

ICS 81.040.01  
Q 33



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 36405—2018

---

## 平板玻璃应力检测方法

Test method for stress in flat glass

2018-06-07 发布

2019-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国建筑用玻璃标准化技术委员会(SAC/TC 255)归口。

本标准起草单位：中国建材检验认证集团秦皇岛有限公司(国家玻璃质量监督检验中心)、中国建筑第四工程局有限公司、台玻长江玻璃有限公司、华测检测认证集团股份有限公司、北京奥博泰科技有限公司、福莱特玻璃集团股份有限公司、福耀玻璃工业集团股份有限公司、佛山市顺德区质量技术监督标准与编码所、湖北省建筑科学研究设计院、四川恒固建设工程检测有限公司、东莞市华喜机电工程有限公司、河北润安建材有限公司、北京信远博恒检测科技有限责任公司、河北宏星检测技术服务有限责任公司。

本标准主要起草人：嵇书伟、张喆民、吴筱、黄建斌、李新刚、李焱、李虎、杨伟、徐江、阮洪良、高峰、何世猛、李军生、周群、沈敏奇、温汉平、桑路明、孟彩清、李根。

# 平板玻璃应力检测方法

## 1 范围

本标准规定了平板玻璃应力检测的有关术语和定义、检测原理、应力检测方法和测试报告。  
本标准的方法适用于退火平板玻璃板面应力和板厚应力的检测。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 平板玻璃术语

## 3 术语和定义

GB/T 15764 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**板面应力 plane stress**

玻璃成型后,在玻璃板面不同区域之间存在的永久张应力或压应力。

### 3.2

**板厚应力 interior stress**

玻璃成型后,在板厚方向由于温度梯度造成的永久应力,其表面为压应力,中心区域为张应力。

### 3.3

**起偏器 polarizer**

置于光源与被检测样品之间,将自然光变成为有一定振动方向的平面偏振光的装置。

### 3.4

**检偏器 analyzer**

置于被检测样品与观察者之间,用于检偏的偏振装置。

### 3.5

**双折射光程差 birefringence optical path difference**

寻常光与异常光在同一存在应力的玻璃中传播时,单位长度上产生的行程差所折合成的在真空中传播的行程差。

## 4 检测原理

玻璃是各向同性体,各方向的折射率相同。如果玻璃中存在应力,各向同性的性质受到破坏,会引起折射率变化,两主应力方向的折射率不再相同,从而导致双折射,双折射引起光程差,光波双折射的程度与玻璃中所存在的应力大小成正比。平板玻璃应力检测的原理是通过测量应力双折射来衡量玻璃中应力的的大小。

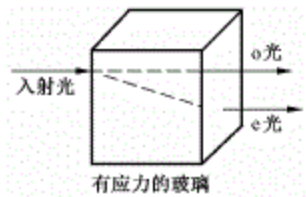


图 1 应力引起的光波双折射示意图

如图 1 所示,当一束光垂直射入存在应力的玻璃时,这束光在玻璃中分解成两束振动方向互相垂直的偏振光:寻常光 o 光和异常光 e 光,两者光能量之和等于入射光的总光能量。其中 o 光在有应力的玻璃中的传播速率与入射角无关,e 光的传播速率随入射角大小和玻璃内应力的性质变化。

当入射光与玻璃的应力方向成直角时,o 光与 e 光在玻璃中传播的速率差最大;当入射光与玻璃的应力方向一致时,o 光与 e 光的速率差趋向于零。因而,只有在入射光方向与应力方向不平行时才产生双折射现象。玻璃受到单向张应力时,其光学性质如同单轴正晶体,e 光的折射率大于 o 光的折射率,即 e 光在有张应力的玻璃中传播的速率小于 o 光;玻璃受单向压应力时,光学性质如同单轴负晶体,e 光的折射率小于 o 光的折射率,即 e 光在有压应力的玻璃中传播的速率大于 o 光。玻璃中的应力越大,e 光的传播速率变化也越大,而 o 光的传播速率不变。

平行光垂直光轴通过晶片时,产生的双折射光程差最大,即光束方向对应于最大双折射方向。对玻璃来说,垂直于光轴的方向就是垂直于玻璃的主应力方向。

以垂直于主应力方向测得的双折射光程差值来表征应力的大小。双折射光程差由式(1)计算:

$$\Delta = d(n_e - n_o) \times 10^6 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- Δ —— 双折射光程差,单位为纳米(nm);
- d —— 光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm);
- $n_e$  —— 异常光 e 光的折射率;
- $n_o$  —— 寻常光 o 光的折射率。

一般难以对双折射光程差进行直接测量,而是对相位差进行测量进而计算得出双折射光程差。双折射光程差 Δ 和相位差之间的关系为:

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

式中:

- δ —— 被测玻璃样品的相位差测量值,单位为弧度(rad);
- λ —— 测量光波的波长,单位为纳米(nm)。

平板玻璃的应力按式(3)计算。

$$\sigma = \frac{1}{Cd \times 10^6} \times \Delta \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

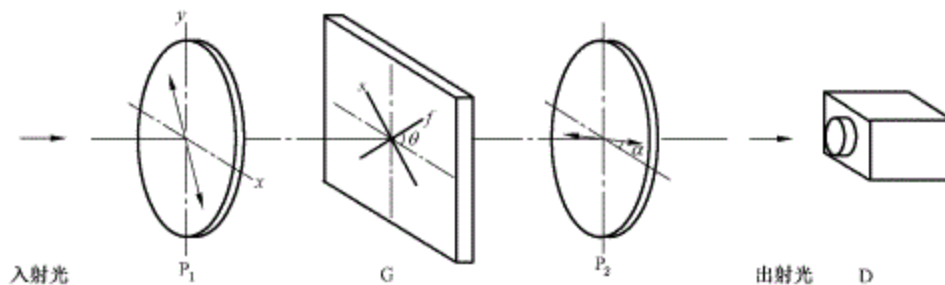
- σ —— 检测点的应力,单位为兆帕(MPa);
- Δ —— 检测点的双折射光程差,单位为纳米(nm);
- C —— 被测玻璃的应力光学常数,单位为每兆帕(MPa<sup>-1</sup>);
- d —— 光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm)。

## 5 应力检测方法

### 5.1 板面应力检测方法

#### 5.1.1 检测装置

检测板面应力的装置光学示意图见图 2,入射的均匀自然光经起偏器  $P_1$  成为线偏振光,经被测玻璃样品  $G$  成为椭圆偏振光,再由检偏器  $P_2$  转变为线偏振光,最后由面阵相机  $D$  记录被测样品表面的光场信号。起偏器  $P_1$  与检偏器  $P_2$  的主方向相互正交,且与参考坐标系  $x$  轴成  $\alpha$  角,被测样品的快、慢轴方向分别为  $f$ 、 $s$ ,其中快轴  $f$  与参考坐标系  $x$  轴成  $\theta$  角。面阵相机  $D$  距检偏器  $P_2$  一定距离,确保以小视场角对被测样品的干涉条纹实现成像。被测样品  $G$  固定于光路中,起偏器  $P_1$  与检偏器  $P_2$  同步旋转,转角为  $\alpha$ 。



说明:

- $P_1$ ——起偏器;
- $G$ ——被测玻璃样品;
- $P_2$ ——检偏器;
- $D$ ——面阵相机。

图 2 板面应力检测装置的光学示意图

检测装置包含机电控制、数字图像采集、数字图像分析处理及计算等功能的测控软件。用于测量、计算并显示板面应力分布图、板面应力平均值和最大值。

#### 5.1.2 应力计算

由面阵相机  $D$  记录的光场图像信号强度  $I(x, y, \alpha)$  由式(4)表示。

$$I(x, y, \alpha) = \frac{I_0}{4} [1 - \cos \delta(x, y)] \sin^2 [2\theta(x, y) - 2\alpha] \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $I(x, y, \alpha)$ ——光场图像信号强度;
- $I_0$ ——入射自然光强度,由标定得到;
- $\delta(x, y)$ ——被测样品的双折射相位差,单位为弧度(rad);
- $\theta(x, y)$ ——被测样品的快轴  $f$  与参考坐标系  $x$  轴的夹角,单位为弧度(rad);
- $\alpha$ ——起偏器与检偏器的同步转角。

式(4)描述的信号为时间周期性信号,由测得的峰谷值按式(5)计算出被测样品的双折射相位差。

$$\delta(x, y) = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{2[I_p(x, y) - I_s(x, y)]}{I_0}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$I_p(x, y)$ ——面阵相机采集到的 $(x, y)$ 点处光强度峰值；

$I_v(x, y)$ ——面阵相机采集到的 $(x, y)$ 点处光强度谷值；

$I_0$ ——同式(4)。

利用面阵相机记录的序列数字图像,提取任一检测点 $(x, y)$ 的原始光强度测量数据,如图3所示。

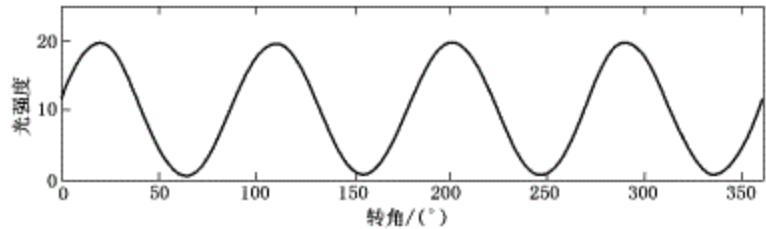


图3 某检测点的原始测量数据

将原始测量数据进行正弦拟合,得到拟合曲线,由拟合曲线计算出光强度的峰谷值,按式(5)计算被测样品的双折射相位差,按式(2)计算双折射光程差 $\Delta(x, y)$ 。

平板玻璃的板面应力按式(6)计算。

$$\sigma(x, y) = \frac{1}{Cd \times 10^6} \times \Delta(x, y) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$\sigma(x, y)$ ——被测玻璃 $(x, y)$ 点的应力,单位为兆帕(MPa)；

$\Delta(x, y)$ ——被测玻璃 $(x, y)$ 点的双折射光程差,单位为纳米(nm)；

C——被测玻璃的应力光学常数,单位为每兆帕( $\text{MPa}^{-1}$ ),钠钙硅玻璃的应力光学常数取 $2.6 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ ；

d——光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm),取玻璃板厚实测值。

### 5.1.3 样品

#### 5.1.3.1 样品制备

##### 5.1.3.1.1 生产线取样

在平板玻璃有效板宽内,沿板宽方向,尽量多地切裁 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 的样品,按顺序编号并标记拉引方向。

##### 5.1.3.1.2 成品取样

随机抽取一片成品,沿同一方向或板宽方向尽量多地切裁 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 的样品。

#### 5.1.3.2 样品处理

清洗样品,保证表面洁净、无附着物。

### 5.1.4 检测区域的确定

样品中部直径 $500 \text{ mm}$ 为检测区域。

### 5.1.5 检测步骤

检测步骤如下：

- a) 测量被测样片的厚度,精确到 0.1 mm;
- b) 开启应力检测仪,使起偏器与检偏器的主方向相互正交;
- c) 将被测样品置于起偏器与检偏器之间,样品表面垂直于检测光路,各样片按拉引方向横向摆放;
- d) 按仪器使用规范,通过测控软件操作应力检测仪,完成检测区域的应力检测和计算;
- e) 按样品编号记录应力分布图及检测区域内各点的应力测量值。

## 5.1.6 检测结果表示

### 5.1.6.1 板面应力分布图

按式(6)计算被测样品检测区域内的应力值,在  $xy$  坐标平面上将应力值取绝对值,用灰度或彩色绘制被测样品板面应力分布。

### 5.1.6.2 板面应力平均值

张应力和压应力均取正值,计算检测区域内应力的算术平均值。

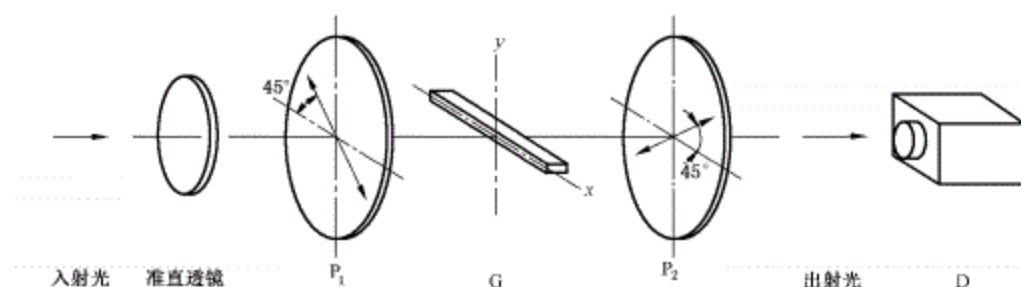
### 5.1.6.3 板面应力最大值

检测区域内应力绝对值的最大值。

## 5.2 板厚应力检测方法

### 5.2.1 检测装置

板厚应力检测装置的光学示意图见图 4,起偏器  $P_1$  与检偏器  $P_2$  正交,单色点光源经透镜准直成平行光。被测玻璃样品  $G$  为长条状,放置在  $P_1$  和  $P_2$  之间,入射平行光穿过样品的长边端面,被测玻璃的应力干涉图由面阵相机  $D$  的远心成像镜头成像在像面上。设置起偏器  $P_1$ 、检偏器  $P_2$  的偏振方向正交,被测玻璃样品的原板表面分别与  $P_1$ 、 $P_2$  成  $45^\circ$  夹角。样品检测位置示意图见图 5。



说明:

- $P_1$ ——起偏器;
- $G$ ——被测玻璃样品;
- $P_2$ ——检偏器;
- $D$ ——面阵相机。

图 4 板厚应力检测装置的光学示意图



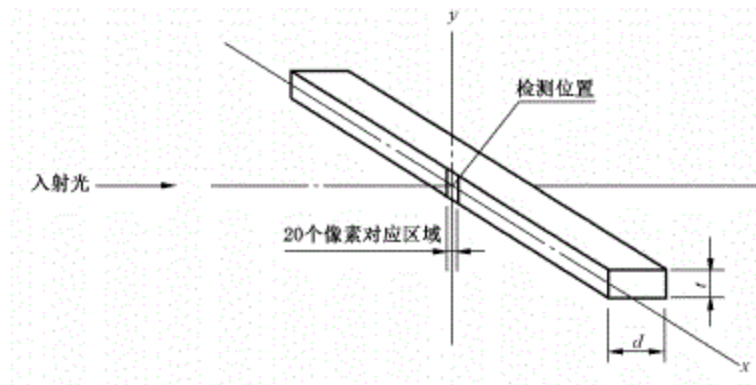


图5 样品检测位置示意图

检测装置包含机电控制、数字图像采集、数字图像分析处理及计算等功能的测控软件,用于测量、计算并显示板厚应力分布图和板厚应力最大值。

5.2.2 光强标定

保持起偏器  $P_1$  和被测样品  $G$  不动,将检偏器  $P_2$  的偏振方向调节至与样品长边平行的位置(即  $0^\circ$  位置),此时面阵相机检测到的光强分布关系式见式(7),式中  $I_0$  与  $T$  不需实际测量。同一批次相同裁切尺寸的被测样品只需标定一次光强。

$$I'(x, y) = \frac{1}{4} I_0 T \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $I'(x, y)$  ——相机检测到的光强分布;
- $I_0$  ——准直光束的入射光强;
- $T$  ——被测样品沿入射方向的透射比。

5.2.3 相位差测量

将检偏器  $P_2$  的偏振方向调节至与起偏器  $P_1$  正交的位置,此时面阵相机检测到的光强分布关系式见式(8)。

$$I(x, y) = \frac{1}{4} I_0 T [1 - \cos\delta(x, y)] \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- $I(x, y)$  ——相机检测到的光强分布;
  - $I_0$  ——同式(7);
  - $T$  ——同式(7);
  - $\delta(x, y)$  ——检测点的应力双折射相位差,单位为弧度(rad)。
- 检测点的应力双折射相位差按式(9)计算。

$$\delta(x, y) = \cos^{-1} \left[ 1 - \frac{I(x, y)}{I'(x, y)} \right] \dots\dots\dots (9)$$

5.2.4 应力计算

按式(2)计算双折射光程差  $\Delta(x, y)$ 。各检测点的板厚应力按式(10)计算。

$$\sigma(x, y) = \frac{1}{Cd \times 10^6} \times \Delta(x, y) \dots\dots\dots (10)$$



式中:

$\sigma(x, y)$  —— 被测样品的应力值,单位为兆帕(MPa);

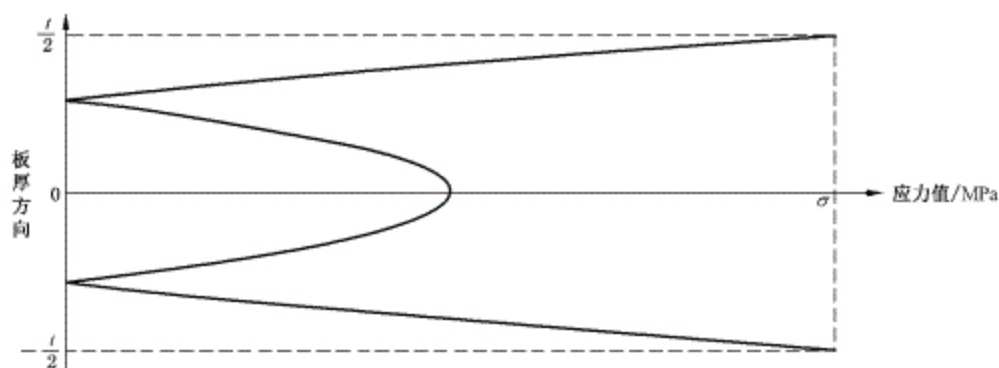
$C$  —— 被测玻璃的应力光学常数,单位为每兆帕( $\text{MPa}^{-1}$ ),钠钙硅玻璃的应力光学常数取  $2.6 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ ;

$d$  —— 光在玻璃中传播的距离,单位为毫米(mm),取被测样品中部两抛光面间的距离实测值;

$\Delta(x, y)$  —— 被测样品的双折射光程差,单位为纳米(nm)。

### 5.2.5 板厚应力分布曲线

式(10)中对于不同的  $y$ ,分别在  $x$  方向样品中部取对应的 20 个相邻像素点,计算出对应各  $y$  值下的应力算术平均值的分布曲线  $\bar{\sigma}(y)$ ,并对  $\bar{\sigma}(y)$  做平滑及拟合处理, $y$  按玻璃板厚均匀取 50 个点,得到板厚应力分布曲线  $\sigma(y)$ ,如图 6 所示。



说明:

$t$  —— 玻璃板厚,单位为毫米(mm)。

图 6 某检测点的板厚应力分布曲线

## 5.2.6 样品

### 5.2.6.1 样品制备

#### 5.2.6.1.1 生产线取样

在平板玻璃有效板宽内,沿板宽方向,以两边部为起终点,尽量多地切裁  $300 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  的样品,  $300 \text{ mm}$  方向为板宽方向,并按顺序编号,尽量保证玻璃有效板宽内都被取到。

#### 5.2.6.1.2 成品取样

随机抽取一片成品,沿板宽方向,以两边部为起终点,尽量多地切裁  $300 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  的样品,  $300 \text{ mm}$  方向为板宽方向,并按顺序编号。

### 5.2.6.2 样品处理

对样品的两个通光的长端面精磨并抛光,抛光面相互平行;清洗样品,保证表面洁净、无附着物。

## 5.2.7 检测步骤

依照下列检测步骤,按样品编号顺序对样品进行测量并记录检测结果。

## GB/T 36405—2018

- a) 测量被测样品中部两抛光面间的距离,精确到 0.1 mm;
- b) 使检测装置进入待测初始状态;
- c) 将被测样品置于起偏器与检偏器之间,抛光面与检测光路垂直;
- d) 通过测控软件完成应力检测和计算;
- e) 按样品编号记录检测结果。

## 5.2.8 检测结果表示

### 5.2.8.1 板厚应力分布曲线

取应力值的绝对值为横坐标,板厚方向为纵坐标,绘制板厚应力分布曲线。

### 5.2.8.2 板厚应力最大值

检测区域张应力绝对值的最大值,注明张应力。

## 6 测试报告

报告应至少包括以下内容:

- a) 采用标准;
  - b) 试样名称;
  - c) 试样来源;
  - d) 试样编号;
  - e) 试样厚度;
  - f) 测试仪器;
  - g) 按样品编号记录的测试结果;
  - h) 测试温度;
  - i) 测试人员;
  - j) 测试日期;
  - k) 审核人员。
-