



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37781—2019

---

## 玻璃材料弯曲强度试验方法

Test methods for bending strength of glass

2019-08-30 发布

2020-07-01 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股份有限公司、中国建筑材料科学研究总院、贵州省建材产品质量监督检验院、江苏铁锚玻璃股份有限公司、中国建材检验认证集团秦皇岛有限公司、山东温声玻璃科技股份有限公司、浙江西溪玻璃有限公司、福耀玻璃工业集团股份有限公司、东莞市华居建设工程有限公司、蚌埠玻璃工业设计院。

本标准主要起草人：包亦望、万德田、刘小根、朱孜、王银茂、陈志新、黄建斌、张旭东、赵兴勇、詹淑贞、温汉平、石丽芬、邱岩、田远、潘瑞娜、艾福强、王艳萍、涂昊、姚婷婷。

# 玻璃材料弯曲强度试验方法

## 1 范围

本标准规定了玻璃材料弯曲强度试验的术语和定义、原理、试验及试验报告。

本标准中的三点弯曲法适用于玻璃等脆性材料的弯曲强度测试。

本标准中的四点弯曲法适用于退火玻璃、钢化玻璃、半钢化玻璃、压花玻璃等平板玻璃的弯曲强度测试,不适用于夹层玻璃及中空玻璃等复合玻璃的弯曲强度测试。

本标准不适用于厚度为 3 mm 以下的玻璃弯曲强度测试。

本标准也可以单独用于评价玻璃边缘对弯曲强度的影响。

## 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 1216 外径千分尺

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**弯曲强度 bending strength**

试样在弯曲载荷作用下破坏时所受的最大弯曲应力。

### 3.2

**弯曲应力 bending stress**

弯曲试验时试样下表面产生的拉应力。

## 4 原理

在规定的试验条件下,一定尺寸和形状的试样,受静态弯曲载荷断裂,通过计算其承受载荷的横截面处最大弯曲应力,得出试样的弯曲强度。

## 5 试验

### 5.1 三点弯曲法

#### 5.1.1 试验机

5.1.1.1 能保证一定的位移加载速率。载荷示值相对误差不超过量程 $\pm 1\%$ 。

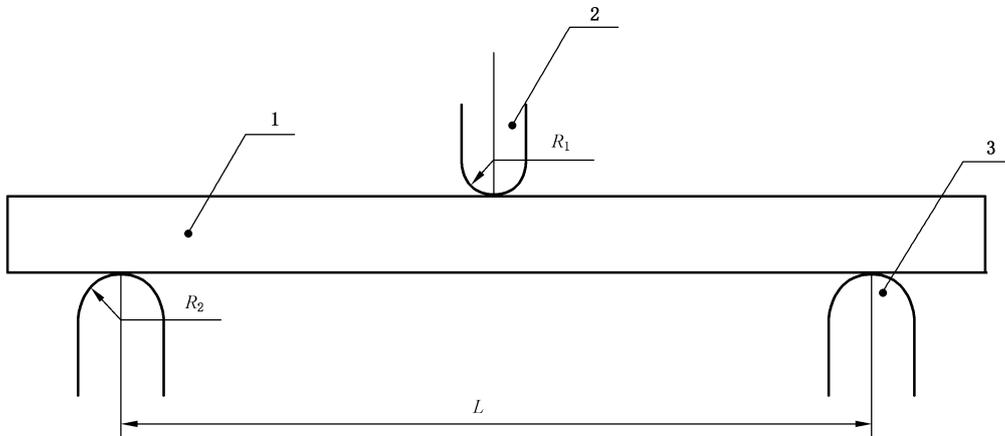
5.1.1.2 试样破坏时的最大试验载荷应在试验机使用量程范围的 20%~90%。

5.1.1.3 三点弯曲法示意图见图 1 所示,用来支撑试样的支座和施加载荷的上压辊均采用经过淬硬的

钢材,其材料的弹性模量应不低于 200 GPa,长度应大于试样的宽度,同时与试样接触部分的表面粗糙度应不大于 1.6 μm。

5.1.1.4 上压辊的轴线至两支座的轴线的距离应相等,偏差不大于±0.5%。

5.1.1.5 两支座间的距离应可调节,应带有指示距离的标记,跨距应精确至 0.1 mm。



说明:

- 1 —— 试样;
- 2 —— 上压辊;
- 3 —— 试样支座;
- $R_1$  —— 上压辊半径;
- $R_2$  —— 试样支座半径。

图 1 三点弯曲法示意图

### 5.1.2 试样



5.1.2.1 在制品上切割出长度  $l$  为  $120\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,宽度  $b$  为  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,厚度  $d$  为制品厚度的长方体试样。

5.1.2.2 试样两长边要求研磨、抛光、轻微倒角,其横截面的四角均为  $90^\circ \pm 0.5^\circ$ 。

5.1.2.3 试样数量取决于置信度的要求,一般每组试样不少于 10 个。做威布尔(Weibull)统计分析时,要求试样数量不少于 30 个。

### 5.1.3 试验程序

5.1.3.1 采用符合 GB/T 1216 规定的游标卡尺测量试样中部的宽度  $b$  和厚度  $d$ ,精确至 0.02 mm。

5.1.3.2 调整两试样支座间距  $L$  至  $100\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 。

5.1.3.3 试验前,应用毛刷或软布仔细清扫上压辊和试样支座,以清除碎玻璃渣。

5.1.3.4 以 5 mm/min 的位移速度加载,记录试样断裂时的最大载荷  $P$ 。

### 5.1.4 结果计算

5.1.4.1 断裂产生在试样长度方向三等分中间部分的试样为有效试样。只计算有效试样的弯曲强度,按式(1)计算:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- $\sigma_b$  —— 试样的弯曲强度,单位为兆帕(MPa)；  
 $P$  —— 试样断裂时的最大载荷,单位为牛顿(N)；  
 $L$  —— 试样支座间距,单位为毫米(mm)；  
 $b$  —— 试样宽度,单位为毫米(mm)；  
 $d$  —— 试样厚度,单位为毫米(mm)。

5.1.4.2 按附录 A 进行数据处理,以有效数据的算术平均值和标准差表示,结果精确到 0.1 MPa。

## 5.2 四点弯曲法

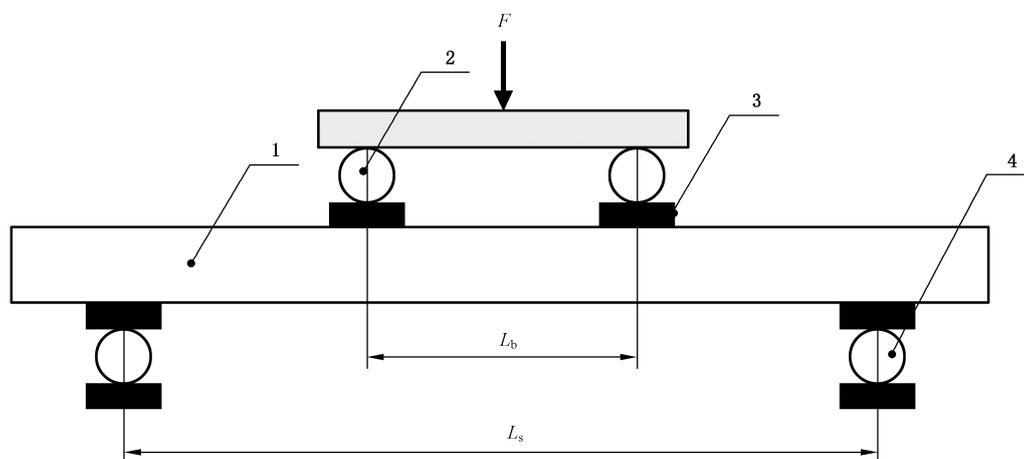
### 5.2.1 试验机

5.2.1.1 能够实现从零到最大载荷之间可以连续、均匀、无级加载,且能够将加载过程中的振动降至最小。

5.2.1.2 装置应能实现等应力速率加载。

5.2.1.3 仪器所配载荷测量装置,测量误差保持在量程的 $\pm 2.0\%$ 以内。

5.2.1.4 四点弯曲试验示意图如图 2 所示,支撑辊与弯曲辊直径为  $50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,长度不小于  $365\text{ mm}$ ,所有辊均能自由旋转,两弯曲辊中心线间的距离  $L_b = 200\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,两支撑辊中心线间的距离  $L_s = 1\ 000\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 。



说明：

- 1——试样；  
 2——弯曲辊；  
 3——橡胶垫；  
 4——支撑辊。

图 2 四点弯曲试验示意图

### 5.2.2 试样

#### 5.2.2.1 试样数量

试样数量取决于置信度的要求,一般每组试样不少于 10 个。做威布尔(Weibull)统计分析时,要求试样数量不少于 30 个。

5.2.2.2 试样尺寸

试样长度  $l$  为  $1\ 100\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ , 试样宽度  $B$  为  $360\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ , 试样厚度  $h$  为制品厚度。

5.2.2.3 试样要求

试样应平整, 试样边部应与玻璃制品状况一致。

所有样品的切割面应在制品的同一表面。

试样边缘侧面应垂直于表面, 试样应在开始试验前 24 h 制备完毕, 试验前在试验环境下保存至少 4 h。

5.2.3 试验程序

5.2.3.1 试样宽度测量

宽度测量精确至 1 mm, 宽度至少在试样不同位置测量 3 次, 并取平均值。

5.2.3.2 试样厚度测量

采用符合 GB/T 1216 规定的游标卡尺测量试样厚度, 精确至 0.02 mm, 在试样的 4 个角部测量厚度, 并取平均值。

5.2.3.3 弯曲试验

按图 2 要求安放试样, 为了防止碎片飞散, 在试样的上表面粘贴一层不干胶膜, 便于破裂源的确定。

将橡胶垫[厚 3 mm, 硬度为  $(40 \pm 10)$  IRHC]安放在试样与弯曲辊和支撑辊之间。弯曲试验应在环境温度为  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 相对湿度为 40%~70% 的条件下进行。为避免热应力的影响, 测试过程中, 环境温度变化不应超过  $1^\circ\text{C}$ 。试验过程中以  $(2 \pm 0.4)$  MPa/s 的加载速率对试样均匀施加载荷直至试样破裂, 记录最大载荷  $F_{\text{max}}$  及从开始加载至试样破坏时所用的时间。

5.2.4 结果计算

5.2.4.1 试样弯曲强度

弯曲强度  $\sigma_{\text{bb}}$  按式(2)计算:

$$\sigma_{\text{bb}} = k \left[ F_{\text{max}} \frac{3(L_s - L_b)}{2Bh^2} + \sigma_{\text{bG}} \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\sigma_{\text{bb}}$  —— 试样弯曲强度, 单位为兆帕(MPa);
- $k$  —— 无量纲因子(起始于表面破坏时为  $k_s$ , 起始于边缘破坏时为  $k_e$ );
- $F_{\text{max}}$  —— 试样破裂时刻对应的最大载荷, 单位为牛顿(N);
- $L_s$  —— 两支撑辊中心线间的距离, 单位为毫米(mm);
- $L_b$  —— 两弯曲辊中心线间的距离, 单位为毫米(mm);
- $B$  —— 试样宽度, 单位为毫米(mm);
- $h$  —— 试样厚度, 单位为毫米(mm);
- $\sigma_{\text{bG}}$  —— 试样自重产生的弯曲应力, 单位为兆帕(MPa)。

由试样自重产生的弯曲应力  $\sigma_{\text{bG}}$  由式(3)计算:

$$\sigma_{\text{bG}} = \frac{3\rho g L_s^2}{4h} \dots\dots\dots (3)$$



式中：

- $\sigma_{bG}$ ——试样自重产生的弯曲应力,单位为兆帕(MPa)；
- $\rho$ ——试样密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )；
- $g$ ——重力加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m}/\text{s}^2$ )。

#### 5.2.4.2 大面区域弯曲强度

只计算有效试样的弯曲强度。破坏源起始于两弯曲辊之间表面的试样为有效试样,按式(2)进行计算,并取  $k = k_s = 1$ 。

#### 5.2.4.3 边缘弯曲强度

只计算有效试样的弯曲强度。破坏源起始于在两弯曲辊之间的边缘处的试样为有效试样,按式(2)进行计算,并取  $k = k_e$ ,  $k_e$  依赖于试样中心的挠度  $y$ ,可以直接测得或按式(4)计算：

$$\frac{y}{h} = \frac{3F_{\max}}{4EBh^4} \left[ \frac{L_s^3}{3} + \frac{L_b^3}{6} + \frac{L_s L_b^2}{2} \right] \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $y$ ——试样在两支撑辊中心位置的挠度,单位为毫米(mm)；
- $h$ ——试样厚度,单位为毫米(mm)；
- $E$ ——试样的弹性模量,单位为吉帕(GPa)。

$k_e$  与  $y/h$  之间的函数关系见图 3 所示,按其选取式(2)中合适的  $k_e$  值。

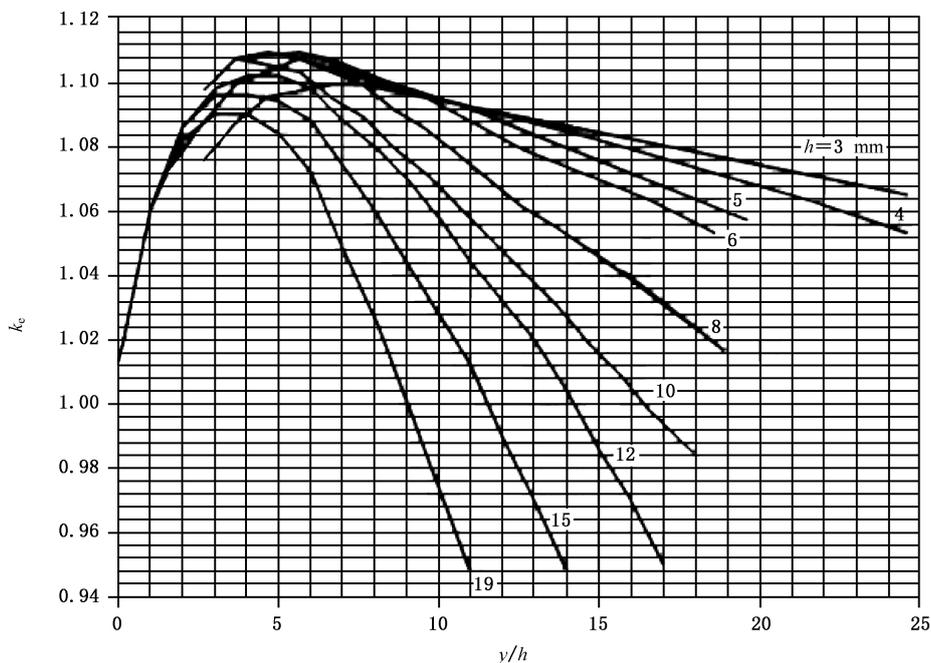


图 3 无量纲因子  $k_e$  与  $y/h$  的函数关系图

#### 5.2.4.4 数据处理

按附录 A 进行数据处理,以有效数据的算术平均值和标准差表示,结果精确到 0.1 MPa。

### 5.3 加载方式

三点弯曲法或四点弯曲法测量玻璃弯曲强度的选择,可由供需双方商定,也可根据强度测试影响因

素来确定,参见附录 B。

## 6 试验报告

应包括以下内容:

- a) 玻璃的种类、规格、数量及编号。
- b) 被测试样表面的预处理和表面状态,包括处理顺序。若为压花试样,应指出哪个面承受拉应力(非压花面或压花面)。
- c) 边部加工方式。
- d) 退火或预应力玻璃试样的内应力,包括应力性质。如果可能的话,标注预应力程度。
- e) 加载速率。
- f) 对于每个试样,应包含以下信息:
  - 1) 厚度精确到 0.05 mm,对一面或两面的压花的试样,应测量最大厚度(板厚度),最小厚度(中心厚度)和平均厚度,并精确到 0.05 mm;
  - 2) 宽度以毫米为单位,精确到 1 mm;
  - 3) 断裂时刻对应的最大载荷,精确到 1 N;
  - 4) 三点弯曲强度  $\sigma_b$ ,以兆帕为单位,精确到 0.1 MPa;
  - 5) 四点弯曲边部弯曲强度  $\sigma_{bb}$ ,以兆帕为单位,精确到 0.1 MPa;
  - 6) 加载至破坏时间以秒为单位,精确到 1 s;
  - 7) 试样破坏是起始于试样的边缘还是起始于中心部分。
- g) 试样弯曲强度的平均值与标准差。
- h) 非有效试样的数量。
- i) 在整个试验过程中,任何影响试验结果的偏离情况。

**附录 A**  
(规范性附录)  
标准差的计算及异常数据取舍方法

**A.1 标准差的计算**

标准差按式(A.1)计算：

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_{b_i} - \bar{\sigma}_b)^2}{n - 1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- S ——标准差,单位为兆帕(MPa)；
- n ——被测有效试样的数量；
- $\sigma_b$  ——单个试样的弯曲强度,单位为兆帕(MPa)；
- $\bar{\sigma}_b$  ——所有试样的弯曲强度平均值,单位为兆帕(MPa)。

**A.2 异常数据的取舍方法**

**A.2.1** 把测得的弯曲强度数据按其数值从小到大排列：

$$\sigma_{b(1)}, \sigma_{b(2)}, \dots, \sigma_{b(n-1)}, \sigma_{b(n)}$$

**A.2.2** 规定显著性水平  $\alpha$  为 0.05,根据  $n$  查表 A.1 得  $T_{(n,0.05)}$  值。

**表 A.1  $T_{(n,0.05)}$  数值表**

<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>T</i>	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18	2.23	2.29
<i>n</i>	13	14	15	16	17	18	19	20	50	100
<i>T</i>	2.33	2.37	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56	2.96	3.21

**A.2.3 计算  $T$  值：**

当最小值  $\sigma_{b(1)}$  或最大值  $\sigma_{b(n)}$  是可疑数据时,分别按式(A.2)、式(A.3)及式(A.4)计算：

$$T_{(1)} = \frac{\bar{\sigma}_b - \sigma_{b(1)}}{S} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$T_{(2)} = \frac{\sigma_{b(n)} - \bar{\sigma}_b}{S} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{b(i)} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$T_{(1)}$  ——最小值  $\sigma_{b(1)}$  的计算值；

$T_{(2)}$  ——最大值  $\sigma_{b(n)}$  的计算值；

$S$  ——按本标准式(A.1)计算的标准差,单位为兆帕(MPa)；

$\sigma_b$  ——各试样的弯曲强度,单位为兆帕(MPa)。

A.2.4 当  $T \geq T_{(n,0.05)}$  时,则所怀疑的数据是异常的,应予舍去;当  $T \leq T_{(n,0.05)}$  时,该数据不能舍去。



**附 录 B**  
(资料性附录)  
**强度测试影响因素**

**B.1** 玻璃的弯曲强度取决于本身固有抵抗断裂的能力以及玻璃本身的脆性特点,上述因素造成了玻璃强度的离散性,因此需要进行抽样测试。对断裂表面的显微观察尽管超出了本标准的范围,但是还是推荐进行,尤其是测试数据要应用于设计时。

**B.2** 试样的表面状况,包括表面缺陷情况及预应力的引入情况(是否经过物理或化学钢化处理等)。玻璃的强度对缺陷极为敏感,含缺陷概率越大,测到的强度就越低。通常只有处于拉应力区的缺陷对强度有影响。试样尺寸和表面积越大,则含缺陷概率就越大,所以强度越低。

**B.3** 加载速率及过程。

**B.4** 测试过程中试样承受拉应力的面积。

**B.5** 测试环境的湿度。当对建筑用玻璃进行弯曲强度测试时,最好在相对湿度为 40%~70%的环境里进行。

**B.6** 测试环境的温度。

**B.7** 试样的表面及边部的预处理。表面处理尤为重要,因为最大断裂应力是作用在试样表面的。通过仔细的测试以及良好的加工工序,可以得到材料本身裂纹缺陷断裂的情况,否则只能得到加工损伤的断裂情况。当试样需在测试前进行表面及边部处理时,如打磨或酸/碱腐蚀等,应在处理后将试样放置 24 h 后再进行测试。