

# He-Ne 激光器的装调与参数测试

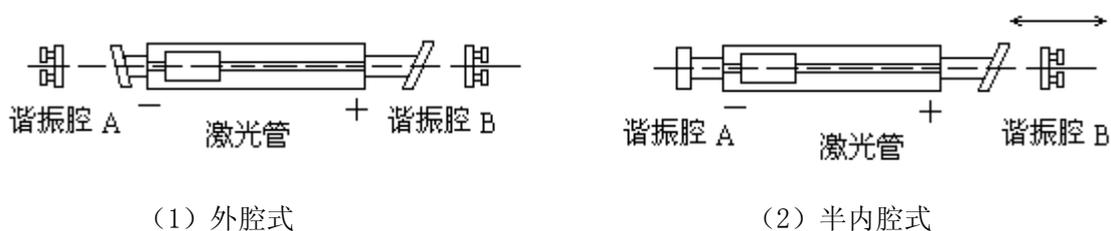
## 一、实验目的

- 1、熟悉 He-Ne 激光器的模式结构
- 2、了解 F-P 共焦球面扫描干涉仪的原理
- 3、掌握 He-Ne 激光器的调整方法
- 4、掌握用共焦球面扫描干涉仪观察、测量激光纵模的方法

## 二、实验原理

### 1、He-Ne 激光器的模式结构

He-Ne 激光器是最常用的连续工作气体激光器，以结构形式不同可分为内腔式、半内腔式和外腔式激光器，如图 1 所示。二反射镜组成光学谐振腔，放电管内充以不同比例的氦气和氖气（激活物质），二电极通过毛细管放电激励激光工作物质，在氖原子的一对能级间造成粒子数反转，输出受激辐射。由于谐振腔的作用，使受激辐射光在谐振腔内来回发射，多次通过激活介质而不断加强。如果单程增益大于单程损耗，即满足产生激光的阈值条件时，则有稳定的激光输出。



由于各种因素引起的谱线加宽，使激光介质的增益系数有一频率分布，如图 2 所示，该曲线称为增益曲线。对于 He-Ne 激光器，氖原子的自发辐射中心波长为 632.8nm，增益线宽约为 1500MHz。由无源谐振腔理论可知，激光器的谐振腔具有无数多个固有的分立的谐振频率，只有频率落在工作物质增益曲线范围内并满足激光器阈值条件的那些模式，才能形成激光振荡，如图 2 所示。如果不采取选模措施，则 He-Ne 激光器一般以多模方式工作。

不同的振荡模式具有不同的光场分布。光腔的模式可以分解为纵模和横模，它们分别代表光腔模式的纵向（即腔轴 z 方向）的光场分布和横向（即垂直于 z 轴方向的 xy 平面）的光场分布。通常用符号  $TEM_{mnq}$  标志不同模式，其中 q 为纵模序数，一般为很大的正整数；m、n 为横模序数，一般为 0, 1, 2。 $TEM_{00q}$  代表基横模，它对应的光场分布特点是：在光腔轴线上光振幅最大，从中心到边缘振幅逐渐降落。

每一个 q 对应纵向一种稳定的电磁场分布，称为一个纵模。对于同一阶横模，相邻两纵模间距为

$$\Delta \nu_q = \nu_{mn(q+1)} - \nu_{mnq} = \frac{c}{2\eta L}$$

其中  $\eta$  为腔中介质的折射率，L 为谐振腔的长度。从式中看出，当腔长越长时，纵模间距越小；相反腔长越短，纵模间距越大，因此用缩短腔长的办法，是获得单纵模运行激光器的方法之一。相邻两个纵模频率间距相等，对应同一横模的一组纵模，它们的强度顶点构成了多普勒线型的轮廓线，如图 2。

根据激光器不同的模式具有不同谐振频率的特点，可以通过分析激光器的频谱结构来判断激光器的振荡模式。本实验用共焦球面扫描干涉仪测量 He-Ne 激光器的频谱。需要提醒大家注意的是，由激光器的频谱图一般只能测出激光器各谱线的频率差，并不能直接测出 m、n、q 的值。要判断激光器的模式结构，还应根据光斑形状及谐振腔具体参数等多种因素进行综合分析。

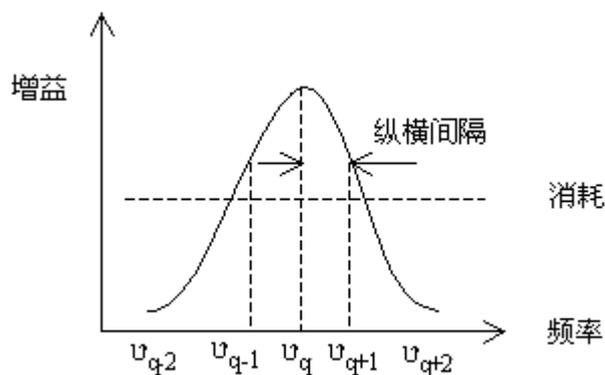


图 2 纵模和纵模间隔

## 2、共焦球面扫描干涉仪的基本原理

共焦球面扫描干涉仪的结构如图 3 所示。它由两块镀有高反射膜、曲率半径相等的凹面反射镜组成。这两片反射镜同轴相对放置，间距  $L$  等于反射镜的半径  $R$ ，从而构成共焦球面谐振腔。当一束波长为  $\lambda$  的光沿光轴方向入射时，在忽略反射镜球差的情况下，光经四次反射后与原入射光重合，它们之间的光程差为

$$\Delta = 4nL$$

$n$  为二反射镜间介质的折射率。根据多光束干涉的原理，当入射光波长满足

$$k\lambda = 4nL \quad (k \text{ 为正整数})$$

时，透射光相干叠加产生干涉极大。共焦球面扫描干涉仪的透射谱如图 4 所示。

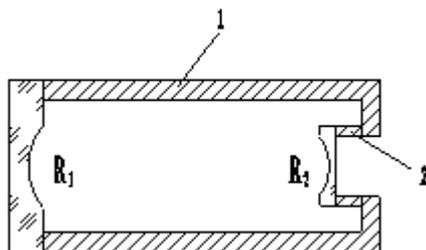


图 3 1. 间隔圈 2. 压电陶瓷环  
扫描干涉仪内部结构图

当固定干涉仪的腔长和介质的折射率时，其透光波长是分立的。如果改变干涉仪的腔长或介质的折射率，则可改变其透光波长。本实验中使用的扫描干涉仪是通过改变腔长而实现对透光波长扫描的。干涉仪的一块反射镜固定不动，另一块固定在可随外加电压而变化的压电陶瓷环上，当给其环加压时，环的总长度随之发生变化，变化的长短与外加电压幅度成正比。设某电压作用下，压电陶瓷环长度的微小变化使干涉仪腔长由  $L$  变为  $L'$ ，如果光波长  $\lambda'$  满足  $k\lambda' = 4nL'$

则干涉仪的透光波长将由  $\lambda$  变为  $\lambda'$ 。如果用锯齿波电压信号加在压电陶瓷环上，则干涉仪的腔长将在原腔长的基础上做连续的周期性变化，透射光波长也将产生相应的连续变化。用光电二极管接收透过干涉仪的光信号，其输出的电信号放大后送到示波器的  $y$  轴输入端。同时，将驱动压电陶瓷环的锯齿波电压信号送到示波器的  $x$  轴输入端。示波器荧光屏上显示的波形就代表了输入光的频谱，横坐标代表透过干涉仪的光波频率的变化，纵坐标代表相应透过光的光强相对值。

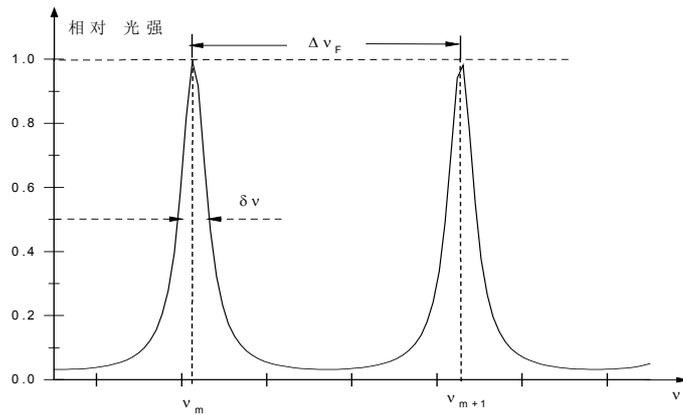


图 4 共焦球面干涉仪的透射谱

扫描干涉仪有几个重要的性能指标：

(1) 自由光谱范围区 $\Delta\nu_F$

干涉仪的自由光谱区是指干涉仪相邻透过峰的波长差或频率差，即

$$\Delta\nu_F = \frac{c}{4nL} \quad \text{或} \quad \Delta\lambda_F = \frac{\lambda^2}{4nL}$$

共焦球面扫描干涉仪的自由光谱区的大小相应于腔长变化 $\lambda/4$  时透过波长或频率的变化范围。或者说， $\Delta\nu_F$  就是扫描干涉仪能够测量的不发生干涉级次重叠的波长或频率变化的范围。

(2) 仪器带宽 $\delta\nu$

仪器带宽是指干涉仪透射谱线的半宽度，如图中的 $\delta\nu$ 所示。它是干涉仪能分辨的最小频率差。理论上，共焦球面扫描干涉仪的带宽为

$$\delta\nu = \frac{c}{4\pi nL} \frac{1-R}{\sqrt{R}}$$

式中，R 为反射镜的反射率。实际上， $\delta\nu$ 还与反射镜的加工质量及仪器的装调精度有关。仪器带宽愈小，表明干涉仪的分辨本领愈高。

(3) 精细常数(N)

精细常数用来表征一个自由光谱范围内能分辨的最多的谱线数目。它是指相邻透过峰间隔与透射谱自身宽度的比，即自由光谱区与仪器带宽之比，可表示为

$$N = \frac{\Delta\nu_F}{\delta\nu}$$

### 三、实验装置

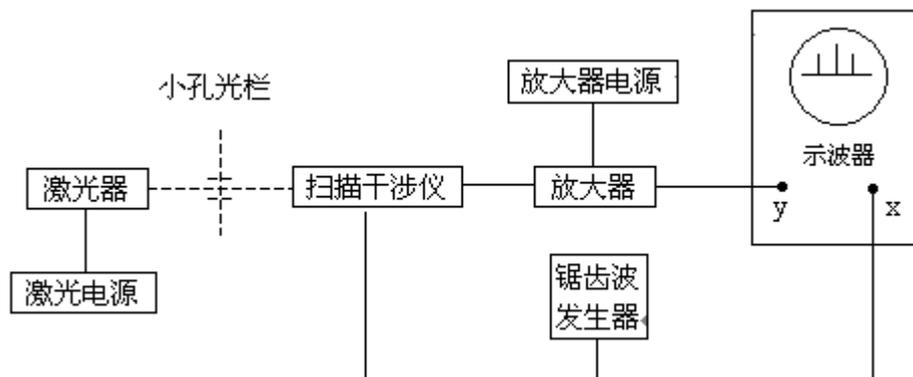


图 5 实验装置示意图

#### 实验装置说明：

- (1) 激光器：  
具有不同模式结构的 He-Ne 激光器，分别了解不同模式状况。
- (2) 激光电源：  
用来激发激光器，把 220V 交流变成几千伏直流高压，电流的大小以说明书给出的最佳电流为准。
- (3) 小孔光栏：  
调光的辅助工具，起正负两方向光束准直作用。
- (4) 扫描干涉仪：  
使激光器里各种不同的模式按频率分开，以便测出有关数据代入公式计算。
- (5) 接收放大器：  
将扫描干涉仪输出的光信号转变成电信号，经放大输入到示波器的 y 轴上。
- (6) 放大器电源：  
给放大器提供工作电压。本实验中已将接收放大器与其电源做成一体。
- (7) 锯齿波发生器：  
为扫描干涉仪上的压电陶瓷提供电压，同时输入到示波器 X 轴上作同步扫描。协助调节改变对腔扫描的电压。
- (8) 示波器：  
用以观察经扫描和放大后激光管的频谱图。

#### 四、实验内容

- 1、半内腔 He-Ne 激光器的谐振腔设计（确定 He-Ne 激光腔的稳定工作区域）
- 2、根据自己的设计，调出激光来，测量功率，记录腔长
- 3、如果 He-Ne 的输出功率可以超过 400 微瓦的话，对 2 中的激光器，进行纵模的观察与测量，推算激光器的腔长
- 4、如果输出功率太小，换用另一个长度固定的 He-Ne 激光器来进行纵模的观察与测量，推算激光器的腔长

#### 五、实验方法提示

##### 1、测量光路调整

- (1) 按实验装置图连接线路，注意检查无误时，才可通电。
- (2) 点燃激光管：注意电源输出的正负极与激光管的正负极一一对应，正负极不要接错（一般黑颜色为负极，红颜色为正极）
- (3) 调整光路：先将激光通过小孔射到干涉仪的小孔里，调节两个螺钉，使反射光点再通过小孔。这说明入射光束和扫描仪的光轴基本重合。
- (4) 接通放大器、锯齿波发生器、示波器、调节示波器使示波器上的频谱图（谱线）尽量清楚，噪声最小。
- (5) 改变锯齿波输出的电压峰值，观察示波器上干涉序数目。

##### 2、测量与计算

- (1) 根据干涉序的个数和频谱的周期，确定哪些模属同一 K 序。
- (2) 根据自由光谱范围的定义，确定其所对应的频率间隔，用  $\Delta\nu_F$  表示。为减小误差，需对 X 轴增幅，测出  $\Delta\nu_F$  对应的标尺长度，计算出两者比值（每厘米代表的频率间隔值）同一个干涉序 K 内，根据纵模定义对照光谱特征，确定纵模个数，并测出纵模频率间隔与理论值比较、检查是否正确。

##### 3、半内腔管的调光方法

###### 用光靶调节

见图 6

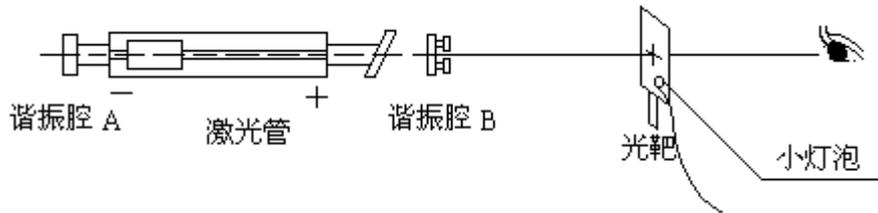


图 6

将氦氖激光管开启，辉光点燃，把光靶小灯泡点亮。此时，光靶的十字叉丝被照亮。在十字叉丝中间有一小孔，眼睛通过小孔，看到激光管的毛细管另一端，被谐振腔 A 反射到眼睛中的一个“小白点”（即眼睛、小孔、毛细管在一条直线上）。除此以外，眼睛同时还看到被谐振腔 B 反射回的光靶的十字叉丝像。此时的十字叉丝像可能在图 7 的某一位置，调节谐振腔 B 架后的两个螺丝，使十字叉丝完全落在小孔的正中间，见图 8。这说明谐振腔（反射镜）与激光管管内的毛细管完全垂直，此时，应马上有激光射出。若谐振腔与毛细管光轴调节的范围大于 $\lambda/4$  就不出激光，还需继续调节谐振腔的两个螺丝，直到谐振腔与毛细管光轴调节范围小于 $\lambda/4$ ，激光才能出来，否则不出光。

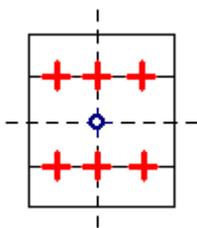


图 7

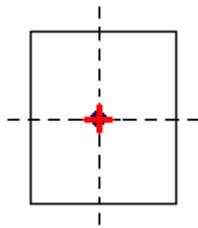


图 8

思考题：

- 1、He-Ne 激光管中的布儒斯特窗有什么作用？
- 2、激光器模式（纵模）的多少与哪些因素有关？

附录：

- 1、天津市拓普仪器有限公司仪器参数：  
内腔式 He-Ne 激光器：R1=1m, R2= $\infty$ , L=250mm；  
共焦球面扫描干涉仪：L=20mm
- 2、大恒新纪元科技股份有限公司仪器参数：  
共焦球面扫描干涉仪：L=20mm

参考文献：

- 1、高以智主编。激光实验选编，电子工业出版社，1988 年 5 月
- 2、天津市拓普仪器有限公司。XGL-3 He-Ne 激光器系列实验使用说明书 V1.0