

单平板剪切干涉仪中的自补偿作用

沃敏政 路敦武 李庆熊 王能鹤
(上海光学精密机械研究所)

提 要

在单平板剪切干涉仪中, 平板的劈角都被看作是测量误差的来源之一。本文指出了单平板剪切干涉仪中的一个新的效应——自补偿作用。这样, 劈角不仅不是测量波面的误差来源, 而且可以从两种状态的干涉条纹的读数中, 同时求得波面曲率半径与平板劈角。

一、前 言

用单平板横向剪切干涉仪(图1)来检查波面形状, 测量波面的曲率半径, 光束的准直调准表现出许多优越性; 结构简单、使用方便、没有苛刻的防震要求等, 因此是在实验室和光学零件检验中常用的一种干涉方法。为了精确地测定波面的曲率半径或光束准直对单平板二面的平行度的较高要求, 常常需要使二面夹角 $\delta < 2''$ 。本方法虽然对平板的平行度要求大为降低, 而测量精度并不因此而下降。这样, 实验室中的一般平板玻璃(平行度 $< 1'$) 就可作为剪切干涉仪来检测光束波面的曲率半径, 从而提供了一个更为方便的测量手段。

二、原 理

单平板的前后二表面将待测波 ψ 分为二束振幅近似相等的波面 ψ_1, ψ_2 。这二束波面的横向剪切量为

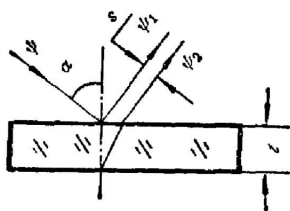


图1 单平板剪切干涉仪
Fig. 1 Shearing interferometer with a single plate

$$s = t \frac{\sin 2\alpha}{(n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2}}, \quad (1)$$

式中 t 是平板厚度, α 是入射角, 假设待测波面的曲率半径 $R \gg t$, 并在这里不计及波面的纵向位移。

我们首先讨论平板的劈角等于零的情况, 在观察屏上建立一个适当的坐标系, 沿着第一面反射主光线的方向为 z 轴, 横向剪切方向为 x 轴。到达观察屏上的二束波面的法线分别为 n_1, n_2 。二波面法线的矢量差 $L = n_1 - n_2$, 这里 L 平行于剪切方向。观察屏上所形成的干涉条纹垂直于剪切方向, 条纹密度根据光栅方程在小角度近似下为

$$d = \frac{\theta}{\lambda},$$

式中 θ 是二波面的夹角。我们将条纹密度也矢量化, 于是干涉条纹就可以用 L 来清楚地表示, 图如 2 所示

$$d = \frac{L}{\lambda} \quad (2)$$

条纹的梯度方向和 L 方向一致。因此, 在单一平板的两个面不存在劈角的情况下, 由波面的曲率半径可以很方便地得到

$$R = \frac{S \cdot L}{L^2} \quad (3)$$

因为在这种情况下, S 和 L 是同向, 所以 $R = \frac{S}{L}$ 。一般讨论平板剪切干涉仪的干涉图时就可以由此来确定波面的曲率半径 R 。当 $L \rightarrow 0$ 时, $R \rightarrow \infty$ 就可以确定准直光束。

当平板存在小劈角时, 前后二面的法线差为 δ 。第二面反射的波面和第一面反射波面的夹角为

$$W = 2\delta(n^2 - \sin^2\alpha)^{1/2} \quad (4)$$

于是在有小劈角的平板干涉仪中二波面的法线差 $P_1 = W + L$, 如图 3 所示。由于引进劈角, 就改变了条纹的密度和方向。矢量化的条纹密度为

$$d_1 = \frac{W + L}{\lambda} \quad (5)$$

将平板绕平板的前表面的法线旋转 180° , 劈角旋转 180° , W 变成 $-W$ 。入射角不变, 剪切量也不变。这时二波面的法线差就为 $P_2 = L - W$ 。条纹密度

$$d_2 = \frac{L - W}{\lambda} \quad (6)$$

由 (5), (6) 式得到的干涉图, 分别测量 x, y 方向的条纹密度, 就可以得到光束准直, 波面的曲率半径和平板的尖劈夹角等数据

1. 光束准直

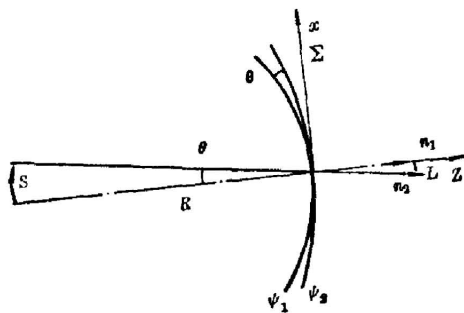


图 2 剪切矢量 L 定义图

Fig. 2 Defination of shearing vector L

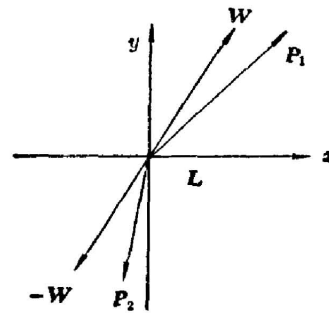


图 3 干涉条级的矢量分布图

Fig. 3 Vector diagram of interferometric fringes

当待测光束是平行光束时, $R \rightarrow \infty$, $L \rightarrow 0$, 于是

$$d_1 = -d_2 = \frac{W}{\lambda} \quad (7)$$

由于条纹梯度 $\pm d$ 是一样的, 所以当二组条纹的密度和斜率都一致时, 待测光束就是准直光束。

这时就可测得平板的尖劈夹角, 由 $W = d\lambda$ 按照(4)式计算出劈角 δ 。劈角的方向就是条纹的梯度方向。

2. 波面曲率半径的确定

如图 3 所示, 合成矢量 P_1, P_2 分别表示平板在旋转前后的两张干涉图中干涉条纹的梯度方向和条纹密度。 P_1, P_2 在第一、三象限中取为正值, 在二、四象限中取为负值。

由图 3 可知, 从合成矢量 P_1 和 P_2 可以很方便地求出 W 和 L 。由于条纹密度值只有正值, P 和 $-P$ 的条纹是一样的, 因此在计算波面曲率半径时要作判断。

(1) 二次测得的干涉条纹斜率变号, 则

$$L = \frac{1}{2} (P_{1x} + P_{2x}) = \frac{1}{2} (d_{1x} + d_{2x}) \lambda_0$$

由(3)式可知

$$R = \frac{S}{L} = \frac{2S}{(d_{1x} + d_{2x}) \lambda_0} \quad (8)$$

只要测量沿着剪切量方向的条纹密度, 就可以计算出波面的曲率半径。

再测量沿 y 轴方向的条纹密度就可以计算出劈角引起的波面交角

$$\begin{aligned} |W| &= \frac{1}{2} \sqrt{(P_{1x} - P_{2x})^2 + (P_{1y} + P_{2y})^2} \\ &= \frac{\lambda}{2} \sqrt{(d_{1x} - d_{2x})^2 + (d_{1y} + d_{2y})^2} \end{aligned} \quad (9)$$

再根据(4)式求出平板的劈角 δ , 劈角的方向

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{(d_{1y} + d_{2y})}{(d_{1x} - d_{2x})} \quad (10)$$

(2) 二次测得的干涉条纹斜率不变号, 则

$$L = \frac{1}{2} |P_{1x} - P_{2x}| = \frac{1}{2} |(d_{1x} - d_{2x})| \lambda_0$$

波面的曲率半径就为

$$R = \frac{2S}{|(d_{1x} - d_{2x})| \lambda_0} \quad (11)$$

劈角引起的波面交角

$$|W| = \frac{1}{2} \sqrt{(P_{1x} + P_{2x})^2 + (P_{1y} + P_{2y})^2} = \frac{\lambda}{2} \sqrt{(d_{1x} + d_{2x})^2 + (d_{1y} + d_{2y})^2} \quad (12)$$

再根据(4)式可以求出平板的劈角 δ 。劈角的方向

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{(d_{1y} + d_{2y})}{(d_{1x} + d_{2x})} \quad (13)$$

三、实验结果与讨论

实验装置如图 4 所示, He-Ne 激光经 32-W 型平行光管扩束射在剪切平板 P 上, 在观察屏 Σ 上测量干涉条纹。通过调整球形透镜 B 的位置来产生不同曲率的波面。在 P 的位置上安放在一个固定的支架上, 可以方便地使平板绕法线旋转 180° 而不改变入射角。

我们选取二块平板, 1* 板劈角约为 $20''$, 2* 板劈角约为 $4''$ 。剪切量分别为 15.2 mm , 13.3 mm 。

准直光束时, B 的位置误差 $\Delta x/F < 1.2 \times 10^{-4}$ 。

测量曲率半径时, 在观察屏上的干涉图如图 5 所示。(a), (b) 分别是平板旋转前后的两张干涉图。分别测量 x, y 方向的条纹密度, 即可计算出曲率半径及平板劈角。测得的曲率半径与用牛顿公式计算所得的半径如表 1 所示, 从表 1 可知其相对误差 $< 2.28\%$ 。测得的劈角为 1# 板为 $21.7''$, 2# 板为 $4.6''$ 。

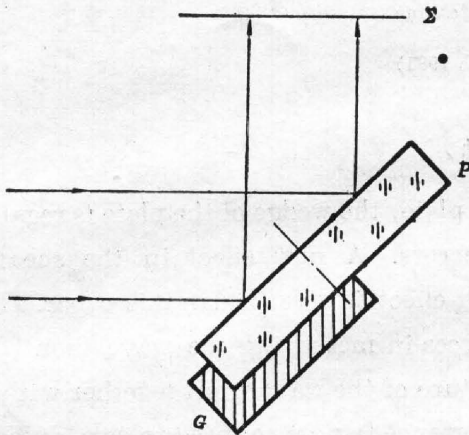


图 4 测量装置图

P —测量平板; G —固定平板架子; Σ —观察平面

Fig. 4 Diagram of measurement arrangement

P —plate; G —base for plate position; Σ —projecting plane

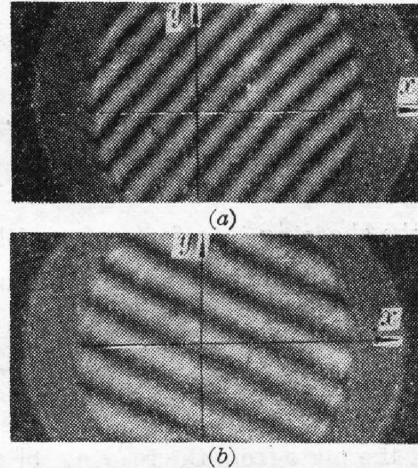


图 5 正倒平面的干涉图

(a) 正放平面的干涉图; (b) 倒放平面的干涉图

Fig. 5 Interferometric fringes of right and down plates

(a) Interferometric fringes in case of putting plate right way up; (b) Interferometric fringes in case of putting plate up side dawn

由公式(8)可知测量的相对误差为

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{d_1 + d_2} \quad (14)$$

此外, 测量的误差还来源于剪切量的测量精度和干涉条纹的读出精度等。

用自补偿方法来测量波面对平板的平行度要求虽然大为降低, 而测量误差仍和原来一次测量误差相近。该方法既可测量波面的曲率又可测得平板的劈角, 是一个既实用而又简便的方法。

表 1 曲率半径的测量结果与理论计算值的比较

计 算 值	1# 板测量值	2# 板测量值
101.6 M	104.6 M	99.96 M
79.5 M	80.6 M	78.3 M

参 考 文 献

[1] 梁向春等;《激光》, 1979, 6, No. 4 (Apr), 47.

**The self-off effect
in the shearing interferometer with a single plate**

WO MINZHEN LU DENGWU LI QINXIONG AND WANG NENGHE

(Shanghai Institute of optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 23 March 1981)

Abstract

In the shearing interferometer with a single plate, the wedge of the plate is regarded in general as one of the sources of the measure errors. A new effect in the shearing interferometer with a single plate—the self-set off effect is described in this paper. Thus, the wedge of a plate isn't not only the error sources in measuring the wave front, but also at the same time obtains the radius of curvature of the wave front together with the wedge of the plate from the readings of the interference fringes counted in two different conditions.