

光纤传输技术 实验指导书

西安邮电大学

2014.3

目录

验证性实验.....	1
实验一 常用仪表、工具介绍.....	2
实验二 发光二极管 P-I 特性测试.....	9
实验三 图像光纤传输系统实验.....	11
实验四 光放大器实验.....	13
实验五 光耦合器特性测试实验.....	15
实验六 波分复用器特性测试实验.....	17
实验七 光隔离器特性测试实验.....	20
实验八 光端机灵敏度测试.....	24
实验九 光纤衰减特性测试实验.....	27
实验十 光纤折射率分布和几何参数测试.....	30
实验十一 光纤数值孔径测试.....	41
实验十二 语音光纤传输系统实验.....	45
综合设计性实验.....	48
实验十三 模拟信号光发送与接收系统.....	49
实验十四 数字信号光发送接收系统.....	50
实验十五 语音信号的无线光发送与接收系统.....	52
实验十六 光功率计的设计.....	53
实验十七 OCDMA 系统的设计与实现.....	55
实验十八 OFDM 系统的设计.....	56
实验十九 晶体光滤波器的设计.....	57
实验二十 光纤耦合器和波分复用器的设计与制作.....	58
实验二十一 光纤光栅的设计.....	62
实验二十二 基于激光语音窃听系统.....	63
实验二十三 光载无线通信系统.....	64
工程实训性实验.....	66
实验二十四 光纤熔接.....	67
实验二十五 OTDR.....	70
实验二十六 光传输网与 WDM 系统设计.....	73
实验二十七 光接入网的设计与配置.....	74

验证性实验

实验一 常用仪表、工具介绍

1.1 光源

一、SOF135-B 型手持式稳定化光源

SOF-X型稳定化光源是武汉邮电科学研究所生产的可用于野外现场作业及实验室条件下的高精度测量的手持式光源。

1 技术指标

型号	SOF135-B
发光器件	LD
工作波长 (μm)	1.31, 1.55
输出功率 (dBm)	≥-10
输出稳定度	≤±0.01dB (±0.5℃) ≤±0.1dB (±5℃)
输出方式	CW、270Hz、1Khz、2KHz
电源	9V×2 可充电电池, 专用外接电源 (供电、充电两用, AC 输入电压: 170~260V)
工作温度	0℃~+40℃
贮存温度	-40℃~+70℃
尺寸 (mm)	25×80×180
重量 (kg)	0.3

2 使用说明

(1) 按键功能

[ON/OFF]键: 开关机键。开机后“CW”指示灯亮, 光源工作, 处于连续光输出状态。再次按动此键, 所有指示灯熄灭, 仪表关机。

[MODE]键: 选择所需光输出方式, 指示灯“CW”、“270Hz”、“1Khz”、“2KHz”作相应指示, 按照 CW→270Hz→1Khz→2KHz→CW 顺序依次循环变化。

BATT 指示灯: 指示灯亮表示供电不足, 应作相应处理, 专用外接电源接入, 可对仪表内装电池充电及为仪表工作提供电网电压。

(2) 注意事项

控制仪表环境温度的变化，是获得高稳定度的有效方法。仪表所处环境的温度的变化是影响稳定度的重要因素。

光输出接头端面不清洁，会造成出光功率小，需用无水酒精棉球清洗端面，去除污物；为避免裸光纤对光仪表接头及发光器件造成损伤，必须使用裸纤转接器。



图 1.1 手持光源 SOF135-B

二、GY-IB 型手持式光源

GY-IB 为双波长光源，采用微处理器软硬件技术、微电子技术，稳定性高，操作简单，主要用于光通信系统研究与工程，光器件研究与生产，光通信教学与实验。

技术参数：

- 工作波长：1310/1550；
- 输出功率：大于-6dBm；
- 输出稳定度： $\pm 0.05\text{dB}/15\text{min}$ ， $\pm 0.1\text{dB}/1\text{h}$ ；
- 光输出方式：CW/MOD 两类模式。
- 功能键：On/Off 电源开关；Select 工作波长切换；CW/MOD 模式选择。



图 1.2 手持光源 GY-IB

三、ASE-CL 型宽带光源

ASE 光源 (Amplified Spontaneous Emission) 是一种高稳定、高功率输出的宽带光源。其主体部分是增益介质掺铒光纤和高性能的泵浦激光器，广泛应用于光纤无源器件的生产与测试，在光纤光栅、DWDM 薄膜滤波器、CWDM 薄膜滤波器、AWG 等器件的测试中采用 ASE 光源与采用白光光源或可调谐激光器扫描相比，可极大的提高功效，而且操作简单、测试精度高。此外，ASE 光源也广泛应用于其它光纤器件如：耦合器、隔离器、环形器等的光谱特性测量。根据光谱覆盖范围可分为 C 和 C+L 波段两种。

特点：★宽光谱输出，覆盖 C 波段或 C+L 波段

★高输出功率

★高稳定度

应用：★光纤光栅、DWDM 滤波器、AWG、光纤耦合器和其它光纤无源器件产品的生产与测试

★光纤通信设备测试

ASE-CL 型宽带光源是深圳朗光科技有限公司所生产。

1 技术指标

光源型号	ASE-CL
工作波长范围 (nm)	1525~1610
覆盖波段	C+L
输出光功率 (dBm)	≥10
光谱密度(dBm/nm)	≥-10(1550-1600nm)

	$\geq -15(1530-1605\text{nm})$
	$\geq -20(1525-1610\text{nm})$
光谱密度稳定性 ¹	$\leq \pm 0.05\text{dBm/nm}(15\text{min})$
总功率短期稳定度 ¹	$\leq \pm 0.02\text{dB}(15\text{min})$
总功率长期稳定度 ²	$\leq \pm 0.05\text{dB}(8\text{hr})$
光纤类型	SMF-28
光输出接口类型	FC/PC 或 FC/UPC 型
工作温度	0℃~40℃
存储温度	-20℃~70℃
相对湿度	20%~80%
电源	AC220V \pm 10%,50Hz,20W
外型尺寸 (LxWxH)	220mm \times 282mm \times 88mm

所有稳定度指标测试基本条件为：

- ◆光源置于室温 $23\pm 2^\circ\text{C}$ 的环境下且开机预热至少60分钟。
- ◆恒温，连续光。
- ◆允许温度变化范围为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，连续光。



图 1.3 宽带光源

2 操作说明：

(1) 先打开钥匙开关，然后打开（按红色光源开关按键），光信号输出指示灯点亮。

(2) 先关闭红色光源开关，再将钥匙扭转 OFF。

1.2 PMS-12 型手持式光功率计

PMS-X 型光功率计是武汉邮电科学研究所生产的采用单片微处理器进

行控制的用于连续光信号功率测量的手持式测试仪表,适用于光缆施工与维护、光纤通信、光纤传感、光纤 CATV 等领域。具有采用四位液晶显示, W、W(REL)、dBm、dB (REL) 四种显示方式, 自动量程转换、自动关机、自动清零、电池不足告警、多波长测量等功能。

1 技术指标:

仪器型号		PMS-12
探头类型	材料	InGaAs
	波长范围	800~1700nm
	输入接口	FC 型
仪表参数	工作波长	850、1300、1310、1480、1550nm
	测量范围	-70dBm~+10dBm 0.1nW~10mW
	测量精度	±5%
	分辨率	dBm: 0.01dBm W: 0.1~1%
	供电电源	9V、150mAh 可充电电池; 专用外接电源(供电、充电两用)
	使用温度	0~40℃
	外形尺寸	180×80×25mm
	重量	0.28Kg

2 使用说明

1) 面板及按键功能

仪表的面板构成及各部分功能如下图所示。

- ①探头盖: 打开探测器接口。测试完毕, 关上此盖, 起防尘、保护作用。
- ②电池不足标志
- ③液晶显示屏: 显示测量结果、测量状态。
- ④CLEAR: 自动清零键, 自动清零完毕进入测量状态。清零过程中, 应关好探头盖, 防止光信号输入。
- ⑤ON/OFF: 电源开关键。
- ⑥WATT: 按此键以 W 为单位显示测试结果, 此时分辨率为 0.1~1%。
- ⑦dBm: 按此键以 dBm 为单位显示测试结果, 此时分辨率为 0.01dBm。

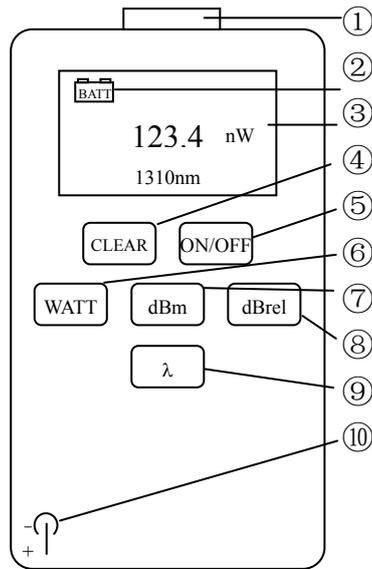


图 1.4 PMS-12 型光功率计面板

⑧dBrel: 相对测试键。按此键后, 小字符 REL 作为标志显示在液晶屏下方, 当前测量值显示在液晶屏左下方, 相对值显示在液晶屏中间, 按 WATT、dBm 可进行显示方式切换。第二次按此键, 结束相对测试状态。

⑨λ: 选择仪表的测量波长。测量状态下, 测试波长显示在液晶屏下方。

⑩充电插孔: 充电器插头由此插入, 对电池充电。

3 使用注意事项:

1) 仪表使用温度为 0~40℃, 使用时应防潮、防尘、防振动、防热源 (红外光影响)。定期清洁探头内部及连接器插头端, 避免测试不准。

2) 仪表在低温条件下长时间存放或使用后, 再放入室温条件下, 仪表会发生冷凝, 如立即开机使用, 会引起短路, 损坏仪表, 应在室温下放置一段时间再使用。

3) 超最大量程的输入光信号会损坏探测器, 不可用于测量超最大量程的光信号。在测量中, 输入的光功率如果超出测量范围或输入光功率很微弱 ($<-80\text{dBm}$), 则会出现量程溢出显示 “—E—”。

4) 开机后, 如果在四分钟内无光信号输入, 并且不按面板键, 仪表自动关机。仪表供电不足时, 液晶屏左上方电池不足标志 “BATT” 会显示, 此时应给电池充电, 在充电时仪表也可以使用。

1.3 光谱仪

安立公司生产的 MS9710C 是一种光栅型光谱分析仪,可测量波长在 600nm 至 1750nm 范围内的光电平,最小分辨率为 0.07nm。但在 1550nm 波段,分辨率可达 0.05nm。电平测试范围是-90 到+10dBm,如果使用内部衰减器,则可以增加到+23dbm,测量性能随波长范围变化而不同。

可以用于测试 LD 及 LED 光谱外,还具有测试无源器件诸如光隔离器、滤波器等的传输特性功能,以及光纤放大器系统的噪声系数和增益。另外,可测定波峰和波谷值,可进行光谱分析并可测定谱宽和 SMSR 等。而且,在 WDM 的测试中的多个峰值可以通过设置区域标识来进行分析。



图 1.5 光谱仪 MS9710C

测得数据和波形可以 MS9710C 数据格式,MS-DOS 文本或 MS-WINDOWS 位图存储到软盘中。文本和位图格式的文件能够轻松的插入到字处理和电子制表软件中。

光谱仪MS9710C在测试,根据实际需要可设置波长Wavelength、设置电平 Level Scale Card、设置分辨率和平均值Res/Vbw/Avgcard、 peak/dip搜索 Peak/Dipsearchcard、分析波形Analysis Card、包络分析Envelope、轨迹存储Trace Card、保存和读取测试数据Save/RecallCard,另外还具有对DFB、FP、LED、PMD等专项测试。

实验二 发光二极管 P-I 特性测试

一、实验目的

- 1 熟悉 LED 的工作原理、特性
- 2 掌握 LED 内调制的方法

二、实验仪器

ZYE4301F 型光纤通信原理实验箱 一个 光功率计 一台
LED 一个 万用表 一个

三、实验原理

发光二极管 (LED) 是低速、短距离光波通信系统中常用的光源。其寿命很长, 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。

发光二极管结构简单, 是一个正向偏置的 PN 同质结, 电子-空穴对在耗尽区辐射复合发光, 称为电致发光。发出的部分光耦合进入光纤供传输使用。LED 所发出的光是非相干光, 具有较宽的谱宽 (30~60nm) 和较大的发射角 ($\approx 100^\circ$)。

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 , 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 η_{int} , 光子产生率为 $(I \eta_{int}/q)$, 因此 LED 内产生的光功率为

$$P_{int} = \eta_{int}(\eta\omega/q)I \quad (2.1)$$

式中, $\eta\omega$ 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 逸出的功率占内部产生功率的份额为 η_{ext} , 则 LED 的发射功率为

$$P_e = \eta_{ext}P_{int} = \eta_{ext} \eta_{int}(\eta\omega/q)I \quad (2.2)$$

η_{ext} 亦称为外量子效率。由上式可知, LED 发射功率 P 和注入电流 I 成正比。

发光二极管 LED 是光纤通信中的常用光源, 它的发光仅仅是自发辐射, 属于非相干光源, 其输出光发射角较大, 但 LED 线性度好, 调制时动态范围大, 信号失真小, 也就是 P-I 曲线线性好, 该实验实际上是测量其电光转换特性 (P-I 特性), 工作电流不同时, 输出功率也不同, 基本上是成线性关系, 实验中验证的即为此关系。

实验中发光二极管电流的确定通过测量串联在电路中 R516 的电压值。由于 R516=1Ω，电路中的电流在数值上等于 R516 两端电压。

四、实验内容

测量发光二极管平均输出光功率和注入电流，并画出 P-I 关系曲线。

五、实验步骤

- 1.连接数字传输模块，接通光发模块。
- 2.用功率计测光发功率。
- 3.用万用表测量 R516 两端电压（红表笔插 T502，黑表笔插 T503）。
- 4.慢慢调节电位器 W501 使所测得的电压为下表中数值，依次测量对应的光功率值。并将测得的数据绘制图表，画出曲线图。

U(mV)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
I(mA)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
P (uW)											
P (dBm)											

六、注意事项

- 1.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。
- 2.不可带电拔插光器件。

七、实验报告

根据实验记录数据，画出相应的光功率与注入电流的关系曲线，分析曲线的意义。

八、思考题

- 1.试说明发光二极管工作原理。
- 2.环境温度的改变对发光二极管 P-I 特性曲线有何影响？
- 3.发光二极管 P-I 特性曲线是否严格线性？为什么？
- 4.分析驱动电路原理图，说明电路中驱动电流 I 的控制原理？

实验三 图像光纤传输系统实验

一、实验目的

- 1.了解模拟光纤通信原理的原理
- 2.掌握模拟系统的性能与指标的测试方法
- 3.熟悉图像信号在光纤系统中的传输

二、实验仪器

- 1.电视信号发生器
- 2.电视机
- 3.视频信号线两根

三、实验原理

本实验主要由电视信号发生器和小型电视机组成，实现图像的光纤传输，以测试光纤传输模拟图像信号的性能。该实验实质上也就是光纤传输模拟信号。实验框图如图 3.1 所示：



图 3.1 图像光纤传输系统

实验中利用电视信号发生器产生图像信号（模拟信号），然后将电视信号送入光发机，经光纤传输后，由电视机输出，观测光纤传输图像信号的效果以及特点，以了解光纤传输电视信号的特点。在实验过程中图像效果越好也就说明光纤传输模拟信号的性能就越好，性能越稳定。

四、实验内容

- 1.模拟图像信号进行光纤传输

五、实验步骤

- 1.连接导线：用视频信号线将电视信号发生器输出端与预失真补偿模块 T971 连接，电视机的视频输入端与 T974 连接，用连接导线将 T972 与

- 光发送模块 T511 连接，T523 与 T973 连接。
- 2.将双刀双掷开关 J501 抬起，J502 按下，使光发送模块传输模拟信号。
 - 3.接交流电源，接通光发送模块(K50)的直流电源。
 - 4.打开电视信号发生器和电视机的电源，使它们正常工作。
 - 5.观察电视机的图像效果，调节 W511、W512、W521 使图像效果最佳。
 - 6.做完实验后先抬起双刀双掷开关 J502，然后依次关掉各直流开关，以及交流电开关，拆除导线。

六、实验报告

- 1.观察图像信号经光纤传输后的效果，评估光纤传输图像信号的性能。

七、思考题

- 1.本实验的图像光纤传输是采用哪种调制方式？
- 2.能否将模拟电视信号转化为数字电视信号进行光纤传输？为什么？
- 3.试设计一种方法，利用本实验箱进行电视图像信号和语音信号的光纤传输。

实验四 光放大器实验

一、实验目的

1. 学习掺铒光纤放大器的原理
2. 了解光放大器输出功率与输入功率的关系
3. 掌握光放大器增益曲线的测试

二、实验仪器

1. 1550nm 激光器
2. 光功率计
3. 光可变衰减器

三、实验原理

光放大器的增益定义为输出信号光功率 P_{out} 与输入信号光功率 P_{in} 之比的分贝数

$$G = 10 \lg P_{out} / P_{in}$$

在实际的光放大器中，输入功率小时，光放大器的增益为一常数 G_s （称为小信号增益），随着输入光功率的增加，光放大器的增益反而减小。这种现象称为光放大器的增益饱和现象。增益 $G_s - 3\text{dB}$ 称为 3dB 饱和增益。光放大器的增益谱是指光放大器能有效放大光信号的光波长范围（或光频率范围），这一范围决定了通信中可以使用的波长范围。光放大器增益平坦度是指在增益带宽内最大增益与最小增益之差。ITU-T 建议：测试时让输入光功率在 $-28 \sim -19\text{dBm}$ 的范围内变化，对于每一个输入信号光功率，在 $1548 \sim 1561\text{nm}$ 光波长范围内，都可测出对应的最大与最小增益之差 ΔG_F 。当输入光功率取遍 $-28 \sim -19\text{dBm}$ 范围内的值时，最大的差值为光放大器的增益平坦度，即

$$G_F = \max(\Delta G_F) \text{ dB}$$

四、实验内容

1. 测量光放大器输入光功率和输出光功率，并画出增益曲线。

五、实验步骤

1、按照下图所示连接好测试装置。

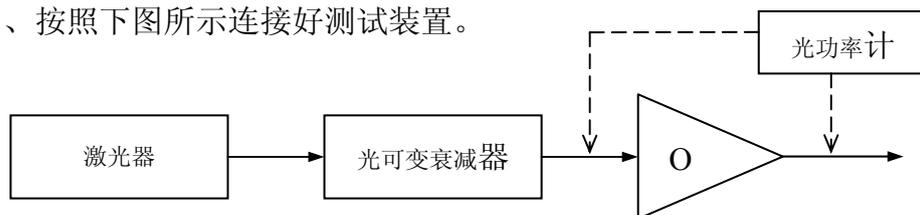


图 4.1 光放大器的性能测试

- 2、将可调谐激光器的输出波长设定在 1550nm，调整光放大器输入口 a 点的输入功率为光放大器的标称输入功率的最小值。
- 3、记录此时光放大器输出端口 b 点的输出功率。b 点和 a 点的功率电平（用 dB 表示）的差值就是该放大器的小信号增益。
- 4、保持可调谐激光器的输出功率波长不变，调整光可变衰减器，使光放大器输入口 a 点的功率为光放大器的标称输入功率的最大值。
- 5、记录此时光放大器输出端口 b 点的输出功率，并且计算出相应的增益。
- 6、在光放大器的光功率输入范围内等间隔取 4~5 个点，测得相应的输出功率，并计算出相应的增益。
- 7、根据以上的测试结果，可以得出输入功率与增益的关系曲线。

六、实验报告

1.根据实验记录数据，画出相应的输入光功率和输出光功率的关系曲线，分析该增益曲线的意义。

七、注意事项

- 1.由于光源、光功率计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。
- 2.不可带电拔插光器件。

八、思考题

- 1.性能良好的光放大器应当具有什么样的增益曲线？增益曲线特性变差对通信有什么影响？
- 2.随着输入信号的增加,放大器的输出如何变化，增益如何变化，为什么？

实验五 光耦合器特性测试实验

一、实验目的

- 1 了解 Y 型分路器、星型耦合器的工作原理及对光纤通信系统的影响
- 2 掌握使用方法及主要特性参数的测试方法

二、实验仪器

光源 一台 功率计 一台 跳线 若干
星型耦合器 Y 型分路器

三、实验原理

光通信系统的构成，除需要光源和光检测器之外，还需要一些不用电源的光通路元、部件。我们把它们统称为无源器件，它们是光纤传输系统的重要组成部分。光无源器件包括活动连接器、Y 型分路器、星型耦合器、波分复用器等。这些无源器件用于光通信系统时对传输光会产生损耗，所以在应用时要对它们的各项指标进行测试。下面介绍 Y 型分路器的测试原理。

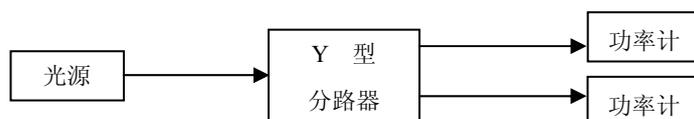


图 5.1 分光比测试原理图 1

分别测出 Y 型分路器两条支路的功率 P_1 、 P_2 ，分光比为 P_1/P_2 。

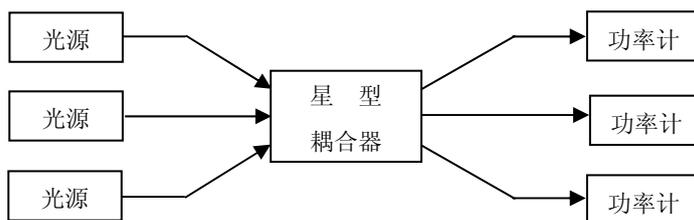


图 5.2 分光比测试原理图 2

分别测出星型耦合器各条支路的功率 P_1 、 $P_2 \cdots P_n$ ，分光比为 $P_1/P_2 \cdots / P_n$ 。

四、实验内容

- 1 测量 Y 型分路器、星型耦合器的分光比
- 2 测量器件的分光比随波长变化的特性

五、实验步骤

1 使用 1310nm 光源，如图 5.1 连接光路，然后测出相应支路功率并计算 Y 型分路器的分光比；，如图 5.2 连接光路，然后测出相应支路功率并计算星型耦合器的分光比。

2 使用 1550nm 光源，如图 5.1 连接光路，然后测出相应支路功率并计算 Y 型分路器的分光比；，如图 5.2 连接光路，然后测出相应支路功率并计算星型耦合器的分光比。

- 3 比较不同工作波长下器件的特性差异。

六、注意事项

- 1 不可直视光源输出口及光纤端面，避免损伤眼睛
- 2 光源、光跳线、Y 型分路器、光功率计等光学器件的插头属易损件，应轻拿轻放，使用时切忌用力过大

七、实验报告

记录各实验数据，根据实验结果算出 Y 型分路器、星型耦合器的分光比

八、思考题

- 1 分析插入损耗产生的原因。
- 2 当 Y 型分路器的分光比为 1:4 时，设计测试活动连接器回波损耗的实验，并推导出计算公式。
- 3 能否实现一个均分的 1 分 4 的插入损耗小于 6dB 的分路器，为什么？

实验六 波分复用器特性测试实验

一、实验目的

- 1 了解波分复用器和光分插复用器(OADM)的原理,熟悉波分复用器和 OADM 的使用方法
- 2 掌握波分复用器和 OADM 插入损耗、隔离度和光串扰的测试

二、实验仪器

1310 光源 一台 1550 光源 一台
光功率计 一台 跳线 若干
波分复用器件和 OADM

三、实验原理

波分复用技术是在一根光纤中传输多个波长信号从而提高传输容量的一种类似与电通信中频分复用的技术。波分复用器是波分复用光通信系统的核心光学器件,波分复用器件包含光分波器和光合波器,它的作用是将多个波长不一的信号光融入一根光纤或者将融合在一根光纤中的多个波长不一的信号光分路。从原理上看,光分波器和光合波器是相同的。由光的互易性原理,只要将光分波器的输出端和输入端反过来就是光合波器。波分复用/解复用器主要有光栅型、干涉滤波片型、阵列光波导型和熔锥型四种基本形式。下面主要说明光栅型和熔锥型波分复用器的原理。

光栅是指具有周期性透射或反射结构的器件。当不同频率的光照射到光栅上时,由于衍射效应,其透射或反射光将以不同的空间角度传播。利用光栅的衍射现象,就可将不同频率的光在空间进行合波或分波,实现波分复用。光栅的种类很多,在光纤通信中,为减小器件的插入损耗,需采用闪耀光栅。

熔锥型波分复用器件利用消逝波耦合原理进行分波或合波,即通过熔拉两根单模光纤使两根光纤的纤芯相互充分靠近,两个基模通过消逝波变为耦合模,因而光功率可互易地由一根光纤转移到另一根光纤。功率转移的大小与输入的两光波长和光纤的纤芯间距以及相互作用长度有关。可以通过调节纤芯距和耦合长度来实现合波与分波。它的优点是制作容易,使用方便,缺点是复用的两波长差较大,不适合于密度波分复用。光波分复用器件的性能指标主要有波长

隔离度和插入损耗。插入损耗与其它无源器件一样指系统引入波分复用器件后产生的附加损耗。目前国产融锥型器件的插入损耗可以做到 1dB 以下。波长隔离度或叫信道隔离度是指某一信道的信号光耦合到另一个信道的大小，其定义为各信道最大的串扰系数，对于单工系统，远端串扰系数定义为：

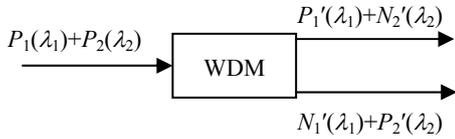


图 6.1 远端隔离度定义

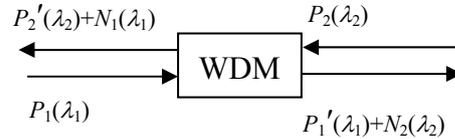


图 6.2 近端隔离度定义

$$A_{f1} = 10 \lg \left(\frac{P_2'}{N_2'} \right), \quad A_{f2} = 10 \lg \left(\frac{P_1'}{N_1'} \right) \quad (6.1)$$

近端串扰系数定义为：

$$A_{n1} = 10 \lg \left(\frac{P_2}{N_2} \right), \quad A_{n2} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{N_1} \right) \quad (6.2)$$

在以上定义中， $P_1(\lambda_1)$ 、 $P_2(\lambda_2)$ 分别为两个信道的输入光功率， $P_1'(\lambda_1)$ 、 $P_2'(\lambda_2)$ 分别为两个信道的输出光功率， $N_1'(\lambda_1)$ 、 $N_2'(\lambda_2)$ 分别为两信道的输出端的串扰光功率， $N_1(\lambda_1)$ 、 $N_2(\lambda_2)$ 分别为两个信道的输入端串扰光功率。这些参数分别标注在图 6.1 和图 6.2 中。目前国产器件的波长隔离度可以做到 40dB 以上。

光分插复用器（OADM）又称上下话路复用器，可以很方便的实现在其他波长信道信号不变的前提下，在波分复用网络的节点上直接提取或添加一个或几个波长信道的信号，避免将所有波长信号全部分解开来进而再复接在一起。

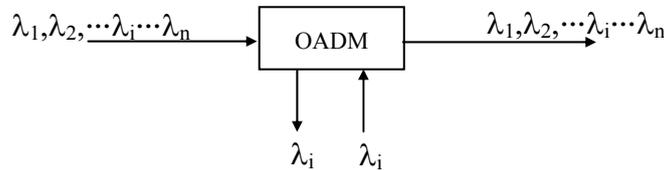


图 6.3 OADM 的功能示意图

四、实验内容

- 1 测量未知波分复用器的输出端的波长
- 2 测量波分复用器的串扰
- 3 验证 OADM 的功能
- 4 测量未知 OADM 的输出端的波长

五、实验步骤

- 1 给两端口 WDM 送入 1310nm 的光，测量输出端的光功率 P_1 ；给 WDM 送入 1550nm 的光，测量输出端的光功率 P_2 。
- 2 按照串扰定义，给 WDM 送入 1310nm 的光，测量两端口的输出光功率 $P_1'(\lambda_1)$ 、 $N_1'(\lambda_1)$ ；给 WDM 送入 1550nm 的光，测量两端口的输出光功率 $P_1'(\lambda_1)$ 、 $N_1'(\lambda_1)$ 。

六、注意事项

- 1 不可直视光源输出口及光纤端面，避免损伤眼睛
- 2 光源、光跳线、波分复用器件和 OADM 以及光功率计等光学器件的插头属易损件，应轻拿轻放，使用时切忌用力过大

七、实验报告

记录各实验数据，根据实验结果(1)判断 WDM 的各输出口波长；(2)判断 OADM 的分插波长；(3)计算 WDM 的串扰。

八、思考题

- 1 判断 WDM 的输出端口波长的方法有哪些？

实验七 光隔离器特性测试实验

一、实验目的

- 1 了解光隔离器的工作原理及对光纤通信系统的影响
- 2 掌握光隔离器的使用方法及主要特性参数的测试方法

二、实验仪器

光源 一台 功率计 一台 跳线 若干
光隔离器

三、实验原理

光隔离器是一种只允许光沿一个方向通过而在相反方向阻挡光通过的光无源器件。作用是防止光路中由于各种原因产生的后向传输光对光源以及光路系统产生不良影响。例如，在半导体激光器和光传输系统之间安装一个光隔离器，可以在很大程度上减少反射光对光源光谱输出功率稳定性产生的不良影响。它在光纤通信、光信息处理系统、光纤传感及精密光学测量系统中都具有重要的作用。光隔离器主要利用了磁光晶体的法拉第效应。法拉第效应是不具有旋光性的材料在磁场作用下可使通过该材料的光的偏振方向发生旋转，该现象也称磁致旋光效应。沿磁场方向传输的偏振光，其偏振方向旋转角度和磁场强度 B 、材料长度 L 的乘积成比例，有

$$\theta = VBL \quad (7.1)$$

式中， V 为材料的特性常数，称维尔德（Verdet）常数。偏振方向的旋转只与磁场强度的方向有关，而与光传播的方向无关。

光隔离器根据偏振特性可分为偏振相关型和偏振无关型两类。偏振相关型光隔离器原理如图 7.1 所示。偏振相关光隔离器主要由起偏器、检偏器和旋光器三部分组成。起偏器可从入射到自身上的偏振混乱的光中选出与自身透光轴方向一致的线偏振光。检偏器其构造和作用与起偏器相同。旋光器由旋光性晶体材料和产生强度适当磁场的装置构成。借助磁光效应（法拉第效应），使晶体的偏振面发生一定程度的旋转。

在光隔离器的结构中，起偏器与检偏器的透光轴之间成 45° 的夹角。旋光器使通过的光的偏振方向发生 45° 的旋转（如图中逆光方向看逆时针旋转了 45° ）。当平行于纸面的偏振光按光隔离器通光方向入射时，由于该光与起偏器

透光轴方向一致，所以全部通过。经旋光器后，其光轴旋转了 45° 角，恰好与检偏器透光轴方向相同，也全部通过。因此，在光隔离器通光方向传输的光可以获得低损耗传输。反之，逆光隔离器通光方向入射的光能到达旋光器的只是与检偏器光轴一致的那一部分光。这一部分光经过旋光器后偏振反向发生了 45° 角旋转，变成水平线偏振光，正好与透光轴垂直，被起偏器阻止而不能通过。因此，在逆光隔离器通光方向上传输的光可以获得高损耗传输。

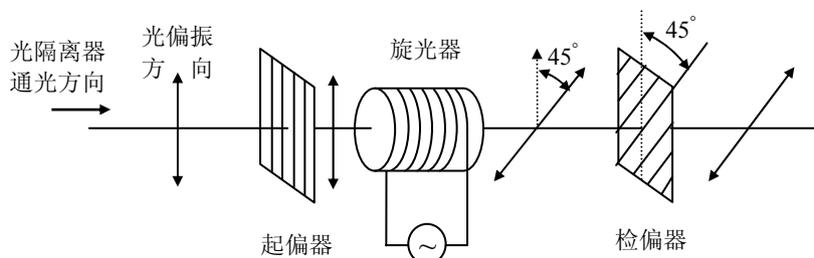


图 7.1 偏振相关光隔离器结构示意图

由于光纤通信中光纤内光波的偏振态是随机变化的，因此需采用偏振无关型光隔离器。光隔离器的主要技术指标：

(1) 插入损耗：指在光隔离器通光方向上传输的光信号由于引入光隔离器而产生的附加损耗。如果输入的光信号功率为 P_i ，经过光隔离器后的功率为 P_o ，则插入损耗 IL 为

$$IL = -10 \lg \frac{P_o}{P_i} \quad (7.2)$$

显然，其值越小越好。光隔离器的插入损耗来源于偏振器、法拉第旋转器等各部分的插入损耗。

(2) 回波损耗：指由于构成光隔离器的各元件、光纤以及空气折射率失配引起的反射造成的对入射光信号的衰减。回波损耗 RL 为

$$RL = -10 \lg \frac{P_r}{P_i} \quad (7.3)$$

其中， P_i 为正向输入光隔离器的光信号功率， P_r 为返回输入端口的光功率。

(3) 隔离度：指在逆光隔离器通光方向上传输的光信号由于引入光隔离器而产生的损耗。有

$$I_{so} = -10 \lg \frac{P'_o}{P'_i} \quad (7.4)$$

其中， P'_i 为反向输入光隔离器的光信号功率， P'_o 为返回输入端口的光功率。显然，其值越大越好。

(4) 偏振相关损耗 (PDL): 指输入光偏振态发生变化而其它参数不变时, 器件插入损耗的最大变化量, 是衡量器件插入损耗受偏振态影响程度的指标。

(5) 偏振模色散 (PMD): 指通过器件的信号光不同偏振态之间的相位延迟。

一般情况下, 光通信系统对光隔离器的主要技术指标要求为: 插入损耗 $\leq 1.0\text{dB}$; 隔离度 $\geq 35\text{dB}$; 回波损耗 $\geq 50\text{dB}$; $PDL \leq 0.2\text{dB}$; $PMD \leq 0.2\text{ps}$ 。

四、实验内容

1 测量光隔离器的插入损耗

2 测量光隔离器的隔离度

五、实验步骤

1 插入损耗的测试: 如图分别测出测试点 1、2 的光功率 P_1 、 P_2 , 计算隔离器的插入损耗。

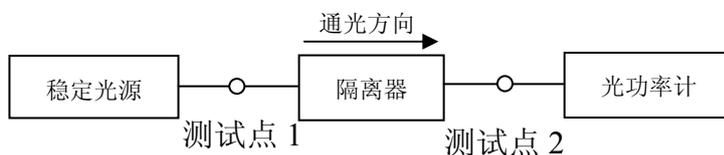


图 7.2 插入损耗的测试原理图

2 反向隔离度

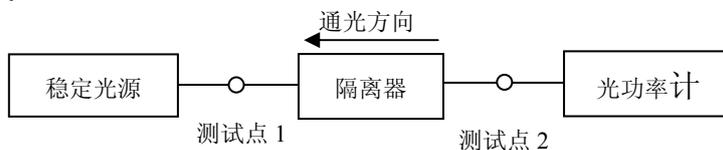


图 7.3 反向隔离度的测试原理图

如图, 分别测出测试点 1、2 的光功率 P_1 、 P_2 , 计算隔离度;

六、注意事项

1 不可直视光源输出口及光纤端面, 避免损伤眼睛

2 光源, 光跳线, 环行器, 隔离器, 光功率计等光学器件的插头属易损件, 应轻拿轻放, 使用时切忌用力过大

七、实验报告

记录各实验数据，根据实验结果算出光隔离器的插入损耗及反向隔离度。

八、思考题

如何测量无源器件的回波损耗？

实验八 光端机灵敏度测试

一、实验目的

- 1.了解数字光纤通信系统的组成
- 2.掌握光端机的接收机灵敏度的定义以及测试方法

二、实验仪器

光端机 1 组 光功率计 1 台 3.可变衰减器 1 台
误码分析仪 1 台 跳线 2 根

三、实验原理

接收机灵敏度是光端机重要性能指标。它的高、低直接决定系统的中继距离，即影响到系统的投资大小，所以是系统设计的重要依据。所谓接收机灵敏度是指满足给定误码率（ BER ）的条件下，光端机接口 R 点能够接受的最小平均光功率电平值，单位是 dBm。所以接收机灵敏度表示了光端机接收微弱光信号的能力，代表设备的质量水准，接收灵敏度越高，满足给定平均误码率所需接收的光功率就越小。

接收灵敏度与光检测器的类型、标称波长和传输速率有关。我国国标“光端机技术要求”中规定：当误码率不劣于 1×10^{-11} 时，在光端机或光中继器输入端连接器 C 之前 R 点测量的最小平均接收光功率（即接收灵敏度）值，应满足表 8.1 的要求：

表 8.1 各次群光端机和中继器的接收灵敏度

标称比特率 kbit/s	接收灵敏度(dBm)($BER \leq 1 \times 10^{-11}$)			
	850nm		1310nm	
	SI-APD	PIN	PIN-FET	APD
2048	-60~-58	-51~-49	-54~-52	-
8448	-58~-56	-48~-46	-50~-46	-
34368	-52~-50	-44~-40	-44~-40	-
139264	-	-	-38~-36	-43~-40

目前广泛应用的 $1.31\mu\text{m}$ 光纤数字通信系统，一般都使用以 FET 构成最前端的互阻抗前置放大器和 PIN 光检测器，并将两者混合集成为 PIN-FET 组件，

使用效果较好。光端机的接收灵敏度主要由这种组件的特性参数所决定，具体计算式可表示为：

$$P_R = 10 \lg \frac{Q\sqrt{Z}}{PT} \text{ (dBm)} \quad (8.1)$$

四、实验内容

1. 测量数字光收端机的灵敏度

五、实验步骤

光端机接收灵敏度的测试框图如图 8.1 所示。具体测试方法：

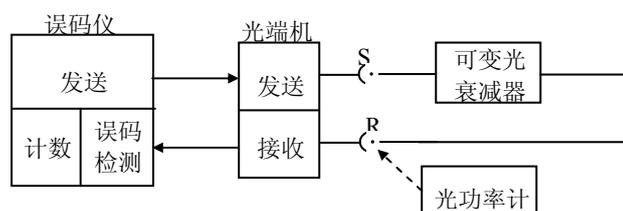


图 8.1 接收灵敏度测试

1 误码仪发送部分（传输特性测试仪的发送机）送出规定比特率、码型和长度的伪随机码测试信号。

2 增大可变衰减器的衰减值，使系统处于误码状态，此时的误码率低于给定的误码率，在逐渐减小衰减器的衰减值，直至误码仪的误码率提高为 1×10^{-11} 为止，并等待一适当长的时间，至少不短于表 8.2 中的数值。

3 维持光衰减器不变，从 R 点断开光端机的连接器，用标准测试光纤软线将光衰减器的输出连至光功率计的输入，则光功率计的读取值为光端机接收的最小光功率或最小光功率电平值，即为接收灵敏度。

需要注意：

1 为了便于调整接收光功率，测试中用可变光衰减器代替了长光纤，这就忽略了光纤色散对接收机灵敏度的影响。在实际使用中，应根据光纤长度和质量估算色散对接收机灵敏度的影响。

2 当光端机的接收机灵敏度较高时，应使用带有斩光器的光功率计测量。

3 在测试时，一定要注意测试事件的长短。由于误码的出现是随机的，因此必须保证有足够的测试时间，使得在测试时间内至少检测到一个误码（当然无误码例外）。如果设误码率 Pe 、速率 B ，根据误码率的定义，则每秒出现的误码个数 $B \cdot Pe$ ，为保证出现一个误码所需的测试时间为 $1/B \cdot Pe$ 。由此可见

所需的测试时间与速率和误码率都有关，速率越高、误码率越大，所需的测试时间越短。根据这一原则计算出不同速率和误码率要求下所需的最小测试时间（即出现一个误码的时间），如表 8.2 所示。

应该指出的是，为使测试结果准确，实际的测试时间还要加长，通常为保证 95%以上的置信度，实际测试时间为表 8.2 中的数值的三倍。

表 8.2 最小测试时间

BER 速率	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
2Mbit/s	50 秒	8.3 分	83 分	×
8Mbit/s	12 秒	2 分	21 分	×
34Mbit/s	3 秒	29 秒	5 分	49 分
140Mbit/s	0.7 秒	7 秒	71 秒	12 分
565Mbit/s	0.2 秒	2 秒	18 秒	2.9 分

六、实验报告

- 1.记录并分析实验结果。

七、注意事项

- 1.在使用误码测试仪之前仔细阅读说明书，熟悉操作过程。

八、思考题

- 1.如何测量光端机的动态范围？

实验九 光纤衰减特性测试实验

一、实验目的

- 1.了解光纤损耗产生的原因、特点，对光纤通信系统的影响
- 2.掌握光纤损耗的测试方法
- 3.了解 OTDR 的工作原理，熟练使用 OTDR

二、实验仪器

- 1.OTDR 一台
- 2.待测光纤 一盘

三、实验原理

衰减是光纤的一个重要的传输参数。它表明了光纤对光能的传输损耗，其对光纤质量的评定和确定光纤通信系统的中继距离起着决定性作用。

1 衰减

光在光纤中传播时，平均光功率沿光纤长度方向呈指数规律减少，即：

$$P(L) = P(0)10^{-(\alpha L/10)} \quad (12.1)$$

式中：P(0)---在 L=0 处注入光纤的光功率；P(L)---传输到轴向距离 L 处的光功率。

2 衰减系数

衰减系数 α 定义为单位长度光纤引起的光功率衰减。当长度为 L 时，

$$\alpha(\lambda) = -\frac{10}{L} \lg \frac{P(L)}{P(0)} \quad (\text{dB/km}) \quad (12.2)$$

式中： $\alpha(\lambda)$ 为在波长为 λ 出的衰减系数与波长的函数关系，其数值与选择的光纤长度无关。

光纤中的传输光衰减的起因是材料本身、制造缺陷、弯曲、接续等对光能的吸收和散射损耗。吸收损耗是由于光纤对光的固有吸收并转换成损耗。光纤中产生的吸收损耗主要有：本征吸收、杂质吸收和结构缺陷吸收。本征吸收是石英玻璃自身固有的吸收。即红外吸收和紫外吸收。杂质吸收是玻璃材料中含

有铁、铜等过渡金属离子和OH⁻离子，在光波激励下由离子振动产生的电子阶跃吸收光能而产生的损耗。

散射损耗是以散射的形式将光能辐射出光纤外的损耗。光纤中产生的散射损耗主要有：瑞利散射、米氏散射、受激布里渊散射、受激拉曼散射、附加结构缺陷和弯曲散射、泄漏。在光纤制造中，熔融态玻璃分子冷却过程中的热运动引起结构内部的密度和折射率起伏只是对起作用的光散射。比光波长小得多的粒子引起的散射称为瑞利散射，与光波长同样大小的粒子引起的散射称为米氏散射。引起光纤损耗的散射主要是瑞利散射。一般玻璃转变温度高、组成复杂的玻璃具有的瑞利散射损耗大。当光能密度超过某一高值，光与媒介相互作用产生受激布里渊散射和受激拉曼散射。光纤结构缺陷必然会引起光散射，但随光纤制造技术的日益完善，对由于结构缺陷引的损耗几乎不考虑了。弯曲引起的损耗主要是泄漏和散射使光能损耗。

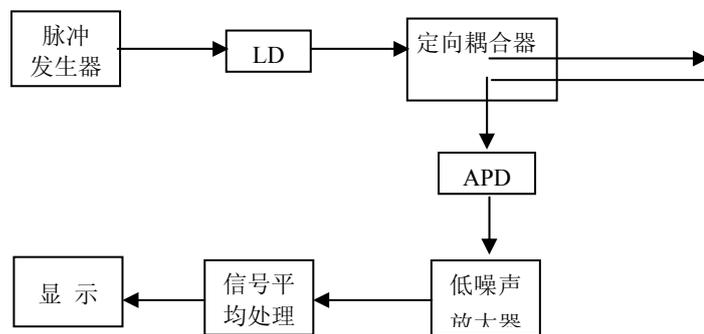


图 12.1 OTDR 工作原理图

光纤损耗的测量方法有两点法、插入损耗法和背向散射法。本实验为背向散射法又称光时域反射法。这是一种多功能的测量方法，可测量光纤的损耗、损耗沿光纤的轴向分布、故障点定位以及光纤长度等。它是利用光纤的一端作输入输出口。给光纤一个很窄的光脉冲，经过光纤内部的反射和散射，少部分光反向传播回来。返回的脉冲序列形成一个包络脉冲，在同一个输入端被接收，加以分析。主要利用菲涅耳反射和瑞利散射，因为故障点的形状不同，如平端面、曲面、粉碎性断裂等，反射信号不一样。

背向散射法使用的仪器是光时域反射仪（OTDR），其工作原理如图所示。光源多采用半导体激光器和 Nd:YAG 激光器（1.06, 1.32 μm ），定向耦合器是把光耦合进光纤的同时把光纤中的后向散射光再耦合进光检测器中。从光检测器输出的信号经过低噪声放大器、高速取样、信号处理、对数变换、最后把结果显示出来。

四、实验内容

测量待测光纤的长度、衰减系数、接点损耗、故障点位置

五、实验步骤

- 1.连接待测光纤
- 2.OTDR 参数设置
- 3.测试待测光纤，获得光纤衰减曲线
- 4.分析衰减曲线，确定相关参数

六、注意事项

- 1.不可直视 OTDR 光接口及光纤端面，避免损伤眼睛
- 2.测试曲线显示后，立即关掉激光器，避免激光器长期工作
- 3.光纤轻拿轻放，避免损伤光纤

七、实验报告

- 1.记录测试曲线
- 2.分析测试光纤的长度、衰减系数、接点损耗、故障点位置

八、思考题

- 1.OTDR 的测试精度由哪些因素决定？
- 2 短距离光纤如何测量？

实验十 光纤折射率分布和几何参数测试

一、实验目的

1. 了解近场法，利用近场法测试光纤结构参数
2. 通过近场法测量光纤的折射率分布
3. 通过近场法测量光纤的几何参数

二、实验仪器

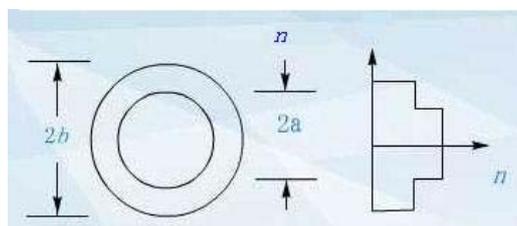
光纤参数测试光源 1 台 光纤近场测量仪 1 台
计算机 1 台 单模光纤 1 根

三、实验原理

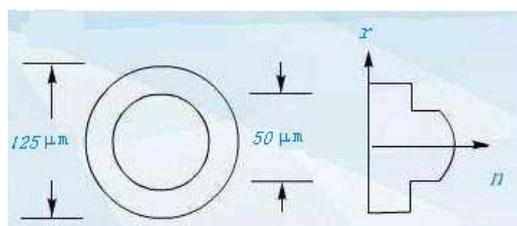
折射率分布

光纤的折射率分布与光纤的特性密切相关，例如：多模光纤的折射率分布对其带宽具有决定性的影响，单模光纤的折射率分布决定其截止波长、模场直径和色散等，在 G.653、G.655、G.656 的一系列发展过程中，主要方案就是改变折射率分布曲线，导致波导色散的变化。

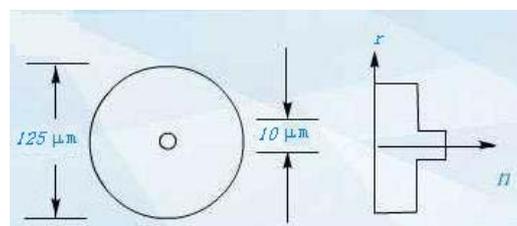
光纤的设计应保证高带宽和低色散。多模光纤应力求其折射率分布最佳，以达到带宽最高之目的。单模光纤的折射率分布应使其波长具有低色散和小的色散斜率。人们已经通过改变光纤的折射率分布曲线得到了色散位移光纤、色散平坦光纤、非零色散位移光纤、大有效面积光纤等等各种新型的性能更优越的光纤（有兴趣的同学可以查阅 G.652C，G.653 和 G.655 等光纤的折射率曲线分布图）。如图 10.1 分别为阶跃多模光纤、梯度多模光纤和阶跃单模光纤的折射率分布曲线。



a 阶跃多模光纤折射率分布曲线



b 梯度多模光纤折射率分布曲线



c 阶跃单模光纤折射率分布曲线

图 10.1 几种光纤的折射率分布曲线

光纤几何参数的定义如图 10.2 所示，它们都是根据折射率分布来定义的。

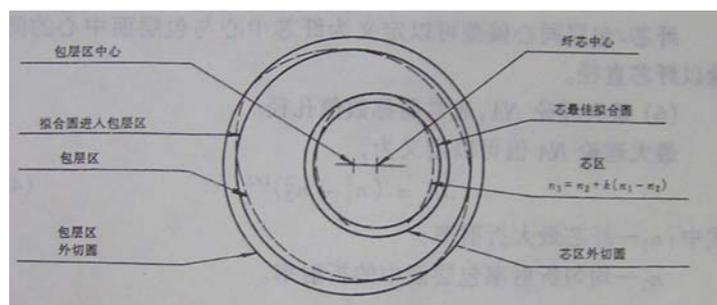


图 10.2 多模光纤的几何参数

按照 GB/T 15972-A2 的规定，多模光纤与单模光纤的纤芯定义不同。

对于多模光纤，根据测试出的折射率分布 $n(r)$ ，规定 n_1 表示纤芯最大折射率，（若无折射率凹陷，纤芯中心折射率最大） n_2 表示均匀包层的折射率，则 $n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2)$ 表示纤芯区折射率分布的轨迹。如图 2 中虚线所示，此轨迹包围的横截面称为纤芯区，常数 k 典型值为 0.025。由最小二乘法的出的与 n_3 轨迹最佳拟合的圆的直径定义为纤芯直径，其中心为纤芯中心。实际上拟合圆的面积等于已知曲线所围面积，圆心为曲线所围面积的重心。

对于单模光纤，国标没有给出纤芯定义，国际上有关 G652 光纤的标准也不建议测量。

环绕纤芯的区域称为包层。连接光纤时，包层的外圆柱面可作用作光纤轴

向定位的参照面，称为基准面。在光纤的横截面中，与规定这一参照面的封闭曲线重合得最好的圆的直径称为包层直径，此圆可由最小二乘法求得，其中心即为包层中心。

纤芯不圆度的定义为对纤芯边界作一个外接圆和一个内切圆，外接圆与内切圆的直径之差除以纤芯直径所得的值，用百分数表示。

包层不圆度定义同纤芯不圆度。

纤芯中心与包层中心之间的距离，就是纤芯包层同心度误差，单位为 μm ，也可以用相对值来表示同心度误差。

四、实验内容

1. 测量光纤的折射率分布
2. 测量光纤的纤芯直径、包层直径等几何参数

五、实验步骤

（一）实验准备

1. 观察光纤，分别观察光纤有涂敷层的部分和没有涂敷层的部分，对光纤有初步认识。

2. 按照装置连接图连接仪器，并打开光纤参数（近场）测试光源的电源，此时可将朗伯光源光强调至很大，便于下一步调整近场测量仪，也便于测量放大率。

3. 近场测量仪操作

（1）先用低倍镜找到成像物体。

（2）旋转镜筒，使成像物正常显示。

（3）再安装好光纤跳线头，调节光纤端面与显微镜镜头距离（1cm 效果较好）。

（4）再调整显微镜放大倍数，使显示界面能清晰看到光纤端面。

（5）调节 Z 轴螺旋测微杆，使指针指在 0 刻度处。

4. 旋转显微镜，使调整二维平移台的 Z 轴轴向调整旋钮时，光纤端面只在窗口内水平移动（从左至右，或者从右至左），调整好以后保持显微镜位置不动。

（二）校准近场测量仪的放大率

1. 调整好近场测量仪，并将电子目镜旋转到合适位置，使抓拍窗口出现光

纤端面的清晰图像。

2. 单击 **系统放大率**，单击 **Source**，调节近场测量仪上 Z 轴轴向调整旋钮（例如每次移动 $5\mu\text{m}$ ），单击 **抓拍**，单击 ，选择画矩形工具，在 processing image 上选择纤芯区域，并单击 **Learn Template**，单击 **Search**，获得标记的坐标如图 10.3 所示

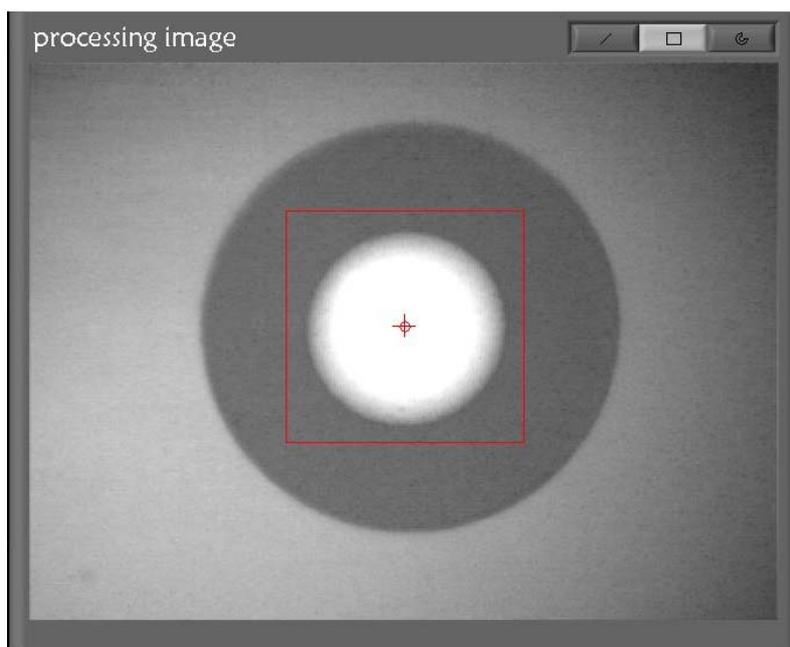


图 10.3 找到的标记

在 **位移 (um)** 输入千分表读数，单击 **Data**

单击 **Record**，记录数据到 **Data** 表格中。

重复（4）—（6）（8）—（11）步，多次测量取平均值，记录数据，

- ① “(X, Y)”记录每张照片上所找到的与模板相似区域的坐标。
- ② “实际”位置 d_i 记录每张照片对应的千分表读数，单位为 μm 。
- ③ 测量位移 $D_1=0$ ，当 $i>1$ 时，表格中记录 $D_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}$ ，

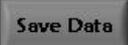
单位为像素 (pixel)。”

④ 放大率 M ”， $M_1=0$ ，当 $M>1$ 时， $M_i=D_i/(d_i-d_{i-1})$ ，单位是像素/微米 (pixel/um)。

⑤ 最后计算平均放大率 $\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i$ ，单位为像素/微米 (pixel/um)。

表 10.1 放大率数据

序号	X	Y	实际位置 d (um)	测量位移 D (像素)	放大率 M (像素/um)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
.....					

3. 点  保存数据，将放大率数据表格保存成.txt 文件，以备实验后整理实验报告之用。（可参考软件使用说明书）

（二）光纤几何参数测量

1. 单击 ，切换到测量几何参数界面，单击  打开一张图片，或者单击  抓拍一张图像，单击 ，选择画圆形工具，在“processing image”图像上选择纤芯区域，使外圆在纤芯边界外侧，内圆在纤芯边界内侧，如图 10.4 所示。

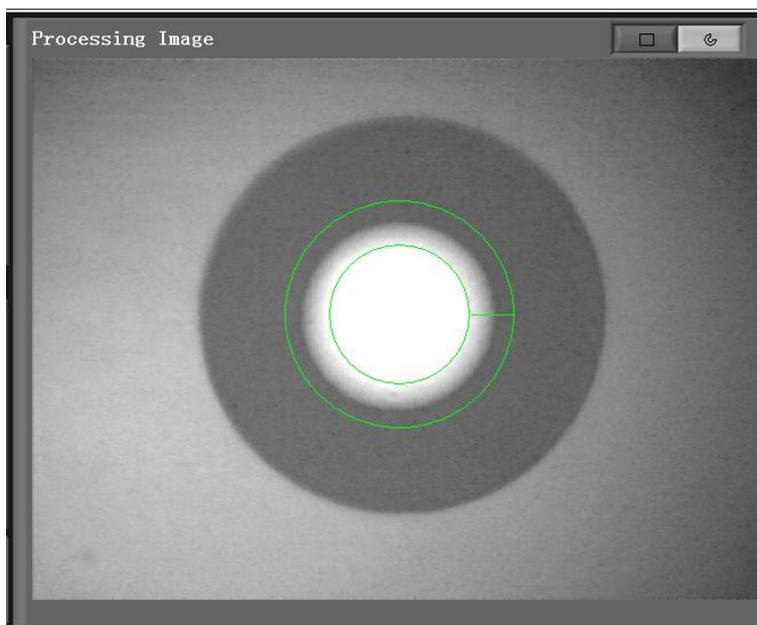


图 10.4 光纤几何参数测试 Processing Image 界面

2. 在 **放大率 3.252** 内输入测量的显微镜放大率。

注意，在提取边界过程中，对比度应适当选择，过大或过小都会影响数据的准确性，如图 10.5、图 10.6。

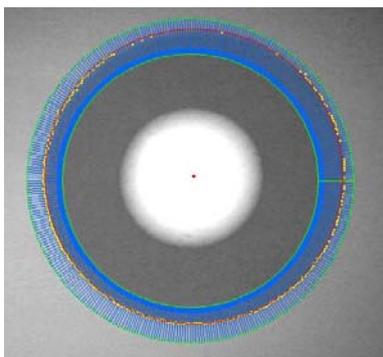


图 10.5 对比度过大测试结果
(对比度=30 选到的点太少)

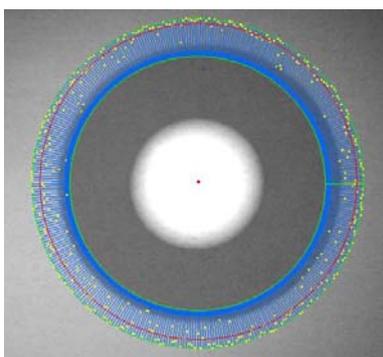


图 10.6 对比度过小测试结果
(对比度=5 选到的点很乱)

3. 选择合适的对比度，单击 **Find**，提取纤芯边界。

4. 单击 **Result** 键，出现如图 10.7 所示界面，将所得到的边界数据点填入表 2，

单击 **Return** 返回测量程序。

表 2

序号	纤芯数据		包层数据	
	X	Y	X	Y
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
.....				

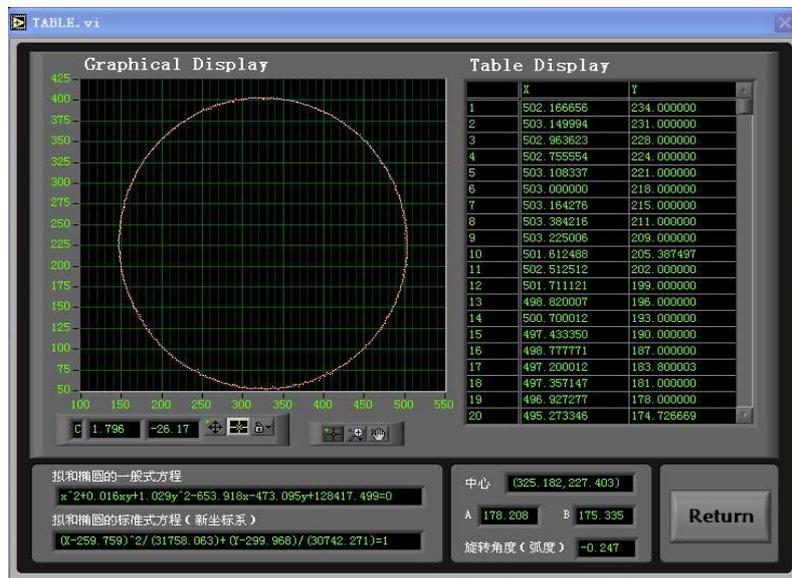


图 10.7 最小二乘法拟和椭圆结果

5. 单击 **Save Data** 保存数据，将数据保存成.txt 文件，以备实验后整理实验报告之用。这份保存的数据只保存了所有边界点的坐标，最后两行数据分别是拟和成圆时的圆心坐标和半径，同学们处理数据时不使用最后两行数据。
6. 数据处理和计算，按照实验原理的介绍，先将边界数据拟和成椭圆，求出长轴、短轴长以及中心坐标，再根据放大率数据计算最大直径和最小直径，填

入表 4 中。由于数据点比较多，计算量很大，可以采用 excel、matlab、labview 或 C 等工具软件处理，附录中给出用 excel 处理数据的方法。求解五元线性方程组可用求解线性方程组程序 ，点击左上角  图标，线性方程组的系数可以任意更改，程序会自动求出方程组的解，其界面如图 10.8 所示。有兴趣的同学也可自己编写小程序来实现这一功能。



图 10.8 求解线性方程组程序

7. 选择包层区域，按照以上步骤对包层参数进行测量，将测量的数据填入表 4 中。

表 4

	纤芯	包层
放大率(pixel/um)		
原坐标系椭圆一般方程		
新坐标系椭圆标准方程		
中心坐标 (pixel)		
最大直径(um)		

最小直径(um)		
平均直径(um)		
不圆度(%)		
同心度误差(um)		

(四) 折射率分布

1. 单击 **折射率**，切换到测量折射率分布曲线界面
2. 打开朗伯光源，适当调节光强，在不使电子目镜 CCD 饱和的情况下，使光强尽量大（若 CCD 饱和，在三维图和折射率曲线中均为“平顶”），单击 **Vcamera**，抓拍一张图像，单击“通光图”中的 **记录**
3. 单击 **几何参数**，切换到测量几何参数界面，单击 ，选择画原形工具，在“processing image”图像上选择包层区域，使外圆在纤芯边界外侧，内圆在包层边界内侧，选择合适的对比度，单击 **Find**，提取包层边界，计算包层中心位置
4. 单击 **折射率**，切换到测量折射率分布曲线界面，单击 **中心**，将上一步测量的中心位置保存，保持光纤位置不动，关闭朗伯光源，单击 **Vcamera**，抓拍一张图像，单击“背景图”中的 **记录**，单击“处理图”中的 **记录**
5. 单击“通光图”中的 **显示**，显示通光时光纤近场图像，单击“通光图”中的 **三维图**，显示通光时光纤近场三维光强分布曲线，单击“通光图”中的 **剖面图**，显示通光时光纤近场光强的二维分布曲线，单击“背景图”中的 **显示**，显示不通光时光纤近场图像

6. 单击“背景图”中的 **三维图**，显示不通光时光纤近场三维光强分布曲线，单击“背景图”中的 **剖面图**，显示不通光时光纤近场光强的二维分布曲线，单击“处理图”中的 **显示**，显示经过计算去除随机噪声后的光纤近场图像

7. 单击“背景图”中的 **三维图**，显示经过计算去除随机噪声后的光纤近场三维光强分布曲线，也就是光在光纤中传输时的光强的三维分布图。单击“背景图”中的 **剖面图**，显示经过计算去除随机噪声后的光纤近场光强的二维分布曲线，单击 **显示**，回到“Processing Image”图像

8. 单击 **扫描方式** **左右扫描** **GO**，选择扫描方式，切换到 **Profile**，显示扫描的二维光强分布。

①左右扫描：从左至右

②上下扫描：从上到下

③旋转扫描：以光纤纤芯/包层中心为圆心，扫描一周。

④手动扫描：选择 **画直线** 工具，选中感兴趣区域。

选好扫描方式后，单击 **GO** 按钮，开始扫描

9. **包层折射率** **1.466** 根据光纤类型在此框中输入包层折射率的数值，默认值为 1.466。

10. **数值孔径** **0.18** 根据光纤类型在此框中输入数值孔径的数值，一般单模光纤为 0.12，多模光纤约为 0.18，默认值为 0.18。

单击 **折射率分布**，观察折射率分布曲线

六、实验报告

1. 记录实验数据，计算光纤的几何参数
2. 记录实验数据，分析光纤的折射率分曲线

七、注意事项

- 1 不可直视光源输出口及光纤端面，避免损伤眼睛。

八、思考题

1. 包层模滤除器在测试系统中起到什么作用?
2. 为什么要标定显微镜的放大倍数?
3. 同轴光起到的作用是什么?
4. 纤芯/包层同心度误差对光纤连接起到什么影响?

实验十一 光纤数值孔径测试

一、实验目的

1. 熟悉光纤的结构特点及分类。
2. 熟悉光纤数值孔径的定义和物理方法。
3. 掌握测量光纤数值孔径的基本方法

二、实验仪器

光端机 1 组 光功率计 1 台 3.可变衰减器 1 台
误码分析仪 1 台 跳线 2 根

三、实验原理

光纤数值孔径 (NA) 是光纤能接收光辐射角度范围的参数, 同时它也是表征光纤和光源、光检测器及其它光纤耦合时的耦合效率的重要参数, 同时对连接损耗、微弯损耗以及衰减温度特性、传输带宽等都有影响。

1. 最大理论数值孔径 $NA_{\max t}$

无论是阶跃光纤, 还是梯度光纤, 最大理论数值孔径定义都是:

$$NA_{\max t} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (1.1)$$

其中, n_1, n_2 分别是光纤纤芯中心处最大折射率和包层折射率; $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$ 为纤芯和包层最大相对折射率差。 $NA_{\max t}$ 的物理意义是光纤最大可能接受角的正弦值, 反映了光纤收集光的能力。

2. 远场强度有效数值孔径 NA (NA_{eff})

远场强度有效数值孔径是通过光纤强度远场强度分布确定的, 它定义为光纤远场辐射图上光强下降到最大值 5% 处的半张角的正弦值。 CCITT 规定的数值孔径就是指这种有效数值孔径。

最大理论数值孔径 NA_{\max} 和有效数值孔径 NA 对于幂次分布的折射率抛面的光纤, 有如下关系:

$$NA = \sin \theta_{p0.05} = \sqrt{1 - 0.05^{g/2}} NA_{\max} = k_g NA_{\max} \quad (11.1)$$

其中， g 为折射率分布指数； $k_g = \sqrt{1 - 0.05^{g/2}}$ 为与 g 有关的比例系数（表 11.1 给出了 g 不同取值时 k_g 的值）。 g 是描述光纤折射率分布曲线的参数，对于实际光纤的折射率分布曲线可以用半径的幂指数来描述：

$$\begin{cases} n^2(r) = n_1^2 [1 - 2\Delta(r/a)^g] & (r < a) \\ n^2(r) = n_2^2 & (r \geq a) \end{cases} \quad (11.2)$$

其中： n_1 是光纤纤芯折射率， Δ 是芯/包层相对折射率差， r 是离光纤纤芯轴的距离， a 是光纤纤芯半径， n_2 是包层折射率， g 是幂指数。对于 $g=1$ ，是三角形分布， $g=2$ 是抛物线分布（梯度分布）， $g \rightarrow \infty$ 表示的是阶跃光纤。

一般情况下，梯度光纤接近抛物线分布， $n=2$ ，则

$$NA = 0.975 NA_{\max} \quad (11.3)$$

表 11.1 g 与 k_g 的关系

g	1.0	1.5	2.0	2.5	10	∞
k_g	0.881	0.946	0.975	0.988	1	1

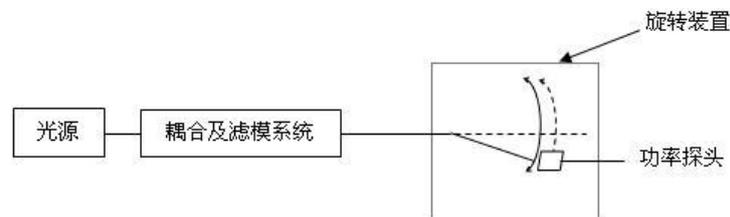


图 11.1 数值孔径的测量原理图

CCITT 在图 11.1 方法中测试数值孔径的办法时规定，光源为强度可调的非相干光源，要求强度和波长保持稳定。探测器相应应为线性的。被测光纤两端面制备清洁、平整光滑，与光纤轴垂直。为了避免弯曲产生的模式转化和模辐射，样品要摆放直。样品输出端到探测器的距离 d 必须大于光纤直径。

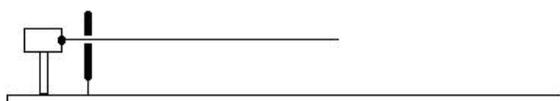
四、实验内容

1. 测量光纤的数值孔径

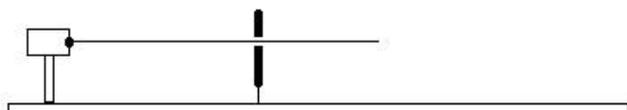
五、实验步骤

1. 调整准直用的红光光源（650nm 激光）

将准直光源调整架固定在导轨的左侧，连上激光器电源，打开测试仪的准直光源开关。在靠近准直光源调整架的地方放置一个带孔的直角板，调节准直光源的调整架，使得激光器发出的红光正好从直角板的小孔中心穿过，射到功率探测的标志处。

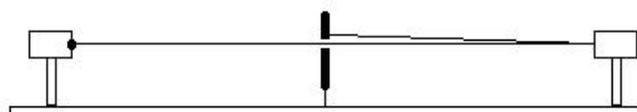
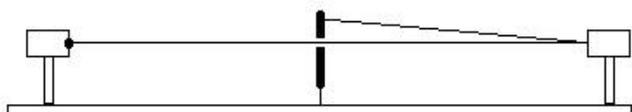


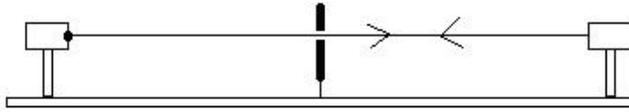
然后将直角板向远离准直光源调整架的方向移动，并实时调整准直光源的调整架，保证最后无论直角板在导轨上如何移动，激光器发出的红光始终正好从直角板的小孔中心穿过，射到功率探测的标志处。这样就完成了对准直光源的调整。



2. 利用准直光源调整待测激光的输出

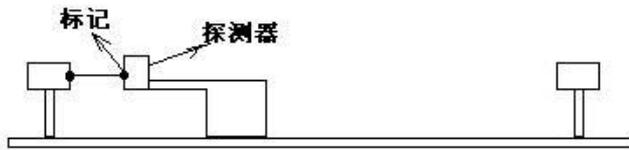
准直光源调整结束后，将直角板固定在导轨的中部位置，将待测激光输出调整架固定在导轨的右侧位置。将光纤跳线安装上，调节待测激光输出的调整架，使红光准直光源的光斑正好落在待测激光输出的光纤端面上。手动调节待测激光输出的调整架，使光纤端面反射后的大光斑中心覆盖直角板的小孔。此时便完成了对待测激光输出的调整。





3. 利用准直光源调整探测器摆臂

保持准直光源和待测激光输出调整架不动，此时撤掉直角板。将限位开关组件固定到导轨上，用航空插座与机箱连接，将探测器摆臂拨到限位开关组件中部，使用 BNC 将探测器接到主机箱上，使用串口线将电机封装盒与主机箱相连接。此时打开电源，按下光纤数值孔径测试仪的复位键，探测器摆臂便会自动回归到零度角位置。



4. 测量光纤数值孔径

选择一个步长，通过步进控制键测量记录待测激光通过 G.652 光纤的远场功率随角度变化的关系。(一般情况下，环境中的自然杂散光会影响探测功率的读数，所以要求在实验过程中，要尽量减小环境光造成的影响。本测试仪采用内部软件处理有效的消除了环境光造成的影响。如光功率超过功率探测的量程，则功率会显示为 8.8.8.8，此时可适当拉远探测器与光纤出射端的距离，无光输入时默认的功率值为 0.8)。

实验完成后，按复位键复位，关机。

六、实验报告

- 1.记录并分析实验结果。

七、注意事项

- 1.不可直视光口，避免损伤眼睛。

八、思考题

- 1.数值孔径的其它测试方法有哪些？

实验十二 语音光纤传输系统实验

一、实验目的

- 1.了解语音通过光纤传输的全过程
- 2.掌握模拟电话、数字电话光纤传输的工作原理

二、实验仪器

- 1.ZYE4301F 型光纤通信原理实验箱
- 2.20MHz 双踪模拟示波器
- 3.电话单机两部
- 4.万用表

三、实验原理

电话光纤传输分为两种方式，一种方式为将电话用户接口输出的模拟信号直接送入光纤模拟信号传输信道，实现两部电话的全双工通话，其方框图如图 12.1 所示：

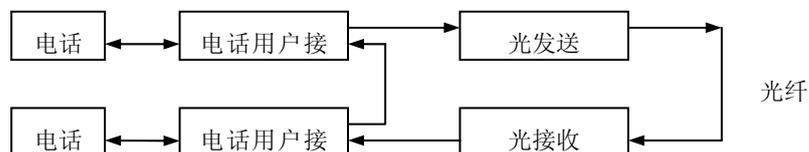


图 12.1 电话模拟信号光纤传输

另一种方式为将电话用户接口输出的模拟信号经过 PCM 编码以后，利用时分复用的方式，将两路信号合为一路线号，然后送入光发端机中进行光纤传输，光收端机接收的信号通过时分分解复用，实验信号的分离，分别送入两个电话用户接口电路中，实现两部电话的全双工通话，其方框图如图 12.2 所示：

在 PCM 编译码中，帧同步信号为 8KHz/s，一帧信号分为四个时隙，分别为时隙 0、时隙 1、时隙 2、时隙 3；时隙 0 为帧同步信号，其同步码为固定的码流

“0 1 1 1 0 0 1 0”，时隙 1 时隙 2 分别为两个有用数据时隙，时隙 3

为空闲时隙，在本实验中没有用到，TP721 为 PCM 编码输出测试点，图 12.3 为 PCM 编码帧结构示意图。

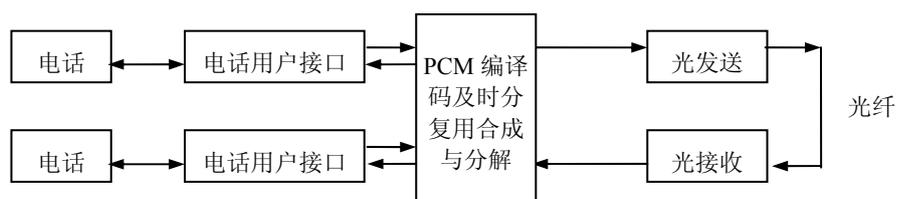


图 122 电话数字信号光纤传输

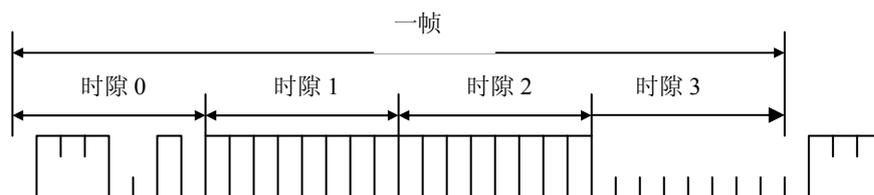


图 12.3 PCM 编码帧结构示意图

四、实验内容

- 1.模拟电话光纤传输系统实验
- 2.数字电话光纤传输系统实验

五、实验步骤

A、模拟电话光纤传输系统实验

- 1.连接导线：电话用户接口模块 T801 与光发送模块 T511 连接，T822 与 T523 连接，T802 与 T821 连接，并在 A801，A821 分别接上电话单机。
- 2.将双刀双掷开关 J501 抬起，J502 按下，使光发送模块传输模拟信号。
- 3.接通电话用户接口模块(K80，K81)，光发送模块(K50)的直流电源。
- 4.摘机进行两人通话实验，用示波器测试并比较 TP801，TP822 的波形（由于话音信号的波形比较复杂，所以可选用双音多频信号的按键音来观察测试点的波形），并做记录。
- 5.做完实验后先抬起双刀双掷开关 J502，然后依次关掉各直流开关，以及

交流电开关，拆除导线。

B、数字电话光纤传输系统实验

- 1.连接导线：电话用户接口模块 T801 与 PCM 编译码模块 T701 连接，T821 与 T711 连接，T822 与 T703 连接，T802 与 T713 连接，T721 与 T501 连接，T732 与 T523 连接。
- 2.将 K751，K752，K753 接 1，2 脚。
- 3.将双刀双掷开关 J501，J502 按下，使光发送模块传输数字信号。
- 4.接通电话用户接口模块(K80，K81)，PCM 编译码模块(K70)，光发送模块(K50)的直流电源。
- 5.用万用表测量 R516 两端电压（红表笔插 T502，黑表笔插 T503）。
- 6.慢慢调节电位器 W501，使驱动电流达到额定值，即 $V=30\text{mV}$ 。并使 T523 处输出信号的幅值为 4V 左右（可通过 W521 调节其输出幅值）。
- 7.摘机进行两人通话实验，用示波器测出 TP801，TP802，TP821，TP822 以及 TP721，TP523 各点的波形（由于话音信号的波形比较复杂，所以可选用双音多频的按键音来观察测试点的波形），比较 TP721，TP523 的波形并做记录。
- 8.做完实验后先抬起双刀双掷开关 J502，然后依次关掉各直流开关，以及交流电开关，拆除导线。

六、实验报告

- 1.记录实验过程中各点的波形。
- 2.评估这两种电话通话的质量。

七、思考题

- 1.能否用一根光纤传输两路模拟信号？
- 2.与模拟电话相比，数字电话有哪些优点？
- 3.画出 PCM 编码输出一帧的结构示意图，并说明一帧信息中各时隙代表的意义。

综合设计性实验

实验十三 模拟信号光发送与接收系统

初级要求:

一、任务

- 1 根据激光源的各种参数设计并实现模拟光发送电路。
- 2 利用 PIN 检测器实现光接收电路。
- 3 设计电放大电路。

二、功能要求

将信号源的正弦信号，通过光电调制变为光信号，用光纤传输，然后再光电解调，恢复为原始的电信号。恢复的电信号可随信号源的电信号频率及幅度改变。

三、性能参数要求

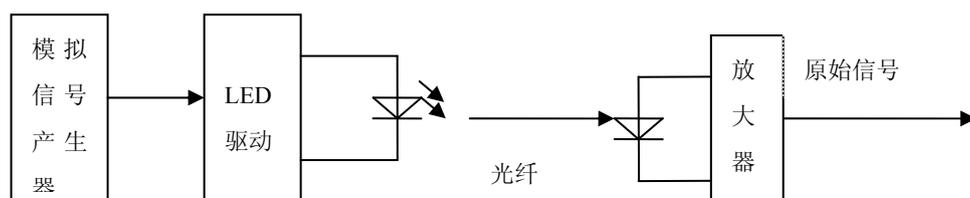


图 13.1 模拟光纤通信系统示

- 1 信号源的信号范围为 30KHz 到 2MHz，信号幅度为 1V 左右的电信号。
- 2 光发送电路的输出光信号功率为 -5dBm 到 -16dBm，通过 LD 或 LED 光源的直流电流为 50mA 左右，最小不低于 30mA 最大不大于 80mA，光波长为 1550nm 或 1310nm。
- 3 接收信号放大后的波形不能失真，低频信号幅度峰峰值为 500mv 到 1v，最好能放大到 3v 左右。频率和幅度都能随信号源变化。

高级要求:

一、任务

- 1 设计一个低频正弦信号源。
- 2 设计一个宽频低噪声放大电路。
- 3 完成高频模拟信号的光收发电路系统。

二、功能要求

1 将设计的信号源与光发送电路连接，要求输出与输入阻抗相适应，保证信号的光输出功率。

2 对高频信号源进行电光调制和光电解调并放大。

三、性能参数

1 信号源的频率在 1KHz 到 100KHz 的低频区或频率在 100KHz 到 2MHz 的高频区，频率可调，幅度峰峰值为 1V，且幅度可调。

2 光发送电路的输出光信号功率为-5dBm 到-16dBm，通过 LD 或 LED 光源的直流电流为 50mA 左右，最小不低于 30mA 最大不大于 80mA，光波长为 1550nm 或 1310nm。

3 对高频 1-2MHz 的信号源在接收端可放大到 500mv 到 1V 左右，波形不能失真。

四、实验仪器

1 信号源

2 直流电源

3 示波器

4 万用表

五、参考文献

1 康华光，陈大钦. 电子技术基础模拟部分. 北京：高等教育出版社，1979.

2 方强，梁猛. 光纤通信. 西安：西安电子科技大学出版社，2003.

实验十四 数字信号光发送接收系统

初级要求：

一、任务

1 设计数字光发送电路。

2 设计数字光接收电路。

3 设计电放大电路。

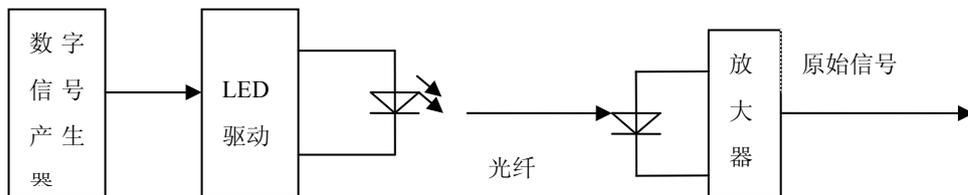


图 14.1 数字光纤通信系统示

二、功能要求

将信号源输出的低频方波信号，通过光电调制变为光信号，用光纤传输，然后再光电解调，放大恢复为原始的电信号。

三、性能参数要

1 信号源的频率可调，范围为 1KHz 到 1MHz，信号幅度为 1V 左右的电信号。

2 光发送电路的输出光信号功率为 -5dBm 到 -16dBm，通过 LD 或 LED 光源的直流电流为 50mA 左右，最小不低于 30mA 最大不大于 80mA，光波长为 1550nm 或 1310nm。

3 接收信号放大后的波形不能失真，幅度峰峰值为 500mv 到 1v，最好能放大到 3v 左右。频率和幅度都能随信号源变化

4 接收到的信号经过低噪声放大器后可达到一定的信噪比。

高级要求：

一、任务

- 1 设计一个方波信号源。
- 2 设计一个宽频低噪声放大电路。
- 3 完成高频数字信号的光收发电路系统。

二、功能要求

1 将设计的信号源与光发送电路连接，要求输出与输入阻抗相适应，保证信号的光输出功率。

2 对高频信号源进行电光调制和光电解调并放大。

三、性能参数

1 信号源的频率在 1KHz 到 100KHz 的低频区或频率在 100KHz 到 2MHz 的高频区，频率可调，幅度峰峰值为 1v，且幅度可调。

2 光发送电路的输出光信号功率为 -5dBm 到 -16dBm，通过 LD 或 LED 光源的直流电流为 50mA 左右，最小不低于 30mA 最大不大于 80mA，光波长为

1550nm 或 1310nm。

3 对高频 2MHz 的信号源在接收端可放大到 500mv 到 1V 左右，波形不能失真。

四、实验仪器

- 1 信号源
- 2 直流电源
- 3 示波器
- 4 万用表

五、参考文献

- 1 康华光, 陈大钦. 电子技术基础模拟部分. 北京: 高等教育出版社, 1979.
- 2 方强, 梁猛. 光纤通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- 3 王毓银. 数字电路逻辑设计. 北京: 高等教育出版社, 1985.

实验十五 语音信号的无线光发送与接收系统

一、任务

- 1 设计语音光无线发送电路
- 2 设计语音光接收电路
- 3 设计语音接收放大电路

二、功能要求

将由麦克风输入的语音信号通过光电调制电路调制到可见光上，然后通过无线传输到接收端，经过光电解调之后，恢复为语音信号，并能通过喇叭还原出原来的声音。

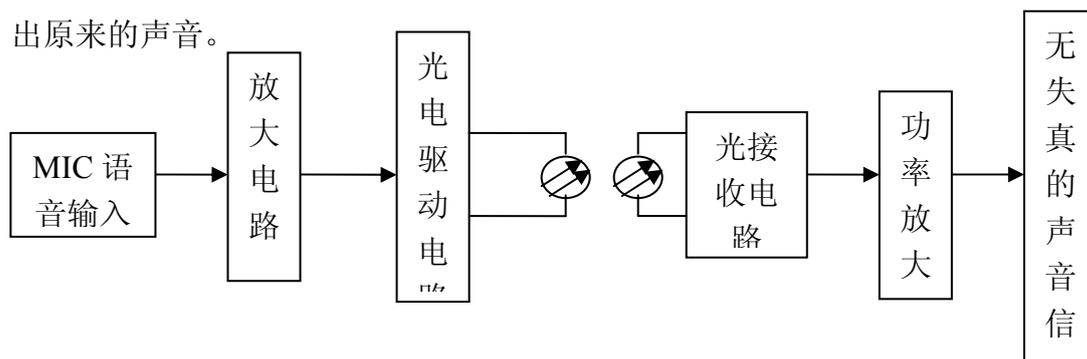


图 15.1 数字光纤通信系统示

三、性能参数要求

- 1 要求噪声小，无失真
- 2 信号源可为音乐或语音

四、实验仪器

- 1 信号源
- 2 直流电源
- 3 示波器
- 4 万用表

五、参考文献

- 1 康华光，陈大钦. 电子技术基础模拟部分. 北京：高等教育出版社，1979.
- 2 方强，梁猛. 光纤通信. 西安：西安电子科技大学出版社，2003.

实验十六 光功率计的设计

初级要求：

一、任务

- 1 设计一光电转换电路，将所接收到的光信号转变为可测量的电信号。
- 2 测试转换后的电信号，并显示电压值

二、功能要求

将一个直流光源的光功率转变为电信号并用数码管显示出来的。

三、性能参数要求

- 1 显示的功率应随发送光功率呈线性变化。
- 2 给出测量误差
- 3 给出量程

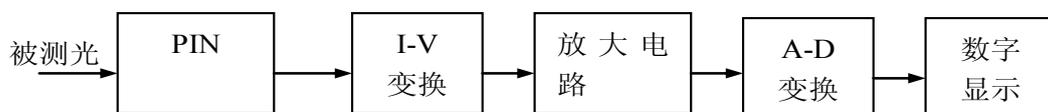


图 16.1 光功率计原理示意图

四、实验仪器

- 1 光功率计
- 2 信号源
- 3 直流光源
- 4 直流信号源
- 5 示波器

高级要求:

一、任务

- 1 设计一个频率可变的方波或正弦波电信号源。
- 2 设计光电调制及解调电路。
- 2 测试不同频率的光源功率。

二、功能要求

用单片机或 ARM 系统，针对不同频率的光源可测试它的平均光功率，并用数码管或液晶屏显示。

三、性能参数要求

- 1 信号源的频率在 100KHz 到 1MHz 的正弦信号或方波信号。
- 2 通过计算光电之间的转化关系，确定显示功率与发送光功率的系数关系
- 3 误差不超过 $\pm 1\%$
- 4 量程应为 0dBm 到-20dBm 之间

四、实验仪器

- 1 光功率计
- 2 信号源
- 3 直流信号源
- 4 示波器
- 5 单片机或 ARM 板

五、参考文献

- 1 王毓银. 数字电路逻辑设计. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- 2 方强, 梁猛. 光纤通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- 3 康华光, 陈大钦. 电子技术基础模拟部分. 北京: 高等教育出版社, 1979.
- 4 夏路易. 单片机技术基础教程与实践. 北京: 电子工业出版社, 2007.

实验十七 OCDMA 系统的设计与实现

初级要求:

一、任务

- 1 学习 Optiwave 仿真软件
- 2 利用光纤延时线设计 OCDMA 编解码器
- 3 合理设置仿真环境和器件参数

二、功能要求

根据电 CDMA 原理，将基于素数码的正交码用光纤延时线实现，并将多用户合路传输之后，在接收端进行解码输出，并判别用户发“0”或发“1”。

三、性能参数要求

- 1 分别对 3 个用户编码，设定用户 1 发送信号“0”，其它两个用户发送“1”
- 2 确定解码方法，在接收端能正确判别三个用户
- 3 设定 3 个用户均发伪随机码，在接收端恢复为原发送信号，并用误码分析仪评价性能。

高级要求:

一、任务

- 1 用光纤构造光编码器。
- 2 设计一个产生光窄脉冲信号的电路。
- 3 设计光解码器，正确判决合路中用户信号。

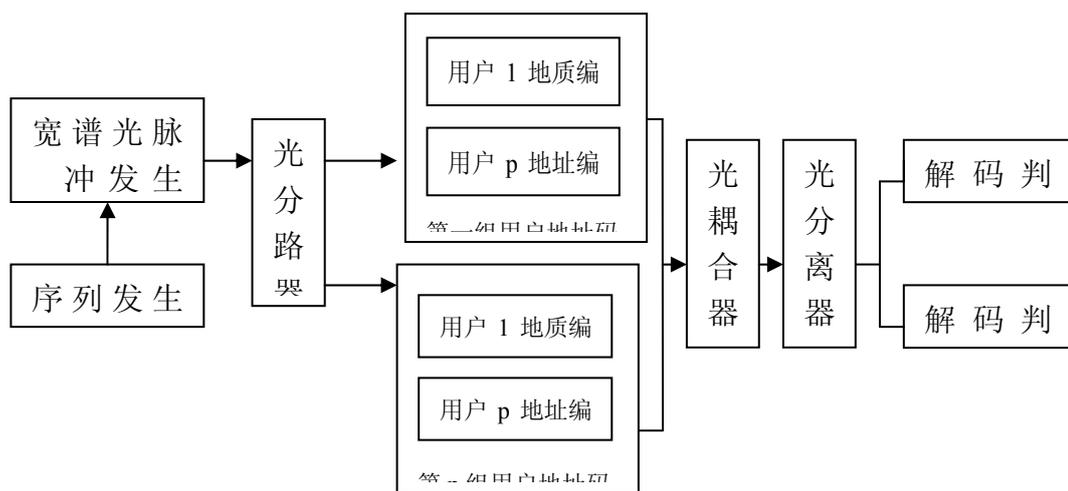


图 4.7 OCDMA 系统示意图

二、功能要求

将三个用户分别用光纤延时线进行编码，合路传输后经过光解码器，能分别判决每路用户。

三、性能参数要求

- 1 每个用户的地址码用光示波器观察与理论相同。
- 2 对每个用户解码后用光示波器观察信号幅值和光功率，确定判决门限。

四、实验仪器

- 1 光示波器
- 2 熔接机
- 3 计算机
- 4 光耦合器

五、参考文献

- 1 李传起，李晓滨.光纤通信 OCDMA 系统.北京：科学出版社，2008 年.
- 2 李传起，孙小菡.OCDMA 系统地址码理论[M] .合肥:中国科学技术大学出版社，2005.

实验十八 OFDM 系统的设计

初级要求：

一、任务

- 1 学习 OFDM 的工作原理。
- 2 学习 Optiwave 仿真软件和学习 MATLAB 软件。
- 3 搭建基本光正交频分复用的光纤通信系统。

二、功能要求

根据 OFDM 的工作原理，由 matlab 编程实现，在 Optiwave 软件环境中，生成 matlab 模块，搭建出最基本的 OOFDM 平台。

三、性能要求

- 1 生 OFDM 的调制和解调功能模块。
- 2 搭建传输速率为 2.5G/s、传输距离为 50km 的光纤通信系统，通过误码

仪和示波器检测系统性能。

高级要求：

一、任务

- 1 通过改变子载波数，设计出性能优化的 OOFDM 系统。
- 2 改变 OFDM 的调制方式，比较两种系统的传输性能。

二、功能要求

在 OOFDM 基本平台的基础上，通过改变系统的子载波数、调制方式设计出性能最优化的光纤通信系统，并通过误码仪、示波器和星座图等给出性能分析。

三、参考文献

- 1 苏金明，王永利.MATLAB7.0 实用指南.北京：电子工业出版社，2004.
- 2 陈永春. MATLABM 语言高级编程.北京：清华大学出版社，2004.
- 3 Dual-band OOFDM system based on tandem single-side band modulation transmitter,ZhenboXu,RongqingHui1,and Maurice O’Sullivan,Optics Express, Vol.17, No.16,13479-13486,2009.

实验十九 晶体光滤波器的设计

一、任务

- 1 学习晶体光滤波器的工作原理
- 2 学习 MATLAB 软件的使用方法
- 3 根据给定的滤波器结构分析该滤波器的幅频和相频响应特性
- 4 分析波片厚度误差、光轴角度误差对滤波性能的影响。

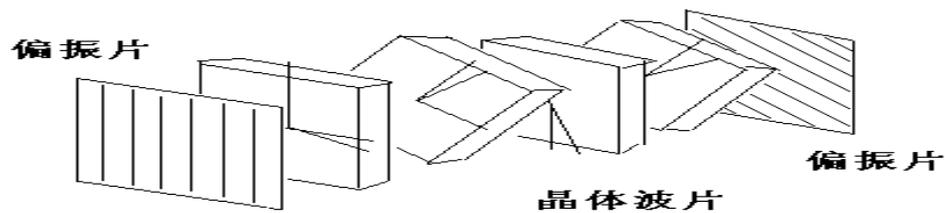


图 19.1 晶体光滤波器

二、功能要求

编写程序，改变参数，使输出的滤波器幅频和相频响应特性随参数变化，

并绘制曲线及分析误差性能。

三、实验仪器

计算机

四、参考文献

- 1 苏金明, 王永利. MATLAB7.0 实用指南. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 2 陈永春. MATLABM 语言高级编程. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 3 方强, 梁猛. 光纤通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.

实验二十 光纤耦合器和波分复用器的设计与制作

一、任务

- 1 掌握光纤耦合器和波分复用器的工作原理
- 2 熟悉光纤熔融拉锥机的工作原理
- 3 制作光纤耦合器、波分复用器

二、功能要求

1. 耦合器的分光比 50: 50 和 30: 70
2. 波分复用器实现 1310nm 和 1550nm 分波

三、实验仪器

光纤熔融拉锥机 1 台 光纤一盘 酒精 1 瓶 脱脂棉球 若干
米勒钳 1 把 切割笔 1 支

四、实验步骤

1、系统开机

- ①打开光源, 预热半小时 (等待光源稳定)
- ②打开熔融拉锥台总电源
- ③打开电脑, 运行应用软件 (若熔融拉锥台各轴不在原点位置, 系统将自动会原点)

④打开氢气发生器电源，打开氢气发生器阀门。

⑤打开真空泵电源开关

2、双击 ，打开熔融拉锥应用程序，复位，进行参数设置，打开氢气流量，点火。



(1) CR 设置：在“参数设置”界面也有一个“CR 设置”的参数，当进入工作界面时，会自动显示在“设置界面”中设置的 CR 值；但是，有时候需要调整一下 CR 值，此时就无需进入“参数设置”界面，而可以直接在此处修改了，从而方便了用户的操作。

(2) 耦合周期设置：同 CR 设置一样，此处也可以修改耦合周期的设置。

(3) 当前耦合周期显示：显示当前的耦合周期数。

(4) 光源切换：在使用光开关的情况下，点击该按钮即可在光源 1 及光源 2

之间进行切换。

(5) 点动方向：设定点动时拉伸轴的运行方向，“正向”为拉伸，“负向”为压缩。

(6) 拉伸长度显示：拉伸轴拉伸的实际长度值，单位微米。

(7) 运行时间显示：显示从点击“运行”时开始的时间数，可以通过它了解整个拉锥过程所用的时间。

(8) H2/O2 开关：打开/关闭 H2/O2 流量

(9) H2/O2 实际流量显示：显示 H2/O2 实际流量

(9) H2/O2 流量微调：若发现 H2/O2 流量不合适，可以通过该微调按钮来进行调整。

(10) 封装基体真空阀开关：打开/关闭封装基体真空吸槽。

(11) 预拉模式：本系统提供两种不同的预拉模式，以供用户根据需要选择。

定点预拉：选择该模式，则在预拉时，火头将固定不动，此时加热均匀，受热面积小。

扫描预拉：选择该模式，则在预拉时，火头将按照“参数设置”中设置的“预拉距离”拉回扫描，故称为“扫描预拉”，此种预拉的主要优点在于，加热的部分大。

(12) 主要参数显示窗口：主要显示了四个参数---分光比，附加损耗，P1，P2，其中 P1，P2 为实时采集的值，分光比及损耗是根据相关光学计算公式计算得出。若使用四通道机型，短波通道将显示为 P3/P4。

(13) 波形显示区域：该区域画出了上述四个参数的变化曲线图，便于用户分析判断。

(14) 隔离度显示：显示隔离度，左边为光源 1 的隔离度显示，右边为光源 2 的隔离度显示，当进行光源切换时，隔离度显示跟着一起切换。

3、将待拉光纤的一端连接光源，另外一端经活动连接器，连入拉锥机 P1 探测器，点击校正，在将接头从 P1 接口移至 P2 接口，点击确定，进行光功率校准。

1、在这根光纤的火头位置附近剥去 20-25mm 的涂覆层，即器件拉锥区，放入光纤拉锥台的固定座缝上，由气体吸力固定。

2、取另外一根光纤，一端经活动连接器，连入拉锥机 P1 探测器，在这根光纤的火头位置附近剥去 20-25mm 的涂覆层，即器件拉锥区，放入光纤拉锥台的固定座缝上，由气体吸力固定。

3、将两根光纤在器件拉锥区打 2-3 个结，注意成直线。

4、进行初始化，点击运行，即可进行器件拉制。

5、系统关机步骤

①关闭氢气发生器阀门

②待应用程序显示氢气流量为零时即可退出应用程序（将氢气管道中的氢气燃烧完全）

③关闭真空泵电源开关

④关闭熔融拉锥机总电源

⑤关闭光源电源，关闭电脑。

推荐参数

工艺:		Stand	WBC_DW	WDM
拉伸台	V1	150	150	100
	V2	150	150	100
	点动	300	300	300

	步距	5	5	5
	马达加速度	10000	11000	12000
	马达减速度	10000	10000	11000
	初始	0	1000	0
延时:	马达进延时	1	0.5	1
(0-10s)	马达退延时	0	0.5	0
	预拉进延时	0.2	0.1	0.1
	修正延时	0	0	0
监控:	CR	39	42, 43	10 (70-80, 79.3)
	耦合周期	0	0	4 (5)
	H2 流量 (sccm)	200	200	200
	O2 流量 (sccm)	0	0	0
附加:	预拉 V (um/sec)	0	150	150
	预拉距离	0	1000*	0
	扫描速度	0	0	0
	扫描距离	0	0	0
	波长 1	1310	1310	1310(1550)
	波长 2	1550	1550	1550(1310)

实验二十一 光纤光栅的设计

初级要求:

一、任务

- 1 学习光纤光栅的工作原理。
- 2 学习 Optigrating 仿真软件。
- 3 设计光纤光栅。

二、功能要求

设计均匀光纤光栅可对指定波长滤波。

三、性能要求

- 1 折射率均匀分布。
- 2 滤除指定波长的光信号。

高级要求：

一、任务

- 1 设计非均匀光纤光栅。
- 2 在 Optisystem 生成子模块。

二、功能要求

设计非均匀光纤光栅，在 Optisystem 生成子模块后，利用光环行器搭建色散补偿模块。

三、参考文献

- 1 Optigrating 使用手册
- 2 方强, 梁猛. 光纤通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001

实验二十二 基于激光语音窃听系统

初级要求：

一、任务

- 1 设计一个基于 PSD 的光电检测电路。
- 2 通过解调激光语音信号，恢复语音。

二、功能要求

将一个语音信号调制到激光上，用 PSD 检测激光信号，并解调出语音信号。

三、性能参数要求

- 1 激光信号与声音的距离为 3 米以上。
- 2 通过玻璃将语音信号调制到激光上。
- 3 清晰地恢复出语音。

四、实验仪器

- 1 信号源
- 2 HeNe 激光器
- 3 语音播放器
- 4 直流信号源
- 5 示波器

高级要求：

一、任务

- 1 能测试障碍物之外的语音。
- 2 能确定语音的位置。
- 3 可进行语音存储。

二、功能要求

用单片机、ARM 系统或 LABVIEW 显示声音的位置，并可存储声音再生播放。

三、参考文献

- 1 王毓银. 数字电路逻辑设计. 北京：高等教育出版社，1985.
- 2 方强，梁猛. 光纤通信. 西安：西安电子科技大学出版社，2003.
- 3 康华光，陈大钦. 电子技术基础模拟部分. 北京：高等教育出版社，1979.
- 4 夏路易. 单片机技术基础教程与实践. 北京：电子工业出版社，2007.

实验二十三 光载无线通信系统

初级要求：

一、任务

- 1 学习 ROF 的工作原理。
- 2 学习 Optiwave 仿真软件。

3 搭建光载无线通信系统。

二、功能要求

根据 ROF 的工作原理，在 Optiwave 软件环境中，搭建出最基本的 ROF 平台。

三、性能要求

1 基于射频的光调制和解调功能模块。

2 搭建传输速率为 5G/s、传输距离为 50km 的光纤通信系统，通过误码仪和示波器检测系统性能。

高级要求：

一、任务

1 改变 ROF 的调制方式，比较两种系统的传输性能。

二、功能要求

在 OOFDM 基本平台的基础上，通过改变系统调制方式设计出性能最优化的光纤通信系统，并通过误码仪、示波器和星座图等给出性能分析。

三、参考文献

1 Optiwave 使用手册

2 方强, 梁猛. 光纤通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001

工程实训性实验

实验二十四 光纤熔接

(一) 实验要求

掌握光纤连接的几种方法：熔接、连接器连接等；各种连接的优缺点及应用情况；掌握光纤熔接机的原理；熔接的步骤、各阶段的作用、要求。

熟练光纤熔接机的操作、光纤端面制作、光纤熔接机的参数设置。学会对熔接质量的分析，包括对各种熔接缺陷的分析。

(二) 实验原理

光纤的连接根据连接方式的不同，包括活动连接和固定连接。活动连接利用活动连接器来实现两根光纤的可重复装拆的活接头。

一、光纤的熔接

光纤的固定连接是使一对光纤之间形成永久性的连接，用于不需要拆卸或重复使用的场合。光纤的固定连接方法有熔接法、V型槽法、毛细管法等。熔接法在实际中应用最为普遍，是光纤通信干线中光纤连接的主要方法，它是利用电弧放电、氢焰或激光等方法加热从而将光纤熔融结合在一起。电弧放电是熔接法中应用最广的方法。利用电弧放电进行光纤熔接的设备称为光纤熔接机。光纤熔接机由光纤的准直与夹持机构、光纤对准机构、电弧放电机构以及控制机构等四部分构成，如图所示。

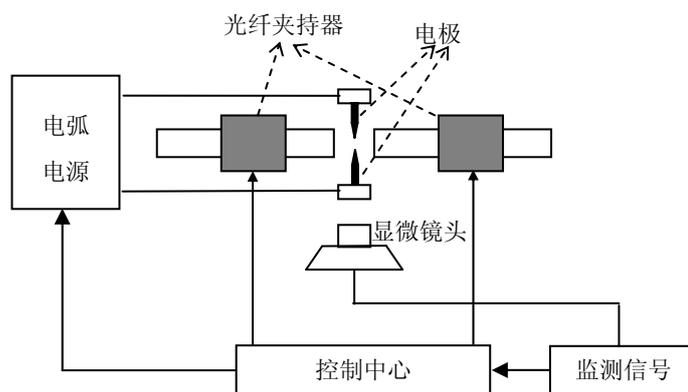


图24.1 光纤熔接机结构

和活动连接一样，光纤端面的质量与光纤纤芯之间的位置都会对熔接的质量带来影响。进行光纤熔接之前，需要对光纤的进行处理，利用光纤剥皮钳去除光纤外的套塑层，利用光纤切割刀切割光纤端面，达到端面平整，并使端面与光纤轴线垂直，偏差小于 1° 。

光纤熔接时，将制备好端面的光纤放入准直与夹持机构中固定，通过手动

或自动装置使纤芯在空间三个方向上移动,保证需要熔接的两根光纤完全对准,消除纤芯的横向错位、角度偏差,并将端面之间的间距调整到预定大小。根据光纤的类型,选择合适的放电电流、放电时间,进行电弧放电,对端面加热,实现光纤的熔接。熔接结束后用热缩管对光纤熔接处进行保护。

二、光纤熔接的准备工作

1 将热缩管套在一根待熔接光纤上;

2 光纤端面的制作

用光纤涂敷层剥除器(剥皮钳)剥去光纤涂敷层约 40mm,用酒精棉球擦去裸光纤上的碎屑等污物;

用光纤切割刀将裸光纤切去一段,保留裸纤 16mm,要求切割后光纤端面为一平面,且该平面与光纤横截面的倾角小于 1 度。

3 切好端面的光纤放入熔接机的 V 型槽中,注意光纤端面不能擦到 V 型槽底部。

三、熔接质量评估

熔接机虽然可以给出连接损耗的值,熔接质量的好坏是通过熔接处外形计算得来的,通过从两个垂直方向观察光纤,计算机处理并分析该图像来确定包层的偏移、纤芯的畸变、光纤外径的变化和其他关键参数,使用这些参数来评价接头的损耗。推定的熔接损耗只能作为熔接质量好坏的参考值,而不能作为熔接点的正式损耗值。正式损耗值必须通过 OTDR 测试得出。

影响光纤熔接损耗的因素较多,大体可分为光纤本征因素和非本征因素两类。

1. 光纤本征因素是指光纤自身因素,主要有四点。

(1) 光纤模场直径不一致;

(2) 两根光纤芯径失配;

(3) 纤芯截面不圆;

(4) 纤芯与包层同心度不佳。

2. 影响光纤接续损耗的非本征因素即接续技术。

(1) 轴心错位:单模光纤纤芯很细,两根对接光纤轴心错位会影响接续损耗。当错位 1.2 μm 时,接续损耗达 0.5dB。

(2) 轴心倾斜:当光纤端面倾斜 1°时,约产生 0.6dB 的接续损耗,如果要求接续损耗 $\leq 0.1\text{dB}$,则单模光纤的倾角应为 $\leq 0.3^\circ$ 。

(3) 端面分离:活动连接器的连接不好,很容易产生端面分离,造成连接损耗较大。当熔接机放电电压较低时,也容易产生端面分离,此情况一般在有拉力测试功能的熔接机中可以发现。

(4) 端面质量:光纤端面的平整度差时也会产生损耗,甚至气泡。

(5) 接续点附近光纤物理变形：光缆在架设过程中的拉伸变形，接续盒中夹固光缆压力太大等，都会对接续损耗有影响，甚至熔接几次都不能改善。

3. 其他因素的影响。

接续人员操作水平、操作步骤、盘纤工艺水平、熔接机中电极清洁程度、熔接参数设置、工作环境清洁程度等均会影响到熔接损耗的值。

(三) 实验内容及要求

- 1 掌握熔接机的连接方式；
- 2 学会光纤切割刀、光纤涂敷层剥除器的使用，学会制作端面；
- 3 掌握熔接电流、熔接时间、光纤间隙等参数的影响，学会这些参数的设置；
- 4 学会手动、自动熔接；
- 5 学会对熔接质量的分析，包括对各种熔接缺陷的分析。

实验二十五 OTDR

(一) 实验要求

掌握光纤的衰减对光纤通信的影响，衰减产生的原因，瑞利散射的概念及与光纤衰减的关系，掌握光时域反射计的原理，熟悉光时域反射计的事件死区、衰减死区、动态范围等各种指标的概念；距离精度的计算及其与脉冲宽度的关系。

熟悉光时域反射计的操作与应用，相关仪器参数的设置；光纤链路损耗、衰减系数、接头损耗、回波损耗的测量；测试结果的分析与纪录，学会对故障点的分析及判断。

(二) 实验原理

OTDR（光时域反射仪）将光脉冲送入光纤，然后测量光脉冲的反射或散射回来的功率。光纤上的任何变化会使光脉冲能量被反射。例如：活动接头，熔接点以及正常光纤的瑞利散射。OTDR 重复测量这些反射回来的信号，以距离的函数显示出来。OTDR 根据光脉冲从事件点返回的时间计算事件点的位置。通过分析反射功率的曲线，可以得到光纤的状态、活动接头、熔接点及长度等等。OTDR 在光纤生产、光缆线路施工与线路维护中是一种重要的仪器。主要用于测量光纤故障点的位置、光纤损耗、接头损耗以及光纤长度等，可在一端测量，使用方便，结果直观。

将光功率为 P_0 、脉冲宽度为 T_0 的窄光脉冲信号注入光纤，由于光纤的衰减，光脉冲信号在传输距离 Z 后，在 Z 处的光功率为 $P(Z)$ ，则有

$$P(Z) = P_0 10^{-(\alpha Z/10)} \quad (25.1)$$

式中 α 是衰减系数。由于瑞利散射的作用，在 Z 处的光功率 $P(Z)$ 总有一部分后向散射，且被光纤捕获而传输到原注入端。在原注入端出射的后向散射光功率为：

$$P_{bs}(Z) = \gamma(Z)P(Z)10^{-(\alpha Z/10)} = P_0 \gamma(Z)10^{-2(\alpha Z/10)} \quad (25.2)$$

式中 $\gamma(Z)$ 是光脉冲在 Z 处的光纤的瑞利后向散射系数，定义 $\gamma(Z)$ 为：

$$\gamma(Z) = (V_g T_0 / 2) \alpha_R \cdot S \quad (25.3)$$

α_R 是瑞利散射系数， V_g 是光在光纤中的群速度， S 代表后向散射功率与瑞利散射总功率之比，它与光纤结构参数（芯径、相对折射率差）有关，

设 $Z=0$ 处的后向散射光功率为

$$P_{bs}(0) = P_0 \gamma(0) \quad (25.4)$$

由式（2）和式（3）可以得到 $0 \sim Z$ 间的平均衰减系数为

$$\alpha = \frac{5}{Z} \left[\log \frac{P_{bs}(0)}{P_{bs}(Z)} - \log \frac{\gamma(0)}{\gamma(Z)} \right] \quad (25.5)$$

如果光纤轴向不均匀， γ 不是常数，则上式表示的衰减系数包含了一项与结构参数有关的待定项，这样，直接从后向散射曲线上求得的 α 并不能代表实际的衰减系数，这也是该方法的缺点所在。

假定光纤结构参数沿轴向均匀时， $\gamma(0)=\gamma(Z)$ ，0~Z间的平均衰减系数为

$$\alpha = \frac{5}{Z} \log \frac{P_{bs}(0)}{P_{bs}(Z)} \quad (25.6)$$

这时就可以从后向散射曲线求得实际的平均衰减系数。

利用菲涅耳反射可以测量光纤的长度 L 。若光脉冲从起点入射到尾端反射，再返回到起点所经历的时间为 t_0 ，则光纤的长度可用下式计算出来。

$$L = \frac{C}{2N_1} t_0 \quad (25.7)$$

式中， C 为真空中的光速； N_1 为光纤材料的群折射率。

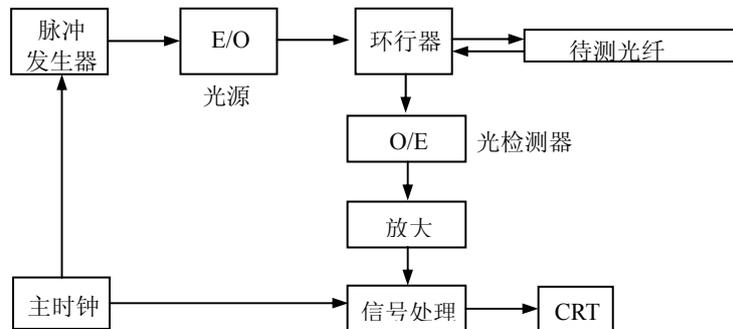


图 25.1 OTDR 原理图

主时钟产生标准时钟信号（周期为 T ），脉冲发生器根据时钟信号的周期产生所需的窄脉冲，驱动光源产生需要的光脉冲。三端口光环行器把光脉冲送入待测光纤中，同时将光纤中后向反射和散射光送给 OTDR 中的光检测器。光检测接收后向光信号，转换为电信号输出。因为后向散射光信号很微弱（功率低于 -60dB），所以要经放大器放大。信号处理主要是取样积分器，检测器的输出包括噪声和信号，同时被放大器放大，取样积分器可提取被噪声淹没的信号。信号是周期性的，通过对信号的重复多次取样，并进行积累、平均和保持，使信号强度增强，而信号是随机无规律的，经一定时间的迭加平均后越来越小，这样可改善信噪比，从噪声中提取信号。

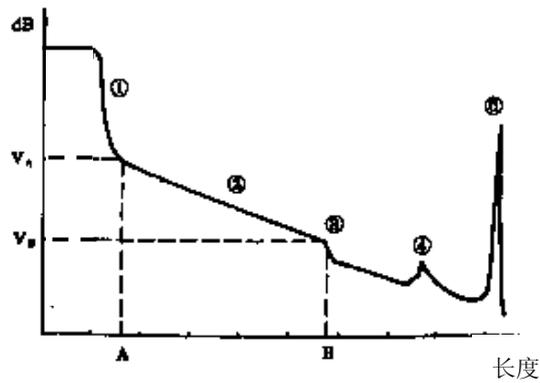


图 25.2 典型的 OTDR 曲线

另外，从曲线上还可以分析好多现象：

- 1) 盲区：光纤输入端耦合器件产生的菲涅尔反射；
- 2) 斜率为一常数的区间；
- 3) 由于局部缺陷、连接或耦合造成的不连续性；
- 4) 由于介电波导本身的缺陷引起的反射；
- 5) 光纤尾端的菲涅尔反射。

注意事项：

- 1) 选择 OTDR 的波长、模式应与被测光纤的工作波长、模式相同。
- 2) 根据光纤长度、损耗选择合适量程及其它参数。
- 3) 根据光纤的折射率 n ，精确设定 n 值，以免影响测试精度。
- 4) 保持光口的清洁，光纤与 OTDR 的连接耦合，减小测量误差。

OTDR 可以测量两点间损耗，接头损耗，全程损耗及回波损耗等。参数的含义：

1. 全程损耗

光纤端到端损耗，测量时一光标在盲区右边，另一光标在末端菲涅耳反射峰左边。（不包括死区所掩盖的光纤）。

2. 接头损耗（Splice Loss）

光纤熔接头的损耗，表现在测试曲线上会有个突然下降。

3. LSA（Least Squares Approximation）

最小均方根损耗，通过均方根近似的数学方法计算损耗值。

4. 回波损耗（ORL）

从光纤末端的返回功率与入射功率之比。

（三）实验内容及要求

- 1 对光时域反射计相关仪器参数的设置。
- 2 测试光纤链路损耗、衰减系数、接头损耗、回波损耗。

3 对测试结果的分析与纪录，并对故障点的分析及判断。

实验二十六 光传输网与 WDM 系统设计

(一) 实验要求

掌握 SDH 的帧结构和开销字节；掌握 SDH 自愈保护方式；掌握 SDH 设备的组成、结构及时钟盘、告警盘、公务盘、群路盘、支路盘、交叉盘等各机盘的功能作用；掌握网管系统的连接方法及组成、功能，网管系统的配置；熟悉 SDH 设备的网管；完成不同设备终端两个用户的通信；设计简单的波分复用系统传输信号

(二) 实验原理

155Mb/s 传输设备由主信道，维护管理和系统定时等三大部分组成。主信道传输电信业务信号；维护管理部分提供管理通信接口，公务联络，开销处理功能等。

设备的整机总框图见上图所示。主信道包括群路盘、交叉盘和支路盘。维护管理部分包括网管接口盘，网元管理盘，公务盘和开销接口盘。定时功能由时钟盘完成。

机盘配置说明

每个子架设有四个群路盘槽位。当设备配置成链路分插设备和四纤环路分插设备，系统具有线路保护倒换功能时，需要配备四个群路盘。当设备配置成为终端设备和两纤环分插设备时，系统具有线路保护功能时，需要配备两个群路盘，通常插在 04、06 槽位。155Mb/s 群路盘和 155Mb/s 支路盘兼容。交叉盘完成 TU-12 信号的复接和交叉连接。

交叉盘有两种，分别提供 155Mb/s（或 140Mb/s）和 2Mb/s（或 34Mb/s）接口。155Mb/s 接口的光口和电口兼容，2Mb/s 支路盘可提供 21 个 2Mb/s 双向信号。用户可以根据通信需要选择支路接口。

155 群/支路盘

该盘既可作为 STM-1 光传输设备的群路复用光接口盘，又可作为 STM-1 复接设备的群路复用电接口盘，同时还可作为 STM-1 复接设备的 155Mb/s 支路盘，或是一个简单的 STM-1 复接盘。该盘同时具有光 and 电两种接口，光接口物理性能符合建议 G.957，电接口物理性能符合建议 G.703。 **主要功能：**

· 将来自支路盘的上话信号及上游群路盘通过信号按指定的信道位置复接成 STM-1 信号。

· 完成发送及接收 STM-1 信号的光电及电光转换。

· 将接收 STM-1 信号按支路及下游所要求的信道排列进行排序送至主信道总

线，以供下话或继续传输。

· 终结和产生 STM-1 的 SOH 开销，AU-4POH 开销（当无上下话时 AU-4 POH 开销不终结，此时 POH 开销直通）。选取部分开销送入开销总线。完成盘级配置管理，故障管理，性能管理及系统的测试等功能。

· 对接收的 STM-1 码流进行 AU 指针调整，以确定 VC-4 载荷的起点，对 STM-1 码流中的所有 TU 指针进行调整，从而使浮动的 VC-4 载荷的相位锁定，以利于时隙交换。

· 盘控器作为系统管理的代管器，进行配置管理，故障管理与性能管理。

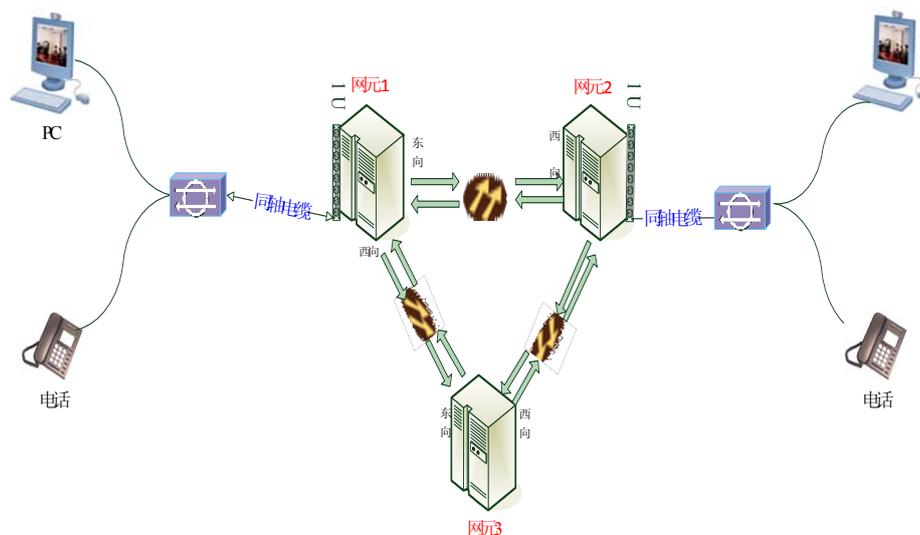


图 26.1 光传输网结构图

（三）实验内容及要求

1 将三台 SDH 设备做成四纤双向通道保护方式，然后每台设备接一个语音或数据终端，通过 SDH 的网管配置，两两用户可以语音通信或数据图像通信，如图 26.1 所示。

2 用波分复用器在上述基础上，实现波分复用系统的设计。

实验二十七 光接入网的设计与配置

（一）实验要求

掌握 EPON 的原理；掌握 EPON 的配置参数；完成不同终端两个用户的通信

（二）实验原理

武汉烽火科技有限公司研制的 AN5116-02 EPON 局端机是三网合一的光纤接入设备，属于新一代综合接入系统（FSAN），是为电信运营商提供了一种电信级宽带一体化接入设备。它将数据网、电话网和电视网三者的接入融为一体，以传统电路交换的方式提供目前已经发展成熟的各种电话业务，又以包交换的方式提供各种新兴的宽带业务，将两种交换方式集成到一起，采用多业务传送技术，提供统一的网络和业务管理。它以一个统一的综合接入平台接入、汇聚和传送多种业务靠各种宽窄带网络中，还具备对软交换网络的平滑演进能力，充分满足网络发展的需求。

AN5116-02 EPON 局端机基于吉比特以太网无源光网络技术，能支持单纤三波（1550nm, 1490nm, 1310nm）应用模式和双纤三波应用模式，其中 1550nm 波长用来承载 CATV 业务，1490nm 和 1310nm 两个波长可为用户提供高达 1G 的对称共享宽带。除 CATV 以外，用户还可以在同一台远端设备（ONU）上享受到电话、传真、IPTV 等各种宽带业务。

该设备以纯 IP 为内核，在用户（UNI）侧提供 EPON 宽带 IP 业务接口、窄带语音业务接口以及 CATV 图像业务接口。业务节点接口侧（SNI）可提供 E1（V5），STM-1，FE/GE 等不同接口，分别与 PSTN、DDN、ATM/IP 网络互联，实现业务分离。

AN5116-02 EPON 设备是支持三网合一、光纤到户的接入设备。具有可靠性，易管理，灵活扩容和组网的特点，并提供服务质量保证。AN5116-02 EPON 局端机一般位于接入网的边缘，直接与终端用户相连，处于用户与汇聚层设备之间。它适合于 FTTH/FTTO 的应用，一般置于小区或大楼内。用户可根据自己的需求选用合适的用户终端设备，也可直接从简单网络连到骨干层设备。

AN5116-02 设备在网络中的位置如 27.1 图所示。

从图中可看出，AN5116-02 为局端的接入设备，ONU 为用户端设备，一般为 AN5006-0X 设备。该设备采用电信级冗余保护设计和分散式供电方式，支持核心交换卡主备倒换，有效地防止了设备的单点故障，具有高工作稳定性。AN5116-02 EPON 局端机致力于为用户提供光纤到户、三网合一的全面解决方案，为运营商提供投资少、见效快、可运营、便于维护管理的多种设备及方案选择。

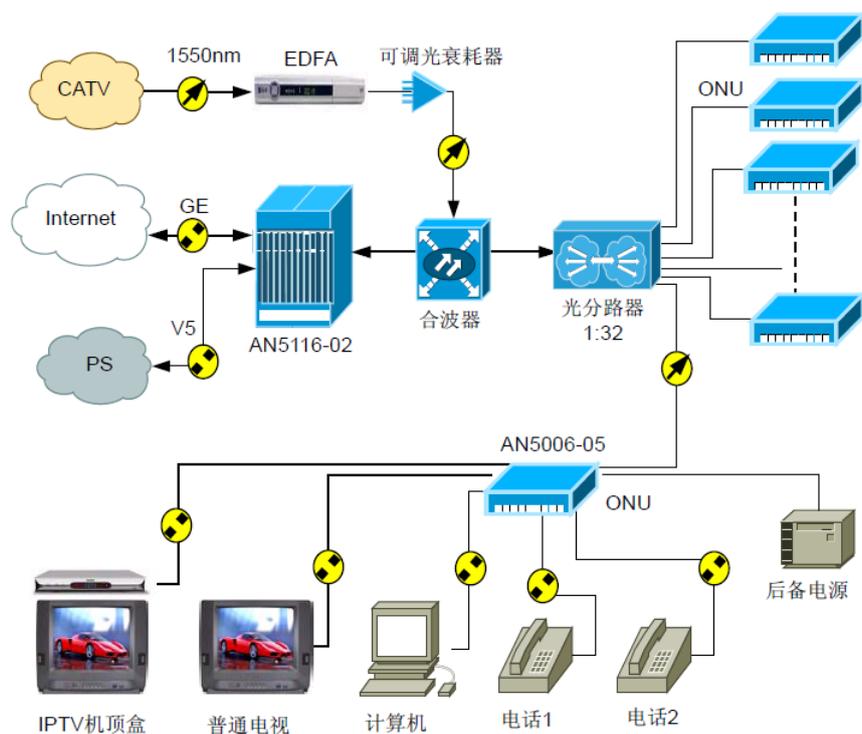


图 27.1 AN5116-02 设备组网图

AN5116-02 EPON 局端机具有以下特点：

- ◆ 作为千兆 IP 交换平台，它具有高达 48G 交换核心、96G 的背板交换容量。

- ◆ 宽窄带一体化设计，采用竖插板式，同时支持宽带和窄带业务，具有高端口密度。每个子架可提供 32 个 1000M EPON 光口，每个 EPON 口最大可带 64 个 ONU（光网络单元）。以 EPON 方式提供电话时，若分路比为 1:64，每个 ONU 接 2 路电话，则每个子架可支持 2048 线电话。2.2m 机架支持 3 个 AN5116-02 的子架。

- ◆ 该设备的业务汇聚卡有 EPON 接口卡（每板两个 PON 口）、STM-1 接口卡，上联卡提供的上联接口包括 10/100/1000M 电口、1000M 光口等，并都具有端口汇聚功能。

- ◆ 支持各种类型接口卡的热拔插，并支持核心交换卡的主备倒换，以实现 1+1 保护。

- ◆ 当光分路比为 1:32 时，至少能支持 20 公里的传输，分路比为 1:64 时，至少能支持 10 公里的传输。

- ◆ 支持 PON 卡的灵活配置，两个 PON 口既可配成提供 EPON 业务的 1:1

保护，也可配成两路独立的 PON 使用。

- ◆ 支持用户线路测试、远端ONU 断纤自动告警和远端ONU 断电自动告警。
- ◆ 支持对用户端设备进行远程测试和远端ONU 的环回测试。
- ◆ 支持远端电源备份，保证在断电情况下电话业务仍然能够畅通不少于1 小时。
- ◆ 每路PON 支持多达192 个逻辑通路，单ONU 可提供3 个互相独立的LLID（逻辑通路），为用户提供良好的QoS；基于二层和三层的业务分类模式可为用户提供灵活的业务映射选择。
- ◆ 采用-48V 独立电源分散式供电，提高系统稳定性，不会因为电源问题而影响整个系统。
- ◆ 支持MAC 地址和IP 地址的绑定及过滤、带宽控制、VLAN（基于端口和802.1Q的两种划分方式）、流量控制等丰富的可运营、可管理电信特性。
- ◆ 具有强大的动态带宽分配（DBA）和带宽共享能力，并能有效地提高带宽利用率。AN5116-02 EPON 局端机技术手册1-6。
- ◆ 具有灵活的带宽管理能力，其基于SLA 和优先级的双重管理模式能有效地保证用户的最小指定带宽需求和高优先级业务（TDM）的低时延要求。
- ◆ 系统支持ONU 的自动发现和自动注册，并支持先配置后发现的服务方式。
- ◆ 支持AES-128 位的加密算法，为用户提供良好的安全保障机制。
- ◆ 具有完善的网络管理，方便的维护功能，丰富的可运营、可管理电信特性。
- ◆ 基于SNMPv1/v2c 的集中网管系统，支持RMON、TELNET、FTP 等远程控制方式，也支持通过串口的本地管理。
- ◆ 支持全面的二层以太网交换功能，包括802.1Q VLAN（基于端口和802.1Q 两种方式的VLAN）、802.1D 生成树协议（STP）、优先级控制、IGMP snooping、IGMP proxy、802.3X 流量控制、端口镜像、802.3ad 端口聚合、Mac 地址过滤/绑定、广播抑制等。
- ◆ 其BRAS 功能可支持PPPoE 的认证和计费功能，可以同时终结2048 个PPPoE会话，提供基于标准RADIUS 协议的计费功能，能够提供按照时长和流量的计费，并支持认证计费服务器的主备切换。
- ◆ 支持802.1X 认证。
- ◆ 具备符合国家标准的集群管理功能，支持烽火公司以太网交换机集群管理技术规范的专利。该专利已经获得授权，能充分提高IP 地址的利用率。
- ◆ 窄带业务接口在采用E1 接口时，支持V5 协议；在采用软交换时，支持MGCP/H.248/SIP 协议。
- ◆ 支持QOS、ACL 功能，能对数据流进行分类和处理。

设备的兼容性

本设备的结构类似于武汉烽火科技有限公司生产的AN2200-02 / AN3300-01 设备的结构，使用的是同样的背板；也可使用AN2200 系列设备的ADSL、VDSL、LAN 接口板；上联口提供标准的以太网接口，可以和BE2000 系列以太网交换机一同进行组网。

（三）实验内容及要求

将每个 ONU 各带一个用户终端（计算机），每个用户可以与核心网通信。如图 27.1 所示，将三台 SDH 设备做成四纤双向通道保护方式，然后每台设备通过 2M 数据线与 EPON 设备相连，EPON 下的 ONU 接用户终端计算机，配置 EPON 参数和 SDH 网管。

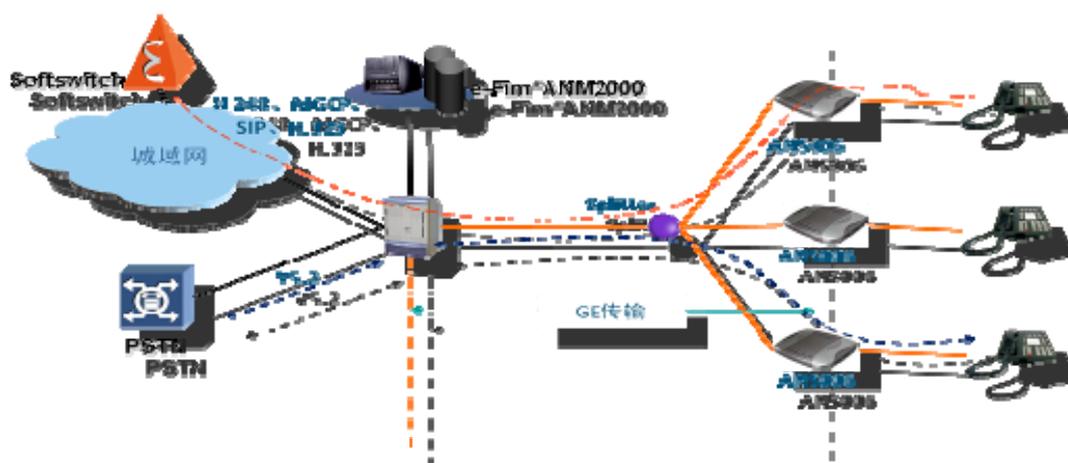


图 27.1 光接入网示意图