

非等臂Twyman干涉仪准直物镜 的系统误差*

向才新 向阳

摘要: 用波面变形传播观点讨论了非等臂 Twyman 干涉仪中准直物镜的系统误差。准直物镜造成的系统误差与干涉仪两光臂平均光程长度的差、以及准直物镜波面像差的平方成正比。

六十年代以来,由于使用激光源,出现了多种形式的非等臂 Twyman 干涉仪^{[1], [2]}。但对非等臂 Twyman 干涉仪准直物镜引起的系统误差,还没有人讨论过。下面,首先写出一般双光束干涉方程,并指出其缺点,然后,根据波面变形传播观点^[3]来讨论非等臂 Twyman 干涉仪准直物镜引起的系统误差。

按照通常观点,非等臂 Twyman 干涉仪的干涉方程可以用普通的双光束干涉方程表示为^[4]:

$$I = I_R + I_I + k_1 \{ k_2 + k[W_R - W_I] \} \quad (1)$$

(1) 式中, I_R 、 I_I 和 W_R 、 W_I 分别为参考、检测光波的光强和波像差, k_1 、 k_2 为常数, $k_2 = 2\pi/\lambda$, λ 为波长。

设非等臂 Twyman 干涉仪准直物镜的波像差为 $W_{物}$; 检测光束通过分束板和被测件的波像差分别为 $W_{I.S}$ 和 $W_{I..}$ 。参考光束通过分束板和参考面的波像差分别为 $W_{R.S}$ 和 $W_{R.R}$ 。则 W 可表写为:

$$W_R = W_{物} + W_{R.S} + W_{R.R} \quad (2)$$

$$W_I = W_{物} + W_{I.S} + W_{I..} \quad (3)$$

代(2)、(3)式于(1)式,得:

$$I = I_R + I_I + k_1 \{ k_2 + k[(W_{R.S} + W_{R.R}) - (W_{I.S} + W_{I..})] \} \quad (4)$$

(4) 式中,表征干涉花样的光程差项 $k[(W_{R.S} + W_{R.R}) - (W_{I.S} + W_{I..})]$ 中不包含准直物镜的波面像差 $W_{物}$, 即准直物镜的像差对干涉条纹的形像无影响。实验证明,一般来说,这是不正确的。从下面简单的形像说明,很容易看清这一点。如图1。

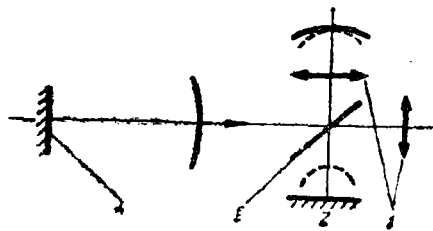


图1 非等臂 Twyman 干涉仪中波面变形传播示意图

虚线—参考波面 实线—检测波面

1—准直物镜 2—参考平面 3—分束板 4—被测平面

* 本文曾在中国光学学会1985年年会上宣读

这里仅讨论准直物镜像差的影响。为简单计，设由于准直物镜有像差，来自准直物镜的波面不是平面波，而是球面波。由于参考与检测两光程不相同，两波面的传播距离不相同，则其干涉花样相当于两不同曲率半径的球面波相干，出现同心圆或非等距的“直”干涉条纹，由此，显现出准直物镜像差的影响。除非，参考与检测两光程相等，因而，两相干波的曲率也相同，这时两相干波间的程差处处为零或某一常数，干涉条纹宽度为无限大或等距直条纹，准直物镜的像差无影响。

上述现象，用《波面变形传播》理论，是很容易解释的。Kingslake^[3]和我们^[5]曾经指出：没有考虑到波面变形传播影响的干涉花样的描述和双光束干涉方程，都是不严格的，往往会得到错误的结论。（4）式的不精确性就来源于此。下面，我们按照波面变形传播理论来修正（4）式。然后，根据修正了的（4）式，来讨论非等臂Twyman干涉仪准直物镜引起的系统误差。根据文献^[5]，按照波面变形传播理论，（4）式的修正式如下：

$$I' = I_R + I_t + k_1 \left\{ k_2 + \frac{k}{2} (L_R - L_t) \cdot \left(\frac{\partial W_{物}}{\partial \rho_{物}} \right)^2 + k[(W_{R.S} + W_{R.R}) - (W_{t.S} + W_{t.t})] \right\} \quad (5)$$

当 $W_{物}$ 为初级像差 $\sum_{n=2}^4 W_{物_n}$ 或初级球差 $W_{物_4}$ 时，（5）式变为：

$$I_{初} = I_R + I_t + k_1 \left\{ k_2 + \frac{k}{2} (L_R - L_t) \cdot \left(\frac{\sum_{n=2}^4 n \cdot W_{物_n}}{\rho_{物}} \right)^2 + k[(W_{R.S} + W_{R.R}) - (W_{t.S} + W_{t.t})] \right\} \quad (6)$$

$$I_{初球} = I_R + I_t + k_1 \left\{ k_2 + 8k(L_R - L_t) \left(\frac{W_{物_4}}{\rho_{物}} \right)^2 + k[(W_{R.S} + W_{R.R}) - (W_{t.S} + W_{t.t})] \right\} \quad (7)$$

（5）、（6）、（7）式中， $\rho_{物}$ 为 $W_{物}$ 在干涉仪准直物镜出瞳面处的光线高度， L_R 、 L_t 为 $W_{物}$ 经参考面或检测件后，至对焦面处的距离。

（5）、（6）、（7）式中中括号中的第二项，即为干涉仪准直物镜像差所衍生的系统误差。又考虑到，不论对焦面在何处， $L = (L_R - L_t)/2$ 是Twyman干涉仪两光臂平均光程长度的差。于是，非等臂Twyman干涉仪准直物镜像差所衍生的系统误差为：

$$W = L \left(\sum_{n=2}^4 n \cdot W_{物_n} / \rho_{物} \right)^2 \quad (8)$$

$$= 16L (W_{物_4} / \rho_{物})^2 \quad (9)$$

（8）、（9）式表明^[1]：干涉仪准直物镜衍生的系统误差与两光臂平均长度的差 L 成正比，与准直物镜的波面像差的平方成正比。比如，要求非等臂Twyman干涉仪的系统误差 $W < \lambda/20$ ，当 $L = 100\text{mm}$ 时，则必须 $W_{物_4} < \lambda/4$ ；时 $L = 3000\text{mm}$ 时，则必须 $W_{物_4} < \lambda/20$ 。这一重要性质，必须予以充分注意^[2]；对于“等臂”Twyman干涉仪， $L = 0$ 、对于有限量的 $W_{物_4}$ ，比如： $W_{物_4} = 1 \sim 2\lambda$ ，总有 $W = 0$ 。即“等臂”Twyman干涉仪准直物镜可以容许有较大的波面像差。由此可见，一般要求非等臂Twyman干涉仪准直物镜的波像差，比之“等臂”的要小很多。

(8)、(9)式与Biddles等人根据光程计算所推导的Fizeau干涉仪准直物镜系统误差的表示式^[6]相类似。对于后者, L 为Fizeau干涉仪准直物镜至被测件两者的间距。

参 考 文 献

- [1] J.B.Houston et al., App.Opt., 6, 7(1967), 1237.
- [2] D.G.Kocher, App.Opt., 11, 8(1972), 1872.
- [3] R.Kingslake, Trans.Opt.Soc., 28, 1(1926—27)1. D.Malacara, «Optical shop testing», (John Wiley and Sons, 1978), 67.
- [4] W.H.Steel, «Progress in Optics», 5, (John Wiley and Sons, Inc—New York, 1966), 157.
- [5] 向才新, 光学机械, 3(1979), 1.
- [6] B.J.Biddles, A non—contacting interferometer for testing steeply curved surfaces, 16, 2(1969), 137

The System Error of the Collimating Lens in Unequal-path Twyman Interferometer

Xiang Caixin Xiang Yang

Abstract

We discuss the system error of the collimating lens in the unequal-path Twyman interferometer from the point of view of the wavefront deformed travel. The system error of the collimating lens is proportional to the difference between the two optical arm—lengths in the interferometer and to the square of the wave aberration of the collimating lens.