

ASTM 标准: D 3039/D 3039M-00

聚合物基复合材料拉伸性能标准试验方法¹

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

1 范围

1.1 本试验方法适用于测定高模量纤维增强的聚合物基复合材料的面内拉伸性能。复合材料形式限定于连续或不连续纤维增强的复合材料，且层压板关于试验方向是均衡、对称的。

1.2 以国际单位（SI）或英制单位（inch-pound）给出的数值可以单独作为标准。正文中，英制单位在括号内给出。每一种单位制之间的数值并不严格等值，因此，每一种单位制都必须单独使用。由两种单位制组合的数据可能导致与本标准的不相符。

1.3 本标准并未打算提及，如果存在的话，与使用有关的所有安全性问题。在使用本标准之前，本标准的用户有责任建立合适的安全与健康的操作方法，以及确定规章制度的适用性。

2 参考文献

2.1 ASTM 标准

D 792	置换法测量塑料的密度和比重（相对密度）的试验方法 ² ； Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
D 883	与塑料有关的术语 ² ； Terminology Relating to Plastics
D 2584	固化增强树脂的灼烧损失试验方法 ³ ； Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
D 2734	增强塑料孔隙含量试验方法 ³ ； Test Method for Void Content of Reinforced Plastics
D 3171	复合材料的组分含量试验方法 ⁴ ； Test Methods for Constituent Content of Composites Materials
D 3878	复合材料术语 ⁴ ； Terminology for Composite Materials
D 5229/D 5229M	聚合物基复合材料的吸湿性能及平衡状态调节试验方法 ⁴ ； Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
E 4	试验机力标定操作规程 ⁵ ； Practices for Force Verification of Testing Machines
E 6	与力学试验方法有关的术语 ⁵ ； Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

¹ 本试验方法由 ASTM 的复合材料委员会 D30 审定，并由单层和层压板试验方法专业委员会 D30.04 直接负责。当前版本于 2000 年 4 月 10 日批准，2000 年 7 月出版。最初出版为：D 3039-71T。上一版本为：D 3039-95a。

² ASTM 标准年鉴，Vol 08.01。

³ ASTM 标准年鉴，Vol 08.02。

⁴ ASTM 标准年鉴，Vol 15.03。

⁵ ASTM 标准年鉴，Vol 03.01。

E 83	引伸计分类及标定的操作规程 ⁵ ; Practice for Verification and Classification of Extensometers
E 111	杨氏模量、正切模量及弦向模量试验方法 ⁵ ; Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
E 122	选择样本尺寸用以估计批次或工艺质量测量的操作规程 ⁶ ; Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process
E 132	室温下泊松比试验方法 ⁵ ; Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
E 177	ASTM 试验方法中各项精度和偏差的使用的操作规程 ⁶ ; Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
E 251	粘贴式金属电阻应变片特性试验方法 ⁵ ; Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
E 456	与质量和统计有关的术语 ⁶ ; Terminology Relating to Quality and Statistics
E 691	由实验室的结果确定一种试验方法的精度的操作规程 ⁶ ; Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
E 1012	拉伸载荷下试样对标定的操作规程 ⁵ ; Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading
E 1237	粘贴式电阻应变片安装指南 ⁵ ; Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

3 术语

3.1 定义——术语 D 3878 定义了与高模量纤维及其复合材料有关的术语。术语 D 883 定义了与塑料有关的术语。术语 E 6 定义了与力学试验有关的术语。术语 E 456 和操作规程 E 177 定义了与统计有关的术语。当各个标准定义的术语之间发生矛盾时，术语 D 3878 优先于其他标准。

3.2 本标准专用术语定义：

注释——如果术语表示一个物理量，它的分析量纲以基本量纲的形式紧跟在该术语（或文字符号）后面予以说明。方括号内所示的基本量纲采用下面的 ASTM 标准符号：质量为[M]，长度为[L]，时间为[T]，热力学温度为[Θ]，无量纲量为[nd]。由于不带方括号时以上这些符号可能有其他的定义，因此这些符号在带方括号时的使用仅限于分析量纲。

3.2.1 名义值——仅存在于名称中的值，出于方便表示的目的指定了一个可测量的参数。公差可能被作为一个名义值，用于为参数确定一个可接受的范围。

3.2.2 过渡区——应力-应变或应变-应变曲线上的一个应变区，即曲线斜率明显改变的区域，产生于一个很小的应变范围内。

3.2.3 过渡应变， $\epsilon^{\text{transition}}$ ——在一条双线性应力-应变或应变-应变曲线上的两条基本上线性部分之间的过渡区中间范围的应变值。

3.2.3.1 讨论——加载时，许多长丝复合材料基本上显示出双线性特性，例如纵向应力-纵向应变或横向应变-纵向应变的关系曲线图。不同的原因导致了过渡区的存在，常见的例子包括：拉伸载荷下的基体裂纹和单层之间的分层。

3.3 符号：

3.3.1 A ——试样最小横截面面积。

3.3.2 B_y ——对于矩形横截面的单轴试样，关于试样 y 轴（窄方向）的弯曲百分比。

⁶ ASTM 标准年鉴，Vol 14.02。

- 3.3.3 B_z ——对于矩形横截面的单轴试样，关于试样 z 轴（宽方向）的弯曲百分比。
- 3.3.4 CV ——给定性能的样本的离散系数（以百分数表示）。
- 3.3.5 E ——试验方向上的弹性模量。
- 3.3.6 F^{tu} ——试验方向上的极限拉伸强度。
- 3.3.7 F^{su} ——试验方向上的极限剪切强度。
- 3.3.8 h ——试样厚度。
- 3.3.9 L_g ——引伸计标距。
- 3.3.10 L_{\min} ——所需的粘接加强片的最小长度。
- 3.3.11 n ——每个样本的试样数。
- 3.3.12 P ——试样承受的载荷。
- 3.3.13 P^f ——试样破坏时承受的载荷。
- 3.3.14 P^{\max} ——试样破坏前承受的最大载荷。
- 3.3.15 s_{n-1} ——给定性能的样本的标准差。
- 3.3.16 w ——试样宽度。
- 3.3.17 x_i ——给定性能在一个样本中单个试样的试验结果。
- 3.3.18 \bar{x} ——给定性能在一个样本中的平均值或均值（估计平均值）。
- 3.3.19 δ ——拉伸位移。
- 3.3.20 ε ——应变的通用符号，无论是正应变还是剪切应变。
- 3.3.21 ε ——应变传感器或引伸计上读出的正应变值。
- 3.3.22 σ ——正应力。
- 3.3.23 ν ——泊松比。

4 试验方法概述

4.1 将具有常矩形横截面的薄板状试样安装于试验机夹头中，均匀施加拉伸载荷并记录载荷值。由试样破坏前的承受的最大载荷确定材料的极限强度。如果使用应变或位移传感器来测量试样的应变，则可以确定材料的应力-应变响应，从而得到材料的极限拉伸应变、拉伸弹性模量、泊松比和过渡应变。

5 意义与用途

5.1 制定本试验方法是为了得到用于材料规范、研究与开发、质量保证以及结构设计和分析的拉伸性能数据。影响拉伸特性并应该在报告中给出的因素包括：材料、材料制备和铺贴、试件铺层顺序、试件制备、试件状态调节、试验环境、试件对中和夹持、试验速度、在某一温度下的时间、孔隙含量和增强体的体积百分比。从本试验方法可获得试验方向的以下性能参数：

- 5.1.1 极限拉伸强度；
- 5.1.2 极限拉伸应变；
- 5.1.3 弦向拉伸弹性模量；
- 5.1.4 泊松比；
- 5.1.5 过渡应变。

6 影响因素

6.1 材料和试件制备——粗糙的材料加工操作方法、缺乏控制的纤维定位以及不适当的试样加工引起的损伤，是引起复合材料中材料数据高度分散的已知因素。

6.2 夹持——由于夹持而引起的破坏有很高的百分比，尤其是材料数据的分散性很大时，说明试件的夹持出现问题。试件的夹持方法将在 7.2.4 节、8.2 节和 11.5 节中讨论。

6.3 系统对中度——过度弯曲引起试样提前破坏，同时也使弹性模量出现较大偏差。应尽量消除

由试验系统引起的过度弯曲。夹头对中不好、试件不合适地安装于夹头中或粗糙的试件制备引起的试件尺寸超出公差范围，均可能导致试样弯曲。如果怀疑试验机的对中度，应以 7.2.5 节中论述的方法检查其对中度。

6.4 角铺层层压板的边缘效应——包含偏轴层的层压板由于边缘软化而引起提前破坏和出现较低的刚度，因此，角铺层层压板的强度和模量的测量值可能会过低。而对于含有 0° 铺层的准各向同性层压板，影响并不明显。

7 设备

7.1 千分尺——用一个 $4\text{--}5\text{mm}[0.16\text{--}0.20\text{in.}]$ 公称直径双球面接触面的千分尺测量试件厚度。用一个带有平砧的千分尺测量试件宽度。仪器的精度应满足其最小读数在试件宽度和厚度尺寸的 1% 以内。对于典型试件的几何尺寸，精度为 $\pm 0.25\mu\text{m}[\pm 0.0001\text{in.}]$ 的仪器便能满足对试件厚度的测量；精度为 $\pm 25\mu\text{m}[\pm 0.001\text{in.}]$ 的仪器便能满足对试件宽度的测量。

7.2 试验机——试验机应与操作规程 E 4 相一致，并满足以下要求：

7.2.1 试验机端头——试验机应有一个完全固定的端头和一个移动端头。

7.2.2 传动机构——试验机的传动机构应当能够使移动加载头相对于固定加载头具有一个可控制的速度。移动加载头的速度能够按照 11.3 节的规定可调。

7.2.3 载荷指示器——试验机的载荷传感器应能指示试件承受的总载荷。该装置应在规定的试验速率下无惯性滞后，且在整个载荷范围内给出的载荷精度应在显示值的 $\pm 1\%$ 以内。该相关载荷范围可能对于要求的模量计算偏低，对于要求的强度计算偏高，或两者同时存在。

注 1——同一试验中，为了在一个相关的大范围内获得精确的载荷数据，例如，要确定弹性模量和极限载荷时，可以对于载荷单元及其标定提出特殊要求。对于某些仪器可能要求特殊的标定方法。对于某些材料和载荷单元的组合，不可能同时精度地测量弹性模量和极限强度，模量和强度的测量，必须采用不同载荷单元通过不同的试验来实现。

7.2.4 夹头——试验机的每一端头应带有一个能夹持试件的夹头，使得施加于试件上的载荷方向与试件的纵轴保持一致。夹头应具有足够的侧压力，以防止夹持面与试件之间滑动。如果使用了加强片，则夹头应足够长，超出加强片的斜削部分大约 $10\text{--}15\text{mm}[0.5\text{in.}]$ 。最理想的是使用具有旋转自动对中功能的夹头，以尽量减少试件的弯曲应力。

注 2——发现具有大约 1 锯齿/mm 的浅锯齿形状的夹持表面，在保持干净、锋利时非常适合在楔形夹头中使用；粗糙的锯齿可能使无加强片的试件出现由于夹持而导致的破坏。光滑的夹持表面已成功的应用于液压夹头或金刚砂布表面，或两者同时使用。

7.2.5 系统对中度——系统对中度差主要引起提前破坏，或弹性性能数据分散，或两者同时产生。操作规程 E 1012 叙述了拉伸试验中的弯曲计算的指南和导致对中度差的潜在的原因。另外，在操作规程 E 1012 中，采用以下步骤可计算出拉伸时的弯曲程度。试件弯曲的计算将在 11.6.1 中叙述。

7.2.5.1 在具有与试件类似尺寸和刚度的矩形校准试样上，最少布置同一型号的三个纵向应变片，于试件宽度方向上正面布置两个，背面布置一个，如图 1 所示。加载过程中，这些应变片所显示的应变值的差别可以确定试件厚度平面 (B_y) 和宽度平面 (B_z) 上的弯曲量。应变片位置通常应位于试件工作段的中心（如果模量测量是重点）、夹头附近（如果存在提前夹持破坏问题）、或这些区域的组合。

7.2.5.2 评估系统对中度时，建议用同一试件通过四种可能的安装方式（相对于初始位置）来校核中对度。四种安装方式分别为：初始位置（上端-前表面朝向观察者）、仅前后面旋转（上端-后表面朝向观察者）、仅上下端旋转（下端-前表面朝向观察者）、前后

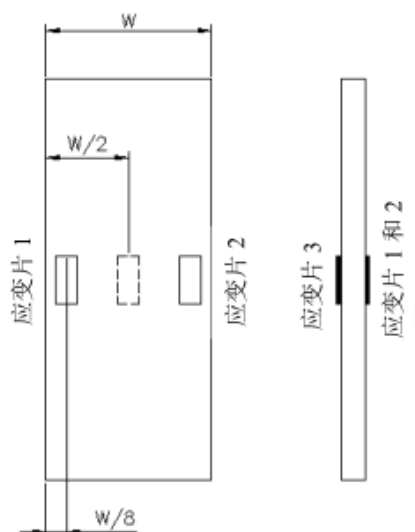


图 1 系统对中度校核试样应变片布置图

面和上下端同时旋转（下端-后表面朝向观察者）。这四组数据集可以判别弯曲是由系统自身还是由对中度校核试件或测量计的公差引起的。

7.2.5.3 在夹持前或夹持后调出零应变点。在随后的夹持过程、拉伸加载过程、或两者同时进行的过程中，可以检测对中度校核试件的应变响应。式(1)–(3)使用应变测量值来计算对中度校核试件的每一弯曲平面上的弯曲应变相对于平均拉伸应变的百分比以及总弯曲百分比， B_{total} 。绘制弯曲百分比与轴向平均应变关系图，有利于了解系统弯曲特性的趋势。

7.2.5.4 夹持过程中产生破坏的问题，可通过测量夹持过程中夹头附近区域的弯曲应变来解释。模量数据分散性过大的问题，可能是由于计算弯曲应变时载荷超过了模量计算时的典型传感器的范围而引起的。过多的靠近夹头的破坏，可归结在测量夹头附近的弯曲应变时载荷水平过高。当系统不对中度的主要原因来自于材料和位置时，合理的试验方法通常能在中等应变水平（ $>1000\mu\epsilon$ ）下将弯曲百分比控制 3–5% 的范围内。试验中如果系统的弯曲过大，则应重新调整或修正。

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

式中：

B_y = 关于系统 y 轴（窄平面）的弯曲百分比，通过公式 1 计算，%；

B_z = 关于系统 z 轴（宽平面）的弯曲百分比，通过公式 2 计算，%；

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ = 分别为应变片 1, 2, 3 的纵向应变值，如图 1 所示， $\mu\epsilon$ ；

$\epsilon_{ave} = (\epsilon_1 + |\epsilon_2|) / 2 + |\epsilon_3| / 2$ 。

总弯曲量为：

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

7.3 应变指示装置——如果要求，载荷–应变数据可以通过应变传感器或引伸计来测量。应变指示装置与试件的连接不应导致试件表面的损伤。如果要测定泊松比，应测定试件的纵向和横向应变。如果要测定弹性模量，则应同时测定试件正反两面的纵向应变，以便对试件的弯曲效应进行修正（详细说明见 11.6）。

7.3.1 粘贴式电阻应变片的选择——应变片的选择基于材料类型。对于大多数材料，推荐使用有效长度为 6mm[0.25in.] 的应变片。应变片有效长度不能小于 3mm[0.125in.]⁷。应变片的标定应遵守试验方法 E 251。对于机织物层压板试验，应变片的选择应该考虑到应变片的有效长度至少应大于机织物的特征重复单元。关于复合材料的应变片使用的一些指南如下文所述。常用的参考资料来自 Tuttle 和 Brinson⁸。

7.3.1.1 与操作规程 E 1237 相一致的纤维增强的复合材料的表面处理，可能穿透基体材料并引起增强纤维损伤，从而导致不恰当的试件破坏。在表面处理过程中，不能使增强纤维裸露或损伤。在制定关于纤维增强复合材料的应变片粘贴表面处理的标准操作规程之前，应变片制造厂应提供关于表面处理的指南和推荐用于复合材料的胶粘剂。

7.3.1.2 应考虑选择具有较大电阻的应变片，以便减少低导电率材料的热影响，最好使用 350 Ω 或更高电阻的应变片。另外，应考虑使用与预期精度（推荐 1–2V）相符的尽可能小的应变片激励电压，以便更好的降低应变片的能耗。应变片导致试样发热可能直接影响材料的性能，或者可能影响显示的应变值，这是由应变片温度补偿系数和试样材料的热膨胀系数之间的不同而引起的。

7.3.1.3 即使是在标准实验室大气环境下进行试验，也推荐采用多种温度补偿方式。非室温环境

⁷ 典型的应变片应有 0.25in. 长的有效标距、350 Ω 电阻、3% 或更好的应变率、以及适当的环境电阻和导热系数。

⁸ Tuttle, M.E. 和 Brinson, H.F., “应用于复合材料的电阻薄片应变片技术”，实验力学，Vol.24, No.1, 1984.4, 第 54–56 页；勘误表，注释在 Vol.26, No.2., 1986.6, 第 153–154 页。

试验要求进行温度补偿。

7.3.1.4 应考虑应变片的横向灵敏度。应变片制造厂家应给出横向灵敏度的修正方法和对复合材料的影响关系。这对用于测定泊松比的横向安装的应变片是非常重要的，如注 11 所述。

7.3.2 引伸计——对于大多数使用情况，引伸计标距应在 10–50mm[0.5–2.0in.]范围之内。引伸计至少应满足操作规程 E 83、B–1 级有关应变范围的要求，且应在与操作规程 E 83 相符的应变范围内进行标定。对于特别硬的材料或对于横向应变的测量，B–1 级引伸计允许的固定误差可能很大，应考虑使用 A 级引伸计。在特定的试验速度下，引伸计不能有惯性滞后，并且引伸计的重量不能产生大于 6.3 中允许的弯曲应变。

注 3——对引伸计标定设备的位移精度要求较低时，对较长标距的引伸计进行应变标定通常并不困难。

7.4 调节箱——在非试验室环境下调节材料时，要求使用温度/湿度可控的环境调节箱，并能将温度保持在所要求温度的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ [$\pm 5^{\circ}\text{F}$]以内，湿度保持在所要求湿度的 $\pm 3\%$ 以内。调节箱的环境条件在正常范围内应能连续自动或手动控制。

7.5 环境试验箱——对于不同于大气环境的试验室条件的试验环境，要求采用环境试验箱。环境箱能使试件的工作段在力学试验期间保持在要求的试验环境下。

8 取样和试件

8.1 取样——对每种试验情况至少应进行 5 个试件的试验，除非利用较少的试件可以得到有效的结果，如设计试验的情况。为了得到具有统计意义的数据，应参考操作规程 E 122 中所述的方法，并给出取样方法。

注 4——如果试件要经过环境调节达到平衡，且具有相同的类型或几何尺寸，但通过称量试件本身的重量并不能正确测量试件的重量变化（例如有加强片的试件），这时，可采用具有相同名义厚度和适当尺寸的随炉件（无加强片）来确定需调节的试件是否达到平衡。

8.2 几何形状——力学试验试件的设计，尤其是使用加强片的试件，在很大程度上还是一种技巧，且并不科学，夹持面的工程设计方法也没有得到工业界的一致认同。对于特定材料体系和在试验室内通常遇到的环境条件，每个主要复合材料试验实验室都发展了夹持方法。比较这些方法，发现它们之间有很大的不同，这使得很难形成一个通用的方法或一套方法。基于上述原因，试件几何形状的定义需通过以下三个等级确定，这些将在下面各节中论述：

	用途	几何形状定义尺度
8.2.1	一般要求	强制性的形状和公差
8.2.2	特别推荐	非强制性、建议的尺寸
8.2.3	详细实例	非强制性的标准方法

8.2.1 一般要求：

8.2.1.1 形状、尺寸和公差——试件形状、尺寸和公差的所有要求如表 1 所示。

8.2.1.2 加强片的使用——加强片一般不要求。试件公差和夹持方法选择的要点是，将载荷成功的引入到试件和防止试件由于明显的载荷突变而引起的提前破坏。因此，确定使用加强片和加强片的主要设计参数的依据是其最终的结果为：可接受的破坏模式和破坏部位。如果可接受的破坏模式出现的频率很高，则不需要改变已使用的夹持方法（见 11.10 节）。

8.2.2 特别推荐：

8.2.2.1 宽度、厚度和长度——选择试件宽度和厚度，以使试件在工作段破坏并确保试件的横截面含有足够数量的纤维，使其成为统计上地大多数材料的样本。试件长度通常应充分地大于由较小的夹持偏心率引起的最小弯曲应力所对应的最低要求的长度。工作段与夹持部分之间保持适当的距离，并使大量材料承受应力，因此来产生一组统计有效的结果。按表 1 中对试件形状的最低要求，并不足以给出一个适当尺寸和公差的试件，因此，表 2 提供了典型材料结构的其他重要尺寸的推荐值。通过若干试验室的试验，发现对于大多数材料体系，这些几何尺寸能够得到可接受的破坏模式，但是，这些几何尺寸并不能确保每一种现有的或未来的材料体系都能试验成功。

表 1 拉伸试件几何形状要求

参 数	要 求
试样要求：	
形状	恒定的矩形横截面
最小长度	夹持长度+2 倍宽度+工作段
试件宽度	所需宽度 ^A
试件宽度公差	宽度的±1%
试件厚度	所需厚度
试件厚度公差	厚度的±4%
试件平面度	用手指轻压感觉为平坦
加强片要求（如果使用）：	
加强片材料	所需材料
纤维方向（复合材料加强片）	所需方向
加强片厚度	所需厚度
加强片之间厚度变化范围	加强片厚度的±1%
加强片	
加强片斜削角度	5–90°
加强片从斜削面到试件的台阶	光滑且不能损坏试件

^A 见 8.2.2 节或表 2 所推荐的

表 2 推荐的拉伸试件几何尺寸^A

纤维方向	宽度 mm[in.]	总长度 mm[in.]	厚度 mm[in.]	加强片长度 mm[in.]	加强片厚度 mm[in.]	加强片锥面 角度，°
单向 0°	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 或 90
单向 90°	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
对称均衡	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	金刚砂布	—	—
随机不连续	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	金刚砂布	—	—

^A 表中的尺寸和图 2 或图 3 中的公差仅为推荐使用，只要与表 1 中要求的相符，也可以改变。

8.2.2.2 夹持/加强片的使用——许多材料结构，例如多向层压板、织物增强材料或随机增强的薄片成型混合材料，不使用加强片都能成功地试验。但是，将单向材料（或一个方向占主导作用的层压板）在纤维方向加载到破坏时，强烈推荐使用时加强片。为了防止出现夹持损伤，单向材料在基体方向上的试验也可能要求使用加强片。

8.2.2.3 加强片几何形状——表 2 给出了典型材料结构的重要尺寸的推荐值。通过若干试验室的试验，发现对于大多数材料体系，这些几何尺寸能够得到可接受的破坏模式，但是，这些几何尺寸并不能确保每一种现有的或未来的材料体系都能试验成功。能使试件在工作段内成功地发生拉伸破坏的加强片结构的选择，依赖于试件材料、试样铺层方向和使用的夹头类型。当小心的使用压力作用的非楔形夹头时，方形 90° 的加强片得到了成功地使用。楔形夹头和带有较小倒角(7-10°)且光滑过渡到试样的加强片也得到了非常成功地使用。出于对中目的，加强片的厚度必须相同。

8.2.2.4 摩擦加强片——试验时，加强片并不总是粘接在试验材料上才能以有效地将载荷传递到试件上。摩擦加强片，未粘接的加强片通过夹头压力保持在某一位置，以及在加强片和试件之间经常使用砂布或一些别的粗金刚砂，已在某些试验中得到了成功地应用。在特定情况下，浅锯齿状楔形夹头（见注 2）通过在夹头与试件之间的接触面上使用砂布也得到了成功地应用，但是，使用的金刚砂必须能经受较大的压缩载荷。试验中发现有些类型的砂布由于金刚砂的碎裂而失去作用⁹。

8.2.2.5 加强片材料——最常用的粘接式加强片的材料是连续 E 玻璃纤维增强的聚合物基材料（机织物或无纬布），其结构形式为[0/90]_{ns}层压板，该加强片材料一般与加载方向成 45° 角，以

⁹ Norton 公司生产的 E-Z 韧性金属 K224 织物、粗砂 120-J 的砂布，Tory, NY12181，被发现在实际使用中非常合适。其他同样类型的金刚砂砂布也适合使用。

提供一个软接触面。得到成功使用的其他结构，包括钢加强片或由试件相同的材料制成的加强片。

8.2.2.6 粘贴式加强片的长度——使用粘贴式加强片时，用下面的简单公式估算粘贴式加强片的最小长度值。由于这个公式并未计算在胶结接头端部的最大应力，因此这个公式所计算的加强片长度通常应再加长，以减少接头失效的概率。

$$L_{\min} = F^u h / 2F^{su} \quad (4)$$

式中：

L_{\min} =所需粘贴式加强片的最小长度，mm[in]；

F^u =试样材料的极限拉伸强度，MPa[psi]；

h =试样厚度，mm[in]；

F^{su} =胶粘剂、试件材料或加强片材料的极限剪切强度（取最小值），MPa[psi]。

8.2.2.7 粘贴式加强片胶粘剂——当粘接时，任何符合环境要求的高伸长率（韧性）胶粘剂均可用于加强片与试验材料的粘贴。粘贴加强片时，最小厚度的均匀胶层能很好的减小不希望有的应力。

8.2.3 详细实例——8.2.1 节中叙述的试件设计的最基本的要求并不足以绘制出合适尺寸和公差的试件图。图 2（SI）和图 3（inch-pound）分别给出了有加强片和无加强片两种形式的尺寸公差试件示意图的例子。尽管这些图中的公差已确定，但对于表 2 中推荐的所有结构形式，它必须满足表 1 的要求。对于某一特定的结构形式，图 2 和图 3 中的公差可能并不严格。

8.3 试件制备

8.3.1 壁板制造——纤维直线度的控制是非常重要的，纤维直线度差将降低材料测量的性能，不规则的纤维排列也将增大离散系数。报告中应给出壁板的制备方法。

8.3.2 机械加工方法——试件的制备非常重要。试件应单独模压成型，以避免边缘和切割效应或从平板上切割试件。如果试件是从平板上切割下来的，应采取相应的措施以避免由于不适当的加工方法而引起切口、划痕、粗糙或不平的表面、或者分层，并通过水润滑的精确切割、碾磨或磨削，得到试件最终尺寸。对于多数材料体系，使用金刚砂工具是非常有效的。试件边缘的平直度和平行度应在规定的公差范围内。

8.3.3 标记——为了便于区分试件，且能追溯到原材料，应对试件作标记，在某种意义上，试件的标记应既不受试验的影响，又不影响试验。

9 标定

9.1 所有测量仪器的精度应已标定过，并在有效使用期内。

10 状态调节

10.1 标准状态调节方法——作为试验的一部分，除非规定了不同的环境条件，否则应按试验方法 D 5229/D 5229M 中的方法 C 对试件进行状态调节，并在标准试验室大气环境（23±3°C [73±5°F] 和 50±10%相对湿度）中储存和试验。

图注:

- (1) 图纸标注与 ANSI Y14.5M-1982 一致, 并遵循下列条件:
- (2) 以 mm 为单位的所有带小数的尺寸的公差如下:

无小数	. X	. XX
± 3	± 1	± 0.3
- (3) 所有角度的公差为: $\pm 0.5^\circ$;
- (4) 铺层方向公差为: 相对于基准面 $\boxed{-A-}$ $\pm 0.5^\circ$;
- (5) 机械加工边缘的光洁度不能超过 $1.6\sqrt{\quad}$ (符号与 ASA B46.1 一致, 粗糙度以 μm 为单位);
- (6) 下面提供的值, 适用于绘图区所示的所有范围: 材料、铺层、相对于 $\boxed{-A-}$ 的铺层方向、总长度、工作段长度、试样厚度、加强片材料、加强片厚度、加强片长度、加强片斜面角度、加强片胶粘剂。
- (7) 该区域不允许胶粘剂结块。

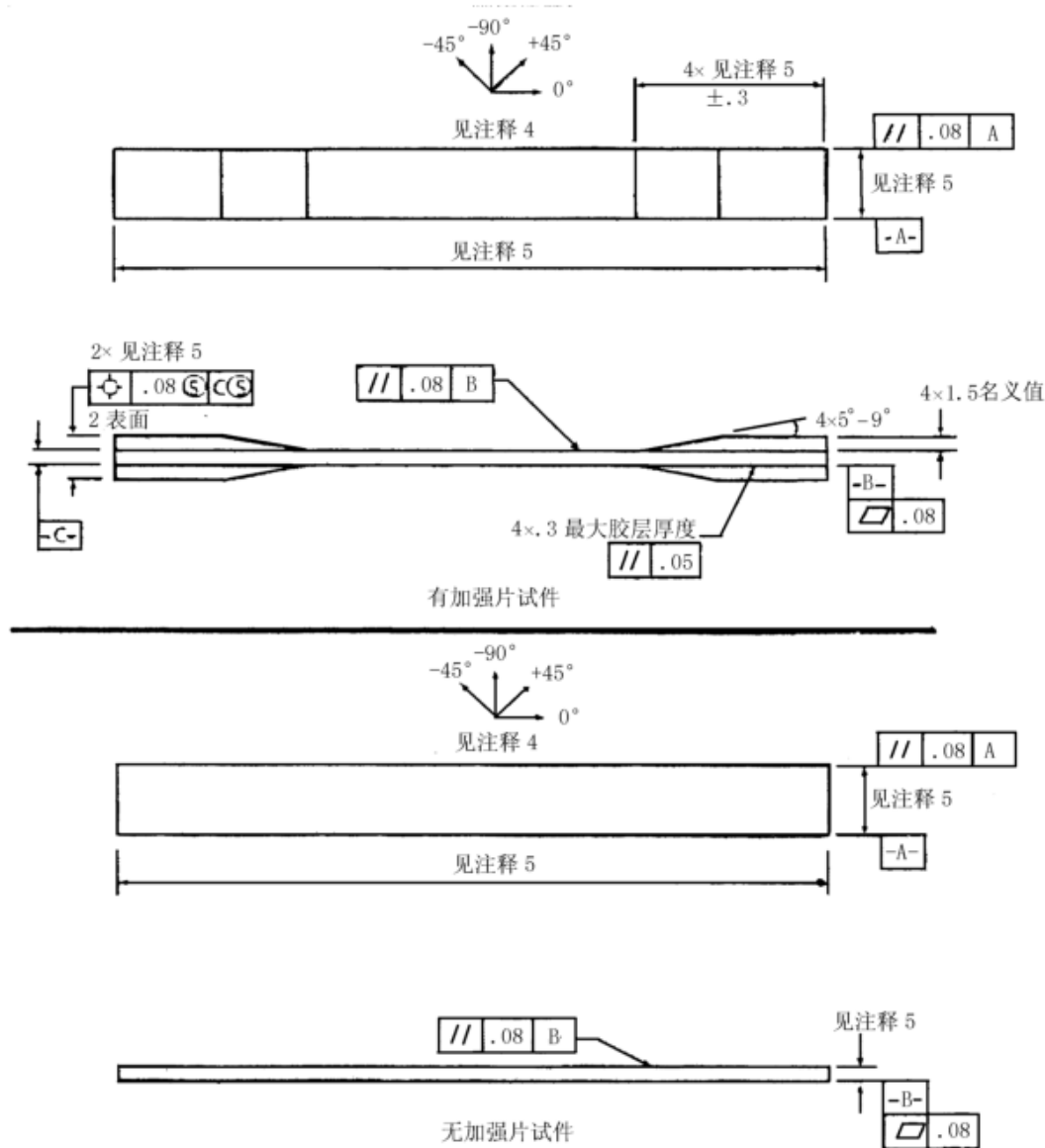


图 2 拉伸试验试样图 (SI)

图注:

- (1) 图纸标注与 ANSI Y14.5M-1982 一致, 并遵循下列条件:
- (2) 以 in 为单位的所有带小数的尺寸的公差如下:

.x	.xx	.xxx
± 0.1	± 0.03	± 0.001
- (3) 所有角度的公差为: $\pm 0.5^\circ$;
- (4) 铺层方向公差为: 相对于基准面 -A- $\pm 0.5^\circ$;
- (5) 机械加工边缘的光洁度不能超过 64 $\sqrt{}$ (符号与 ASA B46.1 一致, 粗糙度以 μ -in 为单位);
- (6) 下面提供的值, 适用于绘图区所示的所有范围: 材料、铺层、相对于 -A- 的铺层方向、总长度、工作段长度、试样厚度、加强片材料、加强片厚度、加强片长度、加强片斜面角度、加强片胶粘剂。
- (7) 该区域不允许胶粘剂结块。

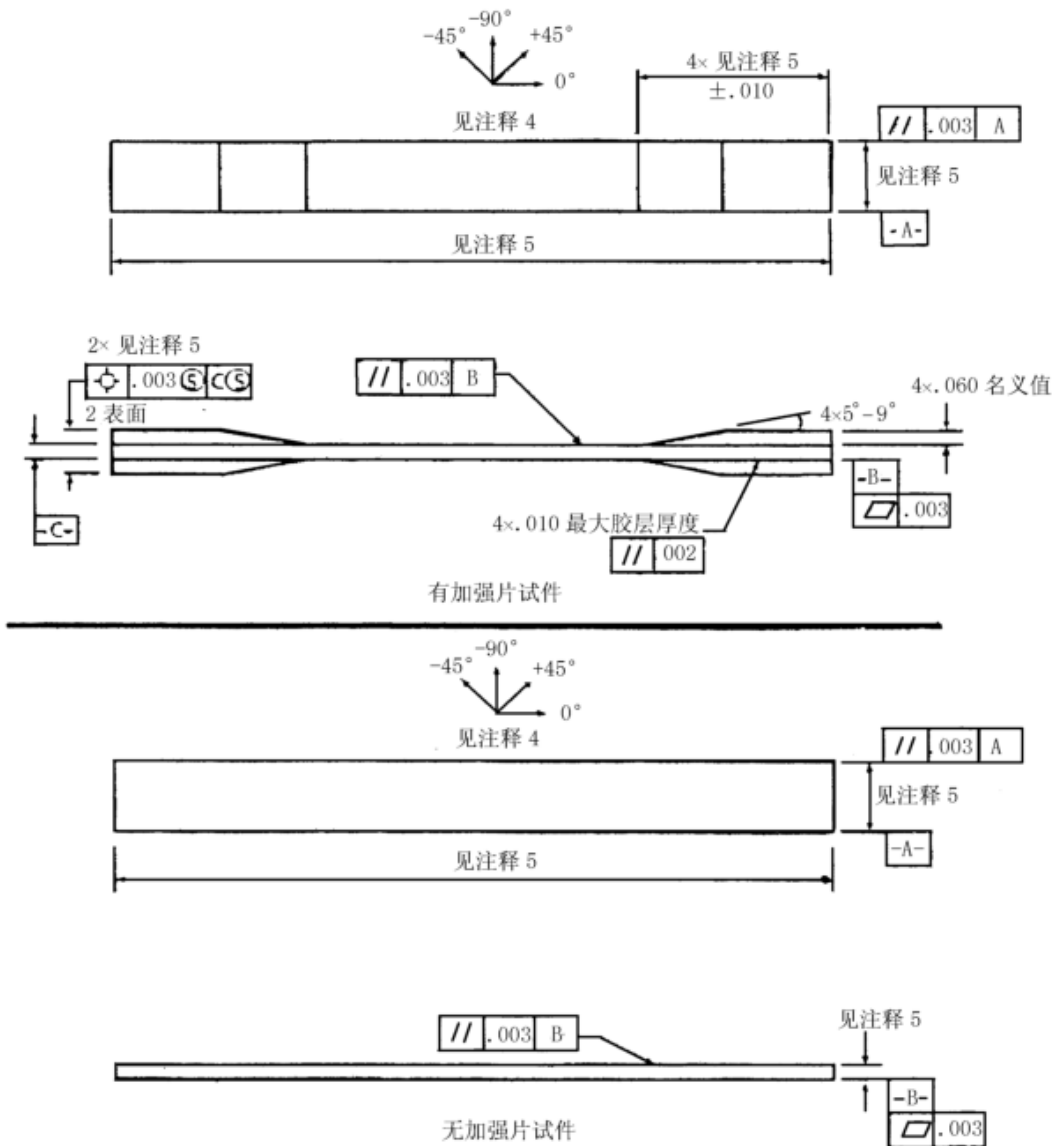


图 3 拉伸试验试样图(inch-pound)

11 试验步骤

11.1 试验前规定的参数:

11.1.1 拉伸试件取样方法、试样类型和几何形状和状态调节的随炉件（如果需要）。

11.1.2 拉伸性能和数据的报告形式。

注 5——试验前确定特定的材料参数、精度和数据的报告要求，以便适当的选择测试仪器和数据记录设备。估计工作应力和应变水平，以便于选择传感器、标定仪器和确定仪器设置。

11.1.3 环境调节试验参数

11.1.4 如果进行了试验，用于确定密度和增强体体积的取样方法、试件几何形状和试验参数。

11.2 一般说明

11.2.1 报告试验方法的任何偏差，无论是有意还是无意的。

11.2.2 如果报告了比重、密度、增强体体积或空隙体积，那么必须从进行拉伸试验的同一块板上取样。比重和密度由试验方法 D 792 得到。由试验方法 D 3171 的基体溶解方法，或者，对于特定的增强材料，例如玻璃和陶瓷，用试验方法 D 2584 中的基体蒸发方法，来计算组分材料的体积百分比。试验方法 D 2734 中的空隙含量计算公式可用于试验方法 D 2584 和基体溶解方法。

11.2.3 在最终的试件加工和状态调节之后，但在拉伸试验前，在工作段内三个不同的位置由 $A=w \times h$ 确定试件的面积，并给出以上三个位置测量面积的平均值，其精度如 7.1 节中所述。记录该平均面积，其单位为 $\text{mm}^2[\text{in}^2]$ 。

11.3 试验速度——设置试验速度，使得在工作段内能产生一个几乎恒定的应变率。如果试验机无法实现应变控制模式，则通过重复的控制和调节加载速率，并测量应变传感器与时间的响应关系，便可近似的保持一个几乎恒定的应变率。应变率的选择应使试件在 1-10 分钟内破坏。如果不能合理地估算材料的极限应变，则最初的试验应以标准速度进行，直到获得材料的极限应变和系统的柔度，从而可以调节应变率。建议的标准速度为：

11.3.1 应变控制试验——标准应变率为 0.01/min。

11.3.2 恒定夹头速度试验——标准的横梁位移速率为 2mm/min[0.05mm/min]。

注 6——在具有高柔度的试验机系统中，使用某一固定夹头速度可能使得应变率大大低于所要求的应变率。使用楔形夹头，特别是使用柔性加强材料，会导致附加的系统柔度。某些情况下，实际应变率比从横梁速率估算的应变率低 10-50 倍。

11.4 试验环境——将试件调节到期望的湿度，如果可能，在与状态调节的液体暴露水平相同的情况下进行试验。然而，有许多实例，如对一个潮湿的试件进行升温试验，将其放置在普通试验机环境箱中是不切实际的。这种情况下，就可能需要对力学试验环境进行改进，如在没有液体暴露控制下进行升温试验，但从调节箱内取出到试件破坏要有一个规定的时间限制。应记录对试验环境的任何改进。

11.4.1 如果试验环境与状态调节环境不同，则应在要求的状态调节环境中存贮试件，直到试验开始。

11.5 试件安装——将试件放入试验机夹头中，仔细地将被夹持试件的纵轴与试验方向对齐。拧紧夹头，记录压力控制（液压或气压）夹头的压力。

注 7——楔形夹头夹块的端部应在试件放入后相互保持平齐，以避免产生弯曲力矩从而导致试件在夹持端提前破坏。对于不使用加强片的试件，在试件表面与夹块之间放置一层折成条状的中度粒度（80-150 粒）砂布（砂砾面朝向试件），以便对表面无锯齿状损伤的试件提供不产生滑移的夹持。对于使用加强片的试件，将试件装入到夹持端，夹块应伸出到试件加强片斜面部分起点外大约 10-15mm[0.5in]。加强片伸到夹块外的试件，因过度的层间应力而容易在加强片端部发生破坏。

11.6 传感器的安装——如果用粘贴在试件上的应变显示传感器测量应变响应，则应变显示传感器应关于试件的纵轴和横轴对称，将应变记录仪与试件上的应变传感器进行连接。

11.6.1 测定弹性模量时，建议每组试件中至少用一个试件背对背的粘贴轴向传感器，在表 3 所示的轴向平均应变检测点（适当的弦向模量应变范围的中间范围），用公式 5 来计算弯曲百分比，。

如果弯曲百分比不超过 3%，则可使用单个传感器。弯曲百分比大于 3%时，建议背对背粘贴传感器来测量平均应变。

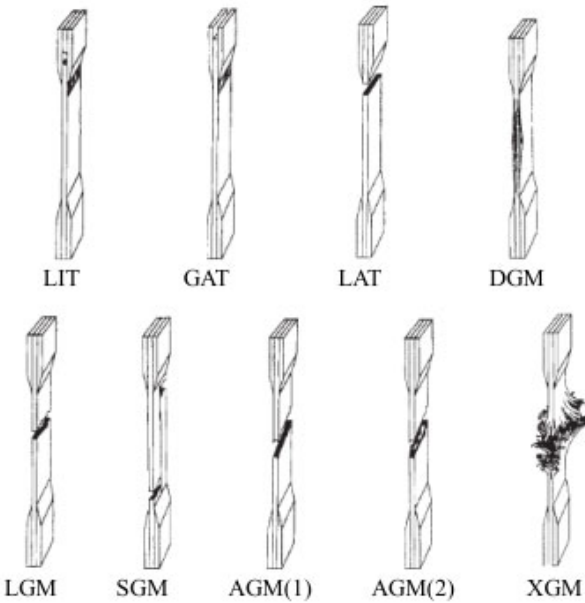
$$B_y = \frac{\left| \varepsilon_f - \varepsilon_b \right|}{\left| \varepsilon_f + \varepsilon_b \right|}$$

(5)

式中：

- ε_f =正面传感器显示的应变， $\mu\varepsilon$ ；
- ε_b =背面传感器显示的应变， $\mu\varepsilon$ ；
- B_y =试件弯曲百分比。

- 11.7 加载——以特定的加载速率对试件加载，直到试件破坏，同时记录数据。
- 11.8 数据记录——连续或定期记录载荷-应变（或传感器位移）数据。如果观测到过渡区或第一层破坏，则记录该点的载荷、应变和损伤模式。如果试件破坏，则记录最大载荷、破坏载荷以及破坏瞬间或尽可能接近破坏瞬间的应变（或传感器位移）。
- 注 8——记录能解释试验的异常和夹持或试件打滑问题的有价值的其他数据，包括载荷-夹头位移数据和载荷-时间数据。
- 11.9 破坏模式——记录试件的破坏模式和破坏区域。如果可能，选用基于三部破坏模式代码的标准描述方法，该代码见图 4。
- 11.10 夹持/加强片破坏——在一组试件中，如果有相当高比例的破坏发生在加强片或夹持端附近的一个试件宽度范围内，则应反复检查载荷的引入方式。需要考虑的因素包括加强片直线度、加强片材料、加强片角度、加强片胶粘剂、夹持类型、夹持力和夹持对中度。



第 1 个字母		第 2 个字母		第 3 个字母	
破坏类型	代码	破坏区域	代码	破坏部位	代码
倒角	A	夹持/加强片内部	I	底部	B
边缘分层	D	夹持/加强片	A	顶部	T
夹持/加强片	G	距离夹持/加强片 小于 1 倍宽度	W	左侧	L
横向	L	工作段	G	右侧	R
多模式	M (xyz)	多处	M	中间	M
纵向劈裂	S	可变的	V	可变的	V
爆炸	X	未知	U	未知	U
其它	O				

图 4 拉伸试验破坏代码/典型模式

表 3 试件对齐和弦向模量计算应变范围

拉伸弦向模量计算纵向应变范围		弯曲的纵向应变检查点, $\mu\epsilon$
起点, $\mu\epsilon^A$	终点, $\mu\epsilon$	
1000 ^B	3000	2000

^A 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 绝对应变

^B 该应变范围将包含在应力/应变曲线的低应变部分。多数材料低于 6000 $\mu\epsilon$ 破坏, 建议使用的一个应变范围为极限应变的 25%–50%。

12 计算

12.1 拉伸应力/拉伸强度——用式(6)计算极限拉伸强度, 结果保留三位有效数字。如果要计算拉伸模量, 则用式(7)确定所要求的每一个数据点的拉伸应力。

$$F^u = P^{\max} / A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i / A \quad (7)$$

式中:

F^u = 极限拉伸强度, MPa[psi];

P^{\max} = 破坏前最大载荷, N[lbf];

σ_i = 第 i 个数据点的拉伸应力, MPa[psi];

P_i = 第 i 个数据点的载荷, N [lbf];

A = 11.2.3 节得到的平均横截面积, $\text{mm}^2[\text{in}^2]$ 。

12.2 拉伸应变/极限拉伸应变——如果要计算拉伸应变或极限拉伸应变, 并用引伸计测量材料的响应, 则需要测量公式 8 所要求的每一个数据点的、从位移值得到的拉伸应变, 结果保留三位有效数字。

$$\epsilon_i = \delta_i / L_g \quad (8)$$

式中:

ϵ_i = 第 i 个数据点的拉伸应变, $\mu\epsilon$;

δ_i = 第 i 个数据点的引伸计位移, mm[in];

L_g = 引伸计标距, mm[in]。

12.3 拉伸弹性模量

注 9——为了将弯曲引起的潜在影响降至最小, 建议用试件两面所显示的应变的平均值作为计算弹性模量的应变数据, 如 7.3 节和 11.6 节中所述。

12.3.1 拉伸弦向弹性模量——从表 3 中选择适当的用来测定弦向模量的应变范围。由所得应力–应变数据用公式 9 来计算拉伸弦向弹性模量。如果在确定的应变范围的端点（常常以数字数据形式出现）的数据无效, 则使用与其最接近的有效数据点的数据。拉伸弦向弹性模量保留三位有效数字, 给出计算中使用的应变范围。弦向模量的图例见图 5。

12.3.1.1 列表所示的应变范围仅适用于在给定应变范围内没有出现过渡区（应力–应变曲线上斜率明显变化的区域）的材料。如果在推荐的应变范围内出现了过渡区, 那么应使用并记录一个更合适的应变范围。

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma / \Delta\epsilon \quad (9)$$

式中:

E^{chord} = 弦向拉伸弹性模量, GPa[psi];

$\Delta\sigma$ = 表 3 中两个应变点之间拉伸应力的差值, MPa[psi];

$\Delta\epsilon$ = 表 3 中两个应变点应变的差值, MPa[psi]（通常取 0.002）。

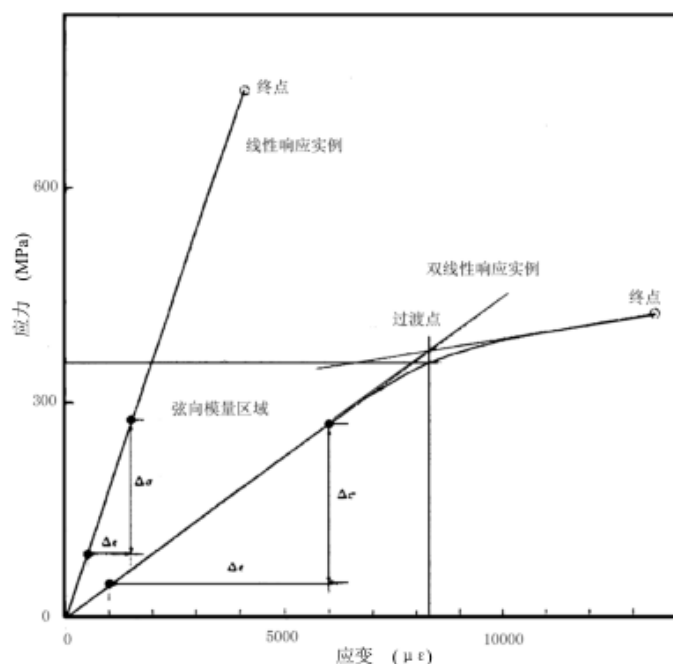


图 5 典型拉伸应力-应变曲线

12.3.2 拉伸弹性模量（其他定义）——可以计算和记录使用者自行定义的其他弹性模量。如果得到并记录了这样的数据，应给出其定义、所用的应变范围和试验结果，结果保留三位有效数字。试验方法 E 111 提供了用于确定弹性模量的其他指导。

注 10——其他模量定义的一个例子为：对本质上表现出双线性应力-应变特性的材料的次弦向弹性模量。次弦向模量的例子见图 5。

12.4 泊松比：

注 11——如果使用粘贴式阻抗应变片，对于复合材料，由于横向灵敏度对横向应变片的影响而引起的误差通常大于金属材料。泊松比的精确测量要求对该影响进行修正。应变片制造厂家应提供横向灵敏度修正系数的相关资料。

12.4.1 弦向法测定泊松比——从表 3 中选择适当的弦向模量纵向应变范围，（通过绘图或其他方法）横向应变（垂直于加载方向） ϵ_t 以及测量应变范围端点的两个纵向应变（平行于加载方向） ϵ_l 。如果在确定的应变范围末点的数据不可用（经常以数字数据形式出现），则使用与之最接近的可用数据点的数据。用公式 10 计算并记录泊松比，结果保留三位有效数字，同时记录所用的应变范围。

$$\nu = -\Delta\epsilon_t / \Delta\epsilon_l \quad (10)$$

式中：

ν = 泊松比；

$\Delta\epsilon_t$ = 表 3 中两个纵向应变点之间横向应变的差值， $\mu\epsilon$ ；

$\Delta\epsilon_l$ = 表 3 中两个纵向应变点之间纵向应变的差值（名义上取 0.001、0.002 或 0.005）。

12.4.2 拉伸泊松比（其他定义）——可以计算和记录使用者自行定义的其他泊松比。如果得到并记录了这样的数据，应给出其定义、所用的应变范围和试验结果，结果保留三位有效数字。试验方法 E 132 提供了用于确定弹性模量的其他指导。

12.5 过渡应变——需要时，可以通过双线性的纵向应力-纵向应变关系曲线或双线性的横向应力-横向应变关系曲线来确定过渡应变。分别对两个线性区域作最佳的线性拟合或弦线，延长两条直线直到它们相交，确定与交点对应的纵向应变，结果保留三位有效数字，并记录该值作为过渡应变。报告应说明线性拟合方法（如果使用）和确定线性拟合或弦线的应变范围。过渡区图例见图 5。

12.6 统计——对于每批试验，应计算每一个需要测量的性能的平均值、标准差和离散系数（百分数）：

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2) / (n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1} / \bar{x} \quad (13)$$

式中:

\bar{x} = 样本的平均值;

s_{n-1} = 样本的标准差;

CV = 样本的离散系数, 以百分数表示;

n = 试件数量;

x_i = 测量或导出的性能值。

13 报告

13.1 报告应最大程度地给出下列信息或含有这些信息的参考文献(对超出一个给定试验室范围的事项, 如关于材料细节或壁板加工参数, 委托方有责任给出有关报告。):

13.1.1 本试验方法的修订版本级别或发布日期。

13.1.2 试验时间与地点。

13.1.3 试验人员姓名。

13.1.4 任何与本试验方法不同之处, 试验时出现的异常情况以及试验时出现的设备问题。

13.1.5 试验材料的证明文件, 包括: 材料规格、材料类型、材料牌号、制造商、制造商的批号或炉号、来源(如果不是由制造厂家提供)、检验日期、有效期限、单丝直径、纤维束或纱的支数与捻度、浸润剂、结构形式或机织、纤维面积重量、基体类型、预浸料基体含量以及预浸料挥发物含量。

13.1.6 层压板制造步骤的描述, 包括: 制造开始时间、制造结束时间、工艺规范、固化周期、压实方法及所用设备的描述。

13.1.7 层压板的铺层顺序。

13.1.8 如果要求, 给出密度、增强体的体积百分比, 和空隙含量测试方法、试件取样方法和几何形状、试验参数和试验结果。

13.1.9 材料的平均单层厚度。

13.1.10 任何无损评估试验的结果。

13.1.11 试验件的制备方法, 包括: 试件编号方案和方法、试件几何形状、取样方法、试样切割方法、加强片几何形状详细情况、加强片材料和用于加强片的胶粘剂。

13.1.12 所有测量仪器与试验设备的标定日期和方法。

13.1.13 试验机型号、夹头、夹块、夹持力、对中结果、及数据采集速率与设备型号。

13.1.14 系统对中度评估结果, 如果校正过。

13.1.15 每个试验件的几何尺寸。

13.1.16 状态调节参数及结果, 随炉件和随炉件的几何形状, 以及与试验方法的规定不同的实际试验过程。

13.1.17 试验室的相对湿度与温度。

13.1.18 试验机环境箱环境(如果使用)和在环境中的浸透时间。

13.1.19 试验的试件数量。

13.1.20 试验速率。

13.1.21 试件上传感器位置 and 使用的每种传感器的型号。

13.1.22 如果使用了应变片, 应变片的型号、电阻、尺寸、应变片系数、温度补偿方法、横向灵

敏度、导线电阻以及使用的所有修正因子。

13.1.23 每个试件的应力-应变曲线和应力-应变数据列表。

13.1.24 每个试件弯曲百分比的评估结果。

13.1.25 每个试件的强度值以及母体的平均值、标准差与离散系数（以百分数表示）。如果破坏载荷低于破坏前的最大载荷，应注明。

13.1.26 每个试件的破坏应变以及母体的平均值、标准差与离散系数（以百分数表示）。

13.1.27 测量弦向模量和泊松比所用的应变范围。

13.1.28 除了弦向模量外，如果使用了其他弹性模量的定义，则需记录所使用的方法、导致的修正系数（如果适用）以及模量计算所用的应变范围。

13.1.29 每个试件的弹性模量值以及母体的平均值、标准差和离散系数（以百分数表示）。

13.1.30 对于泊松比，除了弦向定义外，如果使用了其他的定义，则需记录所使用的方法、导致的修正系数（如果适用）以及泊松比计算所用的应变范围。

13.1.31 每个试件的泊松比值以及母体的平均值、标准差和离散系数（以百分数表示）。

13.1.32 如果测量了过渡应变，应说明线性拟合的方法（如果使用）和采用线性拟合或弦线法所用的应变范围。

13.1.33 每个试件的过渡应变值（如果适用）以及母体的平均值、标准差和离散系数（以百分数表示）。

13.1.34 每件试件的破坏模式和破坏区域。

14 精度与偏差

14.1 精度

14.1.1 拉伸试验强度和模量测量的精度和偏差依赖于严格满足试验方法 D 3039/D 3039M 的要求，并且受机械或材料因素、试件制备和测量误差的影响。

14.1.2 影响试验结果的机械因素包括：试验机的物理特性（刚度、阻尼和质量）、加载和位移/应变测量精度、加载速率、试验试件与施加载荷的对中度，夹块的平行度、夹持力和载荷控制类型（位移、应变或载荷）。

14.1.3 影响试验结果的材料因素包括：材料质量和样品、取样方案和试件制备（尺寸精度、加强片材料、加强片斜面角度、加强片胶粘剂等）。

14.1.4 对于应变率灵敏的平均拉伸强度，从玻璃/环氧预浸带复合材料在纤维方向上的试验发现，在 D 3039/D 3039M 规定的到达破坏的推荐时间的范围内，缩短到达破坏的试验时间，将使得平均拉伸强度增加了大约两倍的标准差。该结果表明，对于应变率灵敏的复合材料，按照本标准对所得到的试验数据进行比较时应谨慎。

14.1.5 专用的测量仪器，如：载荷传感器、引伸计和应变片、千分尺、数据采集仪等，引起的测量误差。

14.1.6 从在工作段外发生破坏的试件上测得的数据应谨慎使用，因为该数据可能并不代表材料的性能。夹持区域发生破坏表明了加强片处的应力集中大于工作段材料固有强度的偏差。使用韧性低模量胶粘剂粘贴的带斜面的加强片，可以得到相对较低的应力集中，并使发生夹持破坏的概率最低。加强片处存在的较大的应力集中将导致夹持破坏的发生次数增加，从而使得低强度的偏差增大。

14.1.7 试验在多个试验室进行。6 种不同材料和铺层形式、每组 5 个试件平均分配在 9 个不同的试验室进行了试验¹⁰。表 4 列出了 E 691 定义的关于拉伸强度、模量和破坏应变的统计值。除了材料 B（90° 铺层），所有数据均采用平均厚度进行了归一化处理。表 15 所列材料的定义为：

A IM-6/3501-6 单向带（0°）_n

B IM-6/3501-6 单向带（90°）_n

¹⁰ 复合材料国际协调——I 阶段：ASTM D 3039/D 3039M 与 ISO 527-5 的协调，最终研究报告，ASTM 标准研究所，1997.4。

- C IM-6/3501-6 单向带 (90/0)n
 F 玻璃/环氧织物 (7781 玻璃纤维/Ciba R 7376 环氧) – 经向排列
 G 碳/环氧织物 (66108 碳纤维/Ciba R 6376 环氧)

表 4 精度的统计值

材 料	\bar{x}	$s\bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x},\%$	$S_R/\bar{x},\%$
强度, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
模量, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
破坏应变, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 表 5 给出了离散系数的平均值。 S_r/X 和 S_R/X 的值分别表示离散系数的重复性和再现性。这些平均值可以对拉伸试验参数的重复性（试验室内的精度）和再现性（试验室之间的精度）进行相应的比较。表中数据表明，在所有的测量参数中，破坏应变测量值的重复性和再现性最差，而模量的重复性和再现性最好。

14.1.9 同一材料进行重复试验的一致性依赖于铺层形式、材料和试件的制备技术、试验条件以及拉伸试验参数的测量。

14.2 偏差——由于没有可接受的参考标准，本试验方法不能确定偏差。

表 5 离散系数平均值

参 数	S_r/X 平均值, %	S_R/X 平均值, %
强度	5.11	6.00
模量	2.22	3.22
破坏应变	5.94	7.32

15 关键词

15.1 复合材料；弹性模量；泊松比；拉伸性能；拉伸强度