

以球面波干涉原理测量不透明板的平行度

吕可诚
(南开大学物理系)

提 要

本文讨论了以球面波干涉原理测量不透明板平行度的方法。技术较简单,但测量精度较高,并可在生产车间使用。

红外技术和半导体技术的发展,对不透明板的平行度误差提出了较高的要求。例如二氧化碳激光器输出锗镜的平行度严重影响它的振荡模式和输出功率。但是目前我国尚无较理想的检验方法,1980年国外报导了一种检测方法,它基于平面波干涉原理。本文讨论了利用球面波干涉原理测量不透明板平行度的方法,虽然也是间接测量,但测量精度较高。另外,由于双光束非定域干涉条纹的稳定性较高,测试系统可在生产车间使用。

一、测试系统

测试系统如图1所示。组合棱镜 G 是系统中的关键部件,它由棱镜 A 和 B 组成。为了保证棱镜 A 的面I和棱镜 B 的面II有较高的平行度,在它们之间用一个平行度很高的平行平板 W ,以光胶法使三者成为一体,或将两块棱镜放置在精密调节台上,精心调节面I和面II的平行度。

测试屏的中心孔 S 恰好处在透镜 L 的焦点上,激光束经透镜后,成为犹如从 S 点发出的球面波。该发散光束再经反射镜 M 、棱镜 A 入射到被测板 F 的面 I' 上,从面 I' 反回的光束与由棱镜 A 的面I反回的光束相干,形成非定域干涉条纹^[2,3],在屏 E 上将出现一组同心干涉圆环。调节 M 、 G 和 F ,使干涉圆环的中心与 S 重合,这标志着面I和面 I' 平行,至此, G 和 F 绝不允许再调节。然后,将反射镜 M 由 N 处移至 N' ,使光束经棱镜 B 入射到 F 的面 II' 上,那么从面 II' 和从棱镜 B 的面II反回的两束光相干,调节 M ,在屏上将出现另一组干涉圆环,测出该组干涉圆环的中心与 S 点的距离 r_s 、面 II' 与面II之间的距离 d 和面II至 S 点的光程 D ,由式(1)即可算出面II与面 II' 之间的夹角 α 。因为面II平行于面I,面I平行于面 I' ,那么面II与面 I' 平行,所以面II与面 II' 之间的楔角即为被测板两个面之间的楔角。

测试系统的等效光路如图2所示。它与文献[3]给出的原理图相似,只是这里被检测的两个面(面I和面 II')不是被测样品的两个表面。图中各符号的意义与[3]相同。根据平镜面成像原理并作合理的近似,可导出

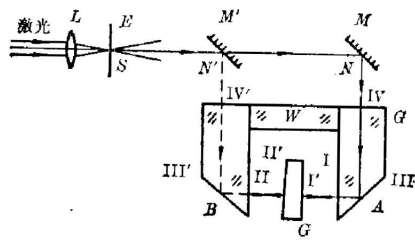


图 1 测试系统

Fig. 1 Measurement Equipment

L—lens; E—screen with a small aperture;
M—mirror; G—compound prism;
F—measured sample

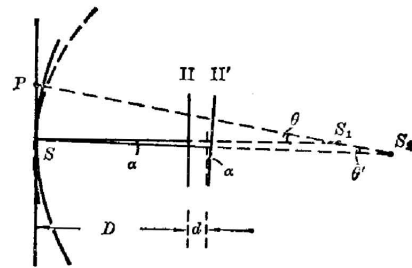


图 2 测试系统的等效光路

Fig. 2 The equivalent optical path of the system

$$\alpha = \frac{r_s \cdot d}{2D^2 \times 4.85 \times 10^{-6}} \quad (1)$$

由图 2 清楚地看到, 干涉环的中心 P 总是偏向两个被测面夹角张开的方向, 与图 1 比较可知, 面 II 和面 II' 的张角方向与被测样品两面的张角方向正好相反。

二、讨 论

1. 以球面波干涉原理测量平行平板楔角的精度

(1) 具有较大的角放大率, 其放大系数为 10^3 量级, 因此即使对很微小的角度, r_s 也是一个相当大的可测量量。

(2) $D \cdot d$ 及 r_s 的测量误差对 α 的影响可由(1)求得。若忽略 $\frac{1}{D}$ 的高次项, 可得

$$|\Delta\alpha| = \left| \frac{d}{2D^2} \Delta r_s \right| + \left| \frac{r_s}{2D^2} \cdot \Delta d \right| \quad (2)$$

若取 Δr_s 为 0.5 mm, D 为 1 m, d 为 5 mm, Δd 取 0.1 mm, 可算出被测物有 $1''$ 楔角时的 $\Delta\alpha$ 为 $0.27''$ 。

(3) 对较小样品的测量可有更高的精度。由式(2)可知, 要提高测量精度, 需增大 D 值 (或减小 d 值), 但要确定干涉环的中心, 应要求屏上的光斑能容纳一个或两个最小的干涉圆环。可以导出^[3], 第一个干涉圆环的直径 $2R$ 为 $4D \sqrt{\frac{\lambda}{d}}$ 。显然, D 的增大 (或 d 的减小) 受屏上光斑大小的限制, 在合理设计透镜 L 的焦距及其它光学元件通光孔径的情况下, 屏上光斑的大小由样品尺寸决定。本测试系统能在屏上获得的光斑大小是被测物线度的 2 倍, 这对提高测量精度十分有利。

以平面波等厚干涉法测平行平板楔角时, 测量精度同样受被测样品大小的限制。其计算公式为

$$\alpha = \frac{\lambda}{2nL} \quad (3)$$

式中 L 为相邻暗条纹之间的距离, n 为折射率, λ 为光源之波长。若被测板楔角极小, 以致相干场内的干涉条纹数小于 1, 这时整个相干场内一片明亮, 那么 L 的确切值就无法确定。例如表 1 内 1# 和 2# 样品, 其大小分别为 $14 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 和 $28 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$, 用平面波等

厚干涉法测量,全相干场内一片明亮,因此只能估算它们的平行度分别小于 $3.11''$ 和 $1.55''$,不能确定其准确数值。而用球面波干涉原理直接法测量,则可确定它们的平行度分别为 $1.87''$ 和 $0.24''$ 。同时,前一方法不能判断楔角的方向,而后一方法可十分方便地辨认楔角方向。这就充分证明,以球面波干涉原理测量尺寸较小精度较高的样品有更高的测量精度。

(4) 本测试系统能使两束相干光经过同一路径,仪器的工作环境(如室内空气流、震动等)对干涉图样的影响不大,因此仪器可在普通的生产车间使用。

2. 组合棱镜的光学质量对测量精度的影响

表 1 测试结果

Table 1 Results of measurement

样 品 编 号		1	2	3	4	5	6	
样品尺寸(mm×mm)		14×20	28×28	15×25	18×18	15×24	φ30	
测 量 方 法	方法一 $\alpha = \frac{\lambda \times 10^6}{2nL \times 4.85}$ (弧秒)	L (mm)	小于 14	小于 28	7.2	18.1	7.1	6.2
		α (弧秒)	小于 3.11	小于 1.55	6.00	2.40	6.13	7.02
	方法二 $\alpha = \frac{r_s d \times 10^6}{2n^2 D^2 \times 4.85}$ (弧秒)	D (m)	0.60	1.06	0.40	0.65	0.40	0.75
		d (mm)	14.70	7.91	2.57	7.89	2.46	4.79
		r_s (mm)	1.0	0.75	8.0	2.75	8.5	17.5
	方法三 $\alpha = \frac{r_s d \times 10^6}{2D^2 \times 4.85}$ (弧秒)	α (弧秒)	1.87	0.24	5.89	2.35	5.99	6.88
		D (m)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
		d (mm)	12.9	11.2	12.9	11.2	12.9	11.0
		r_s (mm)	1.0	—	3.0	1.0	3.0	4.0
		α (弧秒)	2.08	—	6.23	1.80	6.23	7.09

本系统对不透明板的测量靠组合棱镜 G 实现,显然它的光学质量直接影响测量精度。棱镜 A 的面 I 和棱镜 B 的面 II 的表面平整度误差及它们之间的平行度是重要的质量指标。测试中,以面 I 和面 II 作为标准面与被测样品比较,因此面 I 与面 II 的平行度成为本测试系统的精度极限。而两个表面的平整度误差可折合到平行度误差。例如,若平面 II 为一理想的平面,平面 I 的平整度误差为 $\lambda/10$,若面的大小为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$,可算出两面的平行度误差为 $0.26''$ 。如果两面的误差互补(即一面为凸面,另一面为凹面),则平整度误差引起的平行度误差可相消。当平行平板 W 的两个端面误差也与之相配时,则可以提高面 I 和面 II 的平行度。设计中要求面 I 与面 II 的平行度为 $0.3''$ 是可以达到的。若用机械法调节它们的平行度,只要机械设计合理,也可达到十分之几弧秒的精度。

组合棱镜的其它通光面所用光学材料的均匀性及反射镜 M 对测量精度的影响可忽略。因为球面波非定域干涉条纹上每一点的光强都是由两条紧邻的光线迭合而成的,同时测试系统中两束相干光都经过棱镜 A (或 B) 和反射镜 M ,因此它们的光学质量不引起两束相干光的附加光程差。

综上所述,此系统的测量精度可小于 $1''$ 。与平面波等厚干涉法比较^[4],此系统测量较小尺寸的样品可有较高的精度。同时它要求高精度的元件较少,仪器易制造。干涉图样受

环境影响较小,仪器可在普通的生产车间使用。

三、实验验证

用三种方法测量了几种样品的楔角,以利于将本系统的测试结果与通用干涉仪的测试结果进行比较。方法一,用激光平面干涉仪实现平面波等厚干涉的测量。方法二,以球面波干涉原理进行直接测量。这两种方法用的是透明样品。方法三,用图 1 所示系统测量。所用样品与前相同,只是设法使它们变为不透明。系统中面 I 和面 II 之间的平行度用精密调节架实现。所得结果列于表 1。结果表明,所述系统的测量误差与理论分析基本相符。应该说明的是,我们所用的组合棱镜的通光面积为 $14 \times 24 \text{ mm}^2$, 因此对较大样品的测量因受棱镜通光孔径所限,没有能达到测试系统所应该达到的精度,表 1 中 3* 样品就是一例。

张光寅副教授、母国光教授和巴恩旭同志给予了热情帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. E. Ludan; *Optical Spectra*, 1980, **14**, No. 12 (Dec.), 45.
- [2] Wasilik, J. H.; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, No. 9 (Sep), 2107.
- [3] 张光寅,《理物》,1974, **3**, No. 2 (Feb), 119.

Parallelism measurement for opaque object based on the principle of spherical-wave interference

LU KECHENG

(Physics Department, Nankai University Tianjing)

(Received 29 December 1982, revised 8 October 1983)

Abstract

A technique for measuring the parallelism of opaque object based on the principle of spherical wave interference is discussed. The equipment is very simple, but the precision is high enough. The apparatus can be used under the condition of common production workshop.