ICS 83.120
CCS Q 23

T/CS

团 体 标 准

T/CS 682—2026

高分子复合材料动态力学性能高通量测试规程

Code of practice for high-throughput testing of dynamic mechanical properties of polymer composite materials

2026 - 09 - 30 发布　　2026 - 09 - 30 实施

中国商品学会　　发 布

目　　次

前言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 缩略语 2
5 原理 2
6 仪器设备 2
7 试样 3
8 试验步骤 4
9 试验数据处理 5
10 试验报告 6

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。

本文件由河南城建学院提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：河南城建学院、黑龙江工程学院、内蒙古大学、珠海艾柯智联科技有限公司、周口盛驰建筑工程有限公司、深圳国家高技术产业创新中心（深圳发展改革研究院）。

本文件主要起草人：朱元昭、许建平、胡剑锋、莫明辉、陈鹏、高二客。

高分子复合材料动态力学性能高通量测试规程

1 范围

本文件规定了高分子复合材料在 0.01 Hz～100 Hz 频率范围内进行动态力学性能高通量测试的原理、仪器设备、试样、试验步骤、数据处理和试验报告等方面的要求。

本文件适用于热固性和热塑性高分子复合材料在温度扫描模式或频率扫描模式下储能模量（E′）、损耗模量（E″）、损耗因子（tan δ）及玻璃化转变温度（Tg）的高通量测定。

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 33061.1 塑料 动态力学性能的测定 第 1 部分：通则

GB/T 33061.4 塑料 动态力学性能的测定 第 4 部分：非共振拉伸振动法

GB/T 33061.5 塑料 动态力学性能的测定 第 5 部分：非共振弯曲振动法

GB/T 33061.6 塑料 动态力学性能的测定 第 6 部分：非共振剪切振动法

GB/T 33061.11 塑料 动态力学性能的测定 第 11 部分：玻璃化转变温度

GB/T 33061.12 塑料 动态力学性能的测定 第 12 部分：非共振压缩振动法

GB/T 40396 聚合物基复合材料玻璃化转变温度试验方法 动态力学分析法（DMA）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高分子复合材料 polymer composite material

以高分子聚合物为基体，以纤维、颗粒等为增强体或填料，经复合工艺制成的具有多相结构的固体材料。

3.2

动态力学性能 dynamic mechanical properties

材料在交变力场（周期性应力或应变）作用下表现出的力学特性，通常以储能模量（E′）、损耗模量（E″）和损耗因子（tan δ）等参数表征。

3.3

储能模量 storage modulus E′

复数模量的实部，表示材料弹性响应分量，单位为帕斯卡（Pa）。

3.4

损耗模量 loss modulus E″

复数模量的虚部，表示材料粘性响应分量，单位为帕斯卡（Pa）。

3.5

损耗因子 loss factor tan δ

损耗模量（E″）与储能模量（E′）的比值，tan δ = E″/E′，反映材料阻尼特性。无量纲。

3.6

玻璃化转变温度 glass transition temperature T_g

非晶聚合物或部分结晶聚合物的非晶区域从玻璃态向高弹态转变时所对应的温度范围的特征温度。

3.7

高通量测试 high-throughput testing

在一次试验运行中，同时对多个试样进行动态力学性能测试，或采用自动化连续测试系统在相同试验条件下对多个试样依次完成测试，以实现测试效率显著提升的试验方法。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

DMA：动态力学分析（Dynamic Mechanical Analysis）

E′：储能模量（Storage Modulus）

E″：损耗模量（Loss Modulus）

tan δ：损耗因子（Loss Factor）

Tg：玻璃化转变温度（Glass Transition Temperature）

RSD：相对标准偏差（Relative Standard Deviation）

5 原理

5.1 将高分子复合材料试样置于动态力学分析仪中，对试样施加正弦交变应力（或应变），测量试样在该交变力场作用下的应力（或应变）响应。通过分析应力与应变之间的幅值比和相位差，计算试样的储能模量（E′）、损耗模量（E″）和损耗因子（tan δ）。

5.2 在温度扫描模式下，以恒定升温速率改变试样温度，在设定的温度范围内连续测定动态力学性能参数随温度的变化，由此确定玻璃化转变温度（Tg）。在频率扫描模式下，在恒定温度下改变振动频率，测定动态力学性能参数随频率的变化。

5.3 高通量测试通过以下两种方式实现：

a) 多试样序列测试：使用配备自动换样装置的动态力学分析仪，通过自动化程序控制实现试样的自动装夹与测试，在统一测试程序下顺序完成各试样的动态力学性能测试，一次测试循环可处理不少于 4 个试样；

b) 自动化连续测试：使用配备自动进样系统的动态力学分析仪，在无人值守条件下连续完成批量化试样的动态力学性能测试。

6 仪器设备

6.1 动态力学分析仪

6.1.1 动态力学分析仪应能测量试样的应力响应或应变响应。仪器应符合 GB/T 33061.1 中关于仪器的规定。

6.1.2 仪器应配备温度控制系统，温度控制偏差不应超过±0.5 ℃，温度测量分辨力应优于 0.1 ℃。

6.1.3 仪器应配备力传感器，力值测量相对误差绝对值不应超过±1%。力传感器量程应根据试样尺寸和预期模量范围选择，使测试过程中的力值读数处于传感器满量程的 10%～90%范围内。
6.1.4 仪器应配备位移传感器，位移测量分辨力应优于 0.1 μm。
6.1.5 仪器应能提供以下振动模式之一或多种：
a) 弯曲振动模式，应符合 GB/T 33061.5 的规定；
b) 剪切振动模式，应符合 GB/T 33061.6 的规定；
c) 压缩振动模式，应符合 GB/T 33061.12 的规定；
d) 拉伸振动模式，应符合 GB/T 33061.4 的规定。
6.1.6 频率范围应覆盖 0.01 Hz～100 Hz。频率控制误差不应超过设定值的±2%。
6.1.7 应变幅值控制范围应覆盖 0.01%～5%，应变幅值控制误差不应超过设定值的±5%。

6.2 高通量测试附件

6.2.1 采用多试样自动序列测试附件时，仪器应配备自动换样装置，单次批次可处理试样数量不应少于 4 个。
6.2.2 采用自动化连续测试方式时，仪器应配备自动进样系统，进样定位精度不应超过±0.1 mm。

6.3 辅助设备

6.3.1 测微计或卡尺：尺寸测量误差不应超过试样实测尺寸的±0.5%或±0.01 mm（取较大者），且读数分辨力不应低于 0.01 mm。
6.3.2 干燥器或恒温恒湿箱：用于试样的状态调节，应符合 GB/T 40396 中关于状态调节的规定。

7 试样

7.1 试样制备

7.1.1 试样应从高分子复合材料板材、模塑制品或复合材料构件中切取，切取方式应避免改变材料的动态力学性能。对于纤维增强复合材料，应注明取样方向相对于纤维取向的关系。
7.1.2 试样的形状和尺寸应根据所选用的振动模式确定：
a) 弯曲振动模式：试样宜为矩形截面的长条状。试样长度应为 35 mm～60 mm，宽度应为 5 mm～15 mm，厚度应为 0.5 mm～5 mm。试样尺寸公差不应超过±0.1 mm。具体尺寸应根据仪器夹具要求确定。
b) 剪切振动模式：试样宜为矩形或圆形截面。试样厚度应为 1 mm～4 mm。具体尺寸应根据仪器夹具要求确定。
c) 压缩振动模式：试样宜为直棱柱、圆柱体或管状。试样高度与直径（或截面边长）之比应在 1:1～2:1 范围内。
d) 拉伸振动模式：试样宜为哑铃型或矩形条状。具体尺寸应根据仪器夹具要求确定。
7.1.3 同一批次高通量测试的所有试样应具有相同的几何形状和标称尺寸。长度和宽度方向的批内偏差不应超过±0.1 mm，厚度方向的批内偏差不应超过±1%。

7.2 试样数量

单次高通量常规测试运行应包含不少于 4 个待测试样，且每个测试条件应至少获得 4 个有效试样。用于质量控制或数据统计时，上述数量均不应少于 5 个。参考样不计入上述试样数量。

7.3 状态调节

7.3.1 试样应在测试前按 GB/T 40396 的规定进行状态调节。状态调节条件应记录在试验报告中。
7.3.2 标准状态调节条件为温度 23 ℃±2 ℃、相对湿度 50%±5%，调节时间不应少于 24 h。
7.3.3 对于吸湿性材料或需模拟特定使用环境的测试，可按供需双方约定的条件进行状态调节，并在试验报告中注明。

8 试验步骤

8.1 试验准备

8.1.1 按照仪器操作规程启动动态力学分析仪，预热时间不应少于 30 min，确保仪器达到热平衡状态。
8.1.2 检查仪器的校准状态。力传感器、位移传感器和温度传感器应在有效校准周期内。校准应符合仪器制造商的规定及 GB/T 33061.1 的相关要求。
8.1.3 根据试样材质和预计的动态力学性能范围，选择合适的振动模式、夹具和力传感器量程。
8.1.4 在仪器控制软件中设置试验方法，包括：

a) 振动模式；
b) 测试模式；
c) 频率设定值；
d) 温度扫描范围、升温速率；
e) 频率扫描范围、对数间隔；
f) 应变幅值或应力幅值；
g) 试样信息。

8.2 试样安装

8.2.1 用测微计或卡尺测量每个试样的宽度、厚度等尺寸。长度应在试样两端及中间位置各测量 1 次，取算术平均值；宽度、厚度应在有效测试段不同位置测量不少于 3 次，取算术平均值。尺寸测量精度应符合 6.3.1 的要求。测量数据应记录并与试样一一对应。
8.2.2 将试样安装于夹具中。安装时应确保试样轴线与加载方向对中，试样轴线与加载方向的对中偏差不应超过±0.1 mm 或试样厚度的 5%（取较小者）。
8.2.3 夹具的夹持扭矩或夹持力应按仪器操作规程设定。同一批次测试中各试样的夹持条件应一致。
8.2.4 对于多试样序列测试，应按仪器规定的装样顺序和位置依次安装各试样，记录每个试样在样品盘或夹具中的位置编号。

8.3 线性粘弹区验证

8.3.1 在正式测试前，应在玻璃态和橡胶态（或 Tg 以下和 Tg 以上）各选取至少一个代表性温度点，进行应变扫描，确定试样的线性粘弹区。
8.3.2 应变扫描的应变幅值范围应为 0.01%～5%，以对数间隔取每数量级不少于 5 个、总计不少于 15 个应变水平。
8.3.3 正式测试采用的应变幅值应位于线性粘弹区内。测试过程中，应监测各试样的动态力学性能参数相对于其在线性粘弹区内平台值的波动；任一参数的波动超过±5%时，应判定该试样已偏离线性粘弹区。各试样的测试应变幅值设定值应保持一致。
8.3.4 当测试温度高于 100 ℃或在材料玻璃化转变温度以上进行时，测试腔应通入惰性气体（如氮气或氩气）进行保护，气体流量应按仪器操作规程设定。测试气氛条件应在试验报告中注明。对于在空气中测试的材料，应在试验报告中特别说明。

8.4 温度扫描测试

8.4.1 温度扫描的升温速率应根据材料特性和测试目的确定，通常为 1 ℃/min、2 ℃/min、3 ℃/min 或 5 ℃/min。同一批次高通量测试的所有试样应采用相同的升温速率。

8.4.2 温度扫描范围应覆盖材料的玻璃化转变区域。在仪器温度能力范围内，起点温度应低于 Tg 预期值至少 50 ℃，终点温度应高于 Tg 预期值至少 50 ℃。

8.4.3 测试频率应根据材料特性和测试目的确定，通常为 0.1 Hz、1 Hz、10 Hz 或 100 Hz。同一批次高通量测试的所有试样应采用相同的测试频率。

8.4.4 温度扫描过程中，仪器应连续记录温度、频率、应变幅值、应力幅值、储能模量、损耗模量和损耗因子等数据。数据采集时间间隔不应大于 30 s，且温度间隔不大于 1 ℃；当升温速率较快导致两条件不能同时满足时，以温度间隔不大于 1 ℃为优先。

8.5 频率扫描测试

8.5.1 频率扫描的频率范围应为 0.01 Hz～100 Hz。频率点应以对数间隔分布，每个数量级内不应少于 5 个频率点。

8.5.2 频率扫描应在恒定温度下进行。测试温度应根据材料特性和测试目的确定，可为室温、Tg 以下某温度、Tg 附近或 Tg 以上某温度。

8.5.3 频率扫描过程中，仪器应连续记录频率、应变幅值、应力幅值、储能模量、损耗模量和损耗因子等数据。

8.6 质量控制

8.6.1 参考样应为性能稳定、均匀的标准物质或经认证的内部质控样，在有效期内使用，保存条件应符合制造商规定。参考样的玻璃化转变温度及储能模量参考值应附有不确定度说明。

8.6.2 每批次高通量测试应至少包含一个参考样，用于验证测试系统的状态。参考样可单独测试验证，也可与待测试样同批次运行；当与待测试样同批次运行时，仪器总容量应确保待测试样数量仍满足 7.2 的要求。

8.6.3 参考样的测试结果与参考值之间的偏差应满足以下要求：

a) 在参考样证书指定的特征温度点（如室温或玻璃化转变温度处），储能模量偏差不应超过±10%；

b) Tg 偏差不应超过±2 ℃。

8.6.4 若参考样测试结果超出上述偏差范围，应停止测试，检查仪器状态并重新校准后重新测试。

8.6.5 每个试样的测试曲线应进行合理性检查。出现以下情况之一的试样数据应予以剔除并记录剔除原因：

a) 测试过程中出现试样滑移或夹持失效；

b) 测试曲线在玻璃化转变区域出现异常突变，或储能模量、损耗因子的相对波动（以标准偏差与平均值之比计）大于 5%；

c) 储能模量或损耗因子数据超出仪器量程或预期合理范围；

d) 同一批次中，该试样 Tg 值与该批次全部试样 Tg 值的中位数的偏差超过±5 ℃。

异常值判断应一次性完成，不得迭代剔除。

9 试验数据处理

9.1 动态力学性能参数计算

9.1.1 储能模量（E′）应按公式（1）计算：

$$E' = \left(\sigma_0 / \varepsilon_0\right) \times \cos\delta \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

σ_0 —— 应力幅值，单位为帕斯卡（Pa）；

ε_0—— 应变幅值，无量纲；

δ —— 应力与应变之间的相位差（损耗角），单位为度（°）或弧度（rad）。

9.1.2 损耗模量（E″）应按公式（2）计算：

$$E''=(\sigma_0/\varepsilon_0)\times\sin\delta \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

E″ —— 损耗模量，单位为帕斯卡（Pa）；

其余符号含义同公式（1）。

9.1.3 损耗因子（tan δ）应按公式（3）计算：

$$\tan\delta = E''/E' = \sin\delta/\cos\delta \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

tan δ —— 损耗因子（又称阻尼比），无量纲；

E′、E″分别见公式（1）和公式（2）。

9.2 玻璃化转变温度确定

9.2.1 玻璃化转变温度（Tg）应按GB/T 33061.11和GB/T 40396的规定确定。

9.2.2 Tg 可由以下三种方法之一确定，应在试验报告中注明所采用的方法：

a) 储能模量（E′）外推起始温度法：在玻璃化转变区域的储能模量曲线下降段作切线，切线与玻璃态平台区切线的交点对应的温度；

b) 损耗模量（E″）峰值温度法：损耗模量曲线在玻璃化转变区域峰值所对应的温度；

c) 损耗因子（tan δ）峰值温度法：损耗因子曲线在玻璃化转变区域峰值所对应的温度。

9.3 高通量数据统计分析

9.3.1 对于同一批次测试的多个试样，应在试验报告指定的相同绝对温度点（如室温、Tg预期值或玻璃态平台区某温度点），计算各动态力学性能参数（E′、E″、tan δ）的算术平均值（$\bar{x}$）和标准偏差（s）。

9.3.2 储能模量（E′）的批内相对标准偏差（RSD）应按公式（4）计算：

$$RSD=\left(\frac{s}{\bar{x}}\right)\times 100\% \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

s —— 批内重复测得储能模量值的标准偏差，单位为帕斯卡（Pa）；

$\bar{x}$ —— 批内重复测得储能模量值的算术平均值，单位为帕斯卡（Pa）；

RSD —— 相对标准偏差，以百分数（%）表示。

9.3.3 在相同测试条件下，在玻璃态平台区（推荐为Tg以下50 ℃处，或试验报告指定的特征温度点），按8.6.5剔除异常试样后，同一批次有效试样的储能模量批内相对标准偏差不应超过15%。玻璃化转变温度（Tg）的批内标准偏差不应超过3 ℃。

9.3.4 超出9.3.3规定偏差范围的异常试样数据应予标记并在试验报告中说明。

10 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

a）报告标题：“高分子复合材料动态力学性能高通量测试报告”；

b）试样信息：材料名称、牌号、来源、批次、取样方向、制备方法、状态调节条件；

c）试样尺寸：每个试样的宽度、厚度、长度及测量方法；

d）仪器信息：仪器型号、制造商、传感器类型及量程、校准日期；

e）测试条件：振动模式、测试模式、频率、升温速率、温度扫描范围、应变幅值、线性粘弹区验证结果、测试气氛（气体种类及流量）；

f）高通量测试方式：多试样序列测试或自动化连续测试，试样数量及位置编号；

g）测试结果：每个试样的储能模量（E′）、损耗模量（E″）、损耗因子（tan δ）随温度（或频率）的变化曲线或数据表；玻璃化转变温度（Tg）及确定方法；各参数的算术平均值和标准偏差；

h）参考样测试结果及偏差；

i）异常数据处理说明；

j）试验日期、试验人员、审核人员。