

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

a

机械振动与冲击 黏弹性材料动态力学特性的表征 第4部分：动刚度法

Mechanical vibratin and shock --- Characterizatin of the dynamic mechanical properties of visco-elastic materials --- Part 4: Dynamic stiffness method

ISO 18437-4:2008 IDT

b （征求意见稿）

c （本稿完成日期：2023 年 11 月 22 日）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量原理 3

5 测量装置 4

 5.1 硬件 4

 5.2 设置 4

6 试样结构建议及形状系数计算 7

 6.1 试样尺寸选择 7

 6.2 硬质塑料 7

 6.3 橡胶材料 9

 6.4 黏性材料 9

 6.5 所有材料的体积模量 10

7 试样 11

 7.1 试样的形状和尺寸选择 11

 7.2 试样的制造和准备说明 11

8 测量调节 13

 8.1 试验保管 13

 8.2 温度调节 13

 8.3 力学调节 13

 8.4 湿度调节 13

 8.5 测量条件 14

9 主要误差来源 14

10 测量结果及处理 14

 10.1 频率-温度叠加 14

 10.2 数据表示 15

 10.3 测试报告 15

参考文献 16

前 言

GB/T ×××××《机械振动与冲击 黏弹性材料动态力学特性的表征》分为6个部分：

- 第1部分：原理和指南；
- 第2部分：共振法；
- 第3部分：悬臂剪切梁法；
- 第4部分：动刚度法；
- 第5部分：基于测量和有限元分析比较的泊松比；
- 第6部分：时温叠加。

本部分为 GB/T×××××的第4部分。

本部分按照 GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本部分使用翻译法，等同采用国际标准ISO 18437-4：2008《机械振动与冲击 黏弹性材料动态力学性能的表征 第4部分：动刚度法》（英文版），在技术内容上与国际标准完全相同。

为便于使用，本部分做了下列编辑性修改：

- “ISO 18437的本部分”改为“本部分”；
- 删除了国际标准的前言，增加了国家标准的前言；
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“，”；
- 把标准中涉及到的ISO标准改为相应的国家标准。

本部分由全国机械振动、冲击与状态监测标准化技术委员会(SAC/TC53)提出并归口。

本部分起草单位：××××××××××××××××××××××××

本部分主要起草人：×××、×××、×××。

引 言

黏弹性材料可实现振动能量的耗散（阻尼）或隔离，因而广泛应用于降低结构系统几赫兹到千赫兹的振动，同时还可改变声音反射、透射性能或直接吸收声能量而应用于噪音控制领域。

为达到最优工作状态，该类结构系统的设计、建模和表征通常需要材料具有特定的动态力学性能参数（如杨氏、剪切、体积模量及其相应的损耗因子）。

黏弹性材料的能量耗散源于材料分子之间的摩擦作用，可通过测量应力与应变之间的迟滞特性来衡量。大多数黏弹性材料的动态力学特性（如动模量、损耗因子）都依赖于频率、温度和应变幅值。为某一给定的设计应用选择特定的材料，是决定系统工作性能的关键所在。

本部分的目的是介绍直接动刚度法的测量原理、测量装置及结果数据分析方法。

本部分适用于小应变振幅下的线性力学行为，尽管静刚度可能是非线性的。

机械振动与冲击 黏弹性材料动态力学性能的特征

第4部分：动刚度法

1 范围

本部分规定了黏弹性材料杨氏、剪切和体积模量及与拉伸、剪切和压缩应变对应的损耗因子的复动态模量通过试样尺寸、动态模量精度、激振器与刚度及测试夹具的谐振特性的动刚度测量。

本部分适用于宽频率和温度范围内橡胶、黏性聚合物及硬质塑料等线性的小动态声学应变下非线性静刚度静态预压的聚合物材料试样的动刚度测。

注：在给定预压条件下，模量之间的关系是唯一的。

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，仅所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 2035 塑料术语及其定义（GB/T 2035-2008, ISO 472:1999, IDT）

GB/T 2298 机械振动、冲击与状态监测 词汇（GB/T 2298-2010, ISO 2041:2009, IDT）

GB/T 9870.1 硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分：通则（GB/T 9870.1-2006, ISO 4664-1:2005, IDT）

GB/T 33061.1 塑料 动态力学性能测定 第1部分：通则（GB/T 33061.1-2016, ISO 6721-1:2011, MOD）

GB/T 33061.4 塑料 动态力学性能的测定 第4部分：拉伸振动非共振法（GB/T 33061.4-2016, ISO 6721-4:2011, MOD）

GB/T 33061.6 塑料 动态力学性能的测定 第6部分：剪切振动非共振法（GB/T 33061.6-2016, ISO 6721-6:2011, MOD）

GB/T 17809 阻尼材料 复模量图示法（GB/T 17809-1999, ISO 10112, IDT）

GB/T 22159.1 声学及振动 弹性元件振动 声传递特性实验室测量方法 第1部分：原理与指南（GB/T 22159.1-2012, ISO 10846-1:2008, IDT）

GB/T 2941 橡胶-物理试验方法试样制备和调节通用程序（GB/T 2941-2006, ISO 23529:2004, IDT）

注：GB/T 22159.1涉及弹性元件动态输入和传递刚度以及机械阻抗的整体测量，是关于黏弹性材料动态杨氏模量、剪切模量、体积模及损失因子的表征。

3 术语和定义

GB/T 2035、GB/T 2298、GB/T 9870.1、GB/T 33061.1、GB/T 33061.4、GB/T 33061.6、GB/T 17809、GB/T 22159.1、GB/T 2941界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

动态力学性能 **dynamic mechanical properties**

黏弹性材料弹性模量、剪切模量、体积模量和损耗因子的基本弹性性能参数。

3.2

阻尼结构 **damped structure**

结构中阻尼材料制成的元件。

3.3

杨氏模量 **Young modulus**

弹性模量 **modulus of elasticity**

E

法向应力与线应变之比。

注 1：适用于 ISO 80000-4-18.1：2006^[9]。

注 2：杨氏模量用帕斯卡表示。

注 3：黏弹性材料的复杨氏模量用 E^* 由 $E^*=E'+iE''$ 表示，其中 E' 是杨氏模量的实数（弹性）分量， E'' 是杨氏模量的虚数（损耗模量）分量。实部代表弹性储能能力，虚部是机械能损失的量度。

3.4

剪切模量 shear modulus

刚性模量 modulus of rigidity

库伦模量 Coulomb modulus

 G

剪切应力与剪切应变之比。

注：黏弹性材料的复剪切模量用 G^* 由 $G^*=G'+iG''$ 表示，其中 G' 是剪切模量的实数（弹性）分量， G'' 是剪切模量的虚数（损耗模量）分量。

3.5

体积模量 bulk modulus

压缩模量 modulus of compression

 K

压力与体积应变之比。

注：黏弹性材料的复体积模量用 K^* 由 $K^*=K'+iK''$ 表示，其中 K' 是体积模量的实数（弹性）分量， K'' 是体积模量的虚数（损耗模量）分量。

3.6

损耗因子 loss factor

复模量的虚部与实部之比。

注：材料发生能量损失时，应变与应力的相位差 δ 、损耗因子等于 $\tan \delta$ 。

3.7

复模量大小 magnitude of complex modulus

复模量的绝对值。

注：复模量大小的定义如下：

a) 杨氏模量的大小： $|E| = \sqrt{[E']^2 + (E'')^2}$ ；

b) 剪切模量的大小： $|G| = \sqrt{[G']^2 + (G'')^2}$ ；

c) 体积模量的大小： $|K| = \sqrt{[K']^2 + (K'')^2}$ 。

上述量用帕斯卡表示。

3.8

频率温度叠加 frequency-temperature superposition

黏弹性材料的频率和温度是等价的，沿着频率轴移动数据曲线，将同一温度下的数据叠加到不同温度下的数据上。

3.9

转移因子 shift factor

权衡在某一温度的一组数据在另一温度下叠加在另一组数据上沿频率对数轴的偏移量。

3.10

玻璃化温度 glass transition temperature

T_g

黏弹性材料从玻璃态到橡胶态的可逆状态的变化温度。

注 1：玻璃化温度用摄氏度表示。

注2：玻璃化温度通常由热温图的拐点决定，是材料的一种固有属性。

注3： T_g 不是动力学损耗系数的峰值。峰值高于 T_g ，并随测量频率的变化而变化，不是材料的固有属性。

3.11

线性 linearity

满足叠加原理的弹性材料动态行为特性。

注1：叠加原理是：当输入 $x_1(t)$ 的输出为 $y_1(t)$ ，输入 $x_2(t)$ 的输出为 $y_2(t)$ 时，根据叠加原理，输入 $\alpha x_1(t) + \beta x_2(t)$ 的输出应满足 $\alpha y_1(t) + \beta y_2(t)$ 。叠加原理对任意 α 、 β 、 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 均成立，其中是 α 、 β 为任意常数。

注2：上述方法难以对系统进行线性检验。在一定输入量级范围内，测量动态模量的方法仅是一种有限的线性检验方法。在给定的预载荷下动态模量基本不变时，系统是线性的。该方法是检验系统响应与激励之间的比例关系。

4 测量原理

4.1 动刚度法是通过在测试夹具上安装小试样来确定弹性材料动弹性模量频率特性的方法。

4.2 测量前，材料的试样被放置在测试夹具中，在位移激励下产生应变。

4.3 力传感器电输出与作用在试样上的力成正比；位移作动器的电输入信号与试样的应变成正比。

4.4 试样的尺寸应使其阻抗在频率范围内有完全弹性的特性，与弹性分量相比该阻抗的惯性分量可忽略不计，试样尺寸应使第一特征频率大于测试频率上限的3倍~5倍。

4.5 动刚度法的装置可以测试下列三种不同类型的应变：

a) 杨氏模量(拉伸或压缩)；

b) 剪切；

c) 体积。

4.6 上述三个应变的相应模量及当位移作动器只沿着试样轴线方向变形时的损耗因子，可在试样形状和不同夹具条件下进行测试。

4.7 复弹性模量 E^* 、 G^* 、 $K^*(f)$ 按式(1)计算：

$$E^*, G^*, K^*(f) = \alpha_{E, G, K} [F(f)/s(f)] \quad (1)$$

式中：

$\alpha_{E, G, K}$ ——在纵向剪切或体积应变下，被测材料的模量与试样刚度的比值；

$F(f)/s(f)$ ——输出力与试样位移的复变比。

注：计算 $\alpha_{E, G, K}$ 的方法见第6条。

4.8 模量的实部 E' 、 G' 、 $K'(f)$ 按式(2)计算：

$$E', G', K'(f) = \alpha_{E, G, K} \operatorname{Re} [F(f)/s(f)] \quad (2)$$

4.9 模量的虚部 E'' 、 G'' 、 $K''(f)$ 按式(3)计算：

$$E'', G'', K''(f) = \alpha_{E, G, K} \operatorname{Im} [F(f)/s(f)] \quad (3)$$

4.10 模量的大小 $|E, G, K(f)|$ 按式(4)计算：

$$|E, G, K(f)| = \alpha_{E, G, K} |F(f)/s(f)| \quad (4)$$

4.11 损耗因子 $\eta_{E, G, K(f)}$ 按式(5)计算：

$$\eta_{E, G, K(f)} = \operatorname{Im} [F(f)/s(f)] / \operatorname{Re} [F(f)/s(f)] \quad (5)$$

5 测试装置

5.1 硬件

5.1.1 测试设备如下：

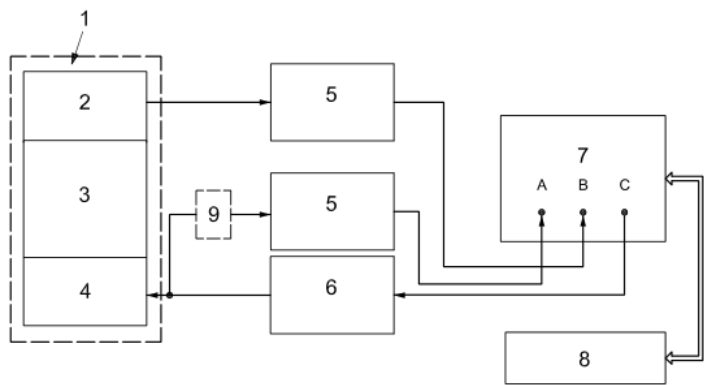
a) 用于复值频响函数的测量的双通道频谱分析仪；

b) 输入、输出传感器；

- c) 前置放大器;
 - d) 计算机;
 - e) 含力传感器和位移传感器的测试装置及试样。
- 5.1.2 测量模量和损耗因子的温度性时, 应在测试装置中放置热电偶或温控器等温度传感器。
- 5.1.3 试样测量温度应为 $-60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 装置

- 5.2.1 图1和图2是弹性动态模量和损失因子等聚合物材料黏弹性特性的典型测试装置(参考[1])。
- 5.2.2 根据测试装置和材料的不同, 测试频率范围可达10kHz。



说明:

- | | | |
|-----------|----------------------------|-----------------------|
| 1——测试装置; | 5——放大器; | 9——分压器; |
| 2——测力传感器; | 6——功率放大器; | A 通道A——从位移到位移作动器的输入; |
| 3——试样; | 7——双通道频谱分析器 ^b ; | B 通道B——力传感器输出的力; |
| 4——位移作动器; | 8——计算机; | C 通道C——来自FFT的激励信号分析器。 |

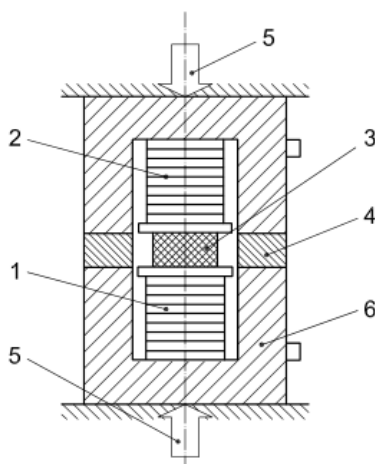
^a 放大器应能信号放大和衰减。功率放大器的输出信号过大时应加一个分压器, 分压器对信号的畸变应不大于 0.05° 。

^b 通道A是位移作动器输入的位移; 通道B是力传感器输出的力; 通道C是频谱分析仪的激励信号。

图1 测量装置

- 5.2.3 抑制结构传递噪声或振动的黏弹性材料应测试500Hz。(参见GB/T 22159.1)
- 5.2.4 测试装置应有下列组件:
- a) 刚性约束结构;
 - b) 固定或粘结试样的测试装置;
 - c) 位移作动器和力传感器两种电测元件:
 - 位移作动器将功率放大器的电信号转换成表面位移与试样的接触变形;
 - 力传感器将试样上的作用力转化为图2的电信号。
 - d) 环形垫圈: 调整许用静态预压下试样测量时力传感器和位移作动器的间隙;
 - e) 外部夹具: 给试样和电测元件施加给定预压。
- 5.2.5 试样 3 在图 2 位置的刚度应小于:
- a) 位移作动器 1 的刚度;
 - b) 力传感器 2 的刚度;
 - c) 环形垫圈 4 的刚度;
 - d) 刚性约束结构 6 的刚度。
- 5.2.6 试样 3 应被放置在位移执行机构和力传感器之间。

- 5.2.7 预载作用下测量试样时，圆柱壳的支撑面间的距离应由平行于试样表面的环形垫圈 4 调节。
- 5.2.8 在零静态位移下预载为零测量时，环形垫圈的高度应比试样高度低3%到5%。



说明:

- 1——位移作动器；
2——力传感器；
3——试样及温度传感器；
4——环形垫圈；
5——夹具；
6——刚性约束结构。

图2 测试装置示意图

- 5.2.9 图2的测试装置测试的模量实部 $E', G', K'(f)$ 按式 (6) 计算:

$$E', G', K'(f) = \alpha_{E, G, K} \operatorname{Re} [\beta(f) \cdot H(f)] \quad (6)$$

式中:

$\beta(f)$ 和 $H(f)$ ——见式 (10) 和式 (11)。

- 5.2.10 模量虚部 $E'', G'', K''(f)$ 按式 (7) 计算:

$$E'', G'', K''(f) = \alpha_{E, G, K} \operatorname{Im} [\beta(f) \cdot H(f)] \quad (7)$$

- 5.2.11 模量大小 $|E, G, K(f)|$ 按式 (8) 计算:

$$|E, G, K(f)| = \alpha_{E, G, K} |\beta(f) \cdot H(f)| \quad (8)$$

- 5.2.12 损耗因子 $\eta_{E, G, K(f)}$ 按式 (9) 计算:

$$\eta_{E, G, K(f)} = \operatorname{Im} [\beta(f) \cdot H(f)] / \operatorname{Re} [\beta(f) \cdot H(f)] \quad (9)$$

- 5.2.13 复变函数 $\beta(f)$ 是没有环形垫圈和试样时位移作动器和力传感器的特性, 按式 (10) 计算:

$$\beta(f) = (\cos \Delta \phi(f) - i \sin \Delta \phi(f)) / (|K_s| \cdot |\lambda_f|) \quad (10)$$

式中:

$|K_s|$ ——位移执行机构与变压器商的模, 单位为米/伏特;

$|\lambda_f|$ ——力传感器对施加力灵敏度的模, 单位为伏特/牛顿;

$\Delta \phi(f)$ ——相位角, 刚性约束表面的力传感器输出信号和位移作动器输入信号间的相位差。

注: 上述参数应在力传感器和位移执行器校准期间确定。

- 5.2.14 将试样按图1的装置测试, 复变函数 $H(f)$ 按式 (11) 计算:

$$H(f) = U_f(f) / U_s(f) \quad (11)$$

式中:

$U_f(f)$ ——力传感器输出端的复信号；
 $U_s(f)$ ——位移作动器的复值输入。

- 5.2.15 信号 $U_f(f)$ 通过放大器传到双通道频谱分析仪的A通道，输入信号 $U_s(f)$ 通过放大器传到双通道频谱分析仪的B通道。
- 5.2.16 表1测量装置在10Hz～10kHz频率范围内测试时的误差应不大于2.5%～3.0%。

表1 测量装置的特性

测量工具或设备	测量过程规范	
	频率和电压范围	精 度
双通道频谱分析仪配备的信号发生器 (随机噪声，正弦波)	5Hz到10kHz (RMS)	响应纹波 <2% 通道相位<0.02°
放大器	10Hz到10kHz 电噪声电平≤5μV	响应脉冲<1% 输入/输出相位差<0.1°
功率放大器	10Hz到10kHz	非线性失真<10%

注：测量的相位响应与表1中给出的不同时，则应在信号处理时考虑这种响应。

6 试样结构及形状系数计算

6.1 试样尺寸

- 试样尺寸选择应满足下列条件：
- a) 应符合聚合物阻尼材料弹性模量和损耗因子时的许用误差；
 - b) 应符合所需频率的上限 $f_{\max}$ =10kHz；
 - c) 应符合最大测试预压下不被破坏。

6.2 硬质塑料

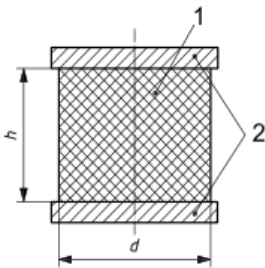
6.2.1 杨氏模量

测量图3圆柱体试样硬质塑料的杨氏模量和相应损耗因子，杨氏模量的形状系数 α_E 按式(12)计算：

$$\alpha_E = 4h/\pi d^2 \tag{12}$$

式中：

- h ——圆柱体试样的高度；
- d ——圆柱体试样的直径。



说明：

- 1——试样；
- 2——垫圈。
- d ——试样直径；
- h ——试样高度。

图3 杨氏模量测量装置

6.2.2 剪切模量

6.2.2.1 测量剪切模量和相应的损耗因子需采用图4的平行六面体试样。

6.2.2.2 试样尺寸应在其总剪切刚度在试验装置的动态测量范围内选择。

6.2.2.3 剪切模量的形状系数 α_G 按式 (13) 计算：

$$\alpha_G = \delta / 2lb \quad (13)$$

式中：

L ——试样矩形面的长度；

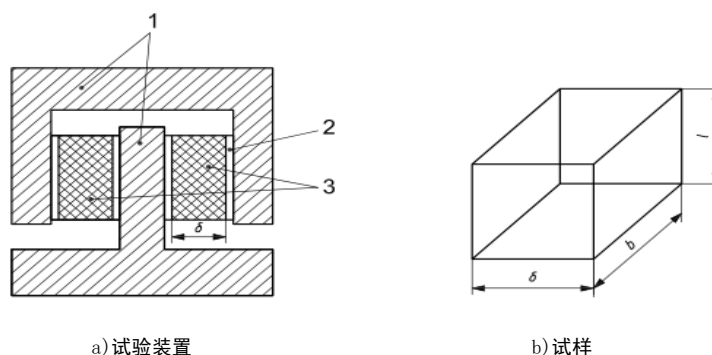
b ——试样矩形面的宽度；

δ ——试样矩形面的厚度；

6.2.2.4 试样的横截面为正方形时的形状系数 α_G 按式 (14) 计算：

$$\alpha_G = \delta / 2l^2 \quad (14)$$

6.2.2.5 试样长度应不小于试样厚度的4倍。(参见GB/T 33061.6和参考文献[4])



说明：

1——接缝衬板；

2——固定金属板

3——试样

图4 剪切模量测量装置

6.3 橡胶材料

6.3.1 杨氏模量

圆柱体橡胶材料试样杨氏模量的形状系数 α_E 按式 (15) 计算：(见参考文献[2]，[3])

$$\alpha_E = 4h / \pi d^2 * [1 + (d^2 / 8h^2)]^{-1} \quad (15)$$

式中：

d ——试样直径；

h ——试样高度。

6.3.2 剪切模量

6.3.2.1 测量橡胶材料试样剪切模量应使用平行六面体试样。

6.3.2.2 试样的尺寸应根据弹性模量来选择，使试样的总刚度在测试设备的动态测量范围内。

6.3.2.3 长度 l 、宽度 b 和厚度 δ 的矩形截面试样的形状系数 α_G 按式 (16) 计算：

$$\alpha_G = \delta / 2lb \quad (16)$$

6.3.2.4 正方形截面的橡胶材料试样，按式 (17) 计算：

$$\alpha_G = \delta / 2l^2 \quad (17)$$

6.3.2.5 试样长度应不小于厚度的4倍。(参见GB/T 33061.6和参考文献[4])

6.4 黏性材料

6.4.1 杨氏模量

圆柱体黏性材料试样的形状系数 α_E 按式 (18) 计算：（参考[5]，p. 99-100）

$$\alpha_E = 4h/\pi d^2 * [0.667 + (d^2/8h^2)]^{-1} \quad (18)$$

式中：

d ——试样直径；

h ——试样高度。

6.4.2 剪切模量

6.4.2.1 黏性材料的剪切模量和损耗因子可用类似于橡胶材料的方法来测量。

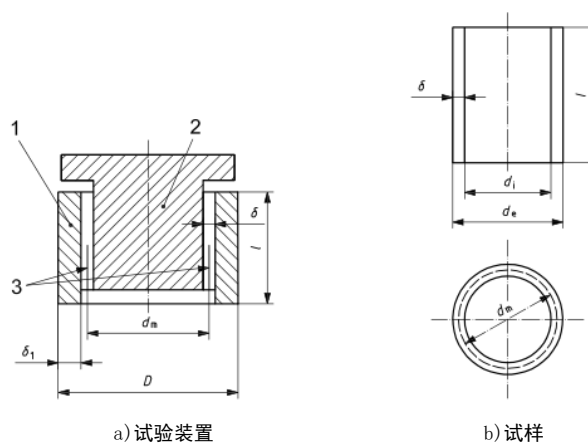
6.4.2.2 用式 (16) 和 (17) 确定形状系数 α_G 。

6.4.2.3 用图4的夹具测量复模和损耗因子。

6.4.2.4 图4的装置不能提供测量所需的频率上限时，圆柱形管的试样可使用图5的备用夹具来测试。

6.4.2.5 使用图5的装置测量黏性材料弹性模量时，可不使用图4的装置。

6.4.2.6 测量黏弹性塑料试样应由被测材料挤压在图5备用装置的活塞和支撑筒之间制成。



说明：

1——支撑筒；

2——活塞；

3——试样；

δ_i ——试样管壁厚度；

δ ——支撑筒厚度；

D ——支撑筒外径；

d_m ——试样管平均直径， $(d_e + d_i)/2$ ；

d_e ——试样管外径；

d_i ——试样管内径；

l ——试样长度。

图5 测量剪切模量的备用装置

6.4.2.7 黏性材料剪切模量的形状系数 α_G 按式 (19) 计算：

$$\alpha_G = \delta/\pi d_m l \quad (19)$$

式中：

δ ——试样管壁厚度；

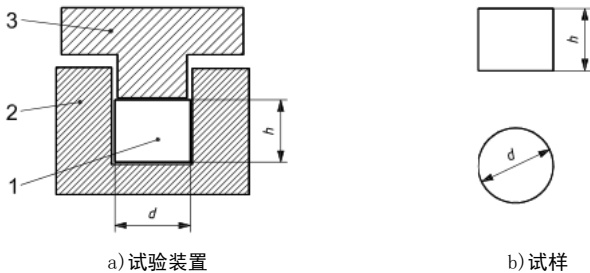
d_m ——试样管道平均直径，等于 $(d_o+d_i)/2$ （见图5）；
 l ——试样的长度。

6.5 体积模量

将实心圆柱形试样插入图6的夹具中测量塑料、橡胶或黏性材料的体积模量和损耗因子，其形状系数 α_K 按式（20）计算：

$$\alpha_K = 4h/\pi d^2 \tag{20}$$

注：在低压力下，测得的值将小于体模量，直到在试样中达到完全的静水应力为止。



说明：

- 1——试样；
- 2——外壳；
- 3——活塞；
- d ——试样直径；
- h ——试样高度。

图6 体积模量测量装置

7 试样

7.1 试样形状和尺寸

7.1.1 阻尼材料试样的形状和尺寸应满足：

- a) 刚度值在动态测量范围内；
- b) 线性尺寸最大值能使频率范围内有类弹簧性能。

7.1.2 阻尼材料试样的尺寸应与阻尼材料的模量和使用的测试仪器一致。

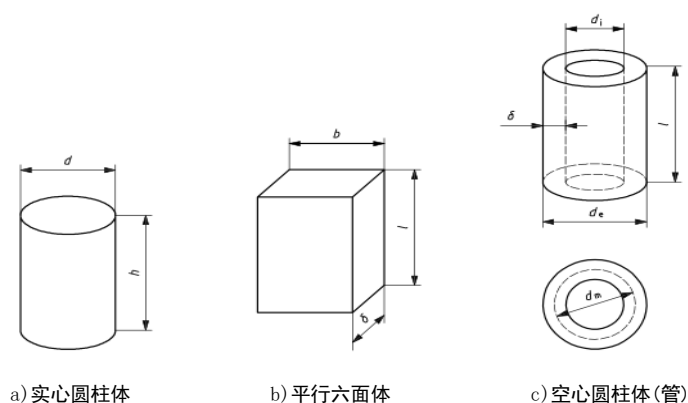
7.1.3 低模量材料宜采用厚试样，高模量材料宜采用薄试样。

7.2 试样制备

7.2.1 试样形状

7.2.1.1 用于测量复动态杨氏模量、剪切模量和体积模量及损失因子的试样见图7。

7.2.1.2 黏性聚合物材料的试样应采用商业生产的产品。



说明:

δ ——厚度;

b ——宽度;

d ——试样直径;

d_m ——试样管平均直径, $(d_e + d_i)/2$;

d_e ——试样管外径;

d_i ——试样管内径;

h ——试样高度;

l ——试样长度;

图7 复动态弹性模量测量的试样形状

7.2.2 杨氏模量的试样制备

7.2.2.1 复合杨氏模量和损失因子的测量应采用圆柱体的试样。

7.2.2.2 硬质塑料的复合杨氏模量的测量应满足式(21):

$$h/d \geq 1.0 \quad (21)$$

7.2.2.3 橡胶黏性材料复合杨氏模量的测量精度应满足式(22): (参考文献[6], [7])

$$h/d \geq 2.5 \quad (22)$$

7.2.2.4 圆柱体试样物理成型后,其端面应进行抛光,达到给定的高度并确保端面平行。

7.2.2.5 试样尺寸的测量误差应不大于 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

7.2.2.6 测试前粘在试样表面上的金属板应尽可能薄。

7.2.2.7 试样表面应涂上尽可能薄的不改变材料结构的氰基丙烯酸酯类硬胶,其刚度应不小于预期试样刚度的10倍。

7.2.3 剪切模量的试样制备

7.2.3.1 用图7b的两个尺寸相同的平行六面体或图7c的圆柱管来测量剪切模量和损耗因子。

7.2.3.2 按GB/T 33061.6,试样的 l 远大于 δ 时厚度能得到修正外,图7b)和图c)的试样都应该是薄的。

7.2.3.3 平行六面体试样的端面光滑处理后,其端面 and 边缘应平行。

7.2.3.4 试样尺寸的测量误差应不大于 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

7.2.3.5 测试前粘在试样表面上的金属板应尽可能薄。

7.2.3.6 粘在试样表面上的胶层应尽可能薄,不应改变材料的硬胶。

7.2.3.7 粘在试样表面上的胶层的刚度比预期试样的刚度应不小于10倍。

7.2.3.8 圆柱管试样测试部分,应按图5粘在内部的侧面支撑筒和活塞的外侧面。

7.2.3.9 测试材料的可塑性足够大时,可采用填补测试装置支撑筒与活塞间工作空间的方法成形。

7.2.3.10 圆柱管试样沿柱中心轴剪切应变引起的刚度 C_G 按式(23)计算:

$$C_G = 2G\pi d_m l / \delta \quad (23)$$

式中:

δ ——试样管壁厚度, $d_o - d_i$;

d_m ——试样管平均直径, $(d_o + d_i) / 2$;

G ——剪切模量;

l ——试样长度。

7.2.4 体积模量的试样制备

7.2.4.1 测量体积模量及损耗因子时, 圆柱体试样应按图7a的高度 h 、直径 d 。

7.2.4.2 体积模量 K 的测量应在 h 值尽可能小的试样上进行。

8 测量调节

8.1 时间调节

试样的成型、硫化、测试、预处理等的时间间隔应符合GB/T 2941。

8.2 温度调节

8.2.1 测试前, 试样应进行温度调节。

8.2.2 测试温度调节应使试样达到均衡, 应避免试样老化。

8.2.3 按GB/T 2941, 调节时间取决于试样的尺寸和温度。

8.3 力学调节

8.3.1 试样测试前应进行力学调节, 去除不可逆“结构”。

8.3.2 在最大应变和温度下测试时, 调节应不少于6个循环。

8.3.3 力学调节和测试的静置时间应不少于12h, 使可逆“结构”达到平衡。

8.3.4 应变很小时, 力学调节可省略。

8.4 湿度调节

8.4.1 聚氨酯类的弹性材料的物理性能受湿度影响时, 应进行湿度调节。

8.4.2 试样应保存在相对湿度为50%~55%的封闭容器中。

8.4.3 试样测试前应在湿度可控环境中保存不少于一周。

8.5 测量条件

动态刚度法测量应在室温为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, 空气相对湿度为50%~55%的条件下进行。

9 测量误差

9.1 动态刚度法测量误差的原因如下:

- a) 声学接触不当;
- b) 试样加工不准确;
- c) 试样尺寸不正确;
- d) 测量装置的力和应变值有相位差。

9.2 测试装置和试样的声学接触松动时, 测得的刚度值可能小于实际值。

9.3 测试材料声学接触的预测量能得到测试材料正确的测试刚度与静应变。

9.4 静态测试试样的位移应由试样的高度和环形垫圈总厚度间的差值决定。

9.5 试样测量误差导致的位移不应属于位移误差。

9.6 测量时,应使试样与试验装置接触面的平行并对称,消除静态压缩时的偏位。

9.7 试样尺寸不符合7.1时导致的误差如下:

- a) 试样刚度与测试装置刚度相当时,则测试装置的刚度会影响测量结果;
- b) 试样刚度较小时,则力传感器的信号会与测试设备的背景噪声相当;
- c) 试样的阻抗刚度未满足时,则试样的谐振会影响测试结果。

10 测量结果处理

10.1 频率-温度叠加

10.1.1 应确定实际可测频率的特性。

10.1.2 采用频率-温度叠加方法来测量温度、增大频率范围。

10.1.3 采用下列方法得到模量和损耗因子的频率简化图:

- 1) 对每一温度值作模量实部以频率10为底的对数函数的图形;
- 2) 选取模量实部频率斜率最大的温度 T_{ref} 作为参考温度;
- 3) 保持 T_{ref} 不变,沿对数频率轴移动其他温度下的模量实部,直到每条图线与之前数据达到拟合;
- 4) 利用最小二乘法计算每温度下所需的移位因子 a_T ;

注1:模量的实部比损耗因子偏移大,因为模量的实部比损耗因子的测量更精确,离散更小。

5) 采用模量实部确定的移位因子对损耗因子数据进行移位;

注2:适用上述频率-温度叠加的材料称为热流变简单材料。由于多次转变或结晶等原因而不能叠加的材料是热流变复杂材料。

6) 应将模量实部和损耗因子在 T_{ref} 处的结果作为主曲线;

注3:典型黏弹性材料的移位频率范围约为 $10^{-5}\text{Hz} \sim 10^{10}\text{Hz}$ 。

7) 移位因子作为温度函数的对数值按式(24)计算:(参考文献[8],第287-298页):

$$\lg a_T = c_{10} (T - T_{\text{ref}}) / (c_{20} + T - T_{\text{ref}}) \quad (24)$$

式中:

c_{10}, c_{20} ——给定聚合物的常数;

T_{ref} ——方程计算时的参考温度。

8) T_{ref} 处的主曲线移动到参考温度 T'_{ref} 的步骤如下:

- 在温度 $T = T'_{\text{ref}}$ 时,通过式(24)确定频率对温度从 T_{ref} 到 T'_{ref} 的变化对数;
- 将 T_{ref} 下得到的每个数据点频率的对数值减去频率变化的对数值;
- 使用新频率即 T'_{ref} 的主曲线图。

注:在选择参考温度时,下限约等于玻璃化温度 T_g ,而上限约是 $(T_g + 100)^\circ\text{C}$ 。该上限对不同聚合物是不同的,由于式(24)只适用于玻璃化过渡区,所以存在上下限。

10.2 数据表示

10.2.1 采用本部分方法获得的数据的三种形式的图如下:

1) 满足GB/T 17809以10为底数的损耗因子对数与对以10为底数的模量对数图;

注1:损耗因子与模量的双对数图包括除温度或频率外所有数据,显示数据的一致性的也称为wicket图。

注2:不沿曲线的点可以忽略。

2) 温度与移位因子图;

3) 指定室温 T_{ref} 处,模量实部以10为底的对数和损耗因数以10为底的对数与频率以10为底的对数主曲线图。

10.2.2 在参考温度外诠释数据时,应按GB/T 17809的方法将模量的实部和虚部及损耗因子的主曲线作为诺模图。

10.3 测试报告

测试报告应有下列信息：

- a) 本部分的内容；
- b) 测试材料的下列内容：
 - 类型；
 - 来源；
 - 制造商代码；
 - 材料形式；
 - 之前内容。
- c) 试样不均匀特征的方向；
- d) 测试日期；
- e) 试样的形状和尺寸；
- f) 试样的制备方法；
- g) 试样调试；
- h) 试样数量；
- i) 下列测试环境：
 - 湿度；
 - 温度。
- j) 试验设备的说明；
- k) 试验温度的：
 - 温度序列；
 - 初始温度；
 - 最终温度；
 - 温度的线性变化率；
 - 温度改变的大小和持续时间。
- l) 每个测试温度下与频率对应的模量实部和虚部及损耗因子的测试结果。
- m) 模量实部和损耗因子对频率和温度的变化曲线。

参 考 文 献

- [1] POPKOV, V.I., MYSHINSKY, E.L., POPKOV, O.I. Vibroacoustical diagnostic in shipbuilding. Sudostroenie, 1983.
- [2] LINA, C. The measurement of the dynamic properties of visco-elastic materials with the aid of a viscoelasticity meter. Dardilli, France.
- [3] SNOWDON, J.C. Vibration isolation: Use and characterization. J. Acoust. Soc. Am. 1979, 66, p. 1245~1274.
- [4] GANERIWALA S., HARTUNG, H. Fourier transform mechanical analysis and phenomenological representation of visco-elastic material behavior. In: CORSARO, R.D., S PERLING, L.H., editors. Sound and vibration damping with polymers, p. 92~110. American Chemical Society, Washington, DC, 1990 (ACS Symposium Series, 424.)
- [5] POTURAEV, V.N., DYRDA, V.I. Rubber components of machines. Mashinostroenie, Moscow, 1977.
- [6] SIM, S., KIM, K.J. A method to determine the complex modulus and Poisson's ratio of viscoelastic materials for FEM applications. J. Sound Vibration 1990, 141, p. 71~82
- [7] LANGLOIS, C., PANNETON, R., ATTALLA, N. Polynomial relations for quasi-static mechanical characterization of isotropic poroelastic materials. J. Acoust. Soc. Am. 2001, 110, p. 3031~3040
- [8] FERRY, J.D. Viscoelastic properties of polymers, 3rd edition. Wiley, New York, 1980. 641
- [9] ISO 80000-4, Quantities and units-Part 4: Mechanics.
-