

旋转波片法在低应力测量中的应用

胡德敬

(同济大学,上海,200092)

摘要: 本文提出用旋转 $\lambda/2$ 波片和分析片来代替转动物体的新方法,解决了用电光调制法测定某些物体低应力值时,物体很难转动的难题。

Application of rotating wave plate method in stress measurement

Hu Dejing

(Tongji University)

Abstract: A new method to substitute rotating wave plate and polarization analyzer method for rotating object method is proposed in this paper. A troublesome problem, that the object cannot be rotated in the stress measurement with electro-optic modulation method has been solved.

一、引言

各种玻璃材料和制品,一般在出厂前总要对产品的残余应力进行抽样检测。玻璃的残余应力包括热应力和结构应力两个方面。热应力是由于玻璃烧制过程中,各部分热胀冷缩的不均匀形成;结构应力则是由于玻璃中的结石、条纹和不匀质所造成。残余应力大到一定程度,将对玻璃制品的质量和安全使用带来很大影响。几十年来常用各种偏光应力仪对玻璃制品的应力进行定性或精度不高的定量检测。近几年已有人用电光调制法对玻璃应力进行定量测定^[1],在用这种方法测量时,为了确定测点的两个主应力方向,必须转动被测物体。对某些测试工作,如测

- [2] Mundinger D, Beach R, Bennett W *et al.* A P L, 1990; 57(21):2172
- [3] Mott J S, Macomber S H. IEEE Photonics Technology Lett, 1989; 1(8):202
- [4] Sakanoto M, Endriz J G, Scifres D R. Electron Lett, 1992; 28(2):197
- [5] Messenger H W. L F World, 1992; 28(12):61
- [6] Yamanaka M, Naito K, Nakatsuka M *et al.* Proc SPIE, 1991; 1501:30
- [7] Photonics Spectra, 1991; (10):50
- [8] Manes K R, Zapata L E. Proc SPIE, 1992; 1601:160
- [9] Solarz R W, Frupke W F. Signal, 1993; (1):45
- [10] L F World, 1991; 27(7):11
- [11] L F World, 1992; 28(8):9

*

*

*

作者简介:黄裕年,女,1937年2月出生。高级工程师。现从事强激光技术研究工作。

收稿日期:1993年6月23日。

定显象管玻璃壳锥体某些部位的应力,这一要求是很难做到的。本文提出一种用旋转 $\lambda/2$ 片和检偏振片来代替转动被测物体的方法,可解决这一难题。

二、理论分析

图 1 是用电光调制法测定玻璃制品低应力值的原理图。其中, L 表示 He-Ne 激光器; P 为

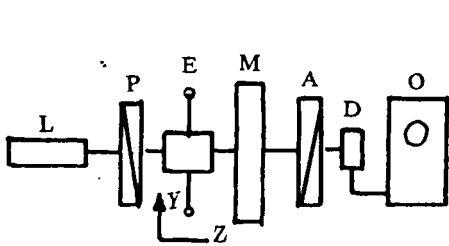


Fig. 1 Schematic diagram of electro-optic modulator

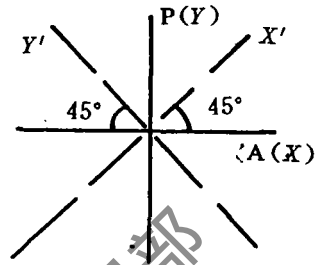


Fig. 2 Direction of induction axis

起偏振片, Y 方向为光振动的透振方向; A 为检偏振片, 其透振方向取在 X 方向, 见图 1 和图 2。E 表示用铌酸锂晶体制成的横向电光调制器, 其上沿 Y 方向可施加交流调制电压和直流测试电压, 激光束沿晶体光轴(Z 方向)传播; D 为光电接收器; O 为示波器。

三、测量原理和方法

1. 未加入待测物体时

(1) 仅仅在电光晶体上施加直流电压 V_D , 则入射线偏振光将在晶体中沿两个感应轴方向 X' 和 Y' 产生两个线偏振光, 穿过晶体后将产生相位差 φ_D , 可以证明^[2]:

$$\varphi_D = \pi \frac{V_D}{V_\pi} \tag{1}$$

$$I = \frac{1}{2} I_0 (1 - \cos \varphi_D) \tag{2}$$

式中, V_π 为电光晶体的半波电压, 对一定的晶体是一常数(一定条件下); I_0 和 I 分别为入射于电光晶体的光强度和从检偏振片穿出的光强度。

(2) 仅仅在电光晶体上施加一个频率为 f 的正弦波调制电压 $V_0 \sin 2\pi ft (V_0 \ll V_\pi)$ 时, 则从检偏振片穿出的光束的强度为:

$$I = \frac{I_0}{4} \left(\pi \frac{V_0}{V_\pi} \right)^2 (\sin 2\pi ft)^2 \tag{3}$$

从(3)式我们可以看出, 此时输出的光强度是按频率 $2f$ 变化, 即输出是一个倍频讯号。

2. 加入待测物体时

在光路中加入待测物体 M 后, 在激光通过的待测点, 应力双折射将产生一个新的相位差 φ_M :

$$\varphi_M = \frac{2\pi}{\lambda} \delta \tag{4}$$

式中, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$; δ 为相应的光程差。

在玻璃行业中, 通常以单位厚度上的光程差来表示应力的。为了求出 φ_M , 首先必须确定测点的主应力方向。为此必须旋转物体, 同时在晶体上施加交流调制电压, 当两个主应力

σ_1 和 σ_2 方向旋转至和正交偏振光场 P 和 A 方向平行时(如图 3),此时输出讯号为倍频讯号。然后,物体在此位置上继续旋转 45° ,这样两个主应力方向和电光感应轴方向平行,再在电光

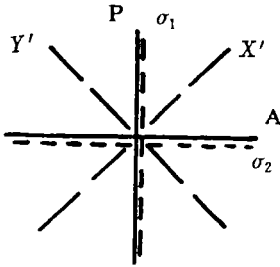


Fig. 3 Definiteness of principal stress

晶体上同时加上直流测试电压,并逐渐增加,直到输出倍频讯号为止。此时可以证明,不是 $\varphi_M + \varphi_D = 0$,就是 $\varphi_M + \varphi_D = \pi$ 。对于前者,电光双折射和应力双折射的快(或慢)轴不一致;后者,快(或慢)轴方向一一对应。已知测试电压 V_D ,由(1)式可求出 φ_D ,从而 φ_M 和测点的光程差、应力也就可求得。

用上述方法测定显象管玻璃壳锥体应力时,遇到不能按需要转动锥体的困难。下面先对解决这一难题的方法从理论上作一分析。

四、旋转 $\lambda/2$ 片和检偏振片法测量原理

测量原理图如图 4 所示。与图 1 不同之处,仅仅是在电光晶体后加入一个 $\lambda/2$ 片($\lambda=632.8\text{nm}$),此波片和 A 根据需要可用步进马达 S 来控制它们的转动。图中物体 M 是示意

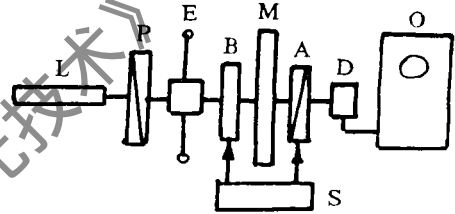


Fig. 4 Schematic diagram of rotating wave plate method

的,由物理光学我们知道 $\lambda/2$ 波片有一特性,它可使通过的线偏振光的振动面旋转 2θ 角, θ 为 $\lambda/2$ 片光轴和入射线偏振光振动面的夹角。为了确定待测物体被测点的两个主应力 σ_1 和 σ_2 方向,我们用图 5 来分析。

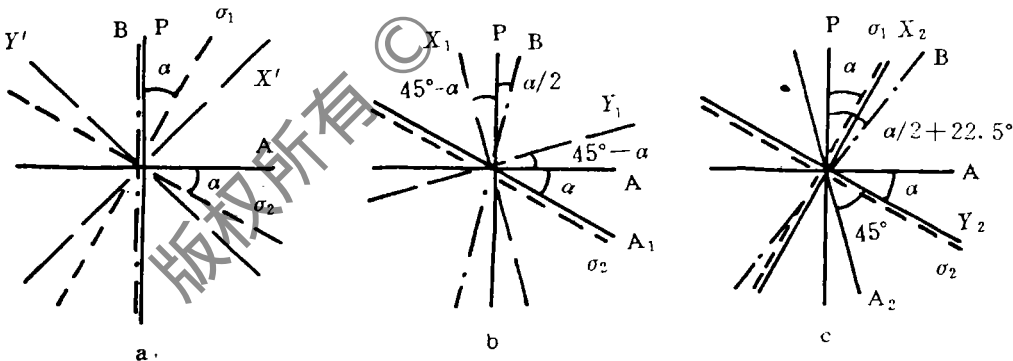


Fig. 5 Definiteness of principal stress for rotating wave plate method

图 5a 中,B 表示 $\lambda/2$ 片光轴方向,这是起始位置。其它符号同前。 α 为主应力 σ_1 方向和 P 的夹角。

将 $\lambda/2$ 片和检偏振片 A 同时同向旋转 $\alpha/2$ 和 α 角,此时有:

$X' \rightarrow X_1$: X' 经 $\lambda/2$ 片逆时针转过角度: $(45^\circ - \alpha/2) \times 2 = 90^\circ - \alpha$, 即 X_1 与 P 夹角为 $45^\circ - \alpha$, 见图 5b。

$Y' \rightarrow Y_1$: Y' 经 $\lambda/2$ 片顺时针转过角度: $(45^\circ + \alpha/2) \times 2 = 90^\circ + \alpha$, 即 Y_1 与 A 夹角为 $45^\circ - \alpha$, 见图 5b。

因为A顺时针转过 α 角到 A_1 ,正好和 σ_2 重合。 X_1 和 Y_1 对 A_1 的投影角正好均为 45° 。由前可知,此时在示波器上将出现倍频讯号。实际上,是用不同速度(A的转速为 $\lambda/2$ 片转速2倍)同时同向旋转 $\lambda/2$ 片和A,当输出为倍频讯号时,各部分方向关系正好如图5b所示。在此基础上再继续同时同向旋转 $\lambda/2$ 片 22.5° ,检偏振片 A_45° 。此时有:

$X' \rightarrow X_2$: X' 经 $\lambda/2$ 片逆时针转过角度: $(45^\circ - \alpha/2 - 22.5^\circ) \times 2 = 45^\circ - \alpha$ 。即 X_2 与P夹角为 α ,正好和 σ_1 重合,见图5c。

$Y' \rightarrow Y_2$: Y' 经 $\lambda/2$ 片顺时针转过角度: $(45^\circ + \alpha/2 + 22.5^\circ) \times 2 = 135^\circ + \alpha$ 。即 Y_2 与A夹角为 α ,正好和 σ_2 重合。

由于 A_1 继续旋转 45° ,故 σ_1 和 σ_2 方向和 A_2 的投影角均为 45° , X_2 和 Y_2 也一样。此时只要在晶体上加直流测试电压,就可最终求得测点的应力值。

从上述分析可知,光路中加入 $\lambda/2$ 片,并按一定要求转动 $\lambda/2$ 片和A,其作用和转动物体是等效的。

五、结果分析

两种方法的测量原理和基本设备相同,仅仅是相对转动的部件不同,从理论上说,两者结果应该一样。下表是我们用两种方法对一 $\lambda/4$ 片的光程差进行多次测量的结果:

Table The measurement results of two methods for retardation amount of $\lambda/4$ plate ($\times 632.8\text{nm}$)

rotating object	0.250	0.251	0.248	0.249	0.249	0.250	0.252	0.250	0.251	0.251
rotating wave plate	0.250	0.252	0.248	0.250	0.252	0.252	0.250	0.250	0.250	0.248

由上表可知,两种方法测量的结果基本吻合。为了验证方便,采用 $\lambda/4$ 片作为待测体,并人为地使转角 α 分别为 10° , 20° , 30° 和 40° ,再用本文方法进行测定。所用数字电压表精度为1V。表中每一个数据是三次测量的平均值。用旋转物体法测出 $\lambda/2$ 片的光程差值为 0.479λ ,和标称值有一定偏差,这是波片质量所致,给结果会带来一定影响。上述测量结果能满足工业生产中测试要求。

用旋转波片法代替旋转物体,开拓了电光调制法的应用范围,可解决一些尺寸大、形状不规则和不能转动物体的光程差或应力的定量测量问题,这一方法对某些工作可具有独特价值。当然,在设备上要复杂些,增加一套同步转动部件。本工作得到王存国、顾绍德、曹正元等同志的帮助,在此致以谢意。

参 考 文 献

- [1] 张远鹏. 固体力学学报, 1986, (1), 90
 [2] Yariv A. Quantum Electronics. New York: Wiley, 1975; 337~340

作者简介: 胡德敬, 男, 1941年1月出生。副教授。主要从事现代光学测试、全息术及应用和光电子学研究。

收稿日期: 1993年3月4日。 收到修改稿日期: 1993年4月23日。