

用径向加压法测定玻璃应力光学常数

兰 惠

摘要：本文简单介绍了径向加压法的原理。测定了一些玻璃的应力光学常数。石英玻璃的数据与美国、日本的结果很接近。

一、前 言

玻璃在应力作用下，会成为各向异性，且具有与单轴晶体一致的性质。这种由应力作用而形成的各向异性称为玻璃的光弹性^[1]。玻璃的光弹性性质由三个物理量表示，即光弹性常数 C_1 和 C_2 及应力光学常数 B 。

关于应力光学常数的研究，国外已做了许多工作^{[2] [3] [4]}。玻璃的应力光学常数与玻璃组成及玻璃承受的压力和温度变化有关，这一性质在实际应用上有重要意义。例如光学玻璃精密退火制度的制定、钢化玻璃的质量管理、在温度与压力变化的条件下使用的非干扰系统物镜波程差的计算、热光系数的计算及退火后玻璃应力值的计算等等都需要这一常数。

在弹性形变范围内，应力光学常数的物理意义用下式表示：

$$B = \frac{n_0 - n_e}{\delta} \quad (1)$$

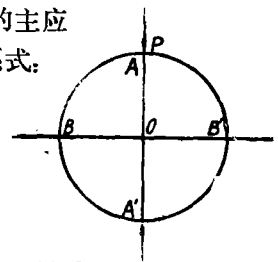
式中： B —应力光学常数；
 n_0 —寻常光的折射率；
 n_e —非寻常光的折射率；
 δ —主应力。

二、测 量 原 理

将玻璃加工成 $\phi 15 \times 12 \text{mm}$ 的圆棒，(通光面抛光)，在直径两端集中加压，如图1所示。设在试样上所加的压力为 P ，则在直径 $A-A'$ 上的任意一点 $(0, y)$ 上的主应力分别为 δ_x ， δ_y 。根据光测弹性力学关于应力的分析，^[5]可得以下关系式：

$$\delta_x = \frac{2P}{\pi d D}$$

$$\delta_y = -\frac{2P}{\pi d D} \left(\frac{2D}{D-2y} + \frac{2D}{D+2y} - 1 \right)$$



式中 P 是所加的压力， d 是玻璃试样的厚度， D 是试样直径。图1 样品加压图
 在与 $A-A'$ 垂直的直径 $B-B'$ 上的任意一点 $(x, 0)$ 上的二主应力 δ_x ， δ_y 用下式表示：

$$\delta_x = \frac{2P}{\pi dD} \left(\frac{D^2 - 4x^2}{D^2 + 4x^2} \right)^2$$

$$\delta_y = -\frac{2P}{\pi dD} \left[\frac{4D^2}{(D^2 + 4x^2)^2} - 1 \right]$$

若在A—A'直径两端集中加压时，中心处的二主应力 δ_x 、 δ_y 为：

$$\delta_x = \frac{2P}{\pi dD}$$

$$\delta_y = -\frac{6P}{\pi dD} \quad \begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \end{cases}$$

玻璃试样与光路垂直放置在二正交偏光片之间后对试样进行径向加压，试样在压力的作用下产生的应力随着压力的增加而增加。当应力很大时，在试样中即能观察到等色条纹，在圆板中心处应力最大，其周围除荷重点外，其他各点应力均为零。中心处二主应力与试样中等色条纹的干涉级次存在如下关系：⁽¹⁾

$$\alpha(\delta_x - \delta_y)d = N \tag{2}$$

式中 α 为光弹性灵敏度， d 为试样厚度， N 是等色条纹的干涉级次。将 $\delta_x - \delta_y =$

$\frac{8P}{\pi dD}$ 代入(2)式，则得：

$$\alpha = \frac{\pi DN}{8P} \tag{3}$$

又因为 $\alpha = 100 \frac{B}{N}$ ⁽²⁾因此应力光学常数 B 可用下式表示：

$$B = \frac{\pi D}{8} \cdot \frac{N}{P} \cdot \left(\frac{\lambda}{0.98 \times 10^{15}} \right) \times 10^{13} \text{ (cm}^2/\text{dyn)} \tag{4}$$

(B 的单位是 10^{-13} (cm²/dyn))

由此可知，当用固定光源作试验时，只要改变加于试样的压力，观察试样出现等色条纹的干涉级次就可以求得玻璃试样的应力光学常数。

三、试样装置

1. 光路

测定应力光学常数装置的光路如图2所示。

图中：1.光源；2.透镜；3.毛玻璃；4.起偏器；5.试样；6.检偏器。试样受径向压力作用所产生的等色条纹可用像机拍照记录，也可直接目视。在这一光路中不用任何补偿器就可以完成较高精度的测量。

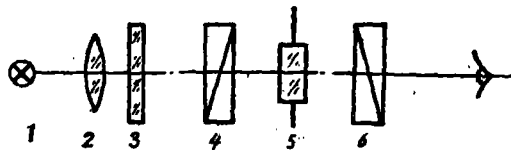


图2 测定装置光路图

2. 加压装置

采用杠杆加压。整个装置由一个比较大的杠杆和一套加压砝码组成。杠杆上刻有标尺，事先进行重量与压力标定，只要记录加压重量，就可以查出试样所受的压力。

四、测试步骤

1. 将试样放在正交偏光光路的载物台上。
2. 对试样进行径向加压。
3. 观察试样中产生的等色条纹。当它的干涉级次为整数时，停止加压。记录加压时重量。
4. 将压力值代入(4)式，求出该试样的应力光学常数。

图(3)是石英玻璃加压时所产生的等色条纹图(此图引自文献^[2])。图(4)是用本装置测定的TF₃玻璃，在加压时所产生的等色条纹级次与压力的关系曲线。表1列出了用本方法测得的光学玻璃的应力光学常数与苏联相应牌号光学玻璃的应力光学常数。本方法测量的石英玻璃应力光学常数与美国、日本测量的石英玻璃应力光学常数列于表2，其结果比较接近。

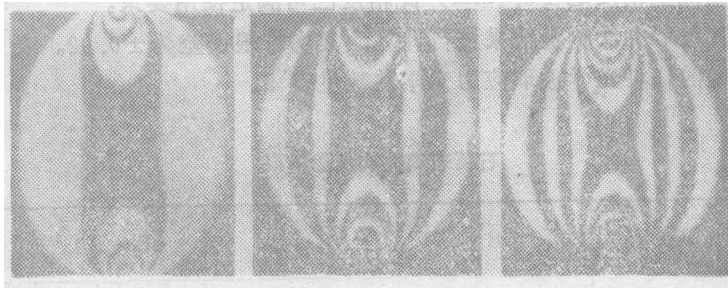


图3 石英玻璃等色条纹图^[2]
 (a) 一级 (b) 二级 (c) 三级

本装置测定光学玻璃的B值与相应苏联牌号
 玻璃数值比较

玻璃牌号		B(10 ⁻¹⁸ cm ² /dyn)	
中	苏	本装置测定值	苏
K ₃	K ₃	2.69	2.70
ZF ₁	Tφ ₁	2.36	2.55
ZF ₂	Tφ ₂	2.14	2.24
TF ₃	Oφ ₃	3.75	3.47

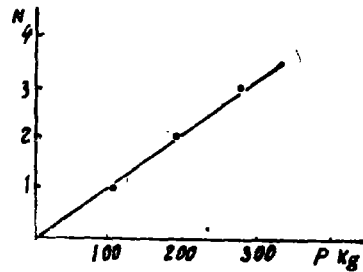


图4 TF₃玻璃等色条纹级次与压力关系曲线

表2. 石英玻璃应力光学常数测量值比较

测量单位	B ($10^{-18}\text{cm}^2/\text{dyn}$)
本装置测量	3.44
日本 ⁽²⁾	3.47
美国 ⁽⁵⁾	3.52

五、测量误差分析

由公式(4)得知只有当P变化时,才引起N变化。本方法测量中对N取整数,故B值的测量误差仅取决于P的精度。通过计算,得出P的精度为 $\pm 1 \text{ kg}$,B值的误差不大于 ± 0.05 (要求试样的直径测量精度是 $\pm 0.1\text{mm}$)此精度已可满足使用要求。

我们还用石英玻璃九次测量结果进行计算,其均方根误差为 ± 0.02 。表3是计算结果。用本方法测定的15种光学玻璃应力光学常数见表4。

表3 石英玻璃九次测量结果

次数	B	\bar{B}	$\bar{B} - B$	$(\bar{B} - B)^2$	均方根差
1	3.42	3.44	0.02	0.0004	± 0.02
2	3.44		0	0	
3	3.43		0.01	0.0001	
4	3.42		0.02	0.0004	
5	3.48		-0.04	0.0016	
6	3.43		0.01	0.0001	
7	3.43		0.01	0.0001	
8	3.44		0	0	
9	3.43		0.01	0.0001	

表4 光学玻璃应力光学常数

玻璃牌号	B	玻璃牌号	B	玻璃牌号	B
K ₄	2.88	F ₆	2.55	BaK ₅	2.44
K ₈	2.69	ZF ₁	2.35	BaK ₇	2.71
ZK ₄	2.06	ZF ₂	2.39	KF ₂	2.57
ZK ₆	1.75	BaF ₄	2.68	LaF ₁	1.94
ZK ₁₁	2.66	QF ₃	2.98	LaK ₂	2.56

六、结 论

本测试方法的优点:

1. 试样加工精度要求不高。
2. 测量装置简单, 不需要在光路中加补偿器就能完成较高精度的测量。
3. 测量精度为 ± 0.05 , 可满足使用要求。
4. 测量方法简便, 容易掌握, 便于推广。

本工作得到段文琴、顾琢如、邓文荣同志的热情指导与支持, 在此表示诚恳谢意。

参 考 文 献

- [1] JI·N·杰姆金娜, 光学玻璃生产的物理化学原理, 科学出版社, 1983, 183.
- [2] 横田良助, 丹板压缩法による化学強化用ガラスの光弾性定数の測定, 窯業協会誌, 1979, 87, [10], 519.
- [3] 横田良助, 光弾性数とガラス構造との関連性, 窯業協会誌, 1979, 87, [11], 571.
- [4] F·V·托利, 玻璃制造手册, 中国建筑工业出版社, 1983, 411.
- [5] M·M·费罗赫特, 光测弹性力学, 科学出版社, 1966, 128.
- [6] 辻·二郎, 光学弹性实验法, 日刊工业新闻社, 1965, 103.
- [7] 渥美光等, 材料力学, 北京人民教育出版社, 1984, 395.

**Measurement of Stress-Optical Coefficient of Glasses
by Radial Compression Method**

Lan Hui

Abstract

In this paper the principle of the radial compression method is briefly presented. The stress-optical coefficient of some glasses have been obtained. The experimental results for silica glass are in good agreement with that measured by U. S. A. and Japan.