

双棱镜干涉

采用分波阵面的方法，可以获得相干光源，双棱镜颇具有代表性。虽然在激光出现之后，设法获得相干光源的工作已不如早期那样的重要，但双棱镜干涉在实验构思及装置调整等问题上仍然具有重要意义。

【实验目的】

1. 了解双棱镜干涉装置及光路调整方法；
2. 观察双棱镜干涉现象并用它测量光波波长；
3. 利用 CDD 成像系统观测双棱镜干涉条纹，学习对 CCD 成像系统进行长度单位定标；
4. 学习测微目镜的使用及测量。

【实验原理】

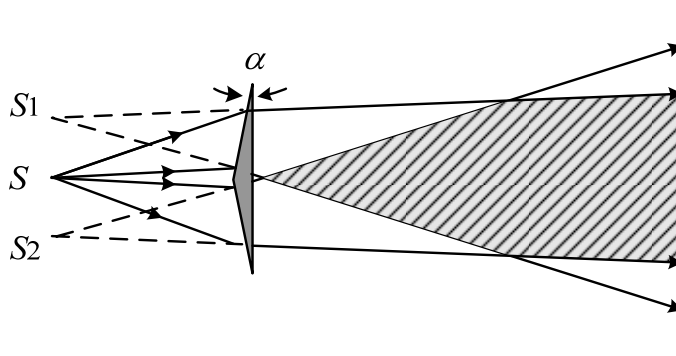


图 1 双棱镜干涉原理图

1. 双棱镜干涉原理

双棱镜可看作是由两个折射棱角 α 很小（小于 1° ）的直角棱镜底边相接而成。借助于双棱镜可使从光源 S 发出的光的波阵面沿两个不同方向传播。相当于虚光源 S_1 及 S_2 发出的两束相干光。在两束光交迭空间的任何位置上将有干涉发生，在该区域内可以接受并观察到干涉条纹。

双棱镜干涉条纹间距的计算方法，与杨氏双缝干涉的计算方法相同。在图 2 中，若 S_1 和 S_2 之间的距离为 d ， S 至观察屏的距离为 D （当用测微目镜代替屏进行观察时，则为 S 至目镜的可动分划板间的距离）， P_0 为屏上与 S_1 及 S_2 等距离的点，在该点处两束光波的光程差也为零，因而两波相互加强而成零级的亮条纹。在 P_0 点的两边还排列着明暗相间的干涉条纹。

设 S_1 和 S_2 到屏上距 P_0 点的距离为 x_k 的 P_k 点的光程差为 δ ，当 $D \gg d$ 、 $D \gg x$ 时，有

$$\delta = \frac{x_k}{D} d \quad (1)$$

根据相干条件，当光程差 δ 满足：

$\delta = \pm 2k(\frac{\lambda}{2})$ 时，即在 $x = \pm \frac{D}{d}k\lambda$ 处 ($k=0, 1, 2 \dots$)，产生亮条纹；

$\delta = \pm(2k-1)(\frac{\lambda}{2})$ 时，即在 $x = \pm \frac{D}{d}(2k-1)$ ($k=1, 2 \dots$)，产生暗条纹。

这样，两相邻亮条纹的距离为

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d} \lambda \quad (2)$$

如果测得 D ， d 及 Δx 便可由 (2) 式求出 λ 值。

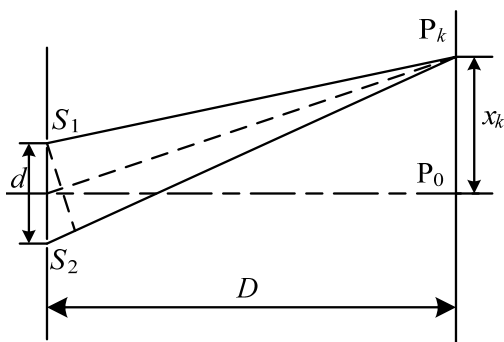


图2 几何关系图

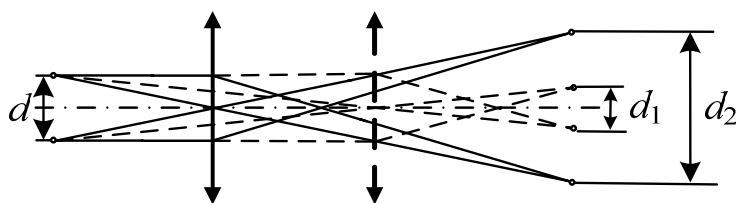


图3 凸透镜共轭法光路

2. 测量两虚光源之间的距离

D 是两虚光源之间的距离，因而不能用直接的比较方法测得，但它们相当于两个发光点，它们之间的距离可用透镜成像的规律进行测量，常用的方法有物距像距法（略）和共轭法。

由图 3 可得， d 为两虚光源之间的距离。如果物屏与像屏的距离 D 保持不变且大于 4 倍透镜焦距，移动辅助透镜，在屏上可获得一大、一小两次清晰的像（两个虚光源的像），分别用 d_1 和 d_2 代表两次成像时两虚光源的间距，则

$$d = \sqrt{d_1 \times d_2} \quad (3)$$

【实验内容】

一. 用 CCD 做为观测工具

(一) 双棱镜干涉

1. 调节

(1) 实验在光具座上进行，各光学元件及仪器可按图 4 放置，按同轴等高的要求调整各元件；

要求：调节激光器至激光光束准直，调整扩束镜至出射光斑准直。

- (2) 利用观察屏，观察干涉条纹，调整棱镜至干涉条纹成垂直状态；
- (3) 缓慢调节观察屏与双棱镜间的距离，观察干涉条纹疏密程度的变化，找出变化规律，并加以解释。
- (4) 借助辅助透镜，利用透镜共轭法成像原理，使两虚光源在 CCD 上能成两次像（保证扩束镜和双棱镜位置与拍摄干涉条纹时位置不变，why?）；

要求：两次成像要清晰。如果光太强请考虑如何减小光强至拍摄到最佳的图像。

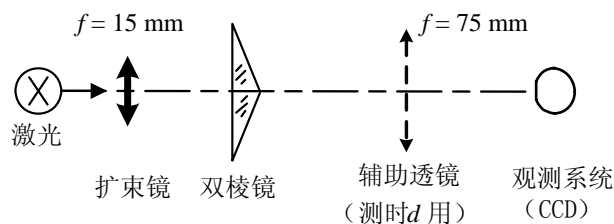


图 4 用激光为光源的双棱镜干涉光路

提醒：如果光路调整时不能用呈两次像从而不能用共轭法测定 d 时，请选用物距像距法测量 d 。由于辅助透镜为一组透镜组，测量前请先给出该透镜的光心，要求给出光路图和计算公式。

2. 测量

- (1) 用 CCD 代替观察屏，调整双棱镜和 CCD 之间的距离，至显示屏上能观察到清晰、垂直的干涉条纹，拍摄此条纹并保存为 bmp 格式；
- (2) 利用测量软件测量出干涉条纹间的间距（像素），测量三次；
- (3) 记录此时扩束镜及 CCD 的所在位置，同时记录实验室提供各元件偏离轴心的修正值；
- (4) 利用透镜共轭法成像原理，使两虚光源在 CCD 上能成两次清晰像，拍摄该清晰像，保存格式为 bmp。
- (5) 利用测量软件测量出两虚光源像之间的距离（像素），测量三次；

(二) 定标

利用软件所测的实验数据，其长度单位都为像素，在实际运用中需将像元换算成 mm 单位。因此须通过定标求出 1mm 所对应的像素；

1. 利用透镜共轭成像原理测量定标系数 k （像素/mm）；
2. 采用钠灯为光源，定标尺为一玻璃质地的毫米尺；
3. 实验过程中保证 CCD 与定标尺间距不变，仔细调节辅助透镜至显示器上能呈现出两次清晰的标尺像；
4. 利用软件测出两次标尺像宽度。根据透镜共轭成像原理狭缝实际缝宽，计算出 1mm 所对应的像素的平均值（狭缝像应取上、中和下三个部位取值）。
5. 利用公式（2）计算出激光的波长。

一. 用测微目镜做为观测工具

(一) 双棱镜干涉

1. 调节

- (1) 实验在光具座上进行，各光学元件及仪器可按图 5 放置。利用观察屏，按同轴等高的要求调整各元件；

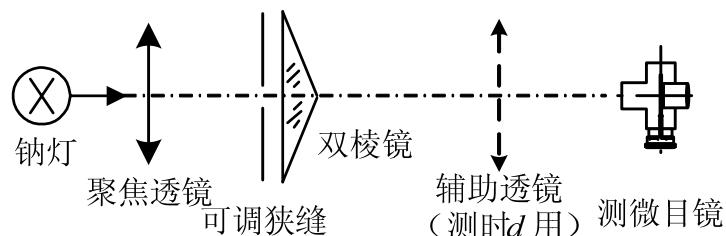


图 5 用钠灯为光源的双棱镜干涉光路

要求：移动聚焦透镜，使光汇聚于狭缝上以获得较强的入射光。

- (2) 调整狭缝目测至垂直状态，调节缝宽约 1-2 mm，并使狭缝中心处于光路的光轴上。
- (3) 利用观察屏，根据大像追小像的原理将辅助透镜与狭缝调整至同轴等高；
- (3) 调节测微目镜的目镜至十字叉丝清晰；
- (4) 仔细调节可调狭缝的缝宽和狭缝的倾角直至通过测微目镜能看到 20 条左右清晰的干涉条纹；
- (5) 缓慢调节测微目镜与双棱镜间的距离，观察干涉条纹疏密程度的变化，找出变化规律，并加以解释。
- (6) 用观察屏代替测微目镜，借助辅助透镜，根据透镜共轭法成像原理，仔细调节辅助透镜至在观察屏上能看到两次狭缝像；
- (7) 用测微目镜取代观察屏，调节辅助透镜至在测微目镜的视场里能看到两次狭缝像。

2. 测量

- (1) 调节测微目镜与双棱镜间的距离至通过测微目镜能看到约 20 条清晰的干涉条纹；
- (2) 逐条测量干涉条纹的位置，利用 Origin，求干涉条纹的间距 Δx （测量过程注意空回误差的存在）；
- (3) 记录此时棱镜及测微目镜的所在位置，同时记录实验室提供各元件偏离轴心的修正值（已经标注在各元件上）；
- (4) 测量两虚光源之间的距离 d （保证狭缝和双棱镜距离不变，why?）。要求大像、小像分别测量三次；
- (5) 利用公式（2）计算出钠灯的波长。

【实验仪器】

Ne-Na 激光器（波长：632.8nm）、钠光（波长：589.3nm）、双棱镜、扩束镜（ $f=15\text{ mm}$ ）、透镜（ $f=75\text{ mm}$ ）、聚焦透镜（ $f=80、100\text{ mm}$ ）、CCD 摄像头、狭缝板、可调狭缝、测微目镜和观察屏等。

【注意事项】

1. 不可直接用手触摸光学元件，可用专用清洁用品；
2. 激光在没有扩束前，眼睛不得直视，以免损伤眼睛；

3. 实验开始前, 请仔细阅读实验室提供的微机使用方法。

【思考题】

1. 由于辅助透镜为一组透镜组, 测量前请先给出该透镜的光心, 要求给出光路图和计算公式。
2. 实验过程中, 你是如何判断虚光源的, 为什么?
3. 利用测微目镜进行测量时你准备如何避免空回误差?
4. 利用激光为光源时, 光源的确切位置在何处? 你是如何测量 D 的? 请给出光路图?
5. 若实验时光源改成白炽灯, 将会看到怎样的干涉条纹? 请分析。

【附录】 测微目镜的使用

测微目镜是一种用来精确测量测定光学系统中实像上的微小线度的光学附件。由目镜、可动分划板与读数鼓轮连接的装置组成。

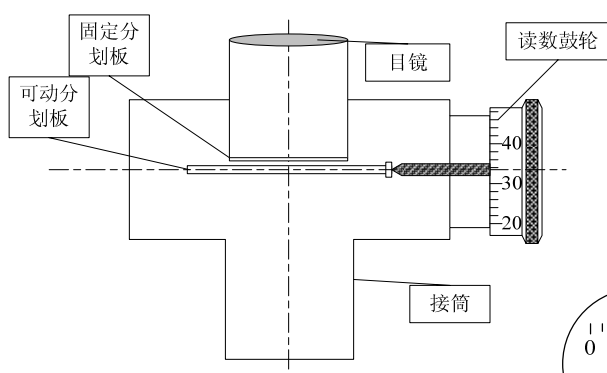
测微目镜附有测微螺旋装置, 其测量范围为 $0 \sim 8 \text{ mm}$, 刻度精度为 0.01 mm , 外形及视场如附图所示。通过连接套筒和固定螺丝, 可将 MCU-15 型测微目镜方便地固定在通用的显微镜或望远镜的目镜筒上, 以代替一般的目镜。

由附图 20 可看出, 刻有十字叉丝和测量准线(双线)的可动分划板通过旋转读数鼓轮可以左右移动, 刻有毫米标度的固定分划板可作为观测像或干涉条纹的接受屏, 而目镜的作用是放大被观测的像(毫米标尺和准线随同放大)。

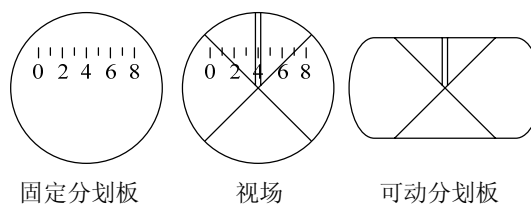
读数鼓轮每旋转一周, 准线和叉丝交点移动 1 mm , 鼓轮上有 100 各分格, 故每一分格对应准线移动 0.01 mm (可估读至 0.001 mm), 准线和叉丝交点位置的毫米数由固定分划板上读出, 毫米以下的位数由测微鼓轮读出。读数方式与螺旋测微仪同。

由于鼓轮的丝杆螺纹与螺母之间存在间隙, 而读数又在鼓轮上进行, 所以在每次测量过程中, 螺旋应向同一方向旋转, 不得中途反向, 以避免空回误差。此外, 被测物的线度方向必须刻度方向平行, 否则也会引入系统误差。

使用时, 应先调节目镜, 看清叉丝, 然后转动鼓轮, 使叉丝的交点或双线与被测的像重合, 便可得到一个读数, 转动鼓轮, 使叉丝的交点或刻线移到被测物象的另一端, 又可得到一个读数, 两个读数之差, 即为被测物的长度。



附图 1 测微目镜结构



附图 2 视场