

# 应用光学中几种光路调整的方法

明海\* 陈岩松 谢建平

(中国科学院物理研究所)

**提要:** 本文利用散斑、太保、莫尔条纹等效应,提出了几种调整相干光信息处理系统中焦点的位置、光束准直及光学元件位置的方法。

## Several methods for adjusting optical systems in applied optics

Ming Hai Chen Yansong Xie Jianpin

(Institute of Physics, Academia Sinica)

**Abstract:** In this paper we present several methods which use the speckle, Talbot and Moire effects to adjust the position of focus, the collimation of beams and the position of optical elements in the coherent optical information processing system.

在现代光学实验中,尤其是在光学信息处理实验中如何精确地调节准直光路、焦点和焦平面以及光学元件的空间位置是一个十分重要的技术问题。本文试图从相干光产生的散斑现象、太保效应以及莫尔条纹等效应,提出几种光路调整的方法。这些方法在一些光学实验中<sup>[1,2]</sup>的应用情况表明它们是切实可行的。

### 一、焦点位置的确定

图1是典型的相干光信息处理系统的光路。其中点光源 $S$ 、输入片 $P_1$ 、空间滤波器

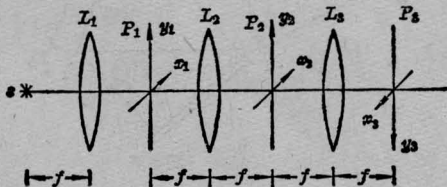


图1 相干光处理系统光路

$P_2$ 和输出面 $P_3$ 都分别位于透镜 $L_1$ 的前焦点,  $L_2$ 和 $L_3$ 的前后焦平面上。因而遇到了确定一系列的焦点(或焦平面)的空间位置问题。由于焦点附近光强耀眼,最小光斑位置往往很难直接用眼睛判定。若要拍摄准确的频谱,以提高空间滤波和特征识别等的质量,就要较准确地确定透镜的焦平面。

激光散斑效应可用来确定透镜的焦点位置。用激光束照明表面粗糙的物体(如毛玻璃),从物体散射的光在空间形成散斑分布。散斑的平均横向直径 $\phi$ 与观察距离 $d$ 和毛玻璃上的照明区孔径 $D$ 有下列关系:

$$\phi \approx 1.22 \frac{d}{D} \lambda$$

这里 $\lambda$ 为激光束波长。当透镜将准直的相干光束会聚并照射到毛玻璃上时,毛玻璃越接近透镜的焦点,照明区域 $D$ 越小,散斑尺寸

收稿示日期:1980年11月21日。

\* 中国科技大学。

就越大。因此焦点的空间位置是可以通过观察散斑来确定的。图 2 是这一过程的原理光路。首先将毛玻璃置于焦点附近，再细调毛玻璃相对透镜的距离，当观察屏上出现的散斑最大时，毛玻璃的毛面就是透镜的焦点位置。假设移动毛玻璃时，人眼可观察到散斑的最小变化量为  $\Delta\phi$ ，则相应的照明孔径变化量为  $\Delta D \sim \frac{\Delta\phi D^2}{1.22 d\lambda}$ 。所以在几何光学近似下用此法确定焦点位置的精度近似为：

$$\Delta l \approx \frac{\Delta\phi D^2 f}{1.22 d\lambda D_L}$$

式中  $f$ 、 $D_L$  分别为透镜的焦距和孔径。例如取  $\lambda = 6328$  埃， $D_L/f = 1:4.5$ ， $D = 0.1$  毫米，

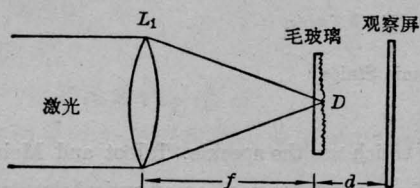


图 2 用激光散斑法确定透镜的焦点位置

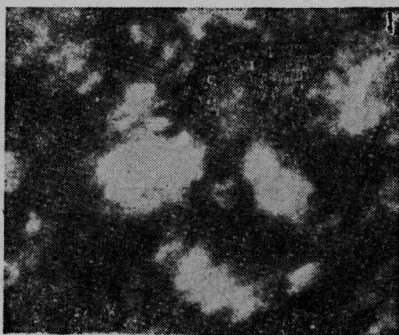


图 3 毛玻璃处于透镜( $D/f=1:4.5$ )焦点处产生的散斑

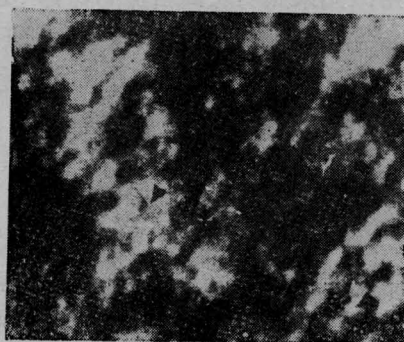


图 4 毛玻璃处于透镜( $D/f=1:4.5$ )焦后 100 微米处产生的散斑

$\Delta\phi = 0.5$  毫米， $d = 500$  毫米，则  $\Delta l = 55$  微米。在毛面的凹凸的平均深度可以忽略时，上述近似是很好的。

图 3 和图 4 分别是上述情况的焦点和焦后 100 微米位置上毛玻璃的散斑照片，显然两图的差别是显著的，图 3 的散斑大于图 4。

## 二、准直光束的调整

在相干光系统中(图 1)，平行光束的准直度直接影响光学处理的精度。平面全息光栅、全息透镜等光学元件的研制工作对平行光的质量要求是相当高的。通常简易调节平行光束的方法是用一带标尺的观察屏在光路中前后移动，使观察屏上的光斑直径在移动过程中保持不变。这种方法的精度随观察屏前后移动距离的增加而提高。但由于观察屏与光束位置的正交程度以及视差等，往往精度是不高的。

另一种是采用平行平晶干涉的方法(图 5)。从透镜  $L_1$  出射的平行光束，照射到平晶前后表面  $P_1$  和  $P_2$ ，由  $P_1$  和  $P_2$  反射的光束因干涉在观察屏上形成平行干涉条纹。条纹间距近似为  $d \approx \frac{\lambda}{\sin(2n\theta)}$ ，式中的  $n$  为平晶材料的折射率，由于平行平晶前后面的倾角很小，所以  $d$  一般较大，可以直接用眼睛观察。干涉条纹的平直程度决定于平行光束的准直度。可是，平晶的两表面的平面度和平晶材料折射率的均匀性也要影响干涉条纹的平直程度。因此这种方法的精度受平晶质量

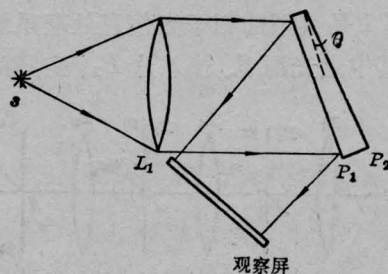


图 5 用平晶监测平行光束准直度

的影响很大。图6是用一块质量不高的平晶得到的准直光束的干涉条纹。

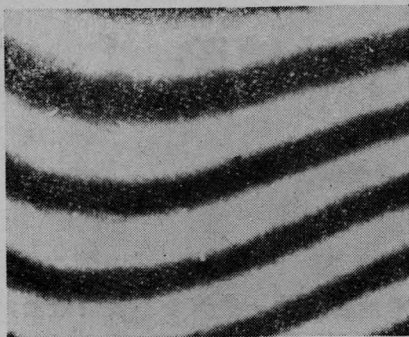


图6 平晶前后反射形成的干涉条纹在较稀时的情况

激光散斑效应也可用来监测和调节平行光束(图7)。首先将透镜 $L_2$ 和一块毛玻璃按图2光路调整好焦点位置,放入图7的光路中。然后调整光源 $S$ 和透镜 $L_1$ 的相对位置,当观察屏上的散斑变得最大时,透镜 $L_1$ 出射的光束就为平行光束。调节精度决定于调焦精度。如果以上节情况为例,让 $f=240$ 毫米,  $D_L/f = \frac{1}{4.5}$ , 则平行光的准直精度为:

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \frac{\Delta D}{f} = \frac{D_L \Delta l}{f^2} \\ &= \frac{1}{4.5} \frac{0.055}{240} \approx 0.05 \text{ 毫弧度} \end{aligned}$$

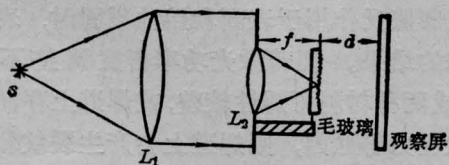


图7 用激光散斑法调节平行光

### 三、多平面同轴光学系统的调整

在调节多平面同轴的光路系统时,一般借助于机械轨道、经纬仪和可调焦平行光管来进行,但是常常还遇到这样一类光路:既要调节仪器和实验光轴重合,又要使两个有一定间距的平面上二维坐标取向平行。在

walsh 变换实验中我们利用光栅自成像现象——太保效应<sup>[3]</sup>和莫尔效应,来监视调节整个光路系统。原理简述如下。

图8是两平面光学系统。在 $x_0$ 平面上放置一正弦光栅,其振幅透过率为

$$u_0(x) = 1 + A \cos(2\pi\nu_0 x),$$

光栅后 $z$ 处的光分布为:

$$\begin{aligned} u(x, z) &= e^{ikz} + A \cos(2\pi\nu_0 x) e^{ikz\sqrt{1-(\lambda\nu_0)^2}} \\ &= e^{ikz} [1 + A \cos(2\pi\nu_0 x) e^{ikz(\sqrt{1-(\lambda\nu_0)^2}-1)}] \end{aligned}$$

为了出现光栅自成像,必须使

$$kz_T(\sqrt{1-(\lambda\nu_0)^2}-1) = 2\pi m.$$

在 $(\lambda\nu_0)^2 \ll 1$ 的情况下,有 $z_T \approx m \frac{2d^2}{\lambda}$ 。因此在 $\frac{2d^2}{\lambda}$ 整数倍的距离上就出现光栅自成像。

在这样的位置放置完全相同的光栅,若它和 $x_0$ 平面上光栅的自成像不平行,则出现莫尔条纹,转动第二个光栅使莫尔条纹消失,可使两光栅取向平行。若采用两个黑白条形光栅也同样可以做到这点。如果周期为 $d=0.1$ 毫米的两光栅沿条纹方向长度为 $l=40$ 毫米,两平面取向调整精度可达 $\frac{d}{l} \leq 2.5$ 毫弧度。

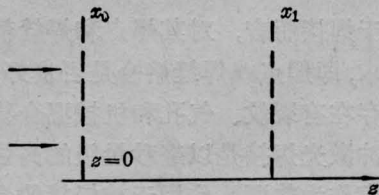


图8 太保效应光路示意图

同样,用两个相同的环形振幅光栅也能调整光路系统的同轴性。这种环形振幅光栅的振幅透过率为<sup>[3]</sup>:

$$G(r) = \begin{cases} \sum_{(m)} C_m \exp(2\pi i m r / d) & 4d \leq r \leq A \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

其中 $C_m = 2 \text{sinc } m\alpha$ ,  $d$ 为光栅周期,  $r$ 是光栅的径向位置,  $\alpha d$ 为一个周期中的透光区域。光栅后 $z$ 处的光分布由菲涅尔积分给出:

(下转第64页)



及能量有关。小功率连续气体激光器主要作用机理是热效应。1975年我们用 He-Ne 激光照射家兔皮肤,照射部位镜检示组织明显水肿,血管扩张充血。本实验却为软骨化生,这可能由于心肌的特性(如传导性,细胞内钾离子浓度远远大于细胞外),因而反应不同,或因其他效应,慢性刺激致使部分心肌软骨化生等改变。

本实验表明 He-Ne 激光照射兔鼠心前区,心肌

可发生形态改变,说明对心脏有影响,我们认为,激光如同针刺一样,不宜直接照射心前区。当然激光照射其他部位穴位仍可治疗心肌供血不足。

(三机部第六一三研究所门诊部 王成轻

陈文海 胡文美 张玉兰 田灿军

王英臣 田秋泉 包红霞 李存彩

洛阳市第二人民医院 徐攀珠

洛阳市妇幼保健院 刘淑琴)

## 广州地区激光工作者眼部普查报告

广州地区常用的激光有氦-氖、二氧化碳、红宝石、氩离子、钕玻璃、氮分子等,这些激光对眼晶体到底有否损害,我们从预防的观点出发,对广州地区激光工作者进行眼部普查,共查了140例,280只眼。另对非激光工作者未扩瞳验光(个别作眼底检查)作晶体详细检查,共32例,61只眼,以作对照。

### 检查方法

检查前先测视力,后用1%新福林滴眼三次,如扩瞳不理想,加滴2%后马托品1~2次。对照组滴2%后马托品3次,必要时加滴1%阿托品。瞳孔充分扩大后,用裂隙灯检查晶体,发现混浊则绘图并文字说明其形态及位置,凡有一小点混浊均列入白内障统计内。

### 检查结果

共检查140例(男61例,女79例,年龄20~40岁90例,40~60岁50例)280只眼。其中晶体混浊有122只眼(占43.5%),无混浊158只眼(占56.5%)。其中接触激光时间5~15年的25例50只眼中,无晶体混浊28只眼(56%),有晶体混浊22只眼(44%),其中2只眼(接触激光15年)疑与激光有关外,其余均呈先天性与老年性混浊形态,接触9~10年激光也不见有晶体混浊。以上说明激光引起晶体混浊的机会较少。

(广州医学院附院眼科 冯宗榴 朱庆尧

激光室 朱健)

(上接第37页)

$$u(rz) \sim \frac{2\pi}{\lambda z} \int_{40}^A G(r') e^{i\frac{\pi}{\lambda z}(r^2+r'^2)} \times J_0(2\pi r r' / \lambda z) r' dr$$

为了数学的方便,忽略光栅中心的四个周期,贝塞尔函数可进行渐近展开,即用cos函数来近似:

$$r' J_0(2\pi r r' / \lambda z) \sim \left(\frac{2r'}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left\{ e^{i\pi(2rr'/\lambda z - \frac{1}{4})} + e^{-i\pi(2rr'/\lambda z - \frac{1}{4})} \right\}$$

因此上式积分后得到:

$$u(rz) \approx \sum_m C_m e^{-i\pi\lambda z(m/d)^2} e^{i2\pi m r/d}$$

由于矩形振幅光栅,傅里叶系数随  $\frac{1}{m}$  下降,

所以自成象中基频分量最重要。对于基频分量 ( $m=1$ ),自成象在  $z_T = \frac{2nd^2}{\lambda}$ ,这也恰好是其它高频分量自成象距离的整数倍上。在这些位置上放置一个与前者相同的环形光栅,如果两者不同轴,则将出现双曲线形的莫尔条纹。因此,调整到莫尔条纹消失之时,两平面就同轴了。

### 参 考 文 献

- [1] 陈岩松等;《物理学报》,1980,29, No. 10, 1307.
- [2] 陈岩松等;《物理》,1980,9, No. 5, 414.
- [3] D. E. Silva; *Appl. Opt.*, 1972, 11, No. 11, 2613.