

# ASTM D790-03

## 未增强和增强塑料及电绝缘材料弯曲性的标准试验方法

### 1. 范围

1.1 这一试验方法包含未增强和增强塑料弯曲性的测定方法，包括高模量复合材料和电绝缘材料，这些材料有直接模塑的直角条材，或切割的片材、板材、或模塑型材。这一试验方法通常适用于刚性和半刚性材料。但是，在试验方法应变限值的 5.0% 内，试验样品不断裂或样本外表面不破裂的材料不用进行弯曲强度测定。这一试验方法将采用三点载荷简支梁法。四点载荷方法请参考试验方法 D 6272。

1.1.1 方法 A，主要为弯曲相当小位置就断裂的材料设计。

1.1.2 方法 B，特别为在测试中能够承受较大弯曲的材料设计。

1.1.3 方法 A 用于测量弯曲特性，特别是弯曲模量，除非材料规格有特别说明。方法 B 仅用于测量弯曲强度。方法 A 获取的正切模量数据相对于方法 B 获取的比较数据而言，趋向于显示较低标准偏差。

1.2 如果试验方法能满足试验材料要求，这一比较试验可以根据任一方法进行。

1.3 国际单位制的规定值是公认的标准。而括号里的值只是提供参考信息。

1.4 这一标准不是针对所有安全问题，即便有，也和其使用有关。在使用前，根据此标准进行相关安全和健康测试，测定控制限值的适用性，是使用者的责任所在。

注释 1：这一试验在技术上不等同于 ISO 178。

### 2. 参考资料

#### 2.1 ASTM 标准：

D 618 塑料及电绝缘材料的调理方法

D 638 塑料拉伸特性的试验方法

D 883 塑料相关术语

D 4000 塑料材料的分类系统说明

D 5947 固体塑料制品物理尺寸的标准试验方法

D 6272 用四点弯曲法对非增强和增强塑料及电绝缘材料弯曲特性进行测试的试验方法

E 4 测试仪的负荷标准

E 691 为测定试验方法精密度实施的实验室间的研究

### 3. 术语

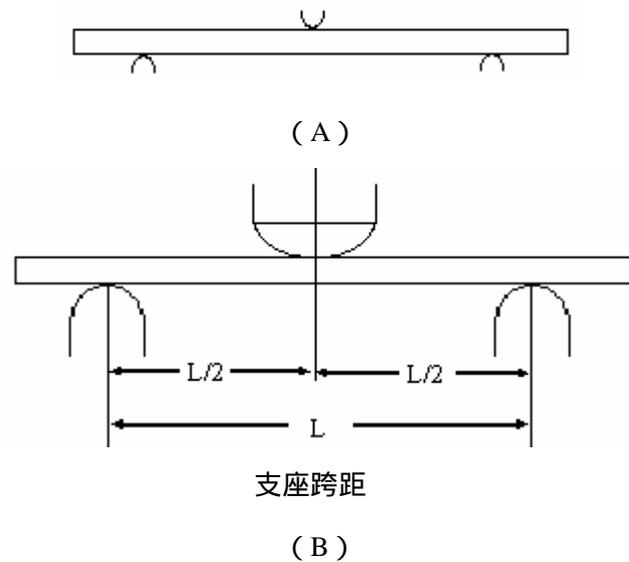
3.1 定义——术语定义是指应用于这一试验方法，并在 D 883 和 D 638 附录 A1 中出现的术语。

### 4. 试验方法概述

4.1 直角条材横截面依靠在两个支座上，通过两支座中间的压头施压（参见图 1）。支座跨距和高度的比值应为 16:1，除非针对某种层压材料要求更大的支座跨距高度比（参见第 7 部分和注释 8）。

4.2 如果测试样品外表面破裂或达到了 5.0% 的最大应变（参见 12.7），无论其中哪一个先发生，样品都会变形弯曲。

4.3 方法 A 采用 0.01mm/mm/min [0.01in.in./min] 的应变率，方法 B 采用 0.10mm/mm/min [0.01in.in./min] 的应变率，其中前者在试验中用得较多。



注释——(a) 最小半径=3.2mm [1/8in.]。

(b) 支座最大半径为样品高度的 1.6 倍；压头最大半径= 样品高度的 4 倍。

图 1 压头和支座半径的允许范围

### 5. 意义和运用

5.1 通过试验测定的弯曲性对质量控制和规范目的尤其重要。

5.2 在三点弯曲法试验允许的最大应变下材料不破裂，那么此材料更适用于进行四点弯曲法试验。两者的基本区别是最大弯曲力矩和最大轴原纤维应力的定位。在三点弯曲法中，最大轴原纤维应力作用在压头下的一线上，而在四点弯曲法中，作用在中心压头之间的区域上。

5.3 弯曲性可能因为样品高度、温度、气压条件和在方法 A 和方法 B 中规定的应变率不同而改变（参见注释 8）。

5.4 在进行试验前，需参考试验材料规格。材料规格中涉及的试验材料的准备、调理、尺寸、测试参数或化合作用相对于试验方法中提及的内容应该优先考虑。如果没有材料规格，将采用默认的条件。分类系统 D 4000 中的表 1 列举了 ASTM 现有塑料的材料标准。

表 1 弯曲强度

材料	平均数 (10 <sup>3</sup> psi)	数值 (%或 10 <sup>3</sup> psi)			
		V <sub>r</sub> <sup>A</sup>	V <sub>R</sub> <sup>B</sup>	r <sup>C</sup>	R <sup>D</sup>
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)	9.99	1.59	6.05	4.44	17.2
邻苯二甲酸二丙烯酯热固性材料(DAP thermoset)	14.3	6.58	6.58	18.6	18.6
丙烯酸铸造材料(Cast acrylic)	16.3	1.67	11.3	4.73	32.0
聚酯颗粒 (GR polyester)	19.5	1.43	2.14	4.05	6.08
聚碳酸酯颗粒 (GR polycarbonate)	21.0	5.16	6.05	14.6	17.1
模压塑料板材 (SMC)	26.0	4.76	7.19	13.5	20.4

<sup>A</sup>V<sub>r</sub> = 针对指定材料的实验室内部变异系数，通过采集所有参与实验室测试结果的实验室内部标准偏差而获取： $S_r = \sqrt{[(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2] / n}$ ，其后  $V_r = (S_r \text{ 除以材料总平均数}) \times 100$ 。

<sup>B</sup>V<sub>R</sub> = 不同实验室间的重复性，用变异系数表示： $S_R = \{S_r^2 + S_L^2\}^{1/2}$ ，式中 S<sub>L</sub> 是实验室平均值的标准偏差，其后  $V_R = (S_R \text{ 除以材料总平均数}) \times 100$ 。

<sup>C</sup>r = 实验室内部两组测试结果之间的主要区间 = 2.8 × V<sub>r</sub>

<sup>D</sup>R = 不同实验室的两组测试结果之间的主要区间 = 2.8 × V<sub>R</sub>。

## 6. 仪器设备

6.1 测试设备——一台校准精确的测试设备可以在指定范围内以十字型恒定速率运转，其中载荷测量系统误差不应超过期望最大载荷的 ± 1%。同时，还需配备弯曲测量装置。硬度测试设备要求在试验中系统的总弹性弯曲不超过试验样品总弯曲的 1%，否则需要做适当校正。载荷指示机械结构在进行十字型速率运转时不受惯性迟滞影响。试验设备的精确度需要根据调理方法 E 4 进行验证。

6.2 压头和支座——压头和支座需为弧形表面。为了避免过度压印或压头下因为应力集中而造成破裂，压头和支座的半径应为 5.0 ± 0.1mm [0.197 ± 0.004in.]，除非相关客户特别要求或同意。在使用其它压头和支座的时候，他们必须满足以下要求：所有样品最小半径为 3.2mm [1/8in.]，对半径为 3.2mm 或高度更大的样品，支座的半径需达到样品高度的 1.6 倍。这样的要求是必须满足的，即使会造成明显的压印和挤压破裂。为了避免压头侧面与样品的接触，压头与样品接触的弧面应足够大（参见图 1）。压头的最大半径不应超过样本高度的 4 倍。

注释 2：测试数据证明压头和支座尺寸会影响弯曲模量和弯曲强度值。压头尺寸造成的影响更大。材料规格需要对压头和支座尺寸做出特别说明。

6.3 测微机——为测量样品宽度和厚度，合适的测微机增量鉴别力至少为 0.025mm [0.001in.]。刚性和半刚性塑料宽度和厚度的测量需使用有棘轮的手动式测微机。测量非刚性测试样品厚度的合格仪器需满足：触点测定压力为  $25 \pm 2.5\text{kPa}$  [ $3.6 \pm 0.36\text{psi}$ ]，可移动圆形触点底部直径为  $6.35 \pm 0.025\text{mm}$  [ $0.250 \pm 0.001\text{in.}$ ]，底部需有一个足够大的固定的基准面，能够满足触点从各个方面延伸，且在整个底部区域与触点平行，精度控制在 0.005mm [in.] 的范围内。底部和触点的平整需要遵循 D 5947 试验方法中的标定部分。

## 7. 测试样品

7.1 样品需是从片材、板材或模塑型材上切割的，或模塑成期望的尺寸，并进行抛光。4.2 中的实际尺寸和标定应根据 D 5947 测试方法进行测量。

注释 3：任何必要的抛光都是从样品的纵向方向进行。

7.2 片材（除了层压热固性材料和某种电绝缘材料，包括硬化纸板和玻璃云母粘结）：

7.2.1 厚度为 1.6mm [1/6in.] 或更厚的材料——做平面试验时，样本的高度即厚度。做边缘试验时，样品的宽度即片材的厚度，且高度不能超过宽度（参见注释 4 和 5）。在所有测试中，支座跨距需为支梁高度的 16 倍（公差  $\pm 1$ ）。对高度大于 3.2mm [1/8in.] 的样品，样品宽度不应超过支座跨距的 1/4。样品高度小于或等于 3.2mm 时，其宽度应为 12.7mm [1/2in.]。考虑到悬挂在两端需有至少 10% 的支座跨距，样品要求有足够长度，但两端决不能少于 6.4mm [1/4in.]。悬挂时要求样品不会从支座上滑落。

注释 4：不管什么时候，片材的原表面不应改变。但是，在测试设备限度使以上标准不能在原片材上得到满足时，片材的一面或两面需要进行加工以满足尺寸要求，另外样品位置的参考总高度需注明。表面加工过的样品，其获取值不同于原始表面样品上的获取值。所以，较厚片材的弯曲性规格中必须说明是否保持原表面。当只有一面经过加工，那么必须说明加工表面是否在支梁的拉伸或挤压面上。

注释 5：边缘测试不适用于太薄的片材，因为不能切割成要求的状态。如果高度超过宽度，样品会扭曲。

7.2.2 厚度小于 1.6mm [1/16in.] 的材料——样品长度为 50.8mm [2in.]、宽度为 12.7mm [1/2in.]，在 25.4-mm [1-in.] 的支撑点跨距上进行平面测试。

注释 6：假设支梁宽度小于支座跨距，运用测试方法中提到的简支梁公式进行结果计算。因此，此公式并

不严格适用于这些尺寸。

注释 7：假设支座的跨距高度比至少为 14 : 1，当设备的灵敏度不能测量这些尺寸的样品，那么可以采用较宽的样品或者较小的支撑跨距。所有尺寸都必须在试验报告中注明（参见注释 6）。

7.3 层压热固性材料和片材及用于电绝缘的板材，包括硬化纸板和玻璃云母粘结——如果纸质和织物类材料标准厚度大于 25.4mm [1 in.]，将会对样品两面进行加工，满足 25.4mm 的厚度。对玻璃和尼龙类材料 样品标准厚度大于 12.7mm [1/2 in.]时也要对样品两面进行加工，满足 12.7mm 的厚度。因为弯曲力矩，样品外纤维会破裂，这种情况下支座跨距与高度比需重新选择（参见注释 8）。因此，大于 16 : 1 的比值是必要的（推荐采用 32 : 1 或 40 : 1）。当层压材料低抗压强度垂直于层压结构时，将要求压头半径更大（达到样品高度的 4 倍值有利于防止样品外纤维过早损坏）。

7.4 型材（热塑性塑料和热固性塑料）——用于支撑点跨距平面测试的型材建议样品尺寸为 127 × 12.7 × 3.2mm，这样将实现支撑的跨度高度比为 16（公差 ± 1）。当模塑时，如果材料有明显缩水或气泡，避免使用较厚的样品。

7.5 高强度增强合成材料，包括高正交各向异性层压材料——因为弯曲力矩，样品外纤维会破裂，这种情况下支座的跨距高度比需重新选择（参见注释 8）。因此，大于 16 : 1 的比值是必要的（推荐采用 32 : 1 或 40 : 1）。对高各向异性复合材料，就算跨距高度比为 40 : 1，弯折变形将严重影响模量测量。因此，对此类材料，建议跨距高度比增加到 60 : 1，在获取模量数据时有利于消除弯折反应，还需注意高各向异性层压材料的弹性模量是一个多层堆积规律强函数，未必与拉伸模量相关，拉伸模量也不是由堆积规律决定的。

注释 8：一般标准，当拉伸强度率与抗剪强度比小于 8 : 1 时，支撑的跨距高度比为 16 : 1 是比较合适的。但是当复合层压材料在层压表层具有比较低的抗剪强度和与支撑跨距相应的比较高的拉伸强度时，支撑的跨距高度比必须增加。

## 8. 试样数量

8.1 对同向性材料或模塑样品，至少应测试 5 件样品。

8.2 各向异性片材，在以下情况下，至少应测试 5 件样品。建议针对片材，从纵向和交叉方向切割进行平面和边缘测试。这一测试中，“纵向”是指各向异性主轴，也指片材弹性强度增强的方向。“交叉”是指弹性减弱的方向，与纵向垂直为 90°。

## 9. 条件

9.1 条件——除非合同特别指出或相关 ASTM 材料规格要求，根据 D 618 方法 A 相关规定，

在测试前把样品保存在  $23 \pm 2$  [ $73.4 \pm 3.6$ ] 和  $50 \pm 5\%$  的相对湿度下至少 40 小时。参考测试前条件，为解决分歧，采用  $\pm 1$  [1.8] 公差和  $\pm 2\%$  相对湿度。

9.2 测试条件——除非合同特别指出或相关 ASTM 材料规格要求，测试在  $23 \pm 2$  [ $73.4 \pm 3.6$ ] 和  $50 \pm 5\%$  的相对湿度下进行。参考测试条件，为解决分歧，采用  $\pm 1$  [1.8] 公差和  $\pm 2\%$  相对湿度。

## 10. 方法

### 10.1 方法 A：

10.1.1 对未测试样品进行测量。测量样品支撑跨距中心处的宽度和高度，精度为 0.03mm [0.001in.]。对高度小于 2.54mm [0.100in.] 的样品，高度测量精度为 0.003mm [0.0005in.]。测量需满足 D 5947 测试方法的要求。

10.1.2 测定第 7 部分描述的支撑跨距，把支撑跨距设定在测定值的 1% 内。

10.1.3 对具有跨距可连续调整的弯曲装置，跨距小于 63mm [2.5in.] 时，跨距的测量精度为 0.1mm [0.004in.]，跨距大于或等于 63mm [2.5in.] 时，精度为 0.3mm [0.012in.]。根据跨距的实测值进行所有计算。对已确定机加工跨距位置的挠曲装置，确保跨度距离与可调跨度已加工位置的距离相同。这一距离也就是跨度，在后续试验中均采用这一跨距进行计算。测量信息和跨度的设置可参见附件 A2。

10.1.4 按以下等式计算十字型运动速率，并按等式 1 计算结果设定设备：

$$R = ZL^2/6d \quad (1)$$

式中：

$R$  = 十字型运动速率，mm [in.]/min，

$L$  = 支座跨距，mm [in.]，

$d$  = 支梁高度，mm [in.]，

$Z$  = 外纤维应变率，mm/mm/min [in./in./min]。Z 应等于 0.01。

当实际十字型速率不同于等式 1 的计算结果，但不能超过  $\pm 10\%$  的范围。

10.1.5 校正压头和支座，使弧面轴平行，并且压头位于支座的中心位置。在对压头和支座进行适当校正后，通过有平行凹槽的板材与压头配合，以此来检测设备的平行度（参见 A2.3）。把样品居中放置在两支座上，样品的长轴与压头和支座垂直。

10.1.6 以规定十字型速率对样品施力，同时采集负载弯曲数据。测量弯曲可以通过位于样品下支撑跨度之间，与样品接触的计量器来测量，计量器的安装与支座相对静止，或者通过压头和支座的相对运动来测量。负载-弯曲曲线用以表示弯曲强度、或模量曲线和割线、或弹

性模量切线，所有测量值都可以通过负载-弯曲曲线表示。通过必要的尖顶补偿调节来校正样品的放置和压缩以及设备的挠曲。

10.1.7 在测试样品外表面最大应变达到 0.05mm/mm [in./in.]，或在达到最大应变前已经断裂的情况下应终止测试（参见注释 9 和 10）。在这一应变下发生的挠曲可在等式 2 中令  $r=0.05\text{mm/mm [in./in.]}$  时计算得出。

$$D = rL^2/6d \quad (2)$$

式中：

$D$  = 跨度中间位置挠曲，mm [in.]，

$r$  = 应变，mm/mm [in./in.]，

$L$  = 支座跨距，mm [in.]，

$d$  = 支梁厚度，mm [in.]。

注释 9：在进行方法 A 的测试时，针对某些材料在 5% 的应变限值内没有屈服或断裂，那么在方法 B（参见 10.2）中 5% 的应变限值内，在允许范围内增强应变率可能会导致样品屈服或断裂，或两者同时发生。

注释 10：超过 5% 的应变，此测试就不再适用。在方法 A 和方法 B 试验中，在 5% 的应变限值内，机械结构特性与产品表现出来的既不屈服也不断裂的特性有很大联系。

## 10.2 方法 B：

10.2.1 对未测试样品进行测量。

10.2.2 测试样品外表面应变率应为 0.10mm/mm [in./in.]/min 其他测试条件与 10.1 描述相同。

10.2.3 如果测试样品外表面已达到最大应变 0.05mm/mm [in.]，样品仍然没有破裂，那么终止试验（参见注释 10）。

## 11. 重复试验

11.1 如果样品在有明显或偶然瑕疵处断裂，那么不能得出准确的断裂特性值，除非这些瑕疵是一组有研究价值的变量。在这种情况下，需要重复试验来测定该值。

## 12. 计算

12.1 尖顶补偿曲线可以根据附件 A 得出，除非尖顶区域不受曲线距离的张紧、样品放置和其他表象的影响，而很大程度上取决于通过验证的材料特性曲线。

12.2 弯曲应力 ( $\sigma_f$ ) ——当同质弹性材料进行弯曲测试时，需要一个由两支座支撑的简支梁，并在中点位置施力，即样品跨度中心外表面的最大应力。通过以下等式可以计算出负载-弯曲曲线上任一点的应力（参见注释 11-13）：

$$f = 3PL/2bd^2 \quad (3)$$

式中：

$f$  = 中点位置外纤维应力，MPa [psi]，

$P$  = 在负载-弯曲曲线上指定点的压力，N [lbf]，

$L$  = 支座跨距，mm [in.]，

$b$  = 测试支梁宽度，mm [in.]，

$d$  = 测试支梁高度，mm [in.]。

注释 11：等式 3 严格应用于应力与应变呈线性比例达到断裂点，和应变很小的材料。因为情况并非总是如此，所以通过等式 3 计算出的非线性材料应力也会有误差。但是在此方法中，只有测试样品的外表面达到 5% 最大纤维应变时，通过此等式可以有效获取对比数据和规格。

注释 12：当对高正交各向异性层压材料时，最大应力并非总是产生在测试样品的外表面上。层压支梁理论可以用于测定破裂时的最大拉伸应力。基于同质支梁理论，如果用等式 3 计算应力，那么材料将会屈服一明显强度。这一明显强度在很大程度上取决于高正交各向异性层压材料的多层堆积规律。

注释 13：如果样品在两支座间多次滑落，那么之前的计算结果失效。

12.3 大跨距测试支梁的弯曲应力 ( $f$ ) ——如果支座跨距高度比大于 16:1，那么弯曲将超过支座跨距的 10%，此时，样品外表面对简支梁的应力可以通过以下等式得出合理近似值（参见注释 14）：

$$f = (3PL/2bd^2) [1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \quad (4)$$

式中：

$f$ ， $P$ ， $L$ ， $b$  和  $d$  与等式 3 中一致，

$D$  = 位于支座跨度中部的样品中心线位置的挠曲，mm [in.]。

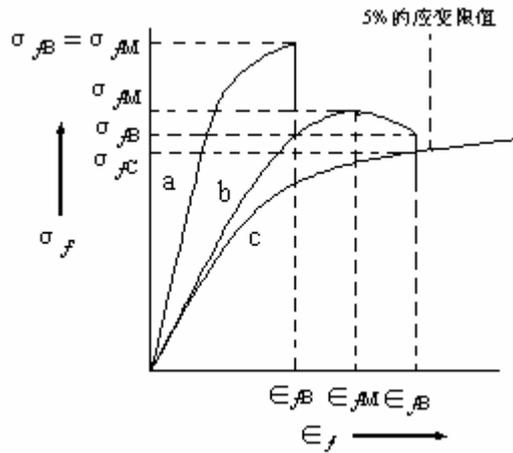
注释 14：当采用较大的支座跨度高度比时，显著的端面压力会作用在支撑点上，逐渐增强，而支座又会影响简支梁的力矩。在等式 4 中包括其他条件，那就是近似修正量系数，即在相当大挠曲存在时，端面压力对支梁较大支撑跨距高度比的影响。

12.4 弯曲强度 ( $f_m$ ) ——样品在弯曲过程中承受的最大弯曲应力（参见注释 12）。这是由等式 3 或 4 计算出来的。在应变达到 5% 而不破裂的材料可以用负载-弯曲曲线来表示，在曲线中有这么一点，在这个位置时应变增加但负载也不会增加，这一点就是屈服点 Y（图 2，曲线 B）。对这类材料，可以令  $P$ （等式 3 或 4 中）等于屈服点 Y 计算出弯曲强度。

12.5 弯曲偏移屈服强度——偏移屈服强度指应力，在这一点上应力 - 应变曲线发生偏差，是因为切线上指定应变(偏移)向应力 - 应变曲线初始直线部分偏移。当计算出特性数据时，就可得偏移值。

注释 15：此值不同于 12.4 定义的弯曲强度。两种计算方法均在 D 638 附件中说明。

12.6 断裂点弯曲强度( $f_B$ )——在弯曲实验中，测试样品断裂时的弯曲应力。这是由等式 3 或 4 计算的。对有些材料的负载-弯曲曲线有一断裂点 B，而没有屈服点 Y(图 2，曲线 a)，此时  $f_B = f_M$ 。而其他材料的屈服弯曲曲线既有屈服点又有断裂点 B(图 2，曲线 b)。对这类材料，可以令 P(等式 3 或 4 中)等于断裂点 B，从而计算出断裂点弯曲应力。



注释——曲线 a：样品在屈服前就断裂。

曲线 b：样品在 5% 应变限值前先屈服，其后断裂。

曲线 c：样品在 5% 应变限值前既不屈服也不断裂。

图 2 弯曲应力  $f_f$  和弯曲应变  $f_f$  的典型曲线

12.7 指定应变的应力——根据弯曲与期望应变(针对高正交各向异性层压材料，参见注释 12)一致时的负载-弯曲曲线得出载荷值，在等式 3 或 4 中令 P 等于载荷值，由此计算出测试样品外表面指定应变的应力。

12.8 弯曲应变， $f_f$ ——样品跨度中心外表面上单元长度的微量变化。任何弯曲都可以用等式 5 计算：

$$f_f = 6Dd/L^2 \quad (5)$$

式中：

$f_f$  = 外表面应变，mm/mm [in./in.]，

D = 支梁中部最大弯曲，mm [in.]，

$L$  = 支座跨距, mm [in.] ,

$d$  = 高度, mm [in.]。

## 12.9 弹性模量

12.9.1 *弹性模量切线*——通常被称为“弹性模量”,是在弹性限值内,应力和相应应变的比值。可以在负载-弯曲曲线初始最速上升直线部分做出切线,并通过等式 6 (对高各向异性复合材料,参见注释 16) 计算得出弹性模量。

$$E_B = L^3 m / 4bd^3 \quad (6)$$

式中:

$E_B$  = 弯曲时的弹性模量, MPa [psi] ,

$L$  = 支座跨度, mm [in.] ,

$b$  = 测试支梁的宽度, mm [in.] ,

$d$  = 测试支梁的高度, mm [in.] ,

$m$  = 弯曲时切线与负载-弯曲曲线初始直线部分的倾斜度, N/mm [lbf/in.]。

注释 16: 在试验中采用较小跨度高度比时,切变弯曲会严重降低高各向异性复合材料的割线模量。因此,在对复合材料进行弯曲模量测量时,建议采用 60:1 的跨度高度比。对另外一套同样的样品进行弯曲强度测试,当采用较小的跨度高度比时,会导致支梁外纤维沿着下表面拉伸破裂。因为高各向异性层压材料的弯曲模量是一个多层堆积规律强函数的判定函数,那么弯曲模量未必与拉伸模量相关,拉伸模量也不是由堆积规律决定的。

12.9.2 *割线模量*——割线模量是应力-应变曲线上任一点应力和相应的应变的比值,也就是直线与原点连线,和直线与实际应力-应变曲线任选一点连线的倾斜度。可以用 megapascal 表示[磅/每平方英寸]。这一选择点是根据材料规格或客户合约,在规定了应力或应变点的情况下选择的一点。可以在等式 6 中令  $m$  等于割线与负载-弯曲曲线的倾斜度来计算得出。测试过程中所选择的应力或应变也应该记录在报告中。

表 2 弯曲模量

材料	平均数 ( $10^3$ psi)	数值 (%或 $10^3$ psi)			
		$V_r^A$	$V_R^B$	$r^C$	$R^D$
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)	338	4.79	7.69	4.44	21.8
邻苯二甲酸二丙烯酯热固性材料(DAP thermoset)	485	2.89	7.18	18.6	20.4
丙烯酸铸造材料(Cast acrylic)	810	13.7	16.1	4.73	45.4
聚酯颗粒 (GR polyester)	816	3.49	4.20	9.91	11.9
聚碳酸酯颗粒 (GR polycarbonate)	1790	5052	5.52	15.6	15.6

$^A V_r =$  针对指定材料的实验室内部变异系数, 通过采集所有参与实验室测试结果的实验室内部标准偏差而获取:  $S_r = [((S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2) / n]^{1/2}$ , 其后  $V_r = (S_r \text{ 除以材料总平均数}) \times 100$ .

$^B V_r =$  不同实验室间的重复性, 用变异系数表示:  $S_R = (S_r^2 + S_L^2)^{1/2}$ , 式中  $S_L$  是实验室平均值的标准偏差, 其后  $V_R = (S_R \text{ 除以材料总平均数}) \times 100$ .

$^C T =$  实验室内部两组测试结果之间的主要区间  $= 2.8 \times V_r$

$^D R =$  不同实验室的两组测试结果之间的主要区间  $= 2.8 \times V_R$ .

12.9.3 弦模量 ( $E_f$ ) —— 弦模量是由负载-弯曲曲线上两不连续点计算出来的。选择的这两点是根据材料规格或客户合约, 在规定了两组应力或应变点的情况下选择的。测试过程中所选择的应力或应变也应该记录在报告中。可以通过以下等式来计算弦模量  $E_f$  :

$$E_f = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \quad (7)$$

式中:

$\sigma_2$  和  $\sigma_1$  是弯曲应力, 可由等式 3 或 4 计算得出, 是根据负载-弯曲曲线上预先确定点测定出来的。

$\epsilon_2$  和  $\epsilon_1$  是弯曲应变值, 可由等式 5 计算得出, 是根据负载-弯曲曲线上预先确定点测定出来的。

12.10 算术平均数——对每一组测试, 计算获取值的算术平均数, 保留三位有效数字, 并在特性要求中记录为“平均值”。

12.11 标准偏差——(估算)标准偏差可以通过以下等式计算得出, 并以两位有效数字记录:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2) / (n-1)} \quad (8)$$

式中:

$s =$  估算标准偏差,

$X =$  单个观测数据值,

$n =$  观测数据数量,

$\bar{X} =$  一组观测数据的算术平均数。

## 13. 试验报告

13.1 试验报告应包含以下内容:

13.1.1 测试材料的完整鉴定证明, 包括型号、来源、生产批号、形态、主要尺寸和前期历史

- 记录（层压材料还必须注明多层堆积规律），
- 13.1.2 若需要，注明样品切割和施力的方向，
- 13.1.3 调节方法，
- 13.1.4 样品高度和宽度，
- 13.1.5 试验方法（A 或 B），
- 13.1.6 支座跨度长度；
- 13.1.7 如试验的支座跨距与高度比不等于 16：1，注明试验的实际支座跨距与高度比，
- 13.1.8 如支座和压头半径不等于 5mm 时，注明支座和压头的实际半径，
- 13.1.9 十字型运动速率，
- 13.1.10 任一指定应力的弯曲应变，平均值和标准偏差，
- 13.1.11 如材料不合格，注明不合格的理由，
- 13.1.12 弯曲时的切线、割线或弦模量，平均值，标准偏差和割线或弦模量采用的应变标准，
- 13.1.13 若需要，给出弯曲强度，平均值，和标准偏差，
- 13.1.14 若需要，给出任一指定应变和 5 % 的应变情况下的应力，采用的应变，平均值，和标准偏差，
- 13.1.15 若需要，给出断裂时的弯曲应力，平均值，和标准偏差，
- 13.1.16 在 5% 应变限值内的各种反映，包括发生屈服或破裂，或两者同时发生，或其他观测结果，
- 13.1.17 试验日期。

#### 14. 精度和偏差

14.1 基于 1984 年进行的一系列测试的表 1 和表 2，根据 E 691，涉及到测试的 6 种材料，6 个实验室，均采用方法 A。对每种材料，所有样品来源相同。每一“测试结果”是五个独立测试的平均值。每个实验室对每一种材料保存两个测试结果。

注释 17：**注意**——以下对  $r$  和  $R$  的解释，意在为测试方法的精度考虑提供一个有效方法。表 2 和表 3 的数据不能用于严格筛选合格材料，因为这些数据是特定的，对其他类型、调节、材料或实验室没有代表性。

测试者需参照 E 691 的原理，根据他们的实际的实验室和材料，或指定实验室来获取数据。

14.2 表 1 和 2 中  $r$  和  $R$  的概念——如果  $S_r$  和  $S_R$  是从一大堆数据计算得出，那么测试结果即五件样品每一测试结果的平均值。

14.2.1 重复性——同一个实验室对同一材料进行测试后获取的两组数据，如果差值大于  $r$

值，那么这两组数据不能在鉴定中同等采用。r 值是指同一试验操作者，使用同一设备，在同一天和同一实验室，对同一材料进行测试后，获取的两组测试数据的差值区间。

14.2.2 再现性——不同的实验室对同一材料进行测试后获取的两组数据，如果差值大于 R 值，那么这两组数据不能在鉴定中同等采用。R 值是指不同试验操作者，使用不同设备，在不同实验室，对同一材料进行测试后，获取的两组测试数据的差值区间。

14.2.3 对 14.2.1 和 14.2.2 的判定需要大约 95% ( 0.95 ) 的正确可能性。

14.3 偏差——因为没有适用的标准参考材料或测试方法，测试方法中没有对偏差的说明。

## 15. 关键词

15.1 弯曲特性；塑料；硬度；强度