

光学玻璃暂态形变的全息干涉测量

李锡善 范 诚*

(中国科学院上海光机所)

提要: 采用二次曝光全息差分干涉术测定了大尺寸光学玻璃的自重形变和负荷形变所引起的折射率变化。测量精度为 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

Holographic interferometry of instantaneous deformation of optical glasses

Li Xishan, Fan Cheng

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

Abstract: The refractive index change of optical glasses caused by self weight and external force has been measured using double exposure holography with an accuracy of $\pm 1 \times 10^{-6}$.

引 言

在检查大块玻璃的光学均匀性时, 由于试样夹持不当, 暂态应力会导致改变折射率。在大型光学元件安装中, 校装应力也会引起象差增大。以往对此现象虽有感性认识, 但缺少定量测量结果。而且采用经典测量方法也难以区分应力形变和产生的折射率变化和外形变化。采用两次曝光全息差分干涉术可以同时测定折射率变化和外形变化, 而且精度较高。

一、原 理

图1是测量装置的原理光路图。由此光路图出发, 依照经典干涉原理, 可导出透射和反射两种干涉条纹的干涉方程。

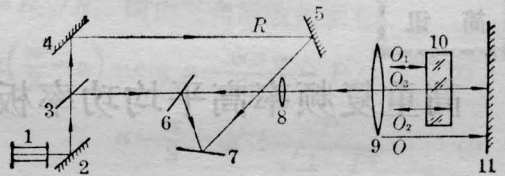


图1 测量装置光路图

1—光源; 2、4、5、11—反射镜; 3、6—分束板; 7—全息干板; 8、9—扩束系统; 10—样品

$$P_r = 2nh + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

$$P_t = 2h(n-1) \quad (2)$$

式中, P_r 和 P_t 分别为反射和透射干涉条纹的光程差, h 为样品厚度, n 为折射率。

分别求梯度为:

$$\text{grad } P_r = 2n \text{grad } h + 2h \text{grad } n \quad (3)$$

$$\text{grad } P_t = 2(n-1) \text{grad } h + 2h \text{grad } n \quad (4)$$

光程的变化由于干涉条纹体现出来:

收稿日期: 1985年6月26日。

* 成都电讯工程学院毕业实习生。

$$2n\text{grad}h + 2h\text{grad}n = \gamma_r \mathbf{K}_r \lambda \quad (5)$$

$$2(n-1)\text{grad}h + 2h\text{grad}n = \gamma_t \mathbf{K}_t \lambda \quad (6)$$

(5)和(6)联立求解可得:

$$\text{grad}n = \frac{\lambda}{2h} [(1-n)\gamma_r \mathbf{K}_r + n\gamma_t \mathbf{K}_t] \quad (7)$$

$$\text{grad}h = \frac{\lambda}{2} [\gamma_r \mathbf{K}_r - \gamma_t \mathbf{K}_t] \quad (8)$$

以标量形式表示任意两次之间的差值:

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2h} [(1-n)m_r + nm_t] \quad (9)$$

$$\Delta h = \frac{\lambda}{2} (m_r - m_t) \quad (10)$$

由干涉图求得 m_r 和 m_t 即可算出相应的折射率变化量和厚度变化量^[1]。

图1中令物光束中的标准波面为 $O(x, y) = O_0(x, y)e^{i\varphi_0}$, 被样品前后表面反射的光束分别为 $O_1(x, y) = O_{10}(x, y)e^{i\varphi_1}$, 和 $O_2(x, y) = O_{20}(x, y)e^{i\varphi_2}$, 透过样品的光束为 $O_3(x, y) = O_{30}(x, y)e^{i\varphi_3}$, 参考光为 $R(x, y) = R_0e^{i\varphi_0}$ 。

先不放样品,对标准波面曝光一次,然后放入样品再曝光一次,两次曝光量分别为:

$$I_1(x, y) = |R + O|^2 \quad (11)$$

$$I_2(x, y) = |R + O_1 + O_2 + O_3|^2 \quad (12)$$

总曝光量:

$$\begin{aligned} I(x, y) &= I_1(x, y) + I_2(x, y) \\ &= |R + O|^2 + |R + O_1 + O_2 + O_3|^2 \end{aligned} \quad (13)$$

全息图的振幅透过量为:

$$T(x, y) = \beta I(x, y) \quad (14)$$

β 为全息干板特征常数。

用参考光 $R(x, y)$ 再现原物光波面, 透过全息图的光波为:

$$\psi(x, y) = R(x, y)T(x, y) \quad (15)$$

将有关各量代入式(15)后,

$$\begin{aligned} \psi(x, y) &= \beta R(O_{10}^2 + O_{20}^2 + O_{30}^2 + O_0^2 \\ &\quad + 2R_0^2) + \beta R_0^2(O_{10}e^{i\varphi_1} + O_{20}e^{i\varphi_2} \\ &\quad + O_{30}e^{i\varphi_3} + O_0e^{i\varphi_0}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \beta R^2(O_{10}e^{-i\varphi_1} + O_{20}e^{-i\varphi_2} \\ &\quad + O_{30}e^{-i\varphi_3} + O_0e^{-i\varphi_0}) \\ &+ \beta R(O_{10}e^{-i\varphi_1}O_{20}e^{i\varphi_2} \\ &\quad + O_{10}e^{i\varphi_1}O_{20}e^{-i\varphi_2}) \\ &+ \beta R(O_{10}e^{-i\varphi_1}O_{30}e^{i\varphi_3} \\ &\quad + O_{10}e^{i\varphi_1}O_{30}e^{-i\varphi_3}) \\ &+ \beta R(O_{20}e^{-i\varphi_2}O_{30}e^{i\varphi_3} \\ &\quad + O_{20}e^{i\varphi_2}O_{30}e^{-i\varphi_3}) \end{aligned} \quad (16)$$

感兴趣的是第二项和第三项, 它们分别表示原物波的真实再现和共轭再现。反射干涉条纹的光强分布为:

$$\begin{aligned} I_r &= \beta^2 R_0^4 [(O_{10} + O_{20})^2 \\ &\quad + 4O_{10}O_{20}\cos^2 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}] \end{aligned} \quad (17a)$$

透射干涉条纹的强度分布为:

$$\begin{aligned} I_t &= \beta^2 R_0^4 [(O_0 - O_{30})^2 \\ &\quad + 4O_0O_{30}\cos^2 \frac{\varphi_0 - \varphi_3}{2}] \end{aligned} \quad (17b)$$

显然, 干涉条纹的强度分布主要取决于相干光波的相位差。

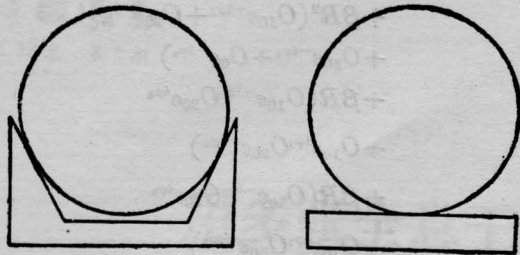
二、测量方法

测量步骤如下:

(1) 拍摄全息图。不放样品,对标准面进行第一次曝光,放入样品后,进行第二次曝光,便获得记录物波信息的全息图;

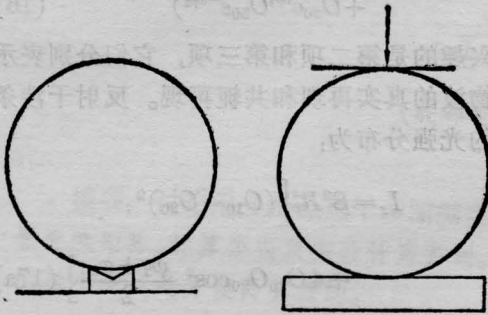
(2) 用原参考光 $R(x, y)$ 进行再现, 从再现光波场中提取所需要的物波信息, 并将此信息拍摄在普通底片上。

测量样品分别处于四种状态(图2): (a) 120°V 块的正常支持; (b) 自由地放在平面上; (c) 放在宽 40 mm 的小 V 块上; (d) 放在平面上, 其上面均施加 20 kg 压力。样品分别为 $\phi 200 \times 40$ mm 的钨玻璃和 $\phi 300 \times 60$ mm 的 K₉ 光学玻璃。



(a) 120°V形块

(b) 平面



(c) 相距 50mm 2 条线

(d) 平面支持上部施力

图 2 测量样品的四种状态

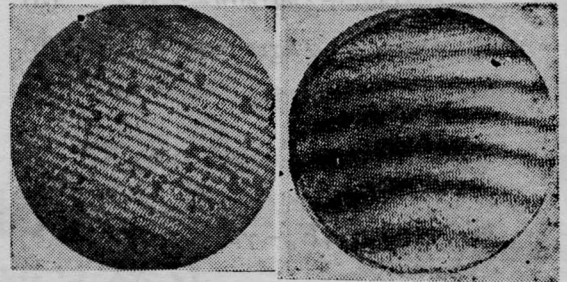
三、测量结果

图 3 给出样品在 *a*、*b*、*c*、*d* 四种状态下的全息干涉图。由干涉图可求出应变所引起的内部折射率变化。由折射率变化量可求得等效负荷应力。测定结果列于表 1。

表 1 $\phi 200 \times 40\text{mm}$ 钹玻璃测定结果

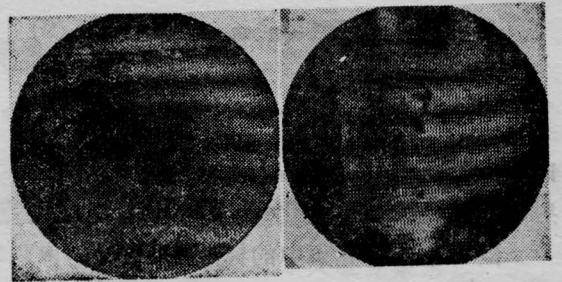
样品状态	折射率变化	等效应力 (kg/cm ²)	暂态应力 (kg/cm ²)
<i>a</i>	2×10^{-6}	6.7	≈ 0
<i>b</i>	8×10^{-6}	26.7	20
<i>c</i>	5×10^{-6}	16.7	10
<i>d</i>	20×10^{-6}	66.7	60

实验结果表明:在状态(*a*)样品的自重形变是很小的,几乎测不出,实验测得 2×10^{-6} 的折射不均匀主要由玻璃的化学不均匀和退火过程中所形成的物理不均匀所造成。用偏光仪检查时看不到局部应力。在状态(*b*)测



(a)

(b)



(c)

(d)

图 3 在不同状态下的全息干涉图

得的最大折射率变化为 8×10^{-6} , 由形变引起的暂态折射率变化为 6×10^{-6} , 等效暂态应力为 20 kg/cm^2 ; 状态(*c*)是相距 50mm 的两条支线支撑, 测得总折射率改变是 5×10^{-6} ; 状态(*d*)的外加负荷为 20 kg, 等效折射率变化为 2×10^{-5} , 此种状态的形变大于前三种情况, 等效暂态应力为 60 kg/cm^2 。

通过上述实验可得到如下看法:

(1) 在测定大尺寸光学玻璃的均匀性时必须合理选择样品的夹持方式; 否则由于附加暂态力, 使测定误差大大增加。对于 $\phi 200 \text{ mm}$ 左右的试样可采用加软垫的 120° V 块支撑。对于 $\phi 300 \text{ mm}$ 以上的样品最好采用带状支持。

(2) 在大型光学仪器安装中, 光学元件的合理装夹非常重要, 否则由于元件自重或装夹应力而使象质严重劣化。

参 考 文 献

- [1] M. Born; «Principles of Optics». (Pergamon Pr. 1957).