



中华人民共和国国家标准

GB/T 9870.1—2006/ISO 4664-1:2005
代替 GB/T 9870—1988

硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第 1 部分：通则

Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of dynamic properties—
Part 1: General guidance

(ISO 4664-1:2005, IDT)

2006-12-07 发布

2007-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	6
5 基本原理	7
6 设备	10
7 校准	12
8 试验条件与试样	12
9 调节	15
10 试验程序	15
11 结果表达	15
12 试验报告	17

前 言

GB/T 9870《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定》包括两个部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：低频扭摆法。

本部分为 GB/T 9870 的第1部分。本部分等同采用国际标准 ISO 4664-1:2005《硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分：通则》(英文版)。

本部分代替 GB/T 9870—1988《弹性体动态试验的一般要求》。

本部分等同翻译 ISO 4664-1:2005。本标准的规范性引用文件用 GB/T 7759 代替 ISO 815,本部分所引用的技术内容上二者没有差异,完全相同。

为便于使用,本部分做了下列编辑性修改：

- a) “本国际标准”改为“本部分”；
- b) 删除国际标准前言。

本部分与 GB/T 9870—1988 相比,主要变化如下：

- 修改了标准的范围(见第1章)；
- 增删部分术语词条(见第3章)；
- 增加了符号和基本原理(本版的第4、5章)；
- 修改了试验机和设备的要求(1988年版的第4、5章；本版的第8章)；
- 增加了试验程序要求(本版的第10章)；
- 修改和调整了试验数据的处理与表述(1988年版的第9章；本版的第11章)；
- 删除了附录A,附录B,附录C(1988年版的附录A、附录B、附录C)。

本部分由中国石油和化学工业协会提出。

本部分由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会橡胶物理和化学试验方法分技术委员会(SAC/TC 35/SC 2)归口。

本部分由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会橡胶物理和化学试验方法分技术委员会负责解释。

本部分起草单位：北京橡胶工业研究设计院、北京万汇一方科技发展有限公司。

本部分起草人：陈毅敏、伍江涛、邓海燕、张燕。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 9870—1988。

硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定

第1部分:通则

警告——使用本部分的人员应有正规实验室工作的实践经验。本部分并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施,并保证符合国家有关法规规定的条件。

1 范围

GB/T 9870 的本部分规定了硫化橡胶或热塑性橡胶的动态性能测定的通则,包括适用于材料和制品的自由振动法和强迫振动法,不包括回弹性,也不包括以橡胶疲劳为主要目标的周期试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 9870 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

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)

GB/T 7759 硫化橡胶、热塑性橡胶 常温、高温和低温下压缩永久变形测定(GB/T 7759—1996, eqv ISO 815:1991)

ISO 4663 硫化橡胶低频动态性能的测定 扭摆法

ISO 5893 橡胶和塑料试验设备 等速往复拉伸、屈挠、压缩试验机规范

ISO 7743 硫化橡胶或热塑性橡胶压缩应力应变性能的测定

3 术语和定义

下述术语和定义适用于本部分。

3.1 适用于周期变形的术语和定义

3.1.1

力学滞后环 **mechanical hysteresis loop**

用来说明材料周期变形时持续的应力-应变状态的一条闭环曲线。

注:该环可能以坐标系原点为中心,但大多数情况下会偏移,取决于不同的应力或应变范围,后者环的形状将变成不对称,不过这种情况通常可忽略不计。

3.1.2

能量损失 **energy loss**

一个变形周期内单位体积的能量损失,相当于参考坐标标度计算的滞后环的面积。单位为焦耳每立方米(J/m³)。

3.1.3

功率损耗 **power loss**

由于滞后作用转变成热的单位体积的功率,是能量损失和频率的乘积。单位为瓦每立方米(W/m³)。

3.1.4

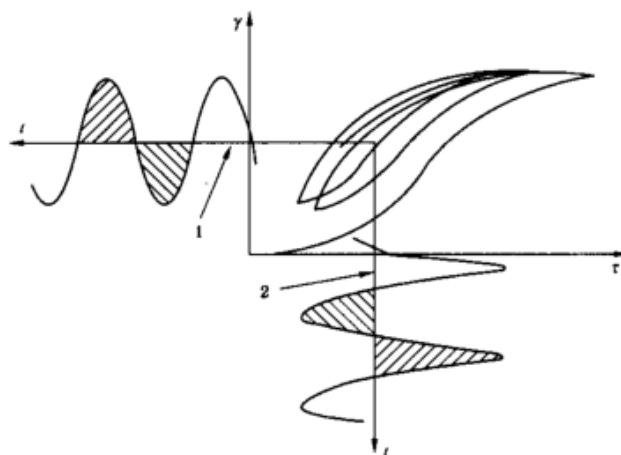
平均负荷 mean load

一个完整滞后环的负荷平均值。单位为牛顿(N)。

3.1.5

平均偏移 mean deflection

一个完整的滞后环的偏移平均值(见图1)。单位为米(m)。



1——平均应变；

2——平均应力。

注1：开口的初始环表示的平均应力和平均应变对应瞬时应变、应力的时间平均值。

注2：正弦运动的正弦特性曲线意味着滞后环可以被认为是椭圆形的。术语“递增”专用于涉及各种平均应力或平均应变范围的正弦形变的动态响应(例如递增弹簧常数、递增弹性剪切模量)。

图1 强制脉冲正弦应变条件下变形严重的滞后环

3.1.6

平均应力 mean stress

一个独立且完整的滞后环的应力平均值(见图1)。单位为帕(Pa)。

3.1.7

平均应变 mean strain

一个独立且完整的滞后环的应变平均值(见图1)。

3.1.8

平均模量 mean modulus

平均应力与平均应变的比值。单位为帕(Pa)。

3.1.9

最大负荷振幅 maximum load amplitude

F_0

外加负荷最大值与平均值之差(零点到一侧的峰值)。单位为牛顿(N)。

3.1.10

最大应力振幅 maximum stress amplitude

τ_0

作用在未受力试样截面上的最大负荷与平均负荷的差值(零点到一侧的峰值)。单位为帕(Pa)。

3.1.11

均方根应力 root-mean-square stress

一个变形周期内的应力平均值的平方根。单位为帕(Pa)。

注：一个对称的正弦应力，其均方根应力等于应力振幅除以 $\sqrt{2}$ 。

3.1.12

最大位移振幅 maximum deflection amplitude

 x_0

最大位移与平均位移的差值(零点到一侧的峰值)。单位为米(m)。

3.1.13

最大应变振幅 maximum strain amplitude

 γ_0

最大应变与平均应变的差值(零点到一侧的峰值)。

3.1.14

均方根应变 root-mean-square strain

一个变形周期内的应变平均值的平方根。

注：一个对称的正弦应变，其均方根应变等于应变振幅除以 $\sqrt{2}$ 。

3.2 适用于正弦运动的术语和定义

3.2.1

弹簧常数 spring constant

 K

与变形同相的作用力的分力除以变形量。单位为牛顿每米(N/m)。

3.2.2

弹性剪切模量 elastic shear modulus

储能剪切模量 storage shear modulus

 G'

与剪切应变同相的剪切力的分力除以应变。单位为帕(Pa)。

$$G' = |G^*| \cos \delta$$

3.2.3

损耗剪切模量 loss shear modulus

 G''

与剪切应变在相位上相差 1/4 周期的作用力的分力除以应变。单位为帕(Pa)。

$$G'' = |G^*| \sin \delta$$

3.2.4

复数剪切模量 complex shear modulus

 G^*

剪切应力与剪切应变的比值，是可用复数代表的矢量。单位为帕(Pa)。

$$G^* = G' + iG''$$

3.2.5

绝对复数剪切模量 absolute complex shear modulus

 $|G^*|$

复数剪切模量的绝对值。单位为帕(Pa)。

$$|G^*| = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

3.2.6

弹性法向模量 elastic normal modulus

储能法向模量 storage normal modulus

弹性杨氏模量 elastic Young's modulus

 E'

与法向应变同相的法向应力的分力除以应变。单位为帕(Pa)。

$$E' = |E^*| \cos \delta$$

3.2.7

损耗法向模量 loss normal modulus

损耗杨氏模量 loss Young's modulus

 E''

与法向应变在相位上相差 1/4 周期的法向应力的分力除以法向应变。单位为帕(Pa)。

$$E'' = |E^*| \sin \delta$$

3.2.8

复数法向模量 complex normal modulus

复数杨氏模量 complex Young's modulus

 E^*

法向应力与法向应变的比值,是可用复数代表的矢量。单位为帕(Pa)。

$$E^* = E' + iE''$$

3.2.9

绝对法向模量 absolute normal modulus

 $|E^*|$

复数法向模量的绝对值。单位为帕(Pa)。

$$|E^*| = \sqrt{E'^2 + E''^2}$$

3.2.10

储能弹簧常数 storage spring constant

动态弹簧常数 dynamic spring constant

 K'

与变形同相的外加负荷的分力除以变形量。单位为牛顿每米(N/m)。

$$K' = |K^*| \cos \delta$$

3.2.11

损耗弹簧常数 loss spring constant

 K''

与变形在相位上相差 1/4 周期的外加负荷的分力除以变形量。单位为牛顿每米(N/m)。

$$K'' = |K^*| \sin \delta$$

3.2.12

复数弹簧常数 complex spring constant

 K^*

负荷与变形的比值,是可用复数代表的矢量。单位为牛顿每米(N/m)。

$$K^* = K' + iK''$$

3.2.13

绝对复数弹簧常数 absolute complex spring constant

 $|K^*|$

复数弹簧常数的绝对值。单位为牛顿每米(N/m)。

$$|K^*| = \sqrt{K'^2 + K''^2}$$

3.2.14

损耗角正切 tangent of the loss angle

$\tan\delta$

损耗模量与弹性模量的比值。

注：对于剪切应力， $\tan\delta = \frac{G''}{G'}$ ；对于法向应力， $\tan\delta = \frac{E''}{E'}$ 。

3.2.15

损耗系数 loss factor

L_f

损耗弹簧常数与储能弹簧常数的比值。

$$L_f = \frac{K''}{K'}$$

3.2.16

损耗角 loss angle

δ

应力与应变之间的相位角，其正切就是损耗角正切。单位为弧度(rad)。

3.3 适用于周期运动的其他术语和定义

3.3.1

对数衰减率 logarithmic decrement

阻尼振荡时同一信号的连续振幅间的比值的自然对数(Napierian 对数)。

3.3.2

阻尼比 damping ratio

u

实际阻尼与临界阻尼的比值，而临界阻尼是振动与未振动临界状态下物体所具有的边界条件。

$$u = \frac{\frac{\Delta}{2\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta}{2\pi}\right)^2}} = \sin \arctan\left(\frac{\Delta}{2\pi}\right)$$

注1：阻尼比是对数衰减率的函数。

注2：大的正弦形变，其滞后环偏离椭圆形，因为橡胶的应力-应变关系是非线性的，其响应已不是正弦曲线(见图1)。

3.3.3

阻尼系数 damping coefficient

阻尼常数 damping constant

C

与变形在相位上相差 1/4 周期的作用力的分力除以变形速度。单位为牛顿秒每米(N·s/m)。

$$C = \frac{1}{\omega} |K^*| \sin\delta$$

式中：

$$\omega = 2\pi f$$

3.3.4

传递率 transmissibility

V_T

$$V_T = \sqrt{\frac{1 + (\tan\delta)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + (\tan\delta)^2}}$$

式中:

ω_n ——无阻尼振动器的固有角频率。

$$\omega_n = \frac{K'}{m}$$

而且

$$K' = |K^*| \cos\delta$$

4 符号

下述符号适用于本部分:

A	(m ²)	试样截面积
$a(T)$		Williams Landel Ferry (WLF) 位移因子
α	(rad)	扭转角
b	(m)	试样宽度
C		阻尼系数、阻尼常数
C_p		热容
γ		应变
γ_0		最大应变振幅
δ	(rad)	损耗角
E	(Pa)	杨氏模量
E_c	(Pa)	有效杨氏模量
E'	(Pa)	弹性模量
E''	(Pa)	损耗法向模量
E^*	(Pa)	复数法向模量、复数杨氏模量
$ E^* $	(Pa)	复数法向模量的绝对值
F	(N)	负荷
f	(Hz)	频率
G	(Pa)	剪切模量
G'	(Pa)	弹性剪切模量、储能剪切模量
G''	(Pa)	损耗剪切模量
G^*	(Pa)	复数剪切模量
$ G^* $	(Pa)	复数剪切模量的绝对值
h	(m)	试样厚度
K	(N/m)	弹簧常数
K'	(N/m)	储能弹簧常数、动态弹簧常数
K''	(N/m)	损耗弹簧常数
$ K^* $	(N/m)	复数弹簧常数的绝对值
k		数值因子
k_t		扭曲形状因子
L_f		损耗系数
l	(m)	试样长度
λ		伸长比
Δ		对数衰减率

M'	(Pa)	同相模量、储能模量
M''	(Pa)	损耗模量
M^*	(Pa)	复数模量
$ M^* $	(Pa)	复数模量的绝对值
m	(kg)	质量
ρ	(kg/m ³)	橡胶密度
Q	(N·m)	扭矩
S		形状因子
T	(K)	温度(绝对温度)
T_g	(K)	低频玻璃化温度
T_0	(K)	参照温度
t	(s)	时间
$\tan\delta$		损耗角正切
τ	(Pa)	应力
τ_0	(Pa)	最大应力振幅
τ'	(Pa)	同相应力
τ''	(Pa)	异相应力
u		阻尼比
V_r		传递率
ω	(rad/s)	角频率
x	(m)	位移
x_0	(m)	最大位移振幅

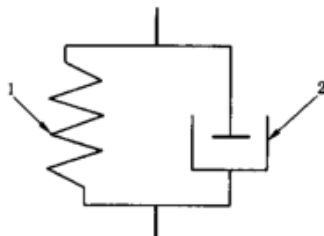
5 基本原理

5.1 黏弹性

物质不受力不会产生变形。橡胶与金属等弹性材料不同,是一种黏弹性材料,即它在受力变形时既有弹性响应也有黏性行为。可将一个理想的弹簧和一个黏性阻尼器(黏壶)并联(Voigt-Kelvin 模型)或串联(Maxwell 模型)构成模型,用来模拟橡胶类物质的这种黏弹行为与时间的相关性。

注:参见 1983 年 J. D. Ferry 撰写的、由 John Wiley and Sons 出版的《聚合物的黏弹性能》,可深入了解各种精心设计的、准确描述黏弹行为的模型。

可将黏弹物质的动态性能分解为由弹性(弹簧)和黏性(黏壶)两个部分组成的模型(如图 2 所示)。对这个模型在循环负荷或应力作用下的行为进行分析,可以发现最终变形滞后于施加的负荷即应力,也就是说存在一个相位差(见 5.5)。橡胶的动态性能可以被看作是一种物理性能,它可以用输入与响应的关系式来定量描述。



1——弹性单元;
2——黏性单元。

图 2 橡胶动态模型(Voigt-Kelvin 模型)

5.2 动态试验数据的用途

动态性能的试验结果有如下几个用途：

- a) 揭示材料特性；
- b) 提供设计数据；
- c) 进行产品评价。

聚合物的黏弹行为是复杂的，动态试验的数据对频率、作用力的大小、变形量、试样的几何形状、形变方式等试验参数都非常敏感。因此，若要获得可比较的试验数据，应仔细控制上述试验参数。

重要的是产生数据的条件应与数据的既定用途相适应，即应根据不同的用途，使用不同类型的试验设备。如适用于材料特性分析的小型动态分析仪，就不一定适用于提供设计数据或进行产品评价。

5.3 动态试验的分类

目前使用的动态试验设备有很多种，按如下几种方式分类。

a) 按振动方式分类

按振动方式的不同，动态试验可分为两大类，即自由振动和强迫振动。在自由振动中，使试样自由振荡，由于体系中的阻尼作用导致振幅衰减。在强迫振动中，通过外部手段使橡胶试样维持振荡状态。强迫振动试验又有两种方式，即共振方式和非共振方式。

b) 按振动试验设备分类

按振动试验设备的不同，可将强迫振动试验机分成小型试验机和大型试验机两类（见表1）。这样划分不是绝对的，但对选用设备很有帮助。

表1 动态试验的分类

分类	小型试验机	大型试验机
试验目的	比较及评价材料性能	比较及评价设计及产品性能
振动方式	非共振强迫振动 共振强迫振动 自由振动	非共振强迫振动
变形方式	拉伸、弯曲、压缩、剪切	压缩、拉伸、扭曲、剪切
试样形状	矩形条状、圆柱体、直棱柱	圆柱体、直棱柱、圆锥体、整件制成品

对于扭摆试验机等其他类型的试验机，通常单独分类。

c) 按试样变形方式分类

按试样变形方式的不同，动态试验分为压缩类、剪切类、拉伸类、弯曲类及扭曲类。

5.4 影响试验设备选择的因素

各种动态试验设备的适用情况如下：

- a) 变形方式为剪切的试验设备，通常比其他变形方式的试验设备具有更高的应变准确度，应力-应变曲线更趋向线性，但是试样两端应联有金属端头。
- b) 变形方式为压缩的试验设备，能够在各种情况下使用，尤其是试样为制成品时，但是通常要求施加较高的负荷，而且要考虑试样的形状因子。
- c) 变形方式为弯曲、扭曲或拉伸的试验设备，只需施加较小的负荷，而且试样容易制备，但是可能不太适宜用于测定模量的绝对值。
- d) 若以提供设计数据为目的，优先推荐以剪切为变形方式的非共振强迫振动型试验机。
- e) 在对制成品进行测试时，通常要求应变振幅较大的剪切或压缩变形，因此需要施加较大的负荷。这类试验设备通常都较为昂贵。
- f) 在测试材料特性时，原则上各种变形方式均可使用，也只需要施加较小的负荷。

- g) 在测试材料特性时,推荐选择具有合适量程的,并且具有自动频率、温度扫描功能的动态分析仪。
- h) 自由振动型试验机(例如扭摆类),常仅限于低频率及低振幅的情况。
- i) 通常共振强迫振动型试验机局限于弯曲变形的情况,测量时不允许有振幅和频率影响。

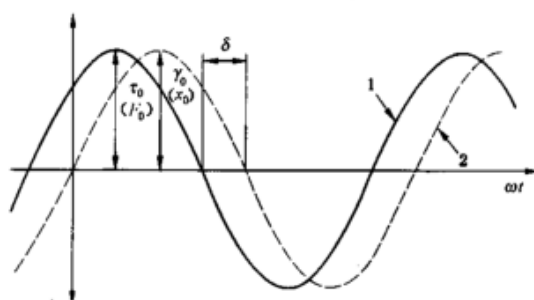
5.5 动态运动

5.5.1 强迫振动方式

橡胶是一种黏弹性材料,其对动态应力的响应是弹性响应和黏性响应的加合,每个周期都有能量损耗。

对于正弦应变,其运动可用式(1)描述(见图3):

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (1)$$



1——应力(负荷);

2——应变(位移)。

图3 正弦应力-应变周期

此时,应力 τ 与应变不同相,两者相差一个相位角 δ ,见式(2):

$$\tau = \tau_0 \sin(\omega t + \delta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

把应力当作是具有两个分量的矢量来考虑,其中一个是与位移同相的(τ'),另一个是与位移呈 90° 异相的(τ''),然后确定相应的同相、异相模量,故复数模量由式(3)确定:

$$M^* = M' + iM'' \quad \dots\dots\dots (3)$$

并且

$$M' = \frac{\tau'}{\gamma_0} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta = |M^*| \cos \delta \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$M'' = \frac{\tau''}{\gamma_0} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta = |M^*| \sin \delta \quad \dots\dots\dots (5)$$

复数模量的绝对值由式(6)确定:

$$|M^*| = \sqrt{M'^2 + M''^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

损耗角正切由式(7)确定:

$$\tan \delta = \frac{M''}{M'} \quad \dots\dots\dots (7)$$

5.5.2 自由振动方式

对于自由振动的橡胶及其质量系统,其运动可用式(8)描述:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{K''}{\omega} \frac{dx}{dt} + K' x = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

该方程的解为式(9)、式(10):

$$K' = m\omega^2 \left(1 + \frac{\Lambda^2}{4\pi^2} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$K'' = \frac{m\omega^2 \Delta}{\pi} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$L_f = \frac{\Delta}{\pi \left(1 + \frac{\Delta^2}{4\pi^2}\right)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

L_f ——损耗系数;

Δ ——对数衰减率。

5.6 频率与温度的相互关联

频率与温度的影响是相互关联的,譬如升高温度和降低频率使模量产生相同的变化,反之亦然。可以利用这一规律去推断测量范围之外的动态性能,譬如利用试样在较低温度条件下测得的结果去推断试验设备无法达到的较高频率条件下的数据。

利用式(12)、式(13)在给定频率 f 、试验温度 T 、橡胶密度 ρ 条件下测得的模量 $M'(f, T)$ 及 $M''(f, T)$ 换算成标准温度 T_0 、相应密度 ρ_0 条件下的“换算”模量 $M'[f \cdot a(T), T_0]$ 及 $M''[f \cdot a(T), T_0]$:

$$M'(f, T) = \left(\frac{\rho \cdot T}{\rho_0 \cdot T_0}\right) \times M'[f \cdot a(T), T_0] \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$M''(f, T) = \left(\frac{\rho \cdot T}{\rho_0 \cdot T_0}\right) \times M''[f \cdot a(T), T_0] \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

$a(T)$ ——Williams Landel Ferry (WLF) 位移因子;

T ——试验温度,单位为开(K);

T_0 ——参照温度,单位为开(K);

f ——试验频率,单位为赫兹(Hz);

$f \cdot a(T)$ ——换算频率,单位为赫兹(Hz);

ρ ——试验温度下的橡胶密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ρ_0 ——标准温度下的橡胶密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

如果用换算模量对频率的对数作图,就得到一组曲线,每条曲线对应于一个温度。利用由 Williams Landel Ferry (WLF) 方程[见式(14)]得到的 $a(T)$,沿横坐标移动所有曲线,将上述一组曲线复合成一条曲线:

$$\lg[a(T)] = \frac{-c_1(T - T_0)}{c_2 + (T - T_0)} \quad \dots\dots\dots(14)$$

WLF 方程有多种形式,当精度要求不高时,式(15)是它的一种最实用的形式

$$\lg[a(T)] = \frac{-17.44(T - T_g)}{51.6 + (T - T_g)} \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

T_g ——低频(膨胀测定法)玻璃化温度。

它们还有很多改进的形式。在应用温度-频率换算时要特别注意由于填料或结晶区域引起的局限。温度-频率之间的换算关系非常适合于描述温度和频率覆盖范围较大的情况下获得的较大性能变化,但不适合在有限的温度和频率范围内获得的数据。当换算数据超过测得数据的 10 倍时,其可靠性较低。

6 设备

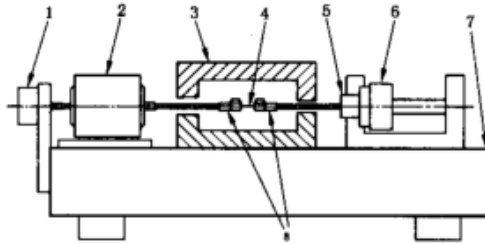
所有试验方法均需要下列基本设备:

- 夹具或支撑装置:用于固定试样,使试样成为机械振荡系统中的一个黏弹性部件。
- 给试样施加振荡负荷(应力)的装置:应力或应变既可以以单脉冲的形式施加(例如在自由振动设备的情况),也可以连续地施加(例如在强迫振动设备的情况)。外加应变的最佳形式应当

是正弦波形式的。外加之于试样的应变的谐波失真应当尽可能低,在任何情况下不得大于10%。

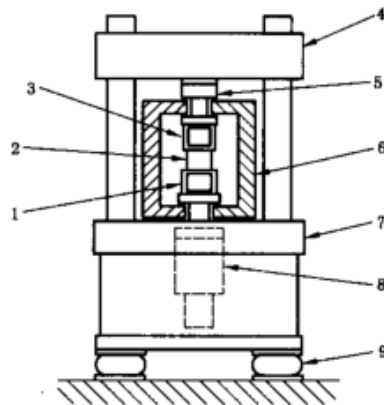
- c) 检测器:用于测定相关的或独立的试验参数,例如作用力、变形、频率和温度。
- d) 温度控制箱:保持试样所需的温度。
- e) 符合 GB/T 2941 有关规定的尺寸测量工具:用于试样尺寸测量。

图4及图5是有代表性的试验设备,它们分别适用于试验小型试样和大型试样。



- 1——位移检测器;
- 2——振动器;
- 3——恒温室;
- 4——试样;
- 5——负荷检测器;
- 6——十字头;
- 7——主体机架;
- 8——试样夹持器。

图4 小型试验设备示例



- 1——下夹持器;
- 2——试样;
- 3——上夹持器;
- 4——十字头;
- 5——负荷检测器;
- 6——恒温室;
- 7——主体机架;
- 8——调节器/位移检测器(速度传感器、加速度传感器);
- 9——空气弹簧。

图5 大型试验设备示例

7 校准

设备的每一个参数都应经过校准,并且尽可能依据国家标准。推荐的最大公差如下:

- a) 变形 $\pm 1\%$;
- b) 力 $\pm 1\%$;
- c) 频率 $\pm 2\%$;
- d) 温度 $\pm 1^\circ\text{C}$;
- e) 试样尺寸规格及标距 $\pm 1\%$ 。

测量频率、温度和尺寸的试验设备,能够容易地通过溯源到国家标准进行校准。对于变形和力而言,静态校准这种溯源只能形式上达到(见 ISO 5893)。

对于自由振动设备(例如扭摆类),应校正由试样悬置产生的恢复力、在悬置中的损耗以及空气阻尼。

8 试验条件与试样

8.1 试样准备

试样可以模制,或从模压试片上裁取。模制的试样比较适合剪切试验和压缩试验。用于剪切和压缩的试片金属端头,可以通过模压粘接,或者用少量合适的黏合剂粘接。

试样也可以采用冲切或磨削的方法,直接从制成品上取得。还可以用整件制成品进行试验。

8.2 试样尺寸

试样的形状和尺寸应当根据形变方式以及所用试验设备的能力和类型来决定(见表 2 及表 3)。

如果需要通过硫化将试样与金属端头粘接,应当在装模前测量金属端头的厚度,然后通过测量模制品的总厚度推算出橡胶的厚度。

8.3 试样数量

为了掌握材料变异性,待测试样或待测制成品的数量应不少于 3 件。

8.4 试验条件

8.4.1 应变

含有大量填料的橡胶的黏弹行为与试验的应变振幅有关。作为一个普遍原则,应根据橡胶在实际使用时的应变来选择试验应变振幅,并使两者相符合。如果由于设备能力的原因,在实际操作中不能完全实现,至少应力-应变曲线的线性部分和生热能够遵循上述原则。

表 2 及表 3 给出推荐的应变振幅值。并非所有的试验都必须使用推荐的应变振幅,通常应优先使用推荐的应变振幅。

在实际使用环境下,所能达到的最低应变受试验机灵敏度的限制,而最高应变则受试验机量程的限制,尤其是在频率较高或温度接近被测材料的玻璃化温度时。

在实际使用环境下,制品可能经受叠加在静态应变上的动态应变,这种静态应变不一定有相同的形变方式。为了得到与实际使用条件相关的试验数据,本部分所推荐的动态应变可以叠加任何形式或程度的静态应变。这种情况主要与制成品试验有关,且通常应用于压缩试样。

8.4.2 频率和温度

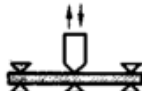
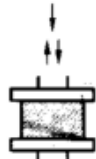
橡胶的黏弹行为受试验的频率和温度影响,尤其是在接近被测材料的玻璃化温度时。因此试验频率和温度的选择,应根据橡胶的实际使用条件而定。特别在测试材料的基本特性时,试验条件的选择应能够涵盖被测材料使用环境的所有频率及温度。

表2及表3分别给出推荐的频率及温度的数值。

8.5 小型试验机

使用小型试验机进行动态试验的基本原理以及非共振强迫振动方式见表2。

表2 小型试验机的试验条件与试样

		形 变 方 式				说 明	
		拉伸	弯曲	压缩	剪切		
试样类型及形变方式(应变) ↑或↓=(预)静态应变 ↑↓=动态应变						弯曲法通常用于较硬且不易伸展的材料,如橡胶/纤维复合材料	
试样形状及尺寸		矩形条 l =长度, b =宽度, h =厚度,两夹具间的距离宜等于试样宽度 b 的5倍。 $h=1\text{ mm}\sim 3\text{ mm}$	矩形条 l =长度, b =宽度, h =厚度,两弯曲支撑点间的距离宜等于试样厚度 h 的16倍。 $h=1\text{ mm}\sim 3\text{ mm}$	圆柱体 d =直径, h =高度, $h:d\approx 1:1.5$, $h=1\text{ mm}\sim 5\text{ mm}$	圆柱体 d =直径, h =高度, $h:d=1:4$, $h\leq 12\text{ mm}$ 。 矩形直棱柱 d =边长 $\times$ 边长, h =高度, $h:b=1:4$	采用拉伸、弯曲方法测量时,试样尺寸包括厚度、宽度及两夹具间的距离或两弯曲支撑点间的距离;压缩、剪切法则包括高度、直径或边长。各个尺寸的公差应当控制在 $\pm 1\%$ 以内	
试验条件	预应变/%	1~10	0	10	0	对于实验室试验,试验条件取决于试验机的参数。 其最大公差宜在 $\pm 1\%$ 以内	
	应变幅度/%	$\pm 0.5, \pm 1, \pm 2$ 可以连续扫描					
	频率/Hz	1,5,10,15,30,50,100,150,200 可以连续扫描					频率的最大公差应在 $\pm 2\%$ 以内
	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	试验温度应从 GB/T 2941 中选取。由于在玻璃化温度附近,材料性能随温度变化较快,此时采用较窄温度范围效果会更好					检测器的最大公差宜在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内
结果参数		$ M^* , M', M'', \tan\delta$					用小型试验机做动态试验时,通常温度的影响用图像表达

8.6 大型试验机

使用大型试验机进行动态试验的基本原理以及非共振强迫振动方式见表3。

表 3 大型试验机的试验条件与试样

		形 变 方 式			说 明
		压缩	拉伸	剪切	
试样类型及形变方式(应变) ↑或↓=(预)静态应变 ↑↓=动态应变					对大型试验机而言,剪切形变优先于压缩及拉伸。因为采用剪切法,其应力-应变之间的关系几乎呈线性,滞后曲线近似椭圆。 采用剪切方法时,通常使用两个试样,以便对称排列,消除弯矩。另一种选择是可以采用扭转剪切
试样形状及尺寸		带金属配件的圆柱体 $h:d \approx 1:1.5$ 。 圆柱体 参照 ISO 7743。 对于无黏合的试样,通常应符合 GB/T 7759 的规定要求	带金属配件的圆柱体 $h:d \approx 1:1.5$	带金属配件的圆柱体 $h:d \approx 1:4$, $h \leq 12 \text{ mm}$ 。 带金属配件的矩形直棱柱 $h:d \approx 1:4$, $h \leq 12 \text{ mm}$	试样形状及尺寸的选择应适应试验设备的类型和量程。 试样的金属配件应当与橡胶硫化在一起。这种压缩法的圆柱体试样必须满足 ISO 7743 的规定要求。直径大约 35 mm 的试样适合圆锥体剪切。为了维持均匀切变,如果是锥/锥几何体,要求锥角小于 5° ;如果是锥/盘几何体,要求锥角小于 3°
试验条件	预应变/%	10 ± 0.5	5~20	0	检测器的最大公差宜在 $\pm 1\%$ 以内。 必须通过测定选定厚度的试样的平均位移及位移振幅来确定平均应变及应变振幅
	应变幅度/%	$\pm 2, \pm 5$ 推荐 ± 5	$\pm 0.2 \sim \pm 10$	$\pm 1, \pm 3, \pm 6$, $\pm 10, \pm 15$ 推荐 ± 10	
	频率/Hz	1, 5, 10, 15, 30, 50, 100, 150, 200			频率的最大公差应在 $\pm 2\%$ 以内
	试验温度/ $^\circ\text{C}$	试验温度应从 GB/T 2941 中选取			检测器的最大公差宜在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内
结果参数		$ M^* , M', M'', \tan \delta$			如果用圆柱体做压缩法试验,可以用弹性模量代替弹簧常数(如 $ K^* , K', K''$)

8.7 自由振动法动态试验

采用自由振动法进行的动态试验的基本原理如下。

a) 试样尺寸

矩形条状试样的厚度宜在 1 mm~3 mm 范围内,宽度宜在 4 mm~12 mm 范围内(服从最大宽度与厚度比等于 10),两夹具之间的长度至少是宽度的 10 倍(最大值不超过 120 mm)。厚度、宽度及两夹具之间的距离精确到 $\pm 1\%$ 。

b) 试验条件

应变振幅 最大 0.5%;

频率 0.1 Hz~10 Hz;

温度 从 GB/T 2941 中选取,也可以进行连续扫描。

9 调节

9.1 停放

试样从硫化完毕到试验之间的时间间隔应符合 GB/T 2941 的规定。

9.2 温度

试样在试验之前应在一个标准实验室温度下调节不少于 3 h,并按顺序进行试验。对于每一个温度而言,都应将试样在该温度下调节足够的时间,以达到温度平衡。但时间不应过长,特别是在较高温度时,以免产生老化。调节时间应根据试样的外形尺寸及温度而定,参照 GB/T 2941 的规定而定。

9.3 机械调节

填充橡胶的动态性能与其应变历程和温度历程有关。为保证试验结果的一致性和重现性,在进行试验之前,应对试样进行机械调节,以便清除不可逆结构。这种调节应在试验温度、最大试验应变条件下进行,且应不少于 6 个周期。

为使可逆结构达到平衡,完成机械调节后至正式开始试验需要间隔至少 12 h。

对于动态试验叠加在预加的静态应变的情况,试样应在停放期间保持静态应变。

当外加应变只有一个而且非常小时,允许省略机械调节,例如自由振动的情况。

10 试验程序

如果要对试样进行一系列的试验,应从最不苛刻的条件下开始进行,然后进入较高的振幅或较高的频率。对于在不同温度下进行试验的情况,应从选定的最低温度开始进行。

对于强迫振动试验,应运行至少 6 个周期,使内部结构重排趋于平衡后再开始测量。当试验的振幅和频率较低时,试验持续的时间无需限制。而当试验的振幅和频率较高时,由于有增大试样内部生热的危险性,所以试验时间应尽可能短,特别是处于玻璃化温度和邻近玻璃化温度时。

温升可由下列关系式预测。

每个试验周期的单位体积能量损耗为:

$$\pi \sin \delta (|M^*| \gamma_0^2)$$

在没有热量从试样中散失的前提下,温升速率为:

$$\pi \sin \delta (|M^*| f / C_p)$$

式中:

C_p ——单位体积热容[标准值为 $1.7 \text{ MJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$]。

在试验期间,如果出现了由于温升而导致的与时间有关的结果变化,可将试验结果外推到名义试验温度下的结果。对制成品而言的另一种方案是,在达到平衡之后才进行连续测试。

11 结果表达

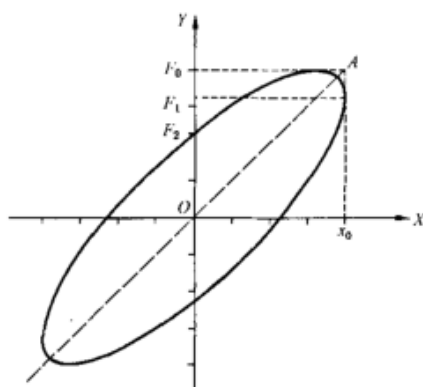
11.1 结果参数

试验结果应以同相模量、异相模量、复数模量(或者复数弹簧常数)和 $\tan \delta$ (或者 L_f)等参数表示。而且宜作为温度、频率及振幅的函数以表格或图形来表达。

11.2 强迫振动

对于强迫振动,所有的结果参数从负荷-形变曲线求得(见图 6),或者利用电子分析技术直接获得。在填充橡胶而且振幅较高的情况下,显现出非线性的特征,致使滞后环偏离理想椭圆,使参数求导的工作变复杂。

图 6 显示从双剪切试样的动态试验得到的负荷-形变滞后环。坐标原点 O 代表负荷和形变的平均值,如果外加静态变形,其值将不会是 0。显示出的负荷和形变是动态分量。



X——形变；
Y——负荷。

图6 负荷-形变曲线(滞后环)

如果橡胶的行为是线性的,图6所示的滞后环将是一个椭圆。在这种情况下,对双剪切试样而言,复数模量的绝对值由式(16)求得:

$$|G^*| = \frac{F_0 h}{2Ax_0} \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

F_0 ——最大负荷振幅;
 x_0 ——最大位移振幅;
 A ——试样的有效截面积;
 h ——试样的厚度。

于是 F_0/x_0 为直线 OA 的斜率(见图6),OA 为外切正方形的对角线。损耗角由式(17)确定:

$$\tan\delta = \frac{G''}{G'} \quad \dots\dots\dots(17)$$

弹性剪切模量 G' 见式(18):

$$G' = |G^*| \cos\delta \quad \dots\dots\dots(18)$$

损耗剪切模量 G'' 见式(19):

$$G'' = |G^*| \sin\delta \quad \dots\dots\dots(19)$$

损耗角也可以由式(20)确定:

$$\sin\delta = \frac{\text{椭圆面积}}{\pi F_0 x_0} \quad \dots\dots\dots(20)$$

当呈现出某种程度的非线性,即偏离理想椭圆时,利用式(20)可以得到 δ 的平均值。

相似的关系式适用于其他的形变方式和其他几何形状的试样。

11.3 自由振动

对于旋转振荡,通过求解 5.5.2 给出的运动方程[式(8)]和 11.4 给出的扭摆关系式[式(21)],得到结果参数。

从位移(或速度)-时间曲线得到对数减量。

11.4 应力-应变关系与形状因子

采用剪切法时,应力与应变成比例,见式(21):

$$\tau = G\gamma \quad \dots\dots\dots(21)$$

采用推荐试样时,不需要形状因子来修正。

采用拉伸或压缩法时,应力-应变关系的恰当表达见式(22):

$$\tau = \frac{E}{3}(\lambda - \lambda^{-2}) \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

τ ——以原始截面积为基准的应力。

对于有黏合端面的压缩试样,必须应用形状因子(见 ISO 7743)

$$E_c = E(1 + 2kS^2) \quad \dots\dots\dots (23)$$

采用扭摆法,试样为矩形条时

$$Q = \frac{k_l b h^3 G a}{l} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

k_l ——形状因子(见 ISO 4663);

l ——试样在夹具间的长度。

由于动态刚性与基本模量之间关系复杂,而且仅是近似的,特别对于制成品而言,宜引进刚性概念。

12 试验报告

试验报告应当包含下列信息:

- a) 说明引用本部分。
 - b) 样品和试样的详细描述:
 - 1) 样品及其原有状态的详细描述;
 - 2) 试样的详细描述,包括制备方法;
 - 3) 试样的尺寸。
 - c) 试验的详细描述:
 - 1) 形变方式;
 - 2) 所采取的机械调节和热调节的方法;
 - 3) 试验设备的详细描述,包括型号、驱动、量程和测量系统;
 - 4) 试验条件,包括应变振幅、频率及温度;
 - 5) 如果试验条件不限于一组,应说明试验顺序;
 - 6) 任何不符合本部分规定的情况。
 - d) 其他情况:
 - 1) 已用试样数;
 - 2) 结果的计算方法;
 - 3) 所测得的性能值。
 - e) 试验数据。
 - f) 试验日期。
-