源。

对于发光二极管（LED）而言，自发辐射产生的功率是由正向偏置电压产生的注入电流提供的，当注入电流为  $I$ ，工作在稳态时，电子-空穴对通过辐射和非辐射复合，其复合率等于

载流子注入率  $I/q$ ，其中发射电子的复合率决定于内量子效率  $\eta_{\text{int}}$ ，光子产生率为  $\eta_{\text{int}}/q$ ，因此 LED 内产生的光功率为式 (3-1)：

$$p_{\text{int}} = \eta_{\text{int}}(\hbar\omega/q)I \quad (3-1)$$

式中， $\hbar\omega$  为光量子能量。假定所有发射的光子能量近似相等，并设从 LED 逸出的功率内部产生功率的份额为  $\eta_{\text{ext}}$ ，则 LED 的发射功率为式 (3-2)：

$$p_e = \eta_{\text{ext}} p_{\text{int}} = \eta_{\text{ext}} \eta_{\text{int}}(\hbar\omega/q)I \quad (3-2)$$

$\eta_{\text{ext}}$  亦称为外量子效率。由 3-2 式可知，LED 发射功率  $p$  和注入电流  $I$  近似成正比。这说明 LED 的 P-I 曲线线性度好，调制时动态范围大，信号失真小。

该实验测量其电光转换特性 (P-I 特性)，工作电流不同的时候，输出功率也不同，基本上是成线性关系 (图 3-1)。用万用表测量发光二极管的驱动电流，同时用光功率计测得一定驱动电流下发出的光功率，从而完成 P-I 特性的测试。

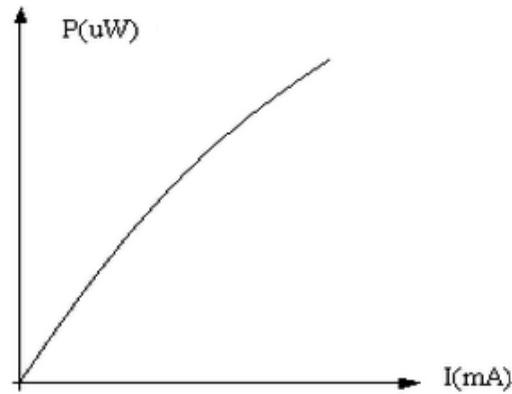


图 3-1 LED 发光二极管 P-I 曲线示意图



图 3-2 HFBR 系列光发送和光接收器件

本实验系统中采用安捷伦公司高性能的半导体通信光源组件 HFBR-1414T，如图 3-2 中左上角的器件，HFBR 系列命名规则如图 3-3，HFBR-1414T 模块的各管脚功能分配表见图 3-4，



表 3-1 为 HFBR-1414 的绝对参数，表 3-2 为 HFBR-1414 的电光特性，图 3-5 为输入电压与工作电流关系曲线（V-I 曲线），图 3-6 为工作电流与光功率关系曲线（P/I 曲线）。

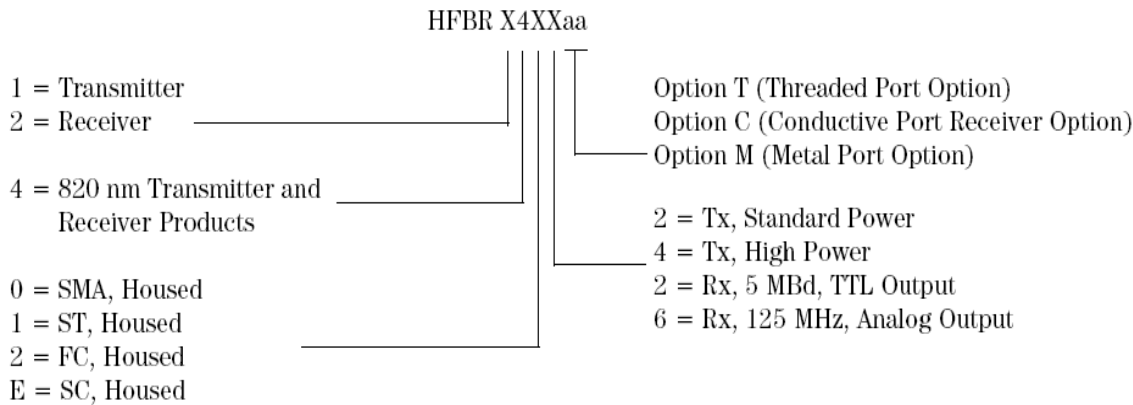


图 3-3 HFBF 系列命名规则

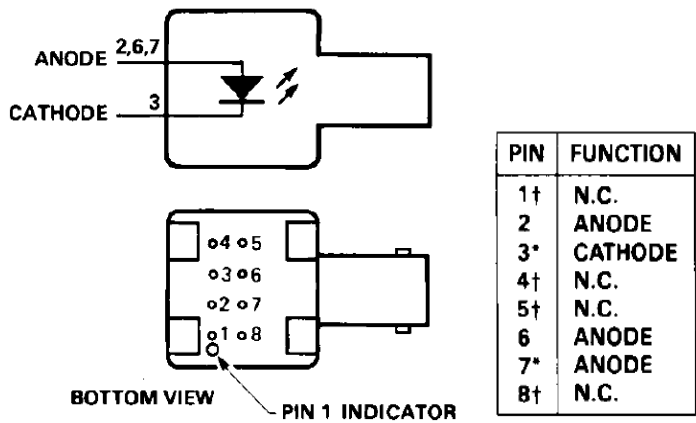


图3-4 HFBR-1414T管脚功能分配表

表3-1 HFBR-1414的绝对参数

Parameter		Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature		T <sub>S</sub>	-55	+85	°C	
Operating Temperature		T <sub>A</sub>	-40	+85	°C	
Lead Soldering Cycle	Temp.			+260	°C	
	Time			10	sec	
Forward Input Current	Peak	I <sub>FPK</sub>		200	mA	Note 1
	dc	I <sub>Fdc</sub>		100	mA	
Reverse Input Voltage		V <sub>BR</sub>		1.8	V	

四、各主要元件、各测量点和开关的作用

1. GQ001 为光发射器，其波长为 850nm。GQ002 为光接收器，可接收发端发出的 850nm 波长的光。发射器与接收器之间采用多模尾纤相连。
2. 左侧铆孔（P01）为电信号输入口，数字信号与模拟信号都可以从该铆孔输入。右侧铆孔（P02）为电信号输出口，电信号经过光纤传输后由该输出口输出。

3. 模块上左右两侧红色视频接口（j003、j004），用来传送视频信号，左侧为发送，右侧为接收。

4. TP01 为输入信号测量点，TP02、TP03 为发射器电流测量点，在测量电流时，需将 K01 短路器拔掉，不测电流时，必须插上。TP04、TP05 为光接收器电流测量点，测量电流时，K02 短路器拔掉，不测电流时 必须插上。TP06 为光接收器输出信号测量点。

5. 电位器 W001 为输入电平调节、调整该电位器可以改变送入光发射器的输入信号大小。W1 电位器用来调整光发射器直流电流大小，W003、W004 都是用来调整光接收端输出信号大小。

表3-2 HFBR-1414的电光特性

Parameter	Symbol	Min.	Typ. <sup>[2]</sup>	Max.	Units	Conditions	Reference
Forward Voltage	$V_F$	1.48	1.70	2.09	V	$I_F = 60 \text{ mA dc}$	Figure 9
			1.84			$I_F = 100 \text{ mA dc}$	
Forward Voltage Temperature Coefficient	$\Delta V_F / \Delta T$		-0.22		mV/°C	$I_F = 60 \text{ mA dc}$	Figure 9
			-0.18			$I_F = 100 \text{ mA dc}$	
Reverse Input Voltage	$V_{BR}$	1.8	3.8		V	$I_F = 100 \mu\text{A dc}$	
Peak Emission Wavelength	$\lambda_P$	792	820	865	nm		
Diode Capacitance	$C_T$		55		pF	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}$	
Optical Power Temperature Coefficient	$\Delta P_T / \Delta T$		-0.006		dB/°C	$I = 60 \text{ mA dc}$	
			-0.010			$I = 100 \text{ mA dc}$	
Thermal Resistance	$\theta_{JA}$		260		°C/W		Notes 3, 8
14X2 Numerical Aperture	NA		0.49				
14X4 Numerical Aperture	NA		0.31				
14X2 Optical Port Diameter	D		290		$\mu\text{m}$		Note 4
14X4 Optical Port Diameter	D		150		$\mu\text{m}$		Note 4

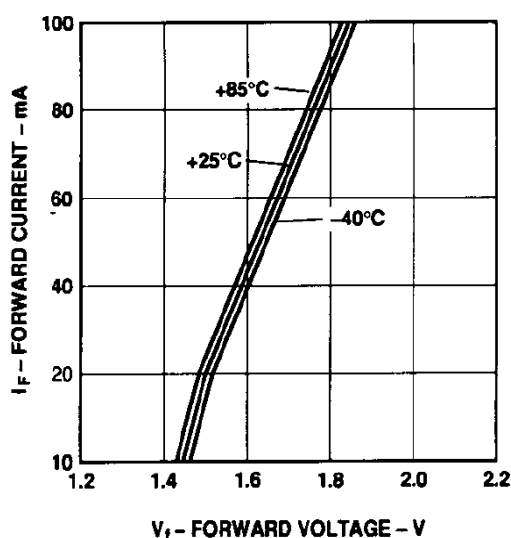


图3-5 输入电压与工作电流关系

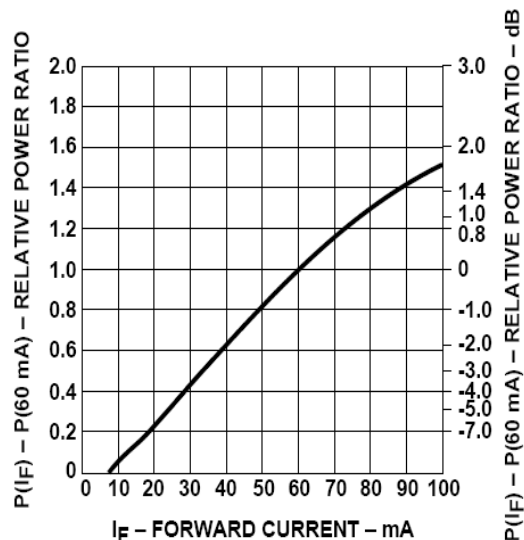


图3-6 工作电流与光功率关系曲线

## 五、实验注意事项

1. 实验中发光二极管驱动电流不可大于 60mA，否则有烧毁发光二极管的危险。
2. 由于光源、光功率计、光跳线等光器件的插头属易损件，应轻拿轻放，使用时切忌用力过大，不可带电拔插光电器件。
3. 光接头连接时，请预先了解接头的结构，手持接头金属部分，按接口的轴线方向轻插轻拔，防止损坏纤芯。
4. 不要将工作中的光纤芯对准眼睛，以免受伤。

## 五、实验步骤

1. 关闭系统电源，将“850nm 模块”插入实验箱左下角，将“850nm 模块”上发射器尾纤取下，拔下光纤 ST 口的方法是先往发射器方向压紧再旋转出卡口，（注意实验结束后插回原位置），用另外一根 ST-FC 尾纤将功率计与光发射器相连，其中光纤 ST 口接光发射器，FC 接口接光功率计，以便测试光发射器的光功率。将万用表正表笔与“850nm 模块”TP03 相连，负表笔与 TP02 相连，K01 短路帽拔掉。万用表设置为直流电流（200mA）档。
2. 打开系统电源和光功率计电源，光功率计选择 850nm 波长和功率单位 uW 档。
3. 按照下表调整 W1，达到相应的电流值（顺时针调输入电流减小），测出与电流相对应的光功率，并填入表 3-3 中。

表 3-3 P-I 测量数据

电流 I (mA)	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	35	40
功率 P (uW)												
电流 I (mA)	43	46	49	52	56	60						
功率 P (uW)												

4. 以横轴为电流 I，纵轴为功率 P，按照上表画出其对应的 P-I 曲线。
5. 测试完毕后，调整 W1，使电流达到中间值（如 30mA），以便使光发射器在正常工作状态。
6. 关闭系统电源，插好 K01 跳线器，将“850nm 模块”上发射器尾纤取下，带上防尘帽，单方向绕大圈放到包装袋内，防止折断。把原光纤安装在光发射器和光接收器上，安上 K01 短路帽，把“850nm 模块”拔下拿到箱外，整理好实验设备。

## 六、实验总结

1. 简述 LED 发射器原理。
2. 记录和分析实验数据。

---

## 实验四 用 OTDR 测量光纤长度、损耗及断点

### 一、实验目的

1. 掌握光时域反射仪进行光纤长度、损耗及断点测试原理；
2. 学会使用光时域反射仪测量光纤长度、损耗及断点。

### 二、实验仪器

1. 光时域反射仪
2. 3km 光纤、3m 光纤跳线等
3. 酒精、药棉、镊子

### 三、实验原理

光时域反射仪(Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)简称光时域仪,它是通过被测光纤中产生的背向瑞利散射信号来工作的,所以又叫做背向散射仪。主要用来测量光纤长度、光纤故障点、光纤衰耗以及光纤接头损耗等,是光纤测试的重要仪器,经常用于科研、光缆工程施工和光缆线路维护工作中。

OTDR 主要根据光学原理以及瑞利散射和菲涅尔反射理论制成的,包含一个光发射机(激光器)和一个光接收器。激光源发出一定强度和波长的光束至被测光纤,由于光纤本身的缺陷、制作工艺和石英玻璃材料成分的不均匀性,使光在光纤中传输产生瑞利散射;由于机械连接和断裂等原因将造成光在光纤中产生菲涅尔反射,由光纤沿线各点反射回的微弱的光信号经光定向耦合器到仪器的接收端,距 OTDR 较近的光纤中的后向分散会很快到达,距 OTDR 较远的光纤中的后向分散则需要较长时间,距 OTDR 的长度与后向分散返回所需要的时间成正比。OTDR 通过测量光在光纤中的往返时间来计算光纤长度,光纤长度的计算公式如式 4.1,光纤的折射率对计算结果的准确性至关重要,通常由光纤生产商提供,真空中的光速为  $3.0 \times 10^8 \text{ km/s}$ 。

$$\text{光纤长度} = 0.5 \times \text{往返时间} \times \text{真空中的光速} / \text{折射率} \quad (4-1)$$

光纤沿线各点反射回的微弱的光信号经光定向耦合器到仪器的接收端,通过光电转换器、低噪声放大器、数字图象信号处理等过程,显示光纤沿长度损耗的分布特性曲线。

用 OTDR 进行光纤测量可分为三步:参数设置、数据获取和曲线分析。人工设置测量参数包括:

#### 1. 波长选择( $\lambda$ )

因不同的波长对应不同的光线特性(包括衰减、微弯等),测试波长一般遵循与系统传输通信波长相对应的原则,即系统开放 1550nm 波长,则测试波长为 1550nm。

## 2. 脉宽(Pulse Width)

脉宽越长,动态测量范围越大,测量距离越长,但在 OTDR 曲线波形中产生盲区更大;短脉冲注入光平低,但可减小盲区。脉宽周期通常以 ns 来表示。脉冲宽度直接影响着 OTDR 的动态范围,随着被测光纤长度的增加,脉冲宽度也应逐渐加大,脉宽越大,功率越大,可测的距离越长,但分辨率变低。脉宽越窄,分辨率越高,测量也就越精确。一般根据所测纤长,选择一个适当大小的脉冲宽度,经常是试测两次后,确定一个最佳值。

用 OTDR 测试光纤时,反映不出某段范围内光纤损耗等的测量情况,称之为盲区。实际上,盲区是由 OTDR 测量输出/输入端口与被测光纤活动连接上产生的菲涅尔反射所造成的,在光纤线路中,若某点存在菲涅尔反射,反射光功率远大于瑞利散射光功率,则在示波器处显现的后向散射曲线上,对应光纤菲涅尔反射点处有突变的峰值区。

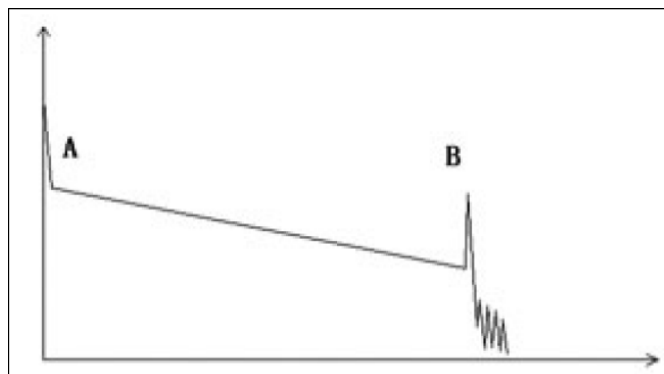


图4-1 正常曲线

盲区范围大小与所选测试光脉冲宽度有关。光脉冲越宽,信号越强,对返回信号处理有利。但由于 OTDR 与被测光纤连接点上的菲涅尔反射增强,该段时间内包括瑞利散射在内的其它任何信号均被掩盖,分辨不出,所以盲区也越大。OTDR 发出的光脉冲通过 OTDR,与被测光纤连接的点会产生很强的菲涅尔反射。若把光脉冲前沿到达连接点的时间视为起始时间,且不考虑光的二次及二次以上反射,则光脉冲的前  $\tau/2$  部分通过连接点后,进入光纤所产生的后向瑞利散射光,与光脉冲后  $\tau/2$  部分在连接点上产生的菲涅尔反射光正好同时到达 OTDR;而光脉冲前  $\tau/2$  部分在连接点上的菲涅尔反射,与光脉冲后  $\tau/2$  部分产生的后向瑞利散射同时到达 OTDR。由于菲涅尔反射光功率远大于后向散射光功率,光脉冲进入被测光纤后,在前  $\tau/2$  时间的后向瑞利散射(即通过光纤连接点以后的部分)被菲涅尔反射掩盖。OTDR 长度坐标的 0 刻度应设置在 OTDR 测量输出/输入端口与被测光纤活动连接点所产生的菲涅尔反射峰的前沿。

图 4-1 为正常曲线图, A 为盲区, B 为测试末端反射峰。测试曲线为倾斜的,随着距离的增长,总损耗会越来越大。

图 4-2 中连续曲线中间多了一个反射峰，一般情况下中间的反射峰为一个接续点。

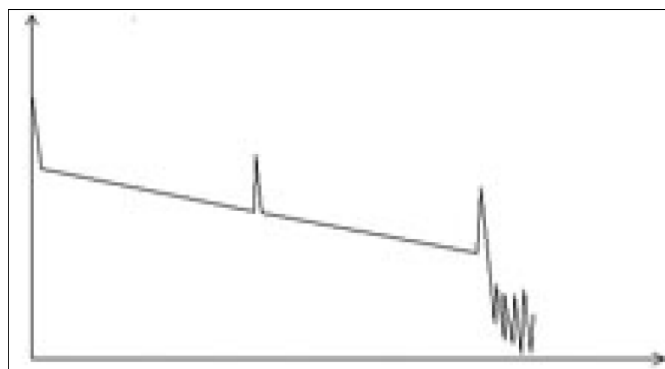


图4-2 中间有接续点曲线

### 3. 测量范围(Range)

OTDR 测量范围是指 OTDR 获取数据取样的最大距离，此参数的选择决定了取样分辨率的大小。最佳测量范围为待测光纤长度 1.5~2 倍距离之间。

### 4. 平均时间

由于后向散射光信号极其微弱，一般采用统计平均的方法来提高信噪比，平均时间越长，信噪比越高。例如，3min 的获得取将比 1min 的获得取提高 0.8dB 的动态。但超过 10min 的获得取时间对信噪比的改善并不大。一般平均时间不超过 3min。

参数设置好后，OTDR 即可发送光脉冲并接收由光纤链路散射和反射回来的光，对光电探测器的输出取样，得到 OTDR 曲线，对曲线进行分析即可了解光纤质量。

## 四、实验步骤



图4-3 连接方式

### 1. 接头清洁

OTDR 的输出接口、活接连接器及光纤接口接入 OTDR 前，必须认真清洗，否则插入损耗太大、测量不可靠、曲线多噪音甚至使测量不能进行，它还可能损坏 OTDR。

将棉花撕成层面平整的扇形小块，用镊子夹取药用棉，沾少许酒精（以两指相捏无溢出

为宜) 清洁各接口, 每次要使用棉花的不同部位和层面, 一块棉花使用 2~3 次后要及时更换, 这样即可提高棉花利用率, 又防止了接口的两次污染。

## 2. 连接

将光纤通过接口连接到光时域反射仪上。把电源适配器接在 OTDR 的电源接口上, 如图 4-3, 按下电源按钮, OTDR 启动。

## 2. 面板

在安捷伦 Agilent E6000 Series Mini-OTDR 的面板左侧, 从上到下依次排列: “Run/Stop” 键、方向键、选择 “Select” 键 (图 4-4)。方向键和选择键在不同的测量步骤中代表不同的含义, 具体内容在显示屏中的右上侧显示出来, 如图 4-5。



图4-4 操作按钮

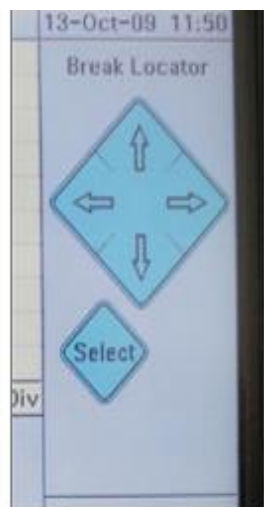


图4-5 方向键和选择键的含义



图4-6 菜单图

## 3. 光纤断点测量

打开系统电源开关, 底板的电源指示灯正常显示。若电源指示灯显示不正常, 请立即关闭主机主菜单如图 4-6, 在主菜单上选择 “Fiber Break Locator” 光纤断点测量项目。出现图 4-7,





---

(4) 按 “Run/Stop”键开始光纤长度、光纤的损耗的测量。通过光标键来选择光标 A、B 的位置，测量 A、B 之间的长度、损耗。

屏幕下侧各变量的含义为：

A-B: 光标 A 和光标 B 之间的距离。

2pt.L: 光标两点之间的损耗。

Ins.L: at A/B: 靠近光标点的插入损耗。

Range: 量程

Pwidth: 脉冲宽度。

Sample Dist: 采样距离。

从光纤的另一端进行相同的测量。对测量结果进行分析。

(5) 关闭电源，旋下光纤接口，整理仪器和器件。

## 六、实验总结

1. 画出测量的结果图，确定光纤长度、光纤的损耗系数以及光纤断点的位置。
2. 理解光时域反射仪如何实现光纤的上述性能参数的测量。

## 实验五 波分复用器的性能指标测量

### 一、实验目的

1. 了解光波分复用器的原理；
2. 掌握光波分复用器的测试方法；
3. 了解光波分复用器的用途。

### 二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 20M 双踪示波器
3. 光波分复用器（中心波长 1310/1550） 1 对
4. 活动连接器 1 个
5. 信号连接线 2 根

### 三、实验原理

#### 1. 光波分复用器原理

光波分复用器（Optic Wavelength Division Multiplexing, WDM）又称为光合波/分波器。光波分复用器是为适应光波波分复用技术的需要研制出来的，使用光波分复用器的主要目的是提高光纤传输线路的传输容量。

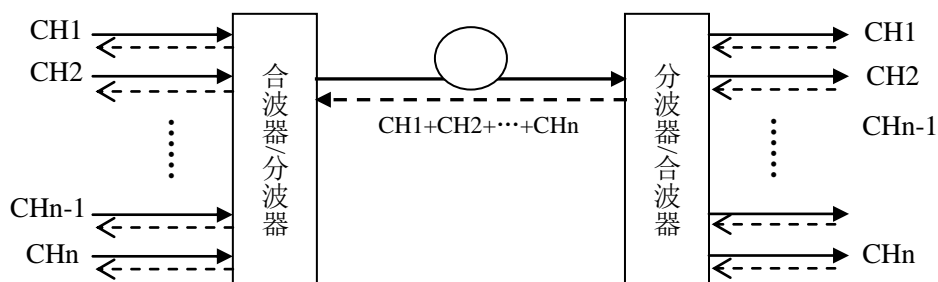


图 5-1 波分复用原理图

波分复用是指一条光纤中同时传输具有不同波长的几个光载波，而每个光载波又各自载荷一群数字信号，因此波分复用又称多群复用。图 5-1 给出的是波分复用通信的原理图。具有不同波长、各自载有信息信号的若干个载波经由通道 CH1、CH2、.....CHn 等进入合波器，被耦合到同一条光纤中去，再经过此条光纤长距离传输，到终端进入分波器，由其按波长将

---

各载波分离，分别进入各自通道 CH1、CH2、.....CHn，并分别解调，从而使各自载荷的信息重现。同样过程可沿与上述相反的方向进行，如图中的虚线所示，这样的复用称为双向复用，显然，双向复用的复用量将增大一倍，如一个通道传输的信息量为 B，单向复用传输的则为 NB，双向复用传输的则为 2NB。

从上面分析不难看出，复用通信系统中关键的部件是合波、分波器，由于分波器与合波器在原理上是相同的，因此可统称波分复用器。

## 2. 光波分复用器分类

光波分复用器一般地分为有源、无源以及集成光学型几类。

### (1) 无源光波复用器

无源光波复用器由光滤波器构成。光滤波器一般地分为三种类型，即相干光滤波器、棱镜型滤波器，以及衍射光栅滤波器。

### (2) 有源波分复用器

有关有源光波分复用器主要是多波长激光器 (LD)，多波长发光二极管 (LED)、多波长光检测器以及集成光学型的光波分复用器。

## 3. 光波分复用器一般性能

光波分复用器的主要性能指标是：波分复用光通道数、工作波长、插入损耗、波长隔离度以及结构方式、外形尺寸等等。

光波分复用器的主要技术性能指标如：

工作波长：1300、1550nm

插入损耗：≤0.5dB

波长隔离度：>20 dB

温度范围：0~65℃

热稳定性：≤4%

偏振稳定性：≤±2.5%

回波损耗：>50 dB

最大功率：350mW

## 4. 光波分复用器连接

本实验系统提供了 1310nm、1550nm 两个工作波长光源，所以配置波分复用器也必须是这两个工作波长。图 5-2 为波分复用器（合波器、分波器）在本实验系统中常用连接示意图。a 点 1310nm 光波与 b 点 1550nm 光波经合波器复用到 c 点，即 1310nm+1550nm 光波；c 点复用光波经分波器后，又分为 d 点 1310nm 光波和 e 点 1550nm 光波。理想情况下，d 点应是与 a 点完全一样的 1310nm 光波，e 点应是与 b 点完全一样的 1550nm 光波。由于插入损耗等性能指标并不十分理想，d 点和 e 点输出的光波的功率与输入的 a 点，b 点的参数会有差异。

下面将对插入损耗和隔离度等指标进行测量。

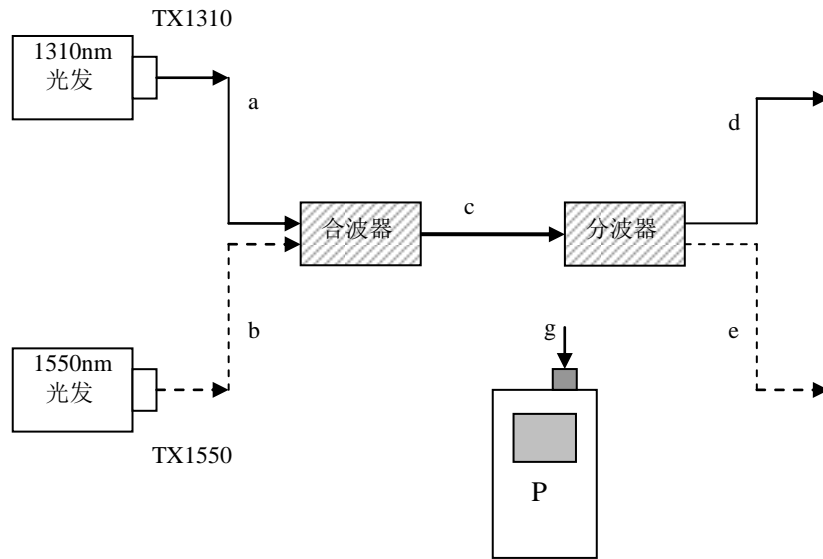


图 5-2 波分复用器常用连接示意图

图 5-2 中, c 点的 1310nm 光功率与 a 点的 1310nm 光功率的差值为光波分复用器对 1310nm 光传输的插入损耗, c 点的 1550nm 光功率与 b 点的 1550nm 光功率的差值为光波分复用器对 1550nm 光传输的插入损耗。但由于便携式光功率计不能滤除 1310nm 光只测 1550nm 的光功率, 同时也不能滤除 1550nm 光只测 1310nm 的光功率。所以我们改用下面方法进行插入损耗测量, 也可以同时对其隔离度指标进行测量。见图 5-3。

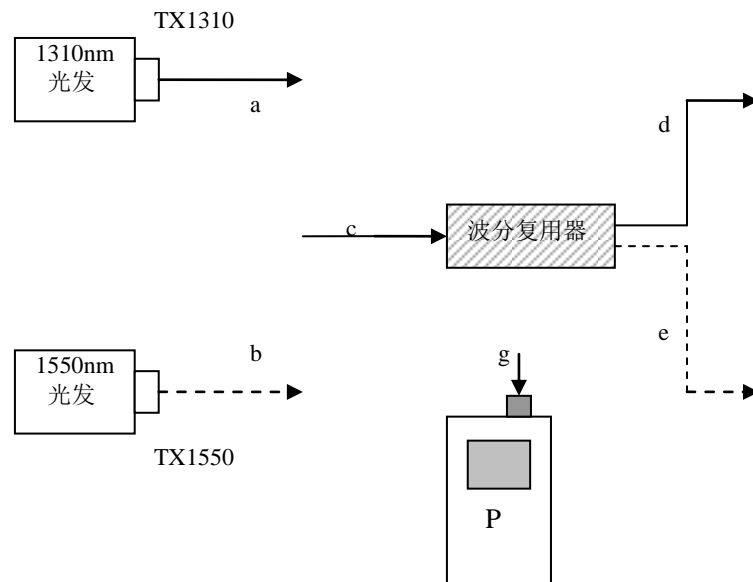


图 5-3 波分复用器测量连接示意图

#### 4. 测量 1310nm 的插入损耗和波长隔离度

如图 5-3 中所示, 首先测出 1310nm 光源的输出光功率, 记为  $P_a$ 。紧接着将波分复用器的

c 点接 1310nm 光源 a 点，用光功率计测出波分复用器的输出 d、e 两点功率，分别记为  $P_d$ 、 $P_e$ 。代入下面公式得出对应的插入损耗和隔离度。填入表格 5-1。

插入损耗：
$$L_i = 10Lg \frac{P_a}{P_d} \text{ (dB)}$$
(5-1)

隔离度：
$$L_g = 10Lg \frac{P_a}{P_e} \text{ (dB)}$$
(5-2)

5. 测量 1550nm 的插入损耗和波长隔离度

如图 5-3 中所示，首先测出 1550nm 光源的输出光功率，记为  $P_b$ 。紧接着将波分复用器的 c 点接 1550nm 光源 b 点，用光功率计测出波分复用器的输出 e、d 两点功率，分别记为  $P_e$ 、 $P_d$ 。代入下面公式得出对应的插入损耗和隔离度。填入表格 5-1。

插入损耗：
$$L_i = 10Lg \frac{P_b}{P_e} \text{ (dB)}$$
(5-3)

隔离度：
$$L_g = 10Lg \frac{P_b}{P_d} \text{ (dB)}$$
(5-4)

表 5-1 插入损耗和隔离度测量

功 率 波 长	输入功率 (mW)	输出功率 (mW)		插入损耗 (dB)	隔离度 (dB)
1310nm	Pa:	Pd:	Pe:		
1550nm	Pb:	Pe:	Pd:		

四、实验步骤

1. 光波分复用器 1310nm 光传输插入损耗和波长隔离度的测量

(1) 关闭系统电源，按照前面实验中图 5-3 将 1310nm 光发射端机的 TX1310 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好，注意收集好器件的防尘帽。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“光纤测量实验—平均光发功率”确认，即在 P103 (P108) 铆孔输出 32KHZ 的 31 位 m 序列。

(3) 示波器测试 P103 (P108) 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P103 (P108)、P201 两铆孔，示波器 A 通道测试 TP201 测试点，确认有相应的波形输出，即将 32KHZ 的 31 位 m 序列电信号送入 1310nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1310 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1310nm”、单位“mW”，读取此时光功率，即为 1310nm 光发射端机在正常工作情况下，对于 31 位 m 序列的平均光功率，记录光功率  $P_a$ 。

(6) 关闭系统电源，按照图 5-3 将光波分复用器串入（记住包装中光波分复用器放置的

---

方式，测量完后原样包装好)，测得 1310nm 输出端口的光功率  $P_d$ ，紧接着将光功率计移到 1550nm 输出端口，测得 1310nm 串扰光功率  $P_e$ ，注意收集好器件的防尘帽。

(7) 将测得数据填入表格，并代入公式算出插入损耗和隔离度。

(8) 关闭系统电源，拆除各光器件并套好防尘帽。

## 2. 光波分复用器 1550nm 光传输插入损耗和波长隔离度的测量

(1) 关闭系统电源，按照前面实验中图 5-3 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好，注意收集好器件的防尘帽。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“光纤测量实验—平均光发功率”确认，即在 P103 (P108) 铆孔输出 32KHZ 的 31 位 m 序列。

(3) 示波器测试 P103 (P108) 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P103 (P108)、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 即改变送入光发端机信号 (TX1550) 幅度最大 (不超过 5V)，记录信号电平值。即将 32KHZ 的 31 位 m 序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“mW”，读取此时光功率，即为 1550nm 光发射端机在正常工作情况下，对于 31 位 m 序列的平均光功率，记录光功率  $P_b$ 。

(6) 关闭系统电源，按照图 5-3 将光波分复用器串入 (记住包装中光波分复用器放置的方式，测量完后原样包装好)，光纤测得 1550nm 输出端口的光功率  $P_e$ ，紧接着将光功率计移到 1310nm 输出端口，测得 1550nm 串扰光功率  $P_d$ ，注意收集好器件的防尘帽。

(7) 将测得数据填入表格，并代入公式算出插入损耗和隔离度。

(8) 关闭系统电源，拆除各光器件并套好防尘帽，整理实验设备。

## 六、实验总结

1. 简述光波分复用器原理，并画出实验框图。
2. 完成实验数据测量和分析。

## 实验六 光纤发送接收系统实验

### 一、实验目的

1. 掌握光纤系统发送接收系统原理；
2. 熟悉模拟信号光纤系统传输；
3. 熟悉视频信号光纤系统传输。

### 二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 半导体 LED（850nm）光通信模块
4. 20M 双踪示波器 1 台
5. 摄像头 1 个
6. 显示屏 1 个
7. 信号连接线若干

### 三、实验原理

本实验通过完成各种不同信号的光纤传输，以了解和熟悉光纤传输信号系统的组成。

模拟信号的传输，可以有两种方式。一种是用模拟信号，经过光纤直接进行传输；另一种方式是把模拟信号经过数字化后，调制成数字信号后进行传输，最后经过解调把信号还原

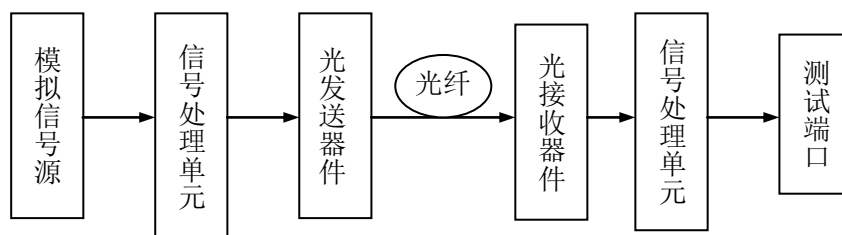


图 6-1 模拟信号光纤传输方式之一

成原始模拟信号。图 6-1 和图 6-2 分别是模拟信号光纤传输的两种方式。

图像信号光纤传输系统由图 6-3 组成。

本实验主要使用 LED+多模光纤传输扩展模块实现，由发光二极管、光检测器及外围电路构成的光发射端机和光接收端机，关键电气参数都可调节。可传输模拟和数字信号，具有视频图像传输等功能。发光二极管发光波长为 850nm，频带为 DC 到 1GHZ。模拟信号源模块产

生输出频率、幅度可调的正弦波、三角波、方波信号。

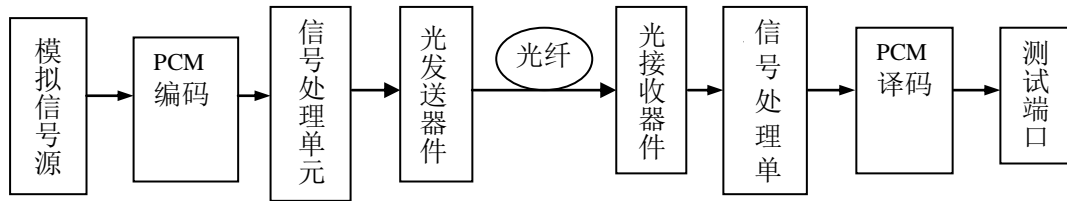


图 6-2 模拟信号光纤传输方式二

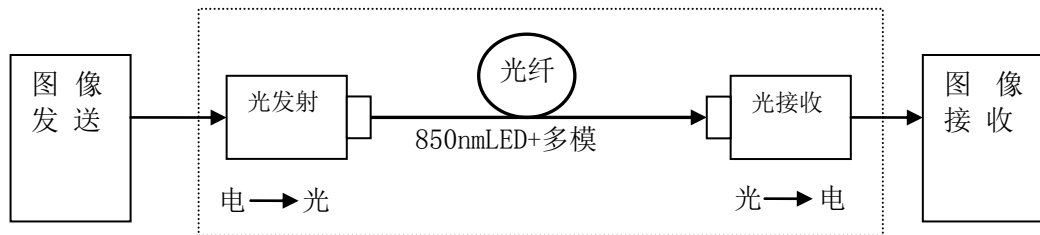


图 6-3 图像光纤传输系统

#### 四、各主要元件、各测量点和开关的作用

1. GQ001 为光发射器，其波长为 850nm。GQ002 为光接收器，可接收发端发出的 850nm 波长的光。发射器与接收器之间采用多模尾纤相连。

2. 左侧铆孔（P01）为电信号输入口，数字信号与模拟信号都可以从该铆孔输入。右侧铆孔（P02）为电信号输出口，电信号经过光纤传输后由该输出口输出。

3. 模块上左右两侧红色视频接口（j003、j004），用来传送视频信号，左侧为发送，右侧为接收。

4. TP01 为输入信号测量点，TP02、TP03 为发射器电流测量点，在测量电流时，需将 K01 短路器拔掉，不测电流时，必须插上。TP04、TP05 为光接收器电流测量点，测量电流时，K02 短路器拔掉，不测电流时必须插上。TP06 为光接收器输出信号测量点。

5. 电位器 W001 为输入电平调节、调整该电位器可以改变送入光发射器的输入信号大小。W1 电位器用来调整光发射器直流电流大小，W003、W004 都是用来调整光接收端输出信号大小。

#### 五、实验步骤

##### 1. 数字信号的发送与接收

（1）将 850nm 模块插入实验箱左下角位置，打开系统电源，在液晶菜单选择“1：码型变换实验—01CMI 码 PN”的菜单，确认。



---

(2) 用铆孔线将 主板 P101 与 850nm 模块 P01 相连。

(3) 用示波器测量 850nm 模块上 TP01, 调 W001 使示波器显示信号幅度  $V_{p-p}=4V$ 。然后再用示波器测量 TP02 测量点, 调 W1 使示波器指示幅度  $V_{p-p}=2V$  左右。此时发端已调好。

(4) 用示波器测量收端 P02 电信号输出口, 调整 W003、W004 使输出信号与发端波形一致, 由于收端的放大作用, 输出信号幅度可能比发端要大, 这属于正常情况。

## 2. 数字电话传输实验

(1) 关闭系统电源, 将 850nm 模块插入实验箱左下角位置, 将电话单机、信号连接线(P601—P602, P603—P109, P604—P113, P801—P110, P802—P114, P803—P804, P108—P01 (850 模块), P02 (850 模块)—P111) 连接好。

(2) 打开系统电源, 在液晶菜单选择“4: 光纤系统实验”的子菜单, 确认。

(3) 电话 A 拨号“49”, 电话 B 应振铃, 电话 B 摘机后即可通话。

(4) 电话 B 拨号“48”, 电话 A 应振铃, 电话 A 摘机后即可通话。

(5) 关闭系统电源, 拆除各信号连接线。

## 3. 模拟信号的发送与接收

(1) 关闭系统电源, 将“850nm 模块”插入实验箱左下角位置, 用铆孔线将“函数信号源”输出的正弦波(P301)与“850nm 模块”信号输入(P01)相连。

(2) 打开系统电源, 用示波器测量“850nm 模块”电信号输出口(P02)示波器应显示正弦波, 如果波形不好, 可分别调整 W1、W001、W003、W004, 使之达到最佳效果。

## 4. 视频信号的发送与接收

(1) 关闭系统电源, 将“850nm 模块”插入实验箱左下角位置, 用视频线将摄像头与 850nm 模块上视频接口 j003 相连, 显示器(电视机)通过视频线与 850nm 模块上 j004 视频接口相连。

(2) 打开系统电源及摄像头、显示器电源。正常情况下, 显示器应显示摄像头所摄的画面。如果收到的视频信号效果不好时, 可分别调整 W1、W001、W003、W004, 使之达到最佳效果。由于收端芯片频带范围较窄, 彩色信号显示不出来, 只能显示黑白信号。

## 5. 关机拆线

实验结束, 关闭电源, 拆除信号连线, 整理好实验模块。

# 六、实验总结

1. 了解实验系统工作原理。

2. 写出本次实验的心得体会。