

中国橡胶工业协会团体标准

(T/CRIA XXXX—XXXX)

硫化橡胶或热塑性橡胶

阻尼性能测定方法

编 制 说 明

安徽微威胶件集团有限公司

2023. 12

目次

1 编制背景	2
2 任务来源	2
3 主要编制原则	2
4 主要工作过程	3
5 主要内容说明	4
6 征求意见的处理	11
7 与国内外代表性标准的对比分析	11
8 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性	12
9 实施措施说明	13

中国橡胶工业协会团体标准

硫化橡胶或热塑性橡胶 阻尼性能测定方法

编制说明

1 编制背景

橡胶材料的主要用途之一是制作用于减振降噪的各种隔振器件、缓冲器件和隔声器件，而在这个领域中“阻尼”是评价橡胶材料性能的一个重要指标。随着《噪声污染防治法》的实施，人们对噪声、振动造成的污染更加重视，同时对采用橡胶材料制作的各种隔振器件、缓冲器件和隔声器件的产品质量的控制也越来越严格。

目前，国内已有 GB/T9870.2(采标 ISO 6721-2)标准采用低频扭摆法对橡胶材料在 10Hz 以下的阻尼性能进行测试方法。但是，大多数隔振器件、缓冲器件和隔声器件的工作频率都在 10Hz 以上的中高频范围内，而我国尚无在 10Hz 以上橡胶材料阻尼性能的测试方法(国际上已有 ISO 6721-3 和 ASTM E756 等标准)，这在我国的标准制定上是一个缺失。

综上所述，有必要制定《硫化橡胶和热塑性橡胶材料 阻尼性能测试方法》标准，以填补我国在测试 10Hz 以上橡胶材料阻尼性能的空白。

本团体标准的制定，对于进一步规范橡胶试件的阻尼性能评价具有正面的推动作用，亦可为中、高频结构振动设计、建筑声学设计和噪声控制设计提供依据。在橡胶减振降噪产品制造行业、降噪材料、设计及工程行业可产生积极的社会经济效益。

2 任务来源

本团体标准是根据中橡协字【2022】82 号文《关于同意 2022 年下半年中国橡胶工业协会团体标准立项的通知》下达的制定任务“硫化橡胶或热塑性橡胶 阻尼性能测定方法”进行制定的。本团体标准的起止时间为 2022 年 11 月至 2023 年 12 月。

3 主要编制原则

3.1 标准的适用性

本团体标准适用于在频率为 10Hz~1kHz 范围内对厚度均匀的硫化橡胶或热塑性橡胶试件振动阻尼性能及其随温度和频率变化的测试。

本团体标准测定的量包括橡胶材料的损耗因子 $\tan \delta_f$ 、弯曲储能模量 E_f' 、弯曲损耗模量 E_f'' 和复弹性模量 E_f^* 。按本团体标准测定的结果可用于橡胶材料阻尼性能的评定，以及为结构振动设计、建筑声学设计和噪声控制设计提供依据。

3.2 标准的先进性

本团体标准是在参照国际标准ISO 6721-3: 2021和美国材料与科学试验协会标准ASTM E756-5 (2017) 等标准编制的，在国内属于首次制定，标准中涉及的相关技术，处于世界先进水平。

3.3 标准的统一性和协调性

本团体标准可与国家标准《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) 和《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第2部分：低频扭摆法》(GB/T 9870.2) 配合使用，共同完善橡胶材料阻尼性能的测试方法。

3.4 标准的经济性和社会效益

本团体标准的制订，对于在更高的频率范围内了解橡胶材料的损耗因子 $\tan \delta_f$ 、弯曲储能模量 E_f' 等性能具有正面的推动作用，亦可促进橡胶产品应用的精准定位。在中、高频结构振动设计、建筑声学设计和噪声控制设计等领域可产生积极的社会经济效益，具备在橡胶减振降噪产品制造行业、降噪材料、设计及工程行业推广应用的潜力。

3.5 标准的规范性

本团体标准编制遵循“面向市场、先进开放、协调一致”的原则，按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》规则起草。

4 主要工作过程

4.1 标准制定相关单位及人员

(1) 本团体标准提出和归口单位：中国橡胶工业协会。

(2) 本团体标准第一起草单位：安徽微威胶件集团有限公司。

(3) 本团体标准其他参与起草单位：安徽微威胶件集团有限公司、浙江天铁实业股份有限公司、安徽职业技术学院、沈阳盖德橡胶制品有限公司、万新（厦门）新材料有限公司、江苏扬州合力橡胶制品有限公司、福建天盛恒达声学材料科技有限公司。

4.2 标准申请和立项

依据《中国橡胶工业协会标准管理办法》，2022年9月安徽微威胶件集团有限公司向

中橡协橡胶制品分会提出申请制定《硫化橡胶和热塑性橡胶材料阻尼性能测试方法》团体标准，并提交本团体标准的编制建议书和标准草案。

2022 年 10 月 27 日，中橡协组织召开了“团体标准立项论证会”（线上会议），安徽微威胶件集团有限公司进行了立项汇报和答辩，标准立项审查专家对本团体标准进行了立项评审。

2022 年 11 月 4 日，中国橡胶工业协会发文：中橡协〔2022〕82 号《关于同意 2022 年下半年中国橡胶工业协会团体标准立项的通知》，本团体标准通过中橡协的立项论证，并将本团体标准的名称更改为《硫化橡胶或热塑性橡胶 阻尼性能测定方法》。

4.3 标准文本编制工作

2022 年 12 月起，安徽微威胶件集团有限公司结合立项论证会专家意见，对标准草案作了进一步地修改。

2023 年 4 月 21 日，在中橡协制品分会主持下，行业专家和本团体标准的编制人员在安徽桐城市召开了团体标准编制首次会议。在会议上成立了标准编制组；宣布了标准编制工作计划；标准主要起草单位对本团体标准编制相关工作进行说明；编制组成员对本团体标准（草案）进行了讨论并提出修改意见。

2023 年 5 月，根据首次工作会议编制组成员提出的修改和补充意见，再次对草案进行修改，形成征求意见稿，并在业内征求意见。

2023 年 10 月 23 日，在中橡协制品分会主持下，行业专家和编制组成员在浙江省绍兴市召开了团体标准编制第二次会议。在会议上制品分会介绍了本团体标准征求意见稿反馈意见情况；对本团体标准的反馈意见进行了讨论；最后，根据会议讨论意见，对本团体标准的有关条款进行修改，形成了本团体标准的送审稿（初稿）。

5 主要内容说明（含技术性解释）

本团体标准共分为前言、规范性引用文件、术语和定义、测试原理、测试装置、试件、测试、结果表达、测量不确定度、测试报告以及参考文献 13 个章节。为佐证标准中提出的技术问题的有效性，本章将对方法原理、仪器、算法等涉及的技术性问题进行解释或分析：

5.1 适用范围的限定

本团体标准的测量量是为了满足对橡胶材料阻尼性能的评价而确定的，阻尼性能的主要评价量有损耗因子 $\tan \delta_f$ 、弹性杨氏模量 E_f 、弯曲储能模量 E_f' 和弯曲损耗模量 E_f'' ，它们之间的关系可用图 1 所示的复坐标系表示：

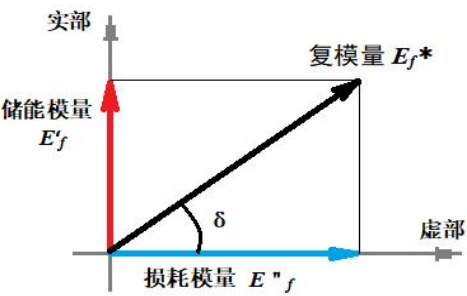
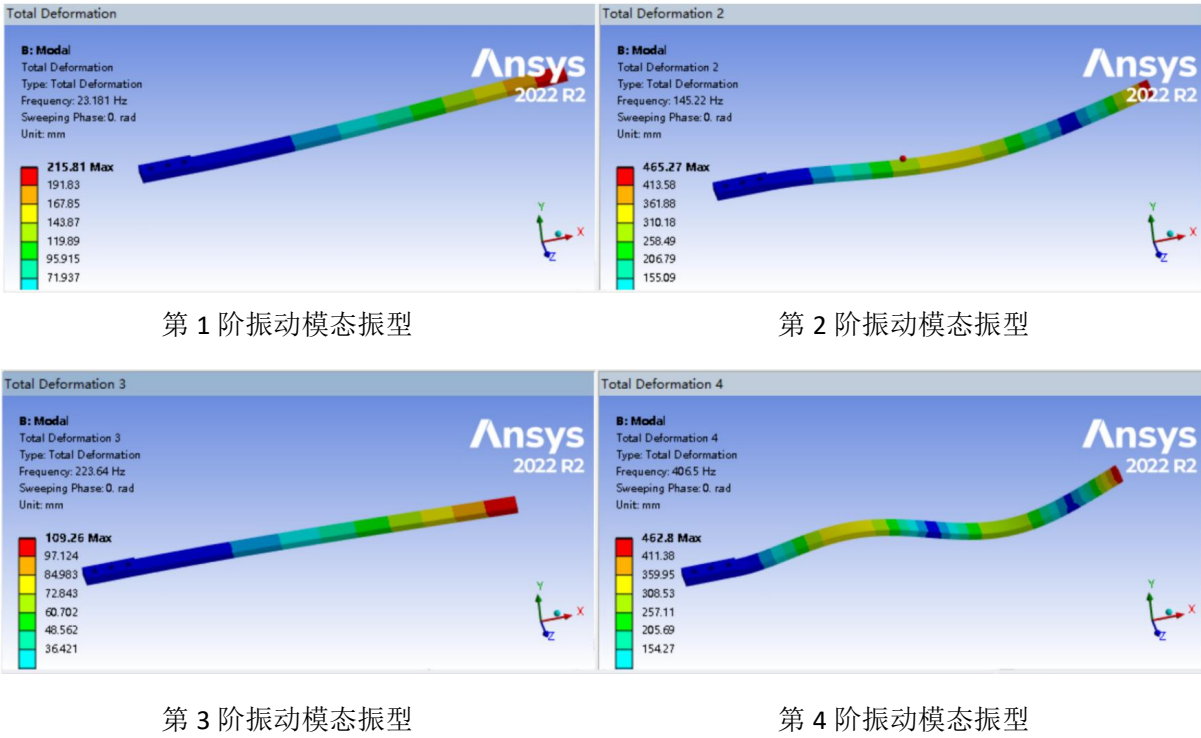


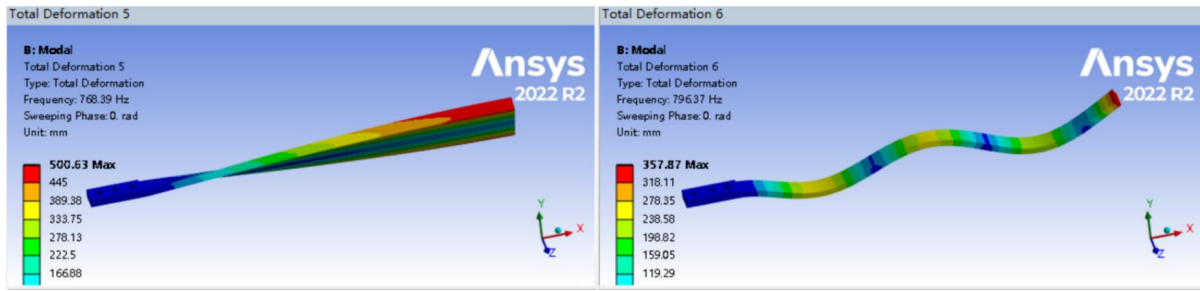
图 1 阻尼性能描述参数间的关系

本团体标准给出的测量方法是在悬臂梁结构上实施的弯曲共振测量方法，对于本团体标准给定的试件形状，经过采用 Ansys 分析软件模拟计算，其前 7 阶振动模态的共振频率如表 1 所示，前 7 阶的模态振型如图 2 所示：

表 1：悬臂梁结构前 7 阶振动模态的固有频率

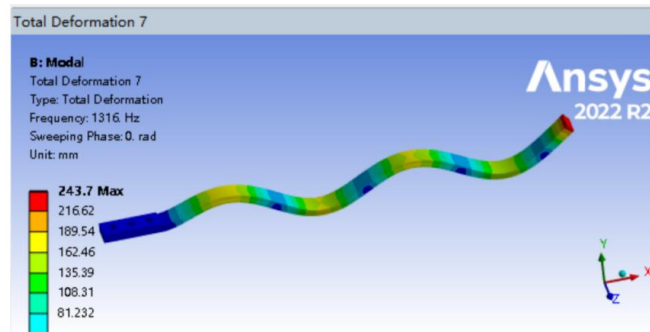
阶 数	1	2	3	4	5	6	7
共振频率 (Hz)	23. 18	145. 22	223. 64	406. 50	768. 39	796. 37	1316. 00





第 5 阶振动模态振型

第 6 阶振动模态振型



第 7 阶振动模态振型

图 2 悬臂梁结构的前 7 阶振型

从模拟计算的结果可以看出，当悬臂梁结构达到第 7 阶振动（固有频率 1316Hz）时，节点彼此间距已小于 26mm，这会使激振器和位移传感器很容易布置在节点附近（振动不敏感区域），致使测量误差增大。因此，本团体标准的最高适用频率范围不超过 1kHz。

5.2 测试原理的说明

在国际标准 ISO 6721-3: 2021、美国材料与科学试验协会标准 ASTM E756-5 (2017) 和我国国标 GB/T 16406-1996 中，给出的基于弯曲共振测量方法的测试原理是针对悬臂梁和自由梁进行说明的。由于上述三个标准所涉及的材料不仅有橡胶，还包括塑料等材料，悬臂梁法主要适用于质地相对较软的材料（如橡胶等），而自由梁法则主要适用于质地相对较硬的材料（如塑料等）。所以本团体标准在测试原理中，仅对采用悬臂梁法测量试件的动柔度曲线并基于半功率带宽计算损耗计算损耗因子等参数的原理进行了描述。

5.3 测试装置

在国际标准 ISO 6721-3: 2021 中给出了悬臂梁的基本测试装置示意图，但没给出测量电路的组成结构。在美国材料与科学试验协会标准 ASTM E756-5 (2017) 中给出了较为详细的包括测量系统的测试装置示意图（见图 3），但在这个测量装置中缺少了力传感器，而是将功率放大器的输出当做激励力的输出。由于激振器是一个电感类元件，设其电感量

为 L ，则其感抗 $X_L = 2\pi fL$ ，它的频率响应不是常量而是随激励频率 f 变化的，因此，这个系统不能保证满足“激励力幅值不变”的条件，所以给出本团体标准的图 2 所示的基本测试装置示意图（见图 4）。

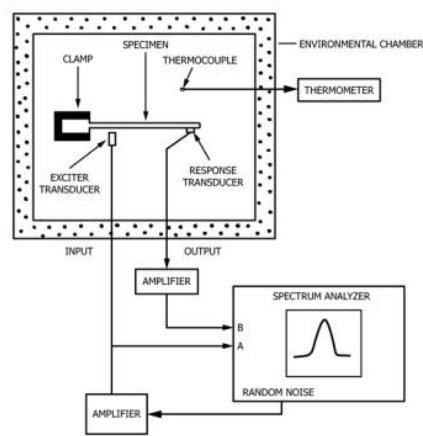


图 3 ASTM E756-5（2017）中给出测试装置

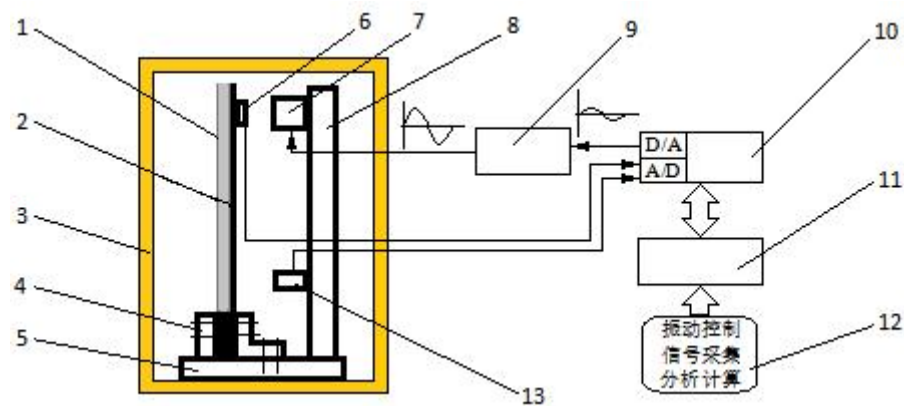


图 4 本团体标准的图 2 给出测试装置

根据动态测试技术，为了保证满足“激励力幅值不变”的条件，必须使激励力构成一个闭环测试系统。为此，本团体标准的图 2 在 ASTM E756-5（2017）的测试装置基础上增加了一个力传感器，并使用振动控制仪和相应的控制软件对输出的激励信号进行控制。这样，振动控制仪的信号输出、激振器、力传感器信号输出就构成了一个闭环测试系统，完全可以满足“激励力幅值不变”的条件。

5.3.1 激振器的种类

按与试件的接触方式分，常用的激振器有接触式激振器和非接触式激振器两类。

典型的接触式激振器是电动式激振器，它的工作原理与动圈式扬声器类似。当在动圈中输入激励信号时，它会在磁场中跟随着激励信号的频率往复运动，从而推动试件做同样频率的振动。

典型的非接触式激振器是电磁式激振器，它的工作原理与电磁铁类似。当在电磁线圈中输入激励信号时，它会在激振器周围形成跟随着激励信号频率变化的磁场吸力，从而吸引试件基板（铁磁性基板）做同样频率的振动。

这两种激振器在本团体标准中都可使用，相对误差不超过 5%。因此在本团体标准中就不做规定。图 5 是采用两种不同的两种激振器的典型激振方式。

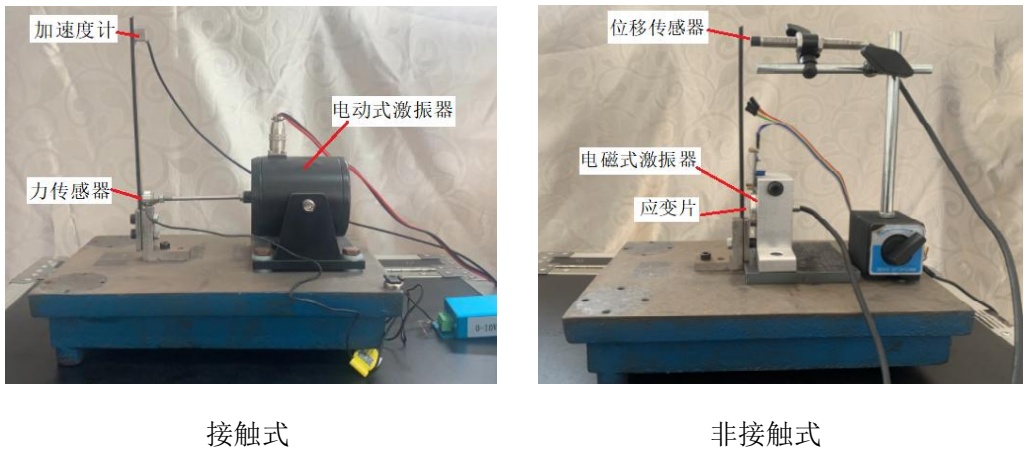


图 5 两种典型激振方式

5.3.2 力传感器的种类

在采用接触式激振器时，使用的力传感器可以是微型压电式力传感器或微型应变式拉压力传感器。这类传感器的一般尺寸为 $\phi 6 \times 3.5$ （见图 6），质量小于 1g，对试件的附加效应影响很小，造成的试件共振频率偏差不会大于 5%。

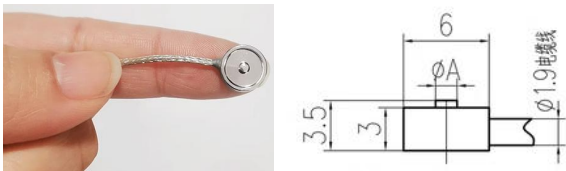


图 6 RDF-6 型应变式拉压力传感器

在采用非接触式激振器时，需在试件的金属基板上粘贴应变片来测量力。常见最小规格应变片的基底尺寸为 $9\text{mm} \times 8\text{mm}$ ，如果采用大于此尺寸的应变片，在粘贴时应变片基底会超过试件基板的宽度，这会增加测量误差。

5.3.3 位移传感器的种类

根据动柔度的定义，测量振动的传感器应该是位移传感器，实际使用时也可以使用速度传感器和加速度计。现代测量分析仪器中都具有将速度和加速度转变为位移的积分功能，因此，在本团体标准中没有强求一定要使用位移传感器。图 7 是两种不同的加速度计。

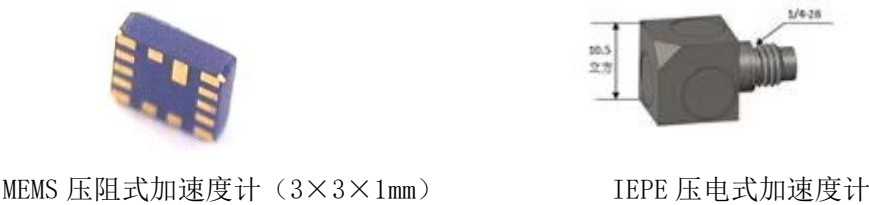


图 7 两种不同的加速度计

但是不论使用什么传感器，如果是接触测量的话，传感器质量的附加作用会影响悬臂梁的共振频率。因此在标准的 5.4.3 中限定接触式传感器的质量不大于 1g，这样造成的共振频率偏差不会大于 5%。

5.3.4 试件的形状、尺寸

试样的形状是矩形或条形，当其一端固定一端自由时，就构成悬臂梁结构。

试件厚度应能提供足够的抗弯刚度，且与弯曲振动的波长相比，厚度应足够小。

在准确测量 E' 值时，则应限制试件的厚度，以避免受到剪切变形和旋转惯性的影响。

如果测量均匀、各向同性的试样从开始直到第六阶频率，要求 E' 值精确到±5%以内，则应使试件的长度/厚度≥50。

为了避免出现横向共振，试件的宽度应小于最高频率振动波长的一半，ISO 6721-3:2021 推荐一般情况下宽度宜为 10mm。试件的长度取决于所需的频率，对于一端夹紧的试件，其长度应足够大，通常自由长度为 180mm，以避免夹紧对振动产生较大的影响。

根据以上考虑因素，在标准中 6.1.1 中规定了试件的具体尺寸。

5.3.5 试件的安装

试件的一端是被夹紧，另一端是自由状态，构成悬臂梁结构。如果夹具在安装时牢固地夹紧试件，这种构造不会使安装系统产生额外的阻尼。否则，试件和夹具之间的摩擦以及夹具振动会在测量中产生额外的阻尼：

因此，在本团体标准的 7.2 中要求“试件的根部和固定夹具之间采用防松螺母牢固地夹紧”。

5.4 动柔度曲线

5.4.1 动柔度曲线的定义与计算

在ISO10846和GB/T22159《声学 弹性元件振动—声传递特性实验室测量方法》中定义，动刚度是作用在弹性元件输出端的力矢量 F 与其输入端的位移矢量 x 之比：

$$k = F / x$$

而动柔度 Y_D 是动刚度的倒数，即本团体标准的（2）式：

$$Y_D = X(f) / F(f)$$

由上式可知，动柔度的计算是先将测试的激励力的时域信号和振动位移的时域信号经振动控制仪的 A/D 转换后输入给计算机，在计算机中分别对这两个信号进行快速傅里叶变换，然后相除，即得到测量的动柔度曲线。实际测量中，通常是采用前 4 阶的动柔度曲线进行分析计算。图 8 是某次实际测量的动柔度曲线截图。

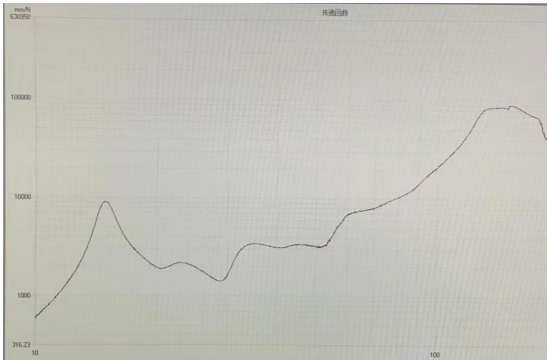


图 8 实际测量的动柔度曲线

5.4.2 激励力的恒定控制

在振动激励时，由于激振器的输出力会随着激励频率的变化会发生较大的变化，为了保证振动位移的变化不受激励力变化的影响，就需要对激励力进行恒定控制。

在测试系统中，振动控制仪的信号输出、功率放大器、激振器和力传感器构成了一个闭环控制系统。当激励力的变化超出控制限值时，在振动控制软件的控制下，振动控制仪的信号输出就会相应变小，反之就会变大，从而保持激振器的激励力近似恒定。

5.5 测量不确定度

ISO 6721-3:2021 指出，损耗因子($\tan\delta_f$)的测量不确定度取决于损耗因子($\tan\delta_f$)的大小和测量设备的频率分辨率。测量频率变差系数 V_f 与损耗因子变差系数 V_δ 的关系由标准的式(9)给出。

在本团体标准的 9.2 中指出，“按本文件的规定进行测试，在不大于四阶振动模态的范围内，储能模量的测量不确定度不大于 5%；在高于四阶的振动模态时，如不考虑剪切变

形的影响，误差将会增大。”从图 2 采用 Ansys 软件的模拟计算结果可以看出，对于本团体标准给定的试件形状，实施弯曲共振测量时，其前 4 阶振动的模态振型都是弯曲振动，但到第 5 阶以后就出现了扭转振动，此时的材料的变形不仅有拉压变形，还存在着剪切变形，如用本团体标准的计算公式进行计算，将会增大误差。

采用弯曲共振法进行橡胶阻尼性能测定，该方法的测量不确定度估计应由不同的实验室间研究的结果确定。由于目前缺乏不同实验室间的数据，因此还不了解本团体标准中描述的弯曲共振法的测量不确定度。

6 征求意见的处理

中橡协橡胶制品分会共发出《征求意见稿》单位 8 份，回函提出意见的单位数 8 份，没有回函的单位 0 份。共收到反馈意见 21 项，其中采纳 21 项、部分采纳 0 项、未采纳 0 项。

7 与国内外代表性标准的对比分析

本团体标准是在参照国际标准 ISO 6721-3: 2021 《Plastics — Determination of dynamic mechanical properties -Part 3:Flexutural vibration-Resonance-curve method》（塑料 动态力学性能的测定 第 3 部分_弯曲振动 共振法）、美国材料与科学试验协会标准 ASTM E756-5 (2017) 《Standard Test Method for Measuring vibration-Damping Properties of Materials》（材料的振动阻尼性能标准测量方法）和 GB/T 16406-1996 《声学 声学材料阻尼性能的弯曲共振测试方法》等标准编制的。

在 ISO 6721-3: 2021 中，规定了一种基于共振曲线的弯曲振动测量方法，用于确定均匀塑料的弯曲复模量 E_f^* 和阻尼特性。从测试方法角度来说，本团体标准的测试原理、测试方法和 ISO 6721-3: 2021 是一致的。可见，本团体标准的测试方法也是目前国际上目前普遍采用的方法，具有方法上的先进性。但由于测试对象不同，试验装置和试件也相应有所不同，这是二者的区别之处。

在 ASTM E756-5 (2017) 中，规定的基于强迫共振测量的方法和装置有两种：悬臂梁法和自由梁法，在本团体标准中采用的是其中的悬臂梁法。但是，在 ASTM E756-5 (2017) 的 5.3.2 中规定了“施加在激励换能器上的力信号的幅值与频率保持一致”，而在 6.1

中给出的使用双通道频谱分析仪和随机噪声激励信号的实验装置中缺少力信号反馈电路，这无法保证“力信号的幅值与频率保持一致”。在本团体标准的第5章中补充了由力传感器、激振器、功率放大器、振动控制仪和相应控制软件组成的闭环控制电路，弥补了 ASTM E756-5（2017）的不足之处。

GB/T 16406-1996 是参照 ISO6721-3:1994 和 ASTM E756-83 自行制定的。目前，ISO6721-3:1994 除了在 ISO 6721-3:1995.3.15 技术勘误 1 中对 9.6 款做了技术修改外，现已有 ISO6721-3:2021 版；而 ASTM E756-1993 也经多次的编辑变更和修改，现已有 ASTM E756-2017 版本。两种新版本的标准与老版本标准相比，有了多处技术上的变化。因此 GB/T 16406-1996 也已处于待修订状态。本团体标准与之相比，更具有先进性。

7 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本团体标准可与现行国家标准 GB/T 9870.1-2006《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分：通则》和 GB/T 9870.2《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第2部分：低频扭摆法》配合使用，共同完善橡胶材料阻尼性能的测试方法。

GB/T 9870.1-2006《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分：通则》规定了硫化橡胶或热塑性橡胶材料和制品采用自由振动法和强迫振动法进行动态性能测定的通则。本团体标准采用的试验设备符合 GB/T 9870.1-2006 标准 5.3 节的规定。

GB/T 9870.2-2008《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第2部分：低频扭摆法》规定了利用扭摆装置在 0.1Hz~10Hz 的低频率范围内测定硫化橡胶或热塑性橡胶在剪切状态下的剪切模量和阻尼的方法。本团体标准则是规定了利用悬臂梁装置在 10Hz~1kHz 的频率范围内测定硫化橡胶或热塑性橡胶在弯曲状态下的弯曲模量和阻尼的方法。可见，本团体标准与 GB/T 9870 系列标准之间具有很好的互补性和统一协调性。

8 标准实施措施说明

在实施阶段，将按照“计划—准备—实施—信息反馈与改进”四个环节依次推进实施工作，其中：

计划：本团体标准实施前将制定工作计划或方案，内容包括实施标准的范围、方式、内容、步骤、负责人员、时间安排、应达到的要求和目标；

准备：完成组织准备、人员准备、物资准备及技术准备等层面的准备工作；

实施：按计划组织本团体标准的实施，使本团体标准规定的各项要求在服务过程的各个环节上加以实现；

信息反馈与改进：在实施本团体标准的过程中，编制团队将认真做好各项记录，并将各环节形成的数据和有关情况及时反馈至本团体标准实施的组织协调部门，以便及时调整和改进本团体标准实施工作。当发现本团体标准中存在不完善等问题时，应及时向标准批准发布部门反馈情况；