

高阻尼橡胶试验方法研究

李 静,李吉刚,孙冬冬

(青岛四方车辆研究所有限公司,山东 青岛 266031)

摘要:研究高阻尼橡胶试验方法。结果表明:频率为1 Hz时,动态力学分析仪(DMA)测试的试样 $\tan\delta$ 在玻璃化温度(27℃)下达到峰值0.918,随频率升高,阻尼峰向高温方向移动;温度为25℃时,动态疲劳试验机测试的试样 $\tan\delta$ 随着频率的增大先增大后减小,在频率为17 Hz时达到最大值;动态疲劳试验机测试得到的 $\tan\delta$ 较DMA测定值低;采用二片法剪切试验,频率为0.05 Hz时等效阻尼比随剪应变的增大而增大。

关键词:高阻尼橡胶;动态力学分析;动态疲劳试验;剪切试验;损耗因子;等效阻尼比

中图分类号:TQ333.7 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2014)08-0499-03

高分子阻尼材料的研发是目前国内外关注的热点之一。它是利用高分子的粘弹性来吸收振动的能量,将吸收的声能或机械能部分地转化为热能耗散掉,起到减小振动或降低振幅的作用。随着高分子阻尼材料在建筑领域和轨道交通上的广泛应用,对材料阻尼水平有效表征方法的研究变得尤为重要。

本工作探讨高阻尼橡胶的试验方法。

1 实验

1.1 原材料

试验所用原料为青岛四方车辆研究所有限公司研发的高阻尼橡胶。

1.2 基本配方

基本配方:丁腈橡胶 70,聚氯乙烯 30,炭黑 N774 20,炭黑 N550 20,氧化锌 5,硬脂酸 3,云母粉 20,树脂 20,增塑剂 DOS 10,促进剂 DM 2,硫黄 2。胶料基本物理性能如下:邵尔 A 型硬度 64 度,100%定伸应力 3.5 MPa,200%定伸应力 7.5 MPa,300%定伸应力 11 MPa,拉伸强度 13 MPa,拉断伸长率 371%。

1.3 测试分析

1.3.1 动态力学分析

采用 DMA242 型动态力学分析(DMA)仪

(德国耐驰公司产品)测试动态力学性能,条件如下:模式 双悬臂模式,温度范围 $-60\sim+60$ ℃,频率范围 1~20 Hz,升温速率 $3\text{℃}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

使用平板硫化机将高阻尼橡胶硫化成厚度为2 mm的拉伸试片,硫化条件为 $150\text{℃}\times 20\text{ min}$ 。在试验环境下[温度 $(25\pm 2)\text{℃}$,相对湿度 $50\%\pm 5\%$]调节24 h后裁成 $35\text{ mm}\times 6\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 的标准试样。

1.3.2 动态疲劳试验

采用 UD-3600 型动态疲劳试验机(中国台湾优肯科技股份有限公司产品)测试疲劳性能,条件如下:控制方式 位移,温度 25℃,起始频率 1 Hz,结束频率 20 Hz,预振 10 次,测试 10 次,振幅 $\pm 0.42\text{ mm}$,预载位移 1.2 mm。

使用平板硫化机将高阻尼橡胶硫化成直径 $(29\pm 0.5)\text{ mm}$ 、高度 $(12.5\pm 0.5)\text{ mm}$ 的圆柱形试样,硫化条件为 $150\text{℃}\times 30\text{ min}$,在试验环境下调节24 h。

1.3.3 二片法剪切试验

采用 AI-7000-M 型伺服控制拉力试验机(中国台湾高铁科技股份有限公司产品)进行剪切试验。依据 GB/T 20688.1—2007《橡胶支座 第一部分:隔震橡胶支座试验方法》制取二片剪切型试样,试样由2片橡胶板和3块金属板组成,橡胶板为厚度5 mm、直径25 mm的圆柱体。使用平板硫化机和专用模具将高阻尼橡胶硫化成二片剪切型试样,硫化条件为 $150\text{℃}\times 30\text{ min}$,在试验环境

作者简介:李静(1987—),女,山东龙口人,青岛四方车辆研究所有限公司工程师,学士,主要从事弹性体、橡胶等高分子材料的配方和工艺研究工作。

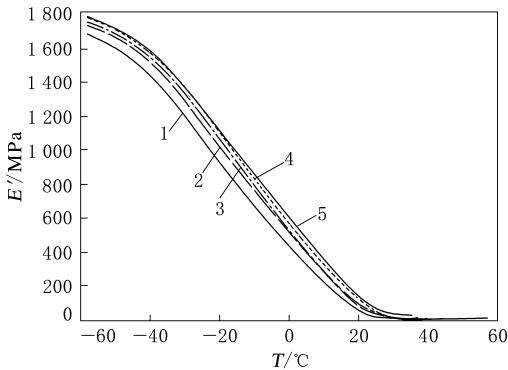
下调节 24 h。剪切试验条件见表 1。在不同剪应变下,从 0 加载到位移上限,然后卸载到 0,预加载循环 2 次,记录第 3 次剪应力-位移曲线。

表 1 剪切试验条件				
项 目	条件 1	条件 2	条件 3	
剪应变(γ)	0.5	1.0	1.5	
竖向加载位移/mm	2.5	5.0	7.5	
竖向加载频率/Hz	0.05	0.05	0.05	
竖向加载速度/(mm·min ⁻¹)	30	60	90	
横向加载/MPa	10	10	10	

2 结果与讨论

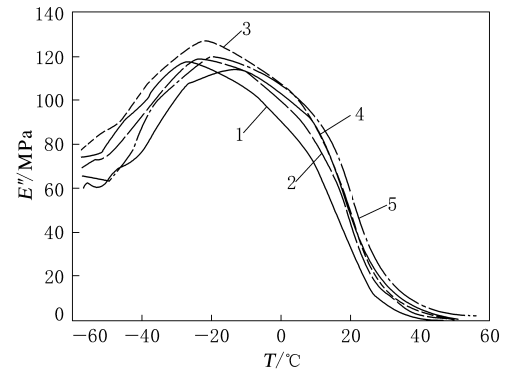
2.1 动态力学分析

不同频率下储能模量(E')、损耗模量(E'')和损耗因子($\tan\delta$)随温度(T)的变化曲线分别如图 1~3 所示。由图 1~3 可以看出:同一频率下,随着温度由-60℃逐渐升高到 60℃,高阻尼橡胶的 E' 逐渐减小, E'' 和 $\tan\delta$ 先增大后减小, $\tan\delta$ 在



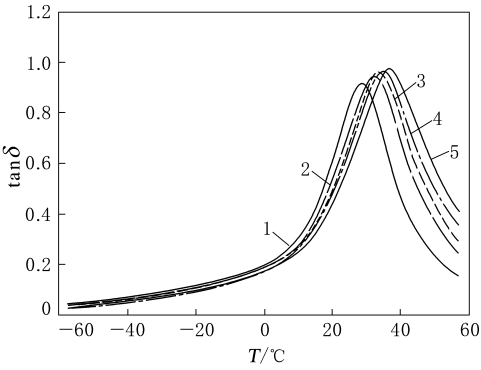
频率/Hz: 1—1; 2—5; 3—10; 4—16; 5—20。

图 1 不同频率下的 E' - T 曲线



注同图 1。

图 2 不同频率下的 E'' - T 曲线



注同图 1。

图 3 不同频率下的 $\tan\delta$ - T 曲线

30℃左右达到峰值;相同温度下,随着频率的增大, E' 和 E'' 逐渐增大, $\tan\delta$ 的峰值由 0.918 增大至 0.971,且峰向高温区偏移。

2.2 动态疲劳试验

动态疲劳试验数据见表 2。由表 2 可知,动态疲劳测试方法表征了试样 $\tan\delta$ 随频率的变化规律,如图 4 所示。在 25℃下,试样的 $\tan\delta$ 随着频率的增大先增大后减小,在 17 Hz 时达到最大值 0.792。

2.3 二片法剪切试验

2.3.1 计算方法

剪切性能试验中,水平等效刚度(K_h)和等效阻尼比(H_e)分别按下式计算:

$$K_h = \frac{Q_1 - Q_2}{X_1 - X_2} \tag{1}$$

$$H_e = \frac{2\Delta W}{\pi K_h (X_1 - X_2)^2} \tag{2}$$

式中 Q_1 ——最大剪应力,N;
 Q_2 ——最小剪应力,N;
 X_1 ——最大位移,mm;
 X_2 ——最小位移,mm;
 ΔW ——滞回曲线的包络面积,mm²。

2.3.2 数据处理

将剪应力-剪位移试验数据导入 Excel,取第 3 个循环试验数据导入 Origin 软件绘图得到图 5,积分计算出 ΔW ,并将 Q_1 , Q_2 , X_1 和 X_2 代入公式,计算所得 H_e 数据见表 3。由表 3 可知, H_e 随剪应变的增大而增大,当剪应变为 1.5 时, H_e 达到 0.244。

3 结论

(1)频率为 1 Hz 时,DMA 测试的试样 $\tan\delta$

表 2 试样动态疲劳试验结果

频率/Hz	载荷/N	位移/mm	衰减因数	损耗角	储能弹性值/ (N·mm ⁻¹)	损失弹性值/ (N·mm ⁻¹)	复合弹性值 ¹⁾ / (N·mm ⁻¹)	tanδ
1	183.80	0.85	16.36	28.58	190.32	103.70	216.74	0.545
2	204.65	0.41	17.34	29.16	243.54	135.88	278.88	0.558
3	214.83	0.42	16.86	29.97	287.35	165.71	331.71	0.577
4	224.15	0.42	15.76	30.78	322.83	192.26	375.74	0.596
5	228.03	0.42	14.46	31.54	352.33	216.22	413.39	0.614
6	242.65	0.43	13.18	32.30	376.64	238.13	445.61	0.632
7	244.00	0.43	11.96	33.14	395.72	258.33	472.58	0.653
8	248.31	0.44	10.85	34.02	408.71	275.90	493.12	0.675
9	251.95	0.45	9.81	34.93	416.33	290.75	507.81	0.698
10	252.83	0.45	8.88	35.75	419.72	302.18	517.18	0.720
11	239.70	0.46	8.02	36.44	420.88	310.73	523.16	0.738
12	263.74	0.47	7.22	36.97	421.44	317.26	527.51	0.753
13	266.53	0.49	6.55	37.34	422.04	322.00	530.85	0.763
14	268.22	0.50	5.94	37.65	422.28	325.74	533.32	0.771
15	270.76	0.51	5.42	37.93	421.00	328.15	533.78	0.779
16	272.19	0.53	4.94	38.22	417.21	328.55	531.05	0.787
17	275.02	0.54	4.51	38.39	411.55	326.06	525.06	0.792
18	276.42	0.56	4.10	38.26	406.56	320.60	517.76	0.789
19	275.69	0.57	3.72	37.79	403.98	313.21	511.18	0.775
20	274.49	0.59	3.36	37.30	397.82	303.02	500.08	0.762

注:1)复合弹性值指储能弹性值和损失弹性值的复合值。

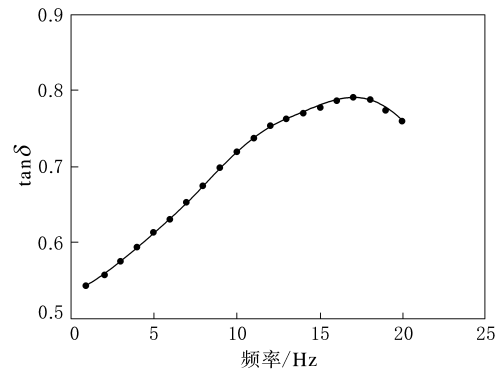
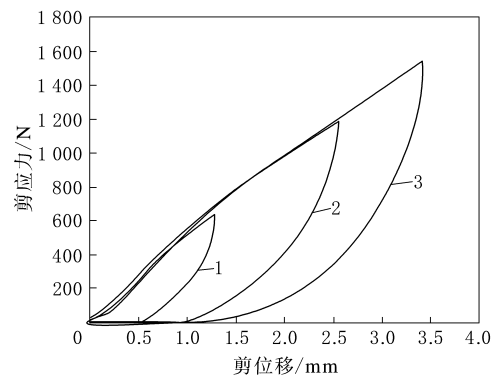


图 4 动态疲劳试验结果分析



剪应变:1—0.5;2—1.0;3—1.5。

图 5 剪应力-剪位移曲线

表 3 剪切试验结果

项 目	剪应变		
	0.5	1.0	1.5
X_1/mm	2.51	5.05	7.58
X_2/mm	1.21	2.43	4.18
Q_1/N	636.71	1 182.86	1 528.80
Q_2/N	0	12.45	11.17
$\Delta W/\text{mm}^2$	28.1	114.7	201.6
$K_h/(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$	489.78	446.68	446.39
H_e	0.212	0.233	0.244

在玻璃化温度(27℃)下达到峰值 0.918,随频率升高,阻尼峰向高温方向移动。

(2)温度为 25℃时,动态疲劳试验机测试的试样 tanδ 随着频率的增大先增大后减小,在频率为 17 Hz 时达到最大值。动态疲劳试验得到的 tanδ 较 DMA 测定值低,两种测试方法得到的 tanδ 不具可比性。动态疲劳试验主要用于产品质量控制。

(3)采用二片法剪切试验,频率为 0.05 Hz 时等效阻尼比随剪应变的增大而增大,在剪应变为 1.5 时达到 0.244,与产品试验结果基本相同。