

# 大口径光学系统高精度对心方法的研究

叶 露

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 介绍一种大口径光学系统各分立元件的对心方法, 它利用干涉的原理, 对心精度可达  $1\mu\text{m}$ 。

**关键词** 干涉 偏振 定心

## 1 引 言

光学系统各分立元件的对心质量直接关系到整个系统的最终成像质量, 因此对心问题一直是高质量光学系统需要解决的问题, 对心工作的研究也一直受到国内外光学工作者的重视。目前采用的目视法, 对心精度为  $10\mu\text{m}$ , 据文献报道国外的一种方法对心精度可达  $1\mu\text{m}$ , 但未查到关于其原理的说明或专著, 为此, 我们研制了一台定心干涉仪, 它的对心精度可达  $1\mu\text{m}$ , 比目视法提高一个数量级, 可用于大口径光学系统的对心工作。它利用被检镜面边缘附近的小区域做参考面。因此即可以用于球面系统的对心也可以用于非球面系统的对心工作。

## 2 干涉法对心的基本原理

用目视法进行对心, 也就是用准直望远镜进行目视观察, 其精度受到诸多因素的限制, 一般在  $10\mu\text{m}$  左右, 若想使对心精度再提高一个数量级, 用目视法极难做到, 为此我们考虑用干涉法进行对心并制造了定心干涉仪, 其基本原理如图 1 所示。

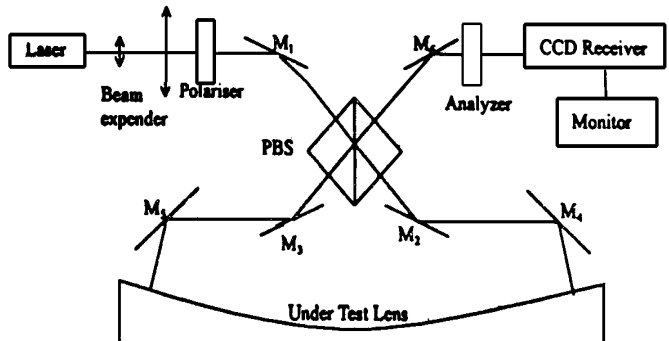


Fig 1 Optical principle of alignment device

光源发出的光,经扩束器、起偏器,再经反射镜 $M_1$ 反射,入射到偏振分束棱镜上,在偏振分束棱镜的分光面处反射,另一部光透射,反射光束 I 经反射镜 $M_3$ , $\lambda/4$ 波片,再调整反射镜 $M_5$ 使光线垂直入射到被检镜面上,并按原路返回,在偏振分束棱镜处发生透射,同样,透射光束 II 经反射镜 $M_2$ , $\lambda/4$ 波片,再调整反射镜 $M_4$ ,使光线垂直入射到被检镜面上,并按原路返回在偏振分光棱镜处发生反射,也就是说 I、II 两束光又合并成一条光束并发生干涉。

经 CCD 接收器,在显示屏上可以观察到干涉条纹,如果 I、II 的光程差发生变化,干涉条纹则产生移动,通过数学计算,也可以得到光程差与被检镜移动量及干涉条纹移动数三者之间的关系。

如图:  $O_1O_2$  为被检镜移动前后中心的两位置,被检镜曲率半径为  $R$ ,入射到被检镜上的两光点距离为  $L$ , $X$  为一束光在被检镜移动前后单程的光程差,对两束光总的光程差为  $4X$ 。设  $O_1O_2 = \Delta$  (即偏心量)根据余弦定理:

$$(R + X)^2 = R^2 + \Delta^2 - 2RC(90^\circ + \alpha)$$

$$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin\alpha = -\frac{L}{2R}$$

忽略  $\Delta^2$

$$(R + X)^2 = R^2 + L\Delta$$

$$\Delta = \frac{[(R + X)^2 - R^2]}{L} = \frac{2RX}{L}$$

光程差的变化量与干涉条纹的移动数  $N$  有如下关系

$$4X = N\lambda \quad X = N\lambda/4$$

$$\Delta = RN\lambda/(2L)$$

通过这一关系式即可计算偏心量的大小。

### 3 实际测量过程

有了定心干涉仪,在实际对心量过程中,还需有一精密转台,定心干涉仪置于转台正上方的龙门架上,首先调整被检镜的框架,使之基本与精密转台同轴,将被检镜置于框架中,调整定心干涉仪中的反射镜 $M_4$ 、 $M_7$ 使光线垂直入射到被检镜边缘附近,并按原路返回,在观察屏上观察到干涉条纹,转动精密转台,观察干涉条纹变化。

(一) 若干涉条纹不发生移动,则说明被检镜中心与转台中心很好地重合,不需要再调整。

(二) 若干涉条纹发生移动,则需根据条纹移动情况作具体分析,如图: 设  $O$  点为转台中心,  $A_1$ 、 $A_2$  为两光束的入射点,  $O$  为被检镜中心处任意位置。当转台顺时针转动时,  $O$  点向远离  $A_2$  接近  $A_1$  的方向变化,条纹向一方移

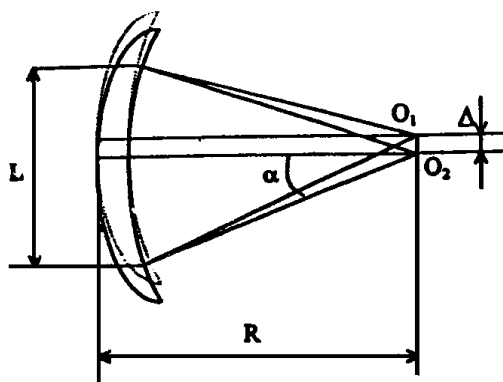


Fig 2 Geometry matter of  $\Delta$  and  $N$

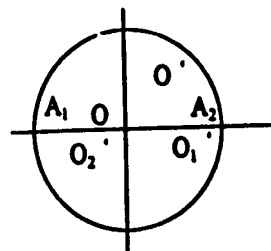


Fig 3 Measuring process sketch map

动,当转至与 $A_1OA_2$ 共线时,即 $O_1$ 点时,存在极值点,继续转动 $O$ 将远离 $A_1$ 而接近 $A_2$ 点,此时条纹移动方向将发生改变向反方向移动,开始记录条纹数,直到转至 $O_2$ 点时条纹又将改变移动方向,按此时记录下的条纹数 $N$ ,通过公式可计算出 $O_1O_2$ 的距离,其一半即为被检镜中心偏离转台中心的距离,按两光束的方向调整 $O_1O_2$ 的位移,即可将被检镜中心移至转台中心上,按此过程反复调整,直至条纹不再移动,各分立元件按此过程依次调整,全部调至与转台中心重合,那么各分立元件的中心都调到转台的轴线上,从而达到对心的目的。完成对心的工作。

## 4 实验结果

为了验证这一方法的正确性,我们做了一简易的实验装置。用一平移的导轨代替精密转台,导轨移动距离可以从测微计上读出来,导轨的移动距离即为被检镜的偏移量 $\Delta$ ,测微计的精度为 $1\mu\text{m}$ ,测量结果见表 1

Table 1 Measuring date

N	$\Delta$					mean $\Delta$
10	0.0215	0.0210	0.0210	0.0205	0.0215	0.0211
15	0.0315	0.0320	0.0325	0.0320	0.0320	0.0320
20	0.0450	0.0455	0.0445	0.0445	0.0455	0.0450

$$L = 183\text{mm} \quad \lambda = 632.8\text{nm} \quad R = 1200\text{mm}$$

按  $\Delta = RN\lambda/(2L)$  计算,  $N = 10; \Delta = 0.0207; N = 15; \Delta = 0.0311, N = 20; \Delta = 0.0415$

理论计算与实际测量的误差分别为  $0.3\mu\text{m}, 0.9\mu\text{m}, 3.5\mu\text{m}$ , 实验受导轨精度的影响, 移动距离越长, 测量精度越低。

## 5 精度分析

按式  $\Delta = NR\lambda/(2L)$ , 对心的精度取决于对条纹移动数目的判读, 在监视屏人眼可以很精确地判读出一个条纹的移动, 也可以大致判断出  $1/3$  条纹的移动, 取  $N = 1/3$  按上述实验的条件,  $\lambda = 632.8\mu\text{m}, R = 1200\text{mm} \quad L = 183\text{mm}, \Delta = 0.69\mu\text{m}$ , 由上式可看出,  $\Delta$  除与  $N$  有关外, 还与  $R/L$  的比值有关, 在  $R$  一定的情况下, 尽可能将  $L$  取大些, 也就是使两光束尽可能打在被检镜的边缘有效范围内, 可以使测量精度有所提高。

### 参 考 文 献

- 1 Betz H D. An asymmetry method for high precision alignment with laser light. *Applied Optics*, 8(5): 1007~1013
- 2 Steel M R. Method for azimuthal alignment in ellipsometry. *Applied Optics*, 1971, 10(10): 2370~ 2371
- 3 Zeidler J R et al. High precision alignment procedure for an ellipsometer. *Applied Optics*, 1974, 13(5): 1115 ~ 1120

## Method for High Precision Alignment of Larger Aperture Optical System

YE L u

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

### Abstract

In this paper, we introduce a centering method of optical system alignment. It uses interference principle, the centering precision is  $1\mu\text{m}$ .

**Key words:** Interference, Polarization, Alignment

叶 露 女, 1986年毕业于光机学院光学仪器专业, 1992年获硕士学位。