

团 体 标 准

T/ZBH 019—2021

玻璃应力测量方法——激光偏振散射法

Test method for stress of glass—Laser polarization scattered-light method

2021-11-23 发布

2022-01-01 实施



中国建筑玻璃与工业玻璃协会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑玻璃与工业玻璃协会提出并归口。

本文件起草单位：中国南玻集团股份有限公司、福莱特玻璃集团股份有限公司、四川雄港玻璃有限公司、索奥斯(广东)玻璃技术股份有限公司、中国建材检验认证集团秦皇岛有限公司、北京奥博泰科技有限公司、无锡市新惠玻璃制品有限责任公司、天津北玻玻璃工业技术有限公司、彩虹集团新能源股份有限公司、青岛锦绣前程节能玻璃有限公司、株洲旗滨集团股份有限公司、郑州中原思蓝德高科股份有限公司、常州亚玛顿股份有限公司、江苏铁锚玻璃股份有限公司、秦皇岛市运通玻璃机电技术有限公司、苏州华东镀膜玻璃有限公司。

本文件主要起草人：张喆民、嵇书伟、李会、黄剑、阮洪良、杨加全、周军山、高琦、盛颂君、仝小飞、吕庆波、白振中、张燕红、林金锡、高国忠、杨紫、张根方、武文杰、贾鼎伟、刘国东。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——本文件为首次发布。

玻璃应力测量方法——激光偏振散射法

1 范围

本文件规定了测量玻璃应力的激光偏振散射法的术语和定义、基本原理、测量仪器、测量、测量结果、测量报告。

本文件的方法适用于以钠钙硅平板玻璃及压花玻璃、硼硅酸盐平板玻璃作为原片制成的钢化、半钢化玻璃的表面应力和板厚方向应力分布,以及外力引起的玻璃应力的实验室及现场测量。其他种类的钢化玻璃可参照本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 15764—2008 平板玻璃术语

GB/T 11614—2009 平板玻璃

3 术语和定义

GB/T 15764—2008 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

表面应力 surface stress

存在于玻璃表面的永久应力,一般特指钢化玻璃、半钢化玻璃的表面压应力。

3.2

双折射光程差 birefringence optical path difference

入射偏振激光沿应力方向分解的两个偏振光分量在玻璃中传播时,单位长度上产生的行程差所合成的在真空中传播的行程差。

3.3

激光偏振散射法 laser polarization scattered-light method

通过测量入射偏振激光沿应力方向分解的两个偏振光分量的散射光程差,测得激光路径上各点应力值的方法。

4 基本原理

通常情况下,玻璃是各向同性体,各个方向的折射率都相同,而钢化玻璃是一种有预应力的玻璃,应力的存在会破坏这种各向同性性质,使两主应力方向的折射率不再相同,产生应力双折射现象,即寻常光和异常光存在光程差,光程差与应力的关系见式(1)。

$$\sigma = \frac{1}{C} \frac{\Delta}{s} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- σ —— 被测点的应力值,单位为兆帕(MPa);
- C —— 被测玻璃应力光学常数,单位为每兆帕(MPa^{-1});
- Δ —— 双折射光程差,单位为纳米(nm);
- s —— 光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm)。

激光偏振散射法是以偏振激光束倾斜入射样品,在垂直于光束传播方向的平面内,由于应力双折射现象,光束在光线传播路径上各点都可沿着两主应力方向分解为振动方向相互垂直的两个偏振光分量(寻常光与异常光),这两个偏振光分量在玻璃内的传播速度不同,会产生双折射光程差,光线传播路径上各点的应力 $\sigma(s)$ 与光程差 $\Delta(s)$ 有如式(2)所示的关系。

$$\sigma(s) = \frac{1}{C} \frac{d\Delta(s)}{ds} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\sigma(s)$ —— 光线传播路径上各点的应力值,单位为兆帕(MPa);
- C —— 被测玻璃应力光学常数,单位为每兆帕(MPa^{-1});
- $\Delta(s)$ —— 光线在传播路径上各点沿应力方向分解的两个偏振光分量的光程差,单位为纳米(nm);
- s —— 光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm)。

光束传播路径上各点处的寻常光和异常光存在位相差,并产生干涉,光束传播路径上各点的散射光光强不同,即在光线传播路径上产生明暗相间的散射干涉条纹,给光束施加一系列不同的初始位相,通过测量不同初始位相所对应的光线传播路径上各点的散射光光强,可计算出未施加初始位相时光线在传播路径上各点沿应力方向分解的两个偏振光分量的位相差,根据式(3)由位相差得到光程差,最终得到光线传播路径上各点的应力值。

$$\Delta(s) = \frac{\lambda}{2\pi} \delta(s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

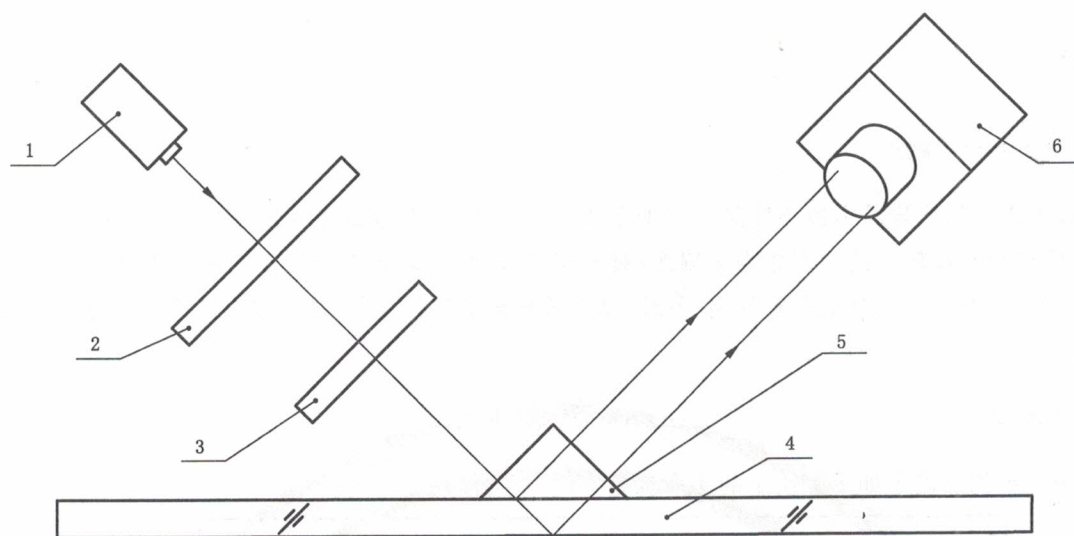
式中:

- $\Delta(s)$ —— 光线在传播路径上各点沿应力方向分解的 2 个偏振光分量的光程差,单位为纳米(nm);
- λ —— 光束波长,单位为纳米(nm);
- $\delta(s)$ —— 光线在传播路径上各点沿应力方向分解的 2 个偏振光分量的位相差,单位为弧度(rad)。

5 测量仪器

5.1 仪器组成

图 1 为测量仪器光学示意图。测量仪器一般包括激光光源、起偏器、电控相移器、耦合棱镜、调节与控制装置、数字面阵相机、信号采集与处理单元等。



标引序号说明：

- 1——激光光源；
- 2——起偏器；
- 3——电控相移器；
- 4——被测玻璃；
- 5——耦合棱镜；
- 6——数字面阵相机。

图 1 测量仪器光学示意图

5.2 仪器规定

测量仪器应满足以下规定：

- a) 激光光源发出光的光强稳定性不大于 1%，光谱半波带宽不大于 5 nm；
- b) 电控相移器可对入射光束施加任意大小的初始位相；
- c) 入射光束与被测玻璃之间应有耦合棱镜，耦合棱镜与被测玻璃之间应填充与被测玻璃折射率相近的匹配液。光束应垂直于棱镜入射表面并经过耦合棱镜与匹配液入射被测玻璃，防止光束在不同介质的交界面发生折射与反射；
- d) 采用黑白数字面阵相机，像素数不低于 500 万，像素采集深度不小于 8 bit，曝光时间和增益可调。

5.3 仪器核验

以下情况下宜采用附录 A 中的方法对仪器进行核验：

- a) 仪器出厂时；
- b) 怀疑仪器测量错误时；
- c) 合同、行业及相关标准规定对仪器进行周期性核验时；
- d) 其他需要对仪器进行核验的情况。

6 测量

6.1 被测样品和被测点

以玻璃制成品或样品为被测样品。对于浮法平板玻璃,锡面与非锡面都可以作为被测表面;对于压花玻璃,应选择花纹较浅的一面作为被测面;对于镀膜玻璃,选取非镀膜面作为被测表面。测量前应清洁被测表面,被测点的选择应避免气泡、条纹、结石等玻璃缺陷位置,现场测量时应采取措施避免强光直射被测点。

6.2 测量步骤

6.2.1 每个被测点确定如图 2 所示的 4 个测量方向。

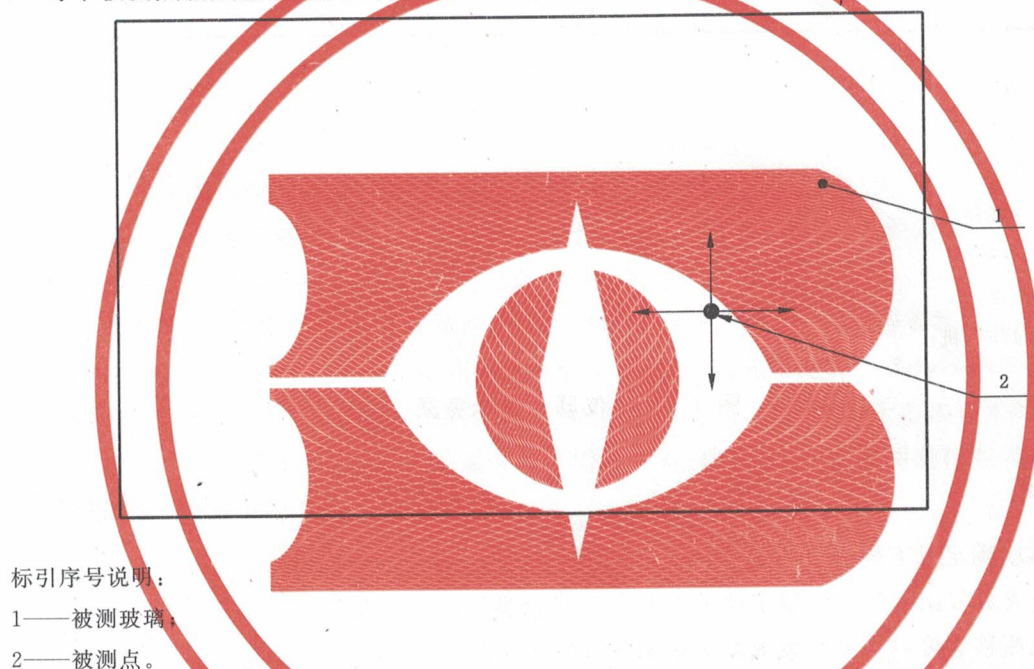
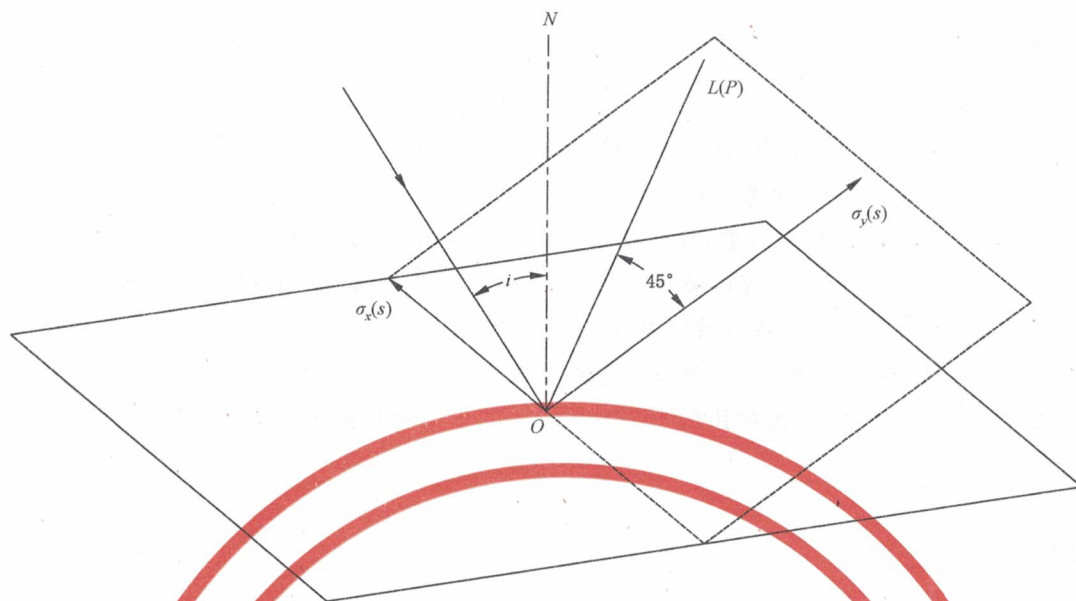


图 2 被测点的 4 个测量方向

6.2.2 在被测点滴加 1~2 滴匹配液,将测量仪器测量口对准被测点并放置于玻璃表面,确保玻璃表面与耦合棱镜耦合,使仪器测量方向与 6.2.1 中的一个测量方向重合;

6.2.3 由激光器和起偏器产生的线偏振光,经过电控相移器、耦合棱镜入射被测玻璃,如图 3 所示,O 点为光线传播路径上的一点,光束入射角为 i ,入射线偏振激光的偏振方向 OP 与应力 $\sigma_y(s)$ 方向之间的夹角为 45° ,散射光探测方向 OL 与偏振方向 OP 重合。



标序号说明：

- $\sigma_x(s), \sigma_y(s)$ —— 与入射光束垂直的两个主应力方向；
- $OL(P)$ —— 散射光探测方向与入射光束偏振方向；
- i —— 入射光束入射角；
- ON —— 被测玻璃法线方向。

图 3 光束传播路径上各点的偏振方向、探测方向的相对位置

利用电控相移器为光束分别施加初始位相 $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ ，使用数字面阵相机测量施加不同初始位相时的光线传播路径上各点散射光光强 $I_1(s), I_2(s), I_3(s), I_4(s)$ 。

6.2.4 未施加初始位相时光线在传播路径上各点的沿应力方向分解的两个偏振光分量位相差主值 $\delta'(s)$ 与施加不同初始位相时的光线传播路径上各点散射光光强 $I_1(s), I_2(s), I_3(s), I_4(s)$ 有式(4)所示的关系。

$$\delta'(s) = \tan^{-1} \left[\frac{I_2(s) - I_4(s)}{I_3(s) - I_1(s)} \right] \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$\delta'(s)$ —— 未施加初始位相时光线在传播路径上各点沿应力方向分解的两个偏振光分量位相差主值，单位为弧度(rad)；

$I_1(s), I_2(s), I_3(s), I_4(s)$ —— 相移器的初始位相分别为 $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ 时，由数字面阵相机记录的各点的散射光光强。

将 $I_1(s), I_2(s), I_3(s), I_4(s)$ 代入式(4)获得未施加初始位相时光线在传播路径上各点沿应力方向分解的两个偏振光分量位相差主值 $\delta'(s)$ 。

6.2.5 通过相位去包裹算法将各点沿应力方向分解的两个偏振光分量的位相差主值 $\delta'(s)$ 转换为沿应力方向分解的两个偏振光分量的位相差 $\delta(s)$ ，并通过式(5)获得该测量方向光线传播路径上各点的应力值。

$$\sigma(s) = \frac{\lambda}{2\pi C} \frac{d\delta(s)}{ds} \times 10^{-6} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$\sigma(s)$ ——光线传播路径上各点的应力值,单位为兆帕(MPa)；

λ ——光束波长,单位为纳米(nm)；

C ——被测玻璃应力光学常数,单位为每兆帕(MPa^{-1}),钠钙硅玻璃的应力光学常数一般取 $2.60 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$,硼硅玻璃的应力光学常数一般取 $3.90 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ ；

$\delta(s)$ ——光线在传播路径上各点沿应力方向分解的两个偏振光分量的位相差,单位为弧度(rad)；

s ——光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm)。

6.2.6 重复 6.2.2~6.2.5 的步骤对其余 3 个测量方向的应力进行测量,最终获得 4 条板厚应力分布曲线。

7 测量结果

7.1 板厚方向应力分布测量结果表示

板厚方向应力分布测量结果以板厚应力分布曲线表示,横坐标为板厚方向测量深度,纵坐标为不同测量深度下应力值。4 个测量方向分别对应 4 条板厚应力分布曲线。示例板厚方向应力分布曲线如图 4 所示。

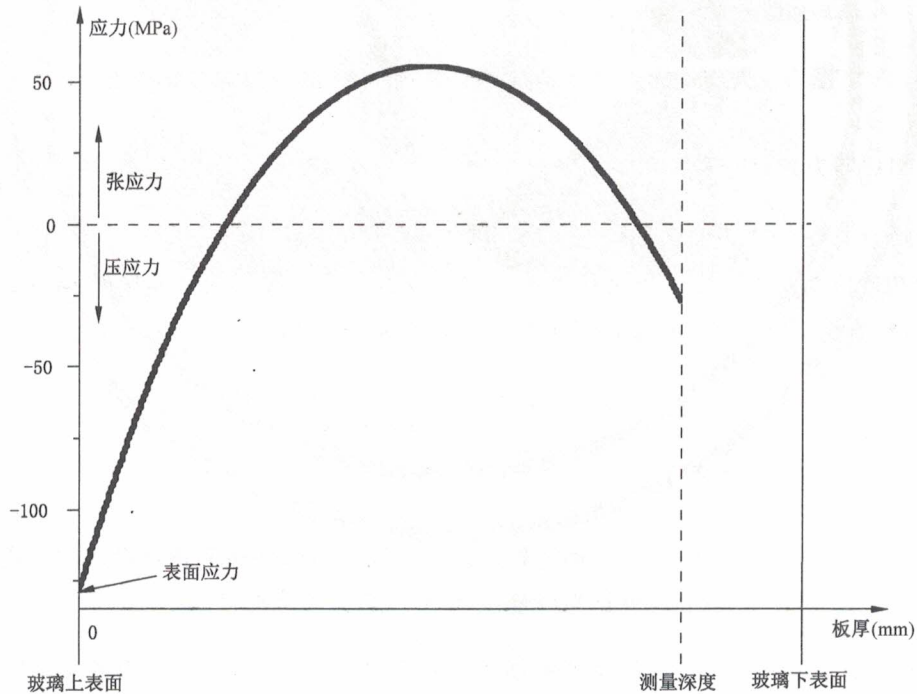


图 4 示例板厚方向应力分布曲线

7.2 表面应力测量结果表示

玻璃表面对应的应力值为被测点该测量方向的表面应力,计算 4 个测量方向的表面应力平均值作为被测点表面应力的测量结果。

8 测量报告

报告应至少包括以下内容：

- a) 采用标准；
- b) 环境条件；
- c) 样品描述；
- d) 测量位置；
- e) 测量仪器；
- f) 测量地点；
- g) 测量结果；
- h) 测量人员；
- i) 测量日期。

附录 A
(资料性)
仪器核验方法

A.1 利用四点弯曲试验对符合本文件的应力仪进行核验

一般情况下,仪器测量值与四点弯曲试验计算比对值之差的绝对值不大于 5 MPa。

A.1.1 环境条件

温度: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

相对湿度: 25%~75%;

无明显机械振动,无电磁干扰,无强气流,避免阳光直射仪器。

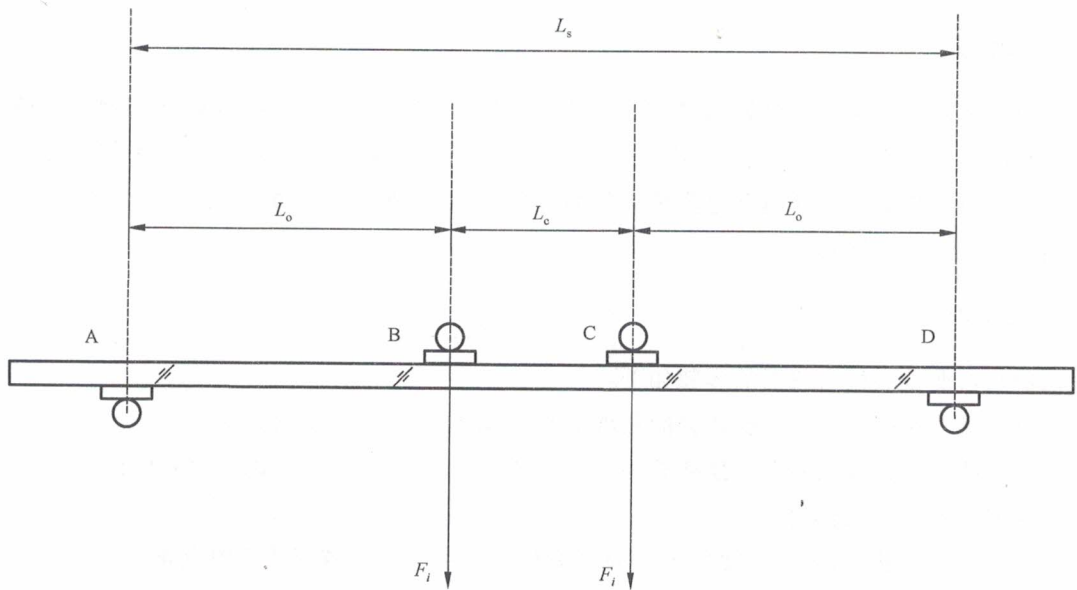
A.1.2 样品

四点弯曲试验样品应符合以下规定:

- 优质退火良好的浮法白玻,薄厚差不超过 0.1 mm,外观质量应符合 GB/T 11614 中优等品的规定;
- 厚度(t): $t \geq 2\text{ mm}$;宽度(w): $8t \leq w \leq 12t$;总长度(L): $L \geq 12w$;
- 同一块玻璃的各部位的宽度差值最大不超过 0.5 mm;
- 玻璃四边抛光,棱角倒角不大于 0.5 mm,没有抛光缺陷和微裂纹,尽量提高弯曲强度;
- 样品残余表面应力应不大于 1 MPa(可对加工后的样品进行精密退火),初始应力 σ_0 视为 0;不能确定残余表面应力小于 1 MPa 的样品,应使用在校准有效期内的应力仪测量获得,作为初始应力 σ_0 ;
- 样品需在温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 25%~75%的环境中放置 2 h 以上。

A.1.3 原理

图 A.1 是四点弯曲试验原理示意图,B、C 是两加载辊位置,A、D 是两支撑辊位置,加载辊与支撑辊直径为 5 mm~10 mm,支撑辊与玻璃之间的橡胶垫为 3 mm 厚,B、C 之间的距离(L_0)为 $3w$,相邻支撑辊与加载辊之间的距离(L_0)不小于 $4w$ 。



标引序号说明：

A、D——两支承辊位置；

B、C——两加载辊位置；

L_s ——两支承辊之间的距离，单位为毫米(mm)；

L_o ——相邻支承辊与加载辊之间的距离，单位为毫米(mm)；

L_c ——两加载辊之间的距离，单位为毫米(mm)；

F_i ——加载力，包括4点弯曲试验加载装置的重力和加载砝码的重力，单位为牛(N)。

图 A.1 4点弯曲试验原理示意图

在两加载辊位置施加 n 个(通常 $n=10$)递增的力 F_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$)， F_i 包括4点弯曲试验加载装置的重力和加载砝码的重力，根据式(A.1)计算施加不同加载力后样品 BC 中点的宽度方向表面应力，作为比对值，使用被核验应力仪沿宽度方向测量3次不同加载力时 BC 中点的表面应力，3次测量的平均值作为被核验应力仪的测量值。被核验仪器测量值与比对值之差的绝对值一般应不大于 5 MPa。

$$\sigma_i = \frac{6F_i L_o}{wt^2} + \frac{3\rho g L_s^2}{4t} + \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

σ_i ——施加第 i 个加载力后，样品 BC 中点的表面应力，单位为兆帕(MPa)；

F_i ——第 i 个加载力，包括四点弯曲试验加载装置的重力和加载砝码的重力，单位为牛(N)；

t ——样品厚度，单位为毫米(mm)；

w ——样品宽度，单位为毫米(mm)；

L_o ——相邻支承辊与加载辊之间的距离，单位为毫米(mm)；

ρ ——样品密度，单位为千克每立方毫米(kg/mm^3)，对于普通钠钙硅玻璃取 $\rho=2.5 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{mm}^3$ ；

g ——重力加速度，单位为牛每千克(N/kg)，一般取 9.8 N/kg；

L_s ——两支承辊之间的距离，单位为毫米(mm)；

σ_0 ——样品被测点初始应力，单位为兆帕(MPa)。

A.1.4 试验准备

常规退火玻璃弯曲强度一般为 25 MPa,经过边部精磨、抛光或进一步酸洗处理可增加玻璃的弯曲强度。试验前应根据样品的弯曲强度,通过式(A.1)估算加载位置可施加的最大力,确保施加的力不会使样品发生断裂。称量并记录四点弯曲试验加载装置的重力,根据最大加载力选配 n (通常 $n=10$)组加载砝码,砝码质量递增相近。

A.1.5 核验步骤

利用四点弯曲试验核验仪器的步骤如下:

- a) 将样品放在四点弯曲试验装置的支承架上,并定位样品上部加载装置;
- b) 在加载位置处分别用各组加载砝码施力,对应加载力为 F_i ,通过式(A.1)计算样品 BC 中点的应力值 σ_i ,作为比对值;
- c) 施加每组加载砝码后,均使用被核验应力仪沿宽度方向在样品 BC 中点重复进行 3 次表面应力测量,并取平均值作为被核验仪器在该点的测量值;
- d) 计算测量值与比对值之差的绝对值。

A.2 用校准有效期内的应力测量仪对符合本文件的应力仪进行核验

环境条件应符合 A.1.1 的规定。挑选表面应力值分布均匀的钢化玻璃制品作为比对样品,被测点的选择应符合 6.1 的规定,测量方向的选择应符合 6.2.1 的规定。样品需在温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 25%~75%的环境中放置 2 h 以上。

选定测量点,用校准有效期内的应力测量仪沿着比对样品的 4 个测量方向进行测量,每个测量方向重复进行 3 次应力测量,计算 3 次测量的平均值作为该测量方向的应力值,计算 4 个测量方向应力的平均值作为被测点的比对值。

使用被核验应力测量仪在相同测量点沿着比对样品的 4 个测量方向进行测量,每个测量方向重复进行 3 次应力测量,计算 3 次测量的平均值作为该测量方向的测量值,计算 4 个测量方向的应力的平均值作为被测点的测量值。测量值与比对值之差的绝对值一般应不大于 5 MPa。

中国建筑玻璃与工业玻璃协会
团 体 标 准
玻璃应力测量方法——激光偏振散射法
T/ZBH 019—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 23 千字
2022年2月第一版 2022年3月第二次印刷

*

书号: 155066·5-4023 定价 22.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/ZBH 019-2021



码上扫一扫 正版服务到