

## 前 言

本标准等效采用美国材料与试验学会标准 **ASTM E756—1993**《测量材料振动阻尼性能的标准方法》。

本标准的附录 **A**、附录 **B** 和附录 **C** 是提示的附录。

本标准由国家经济贸易委员会安全生产局提出。

本标准由全国机械振动与冲击标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：吉林省劳动保护科学研究所。

本标准起草人：戴友春、张春慧、王大鹏。

## 1 范围

本标准规定了采用悬臂梁共振法测定材料振动阻尼特性的方法。测量量包括材料的损耗因子  $\eta$ 、弹性杨氏模量  $E$ 、弹性剪切模量  $G$ 。

本标准适用于在结构振动、建筑声学 and 噪声控制等方面应用的材料。在 50 Hz 到 5 kHz 的频率范围及材料的有效使用温度范围内进行测量。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2298—1991 机械振动与冲击 术语(neq ISO 2041:1990)

GB/T 4472—1984 化工产品密度、相对密度测定通则

GB/T 9870—1988 弹性体动态试验的一般要求(neq ISO 2856:1981)

GB/T 14465—1993 材料阻尼特性术语

## 3 定义和符号

### 3.1 定义

本标准所用的术语均遵循 GB/T 2298 和 GB/T 14465 的规定,同时使用了下列定义。

#### 3.1.1 自支撑阻尼材料 self-supporting damping materials

材料体较硬,其本身可直接由测试装置夹持进行测量的一类阻尼材料。

#### 3.1.2 非自支撑阻尼材料 non-self-supporting damping materials

材料体较软,其本身不能被测量装置夹持测量的一类阻尼材料。

#### 3.1.3 半功率带宽 half-power bandwidth

在共振曲线上共振峰两侧,振幅为共振振幅的 0.707 倍(即下降 3 dB)处的频率差。

### 3.2 本标准使用了下列符号:

$E$ ——自支撑阻尼材料的弹性杨氏模量,Pa;

$\eta$ ——自支撑阻尼材料的损耗因子,无量纲;

$E_1$ ——非自支撑阻尼材料的弹性杨氏模量,Pa;

$\eta_1$ ——非自支撑阻尼材料的损耗因子,无量纲;

$G$ ——非自支撑阻尼材料的弹性剪切模量,Pa;

$\eta_2$ ——非自支撑阻尼材料的剪切损耗因子,无量纲。

## 4 试验方法和装置

### 4.1 试验原理

本标准规定采用矩形条状试样。将试样垂直安装,上端刚性夹定,下端自由,构成悬臂梁测试系统。测试系统的仪器由激励和检测两部分组成。由信号发生器产生一个正弦或随机信号经放大器激励激振器,对试样施加激振力。由检测传感器检测试样的振动响应信号,经放大器放大后送入显示与记录仪器。保持激振幅值恒定,连续改变频率,测出试样的共振曲线。根据所测共振频率和半功率带宽,依据所给公式即可计算出材料的各模量值和损耗因子。若测试过程在控温箱中完成,则可确定温度对材料阻尼特性的影响。

#### 4.2 测试原理框图

见图 1。

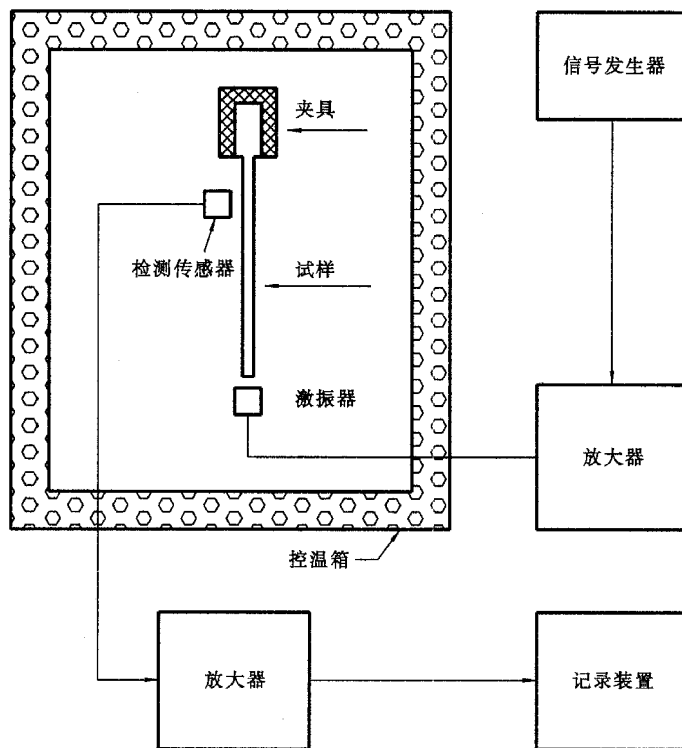


图 1 实验框图

#### 4.3 量具

量具应满足各行业要求。

#### 4.4 测量支架

测量支架应注意避免外界机械振动干扰并符合下述要求:

- a) 测量支架的固有频率应远离测试频率范围,测量支架应安装在具有足够质量的基座上;
- b) 测量支架的夹具应有足够的夹持力。

#### 4.5 激振器和传感器

a) 激振器采用电磁型激振器。激振器采用刚性固定,距离被测试样 1 mm 远。当采用不锈钢或铝棒时,须在试样上用粘结剂粘合小块磁性材料以获得激振力和响应;

b) 检测传感器推荐采用非接触式速度型传感器。在较高频振动时由于非接触式传感器达不到所需的灵敏度,应采用超小型加速度计。加速度计的质量小于 0.5 g。加速度计的安装应使用粘合剂粘接,同时注意尽量减小电缆输出线噪声。用接触式传感器测得的数据必须鉴别,在报告中应包括这种方法可能引起的影响。

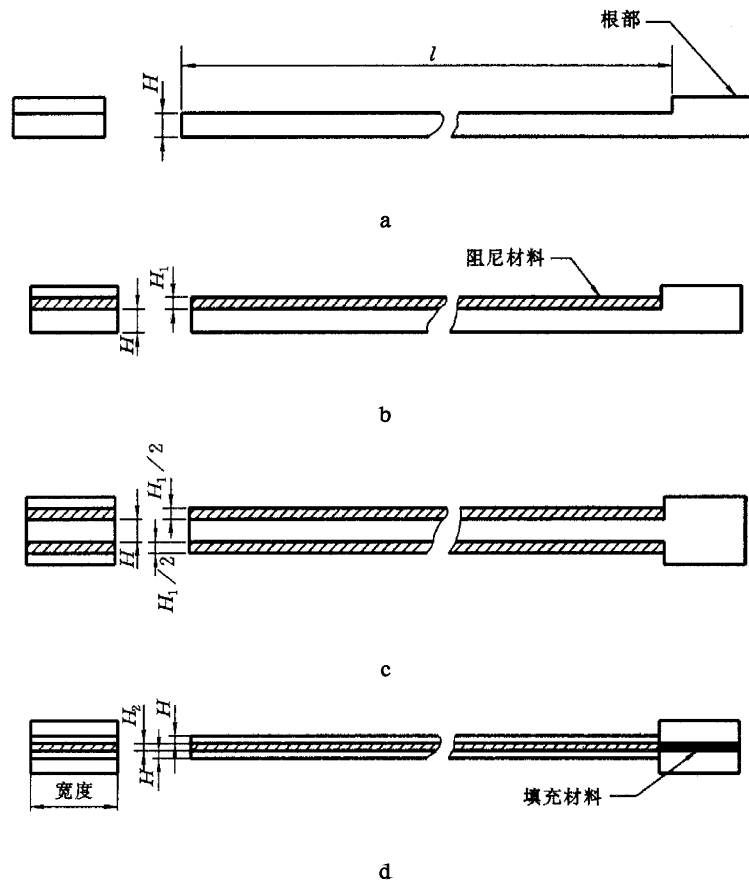
#### 4.6 测量仪器

在测试频率范围内,测量仪器应符合一般动力实验要求。

## 5 试样

### 5.1 试样种类

本标准将阻尼材料分为自支撑阻尼材料和非自支撑阻尼材料。不同类型的阻尼材料使用不同的试样来测定其阻尼性能。图 2 给出了四种试样：



- 试样 a——均质单板；  
 试样 b——金属板一侧贴阻尼材料的复合板；  
 试样 c——金属板两侧贴阻尼材料的复合板；  
 试样 d——阻尼材料对称地夹于两金属板之间的复合板。

图 2 试样

5.1.1 自支撑阻尼材料的阻尼特性，只需用同种材料做成试样 a 来测定。

5.1.2 非自支撑阻尼材料的阻尼特性的测定，必须将阻尼材料与金属板做成复合板，然后分别测定金属板及复合板的阻尼特性，用两个测试结果来计算材料的阻尼特性值。

a) 当阻尼材料是杨氏模量值大于 100 MPa 的硬性自由层型材料时，使用试样 b、c 来测定。此时只研究其拉伸阻尼特性，忽略其所受转动惯性和剪切变形影响。其阻尼特性在玻璃态和玻璃化转变区中测得，例如搪瓷、填料乙烯。

b) 当阻尼材料是杨氏模量值低于 100 MPa 的约束层型软粘弹材料时，使用试样 d 来测定。材料的模量值低于金属板模量值 0.1 倍以下，其阻尼特性取决于剪切变形特性，可忽略其拉伸变形影响。

### 5.2 试样的制备

5.2.1 阻尼材料因其性能不同，可用喷雾涂层、调刀涂层或粘合剂粘接等方法来制备金属板的阻尼层。所选用金属板材料应是均质材料。推荐使用钢或铝。

5.2.2 试样板体的根部可以与板体加工成一体，也可以用电焊或胶粘连结而成。对于试样 a，根部厚度

应等于试样厚度。对于试样 b、试样 c、试样 d,根部厚度应不小于板体与材料的复合厚度。对于试样 d,根部必须加进一材料层,最好是金属。

**5.2.3** 应按照阻尼材料提供者推荐的方法来选择和使用粘合剂。如果没有推荐,建议选用结构型粘合剂(相对接触型而言)。测试前必须让粘合剂完全固化,同时必须注意粘合剂固化后的弹性模量应比阻尼材料的弹性模量高出大约十倍。粘合层厚度应保持最小(低于 0.05 mm)且比阻尼材料厚度要小。一旦使用粘合剂粘接后,必须注意尽量减小粘合剂的化学与物理特性变化。

**5.2.4** 对于非磁性试样,可在试样两端各粘一小块铁磁性薄片,用于激振。其附加质量应小于试样质量的 1%,粘贴位置与端点的距离不应超过试样长度的 2%。

**5.2.5** 制备试样时材料的选用应具有代表性。

### 5.3 试样尺寸

试样的尺寸为:宽 10 mm,自由端长 180 mm~250 mm,根部长 25 mm,金属(通常是钢或铝)板厚度 1 mm~3 mm。阻尼材料厚度随材料特性以及温度和频率不同而有所变化。

选用合适的材料厚度与金属板厚度比,对于测试结果很重要。对于试样 b 和试样 c,试验开始时,选用材料的厚度与金属板厚度比为 1:1,注意不能超过 4:1。对于试样 d,选用阻尼材料厚度与金属板厚度比为 1:10。但应避免由于有阻尼与无阻尼之差太小而使系统的阻尼过低。试样的根部厚度应与试样厚度相等,以接近真实夹紧状态。

### 5.4 试样的数量

仅在一个温度下测试时,材料和尺寸相同的试样应不少于 3 条。

### 5.5 试样状态调节

试样的保存及试验前的温度、湿度调节可参照 GB/T 9870—1988 中第 8 章的要求进行。

## 6 试验程序

### 6.1 测量材料密度

按照 GB/T 4472 的规定执行,测量准确度应不低于 0.5%。

### 6.2 测量试样尺寸

测量试样厚度时,应在沿试验方向上取五点或多于五点求平均值,各测点厚度不应超过平均值的  $\pm 3\%$ 。

### 6.3 安装试验装置

### 6.4 温度调节

按试验目的要求调节恒温箱内的温度,温度增量为 5℃或 10℃,在每个测点上应恒温 10 min 后才能测量。

### 6.5 测量和记录

调节信号发生器和测量放大器,测出试样共振频率和半功率带宽。

设定信号发生器扫频范围,用记录仪记录共振曲线。测量记录共振曲线时,振幅测量准确度应不低于 0.5%,共振频率测量准确度应不低于 1%,半功率带宽的测量分辨率至少应达到半功率带宽的 1%。

### 6.6 复合试样的测试

a) 测量金属棒的共振频率和弹性杨氏模量;

b) 制成复合试样后,再测共振频率和半功率带宽。

### 6.7 注意事项

**6.7.1** 假定阻尼材料的特性和线性粘弹性理论一致,因此所有阻尼测量都在线性范围内进行。如果所选激振力超出了线性区域,则数据分析无效。

**6.7.2** 激振力幅值应保持恒定。如果力的幅值不能保持不变,试样的响应必须除以力的幅值。

**6.7.3** 非自支撑阻尼材料性能的测定是建立在阻尼系统和非阻尼系统的实测差值上的。这些大数值的

差值通常包含大量的小差值。因而,测量中的任何误差,都将使所研究的温度效应和频率效应产生很大误差。为了防止这种情况的发生,建议:

- a) 对于试样 b,  $(f_{si}/f_{0i})^2(1+DT_1) \geq 1.1$ ;
- b) 对于试样 c,  $(f_{si}/f_{0i})^2(1+2DT_1) \geq 1.1$ ;
- c) 对于试样 d,  $(f_{si}/f_{0i})^2(2+DT_2) \geq 1.1$ 。

其中:  $f_{0i}$ ——金属板第  $i$  阶共振频率, Hz;

$f_{si}$ ——复合板第  $i$  阶共振频率, Hz;

$D$ ——阻尼材料密度和金属材料密度之比, 无量纲;

$T_1$ 、 $T_2$ ——阻尼层厚度和金属层厚度之比, 无量纲。

## 7 数据处理

7.1 自支撑阻尼材料用式(1)计算材料的弹性杨氏模量, 用式(2)计算损耗因子:

$$E = 12\rho l^4 f_{0i}^2 / H^2 C_i^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = (\Delta f_{0i}) / (f_{0i}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $\rho$ ——板体密度, kg/m<sup>3</sup>;

$l$ ——板体长度, m;

$H$ ——振动方向板体厚度, m;

$\Delta f_{0i}$ ——均质板第  $i$  阶模态的半功率带宽, Hz;

$i$ ——共振阶数: 1, 2, 3, ……;

$C_i$ ——固定-自由均质板的第  $i$  阶模态系数, 其中:

$$C_1 = 0.559\ 59$$

$$C_2 = 3.506\ 9$$

$$C_3 = 9.819\ 4$$

$$C_4 = 19.242$$

$$C_5 = 31.809$$

……

$$C_i = (\pi/2)(i-0.5)^2, (i > 3 \text{ 时})。$$

7.2 非自支撑阻尼材料

7.2.1 试样 b, 用式(3)计算阻尼材料的弹性杨氏模量, 用式(4)计算损耗因子:

$$E_1 = [(\alpha - \beta) + \sqrt{(\alpha - \beta)^2 - 4T_1^2(1 - \alpha)}]E / 2T_1^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\eta_1 = (1 + MT_1)(1 + 4MT_1 + 6MT_1^2 + 4MT_1^3 + M^2T_1^4) \eta_{si} / MT_1(3 + 6T_1 + 4T_1^2 + 2MT_1^3 + M^2T_1^4) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $M$ ——弹性杨氏模量比, 无量纲;

$\Delta f_{si}$ ——复合板第  $i$  阶模态的半功率带宽, Hz;

$\eta_{si}$ ——复合板的损耗因子, 无量纲;

$\eta_1$ ——阻尼材料的损耗因子, 无量纲;

$H_1$ ——阻尼材料的厚度, m;

$\rho_1$ ——阻尼材料密度, kg/m<sup>3</sup>。

其中:  $M = E_1 / E$ ;

$$\eta_{si} = \Delta f_{si} / f_{si};$$

$$\alpha = (f_{si}/f_{0i})^2(1+DT_1);$$

$$\beta = 4 + 6T_1 + 4T_1^2;$$

$$D = \rho_1 / \rho;$$

$$T_1 = H_1 / H。$$

7.2.2 试样 c, 由式(5)计算阻尼材料的弹性杨氏模量, 式(6)计算损耗因子:

$$E_1 = [(f_{si}/f_{0i})^2(1 + 2DT_1) - 1]E / (8T_1^3 + 12T_1^2 + 6T_1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\eta_1 = [1 + E / (8T_1^3 + 12T_1^2 + 6T_1)E_1]\eta_{si} \quad \dots\dots\dots(6)$$

7.2.3 试样 d, 由式(7)计算阻尼材料的弹性剪切模量, 式(8)计算损耗因子:

$$G = \frac{[(A - B) - 2(A - B)^2 - 2(A\eta_{si})^2] \left[ \frac{2\pi C_i E H H_2}{l^2} \right]}{(1 - 2A + 2B)^2 + 4(A\eta_{si})^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\eta_2 = \frac{A\eta_{si}}{(A - B) - 2(A - B)^2 - 2(A\eta_{si})^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:  $G$ ——阻尼材料弹性剪切模量, Pa;

$\eta_2$ ——阻尼材料的剪切损耗因子, 无量纲;

$H_2$ ——阻尼材料的厚度, m;

$$A = (f_{si}/f_{0i})^2(2 + DT_2)(B/2);$$

$$B = 1/6(1 + T_2)^2;$$

$$T_2 = H_2 / H。$$

7.3 随频率和温度而变化的弹性杨氏模量或剪切模量及相应的损耗因子可以用一根试样来连续测得, 该单板以几个不同模式振动。每一试样需重复测量三次以上, 取平均值。

7.4 因为金属棒的损耗因子约为 0.001 或更低一些, 计算时假设为零。

典型的模态响应曲线可参考附录 A(提示的附录)、附录 B(提示的附录)和附录 C(提示的附录)。

## 8 试验报告

报告须包括下列各项:

- a) 材料名称;
- b) 说明试验是否在每一个方面都是按本试验方法施行;
- c) 试样编号、试样尺寸、阻尼结构型式及存放条件;
- d) 用于制作复合板试样的特定金属材料的名称和类型;
- e) 说明准备阻尼材料(复合棒)试样之前所有金属材料的表面化学处理过程;
- f) 所用特定粘合剂的牌号, 并附有厚度尺寸;
- g) 复合板的试验频率和每种测试材料的温度;
- h) 本标准号码及测试设备;
- i) 测试结果, 对每一试样计算出的弹性杨氏模量或弹性剪切模量和损耗因子;
- j) 测试日期。

## 9 精确度

精确度取决于实验室阶段的研究测试结果。对于阻尼材料的拉伸阻尼特性, 在每一个温度-频率下, 损耗因子及模量值的分散率分别不允许超过 25% 和 20%。约束层材料的剪切模量变化较大, 其分散率不应超过 45%。

附录 A

(提示的附录)

恒温下非阻尼试样的典型频率响应曲线

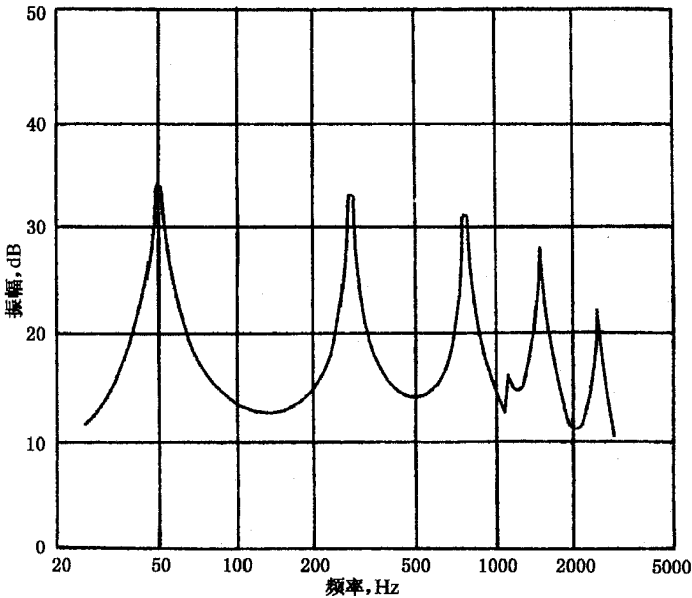


图 A1

附录 B

(提示的附录)

不同温度下自由层型阻尼材料的典型弹性杨氏模量-频率曲线

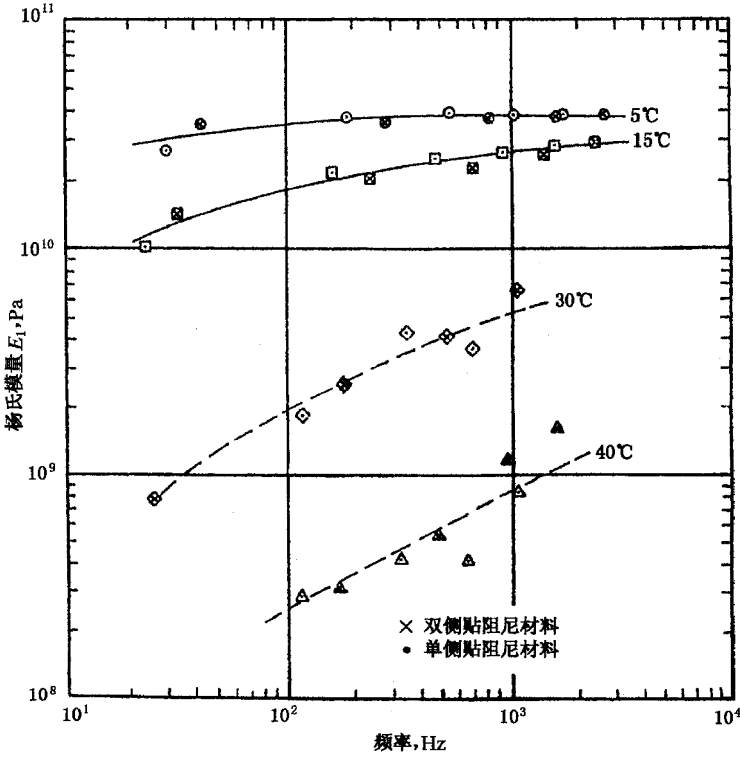


图 B1



附录 C

(提示的附录)

不同温度下自由层型阻尼材料的典型损耗因子-频率曲线

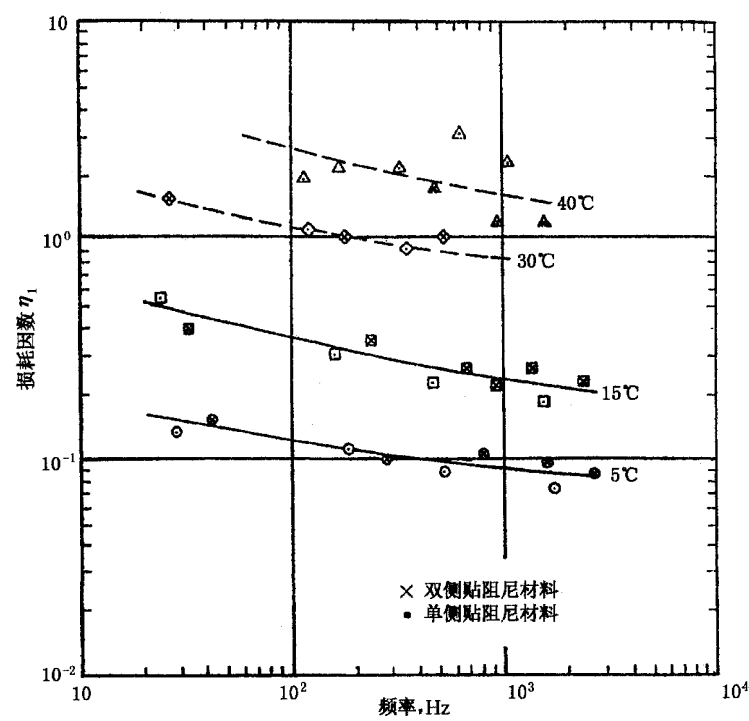


图 C1