

文章编号:1006-1355(2014)06-0210-05

阻尼橡胶材料阻尼性能悬臂梁共振法测试方法

李 辉, 马卫东, 孙志勇, 孙国华, 李 斌, 杜华太

(中国兵器工业集团 第五三研究所, 济南 250031)

摘要:根据标准 ASTM E756-05(2010),对阻尼橡胶材料阻尼性能悬臂梁共振法的测试方法进行了研究,分析接触式响应传感器引入的附加质量及激励传感器和响应传感器的安装位置对测试结果的影响,并得到有意义的结论。试验结果表明:质量为0.6 g的接触式响应传感器引入的附加质量对材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子的影响较小,测试结果满足标准 ASTM E756-05(2010)对测试精度的规定;选择合适的激励器安装位置有利于提高传递函数曲线幅值;响应传感器的安装位置对传递函数曲线影响较大,测试时应根据所要获得的模态信息选择合适的测点。

关键词:振动与波;自粘性;阻尼橡胶;共振频率;弹性剪切模量;剪切损耗因子

中图分类号:O422.6

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2014.06.047

Method for Vibration Damping Property Testing of Damping Rubber Materials Based on Cantilever Resonance

LI Hui, MA Wei-dong, SUN Zhi-yong, SUN Guo-hua, LI Bin, DU Hua-tai

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract: The vibration damping properties of damping rubber materials were tested according to ASTM E756-05 (2010) based on the cantilever resonance method. The effects of the additional weight induced by the contacting response transducer and the arrangements of the exciter transducer and response transducer were analyzed. The results show that the additional weight of the contacting response transducer with 0.6 g mass has little contribution to the shear loss factor and the shear modulus. The suitable arrangement of the exciter transducer can cause the increase of the FRF amplitude, and the arrangement of the response transducer has a large effect on transmission function curve. So, locations of the response transducers should be chosen reasonably according to the required modal signals.

Key words: vibration and wave; self-adhered; damping rubber; resonant frequency; shear modulus; shear loss facture

阻尼橡胶材料利用其自身的粘弹性将振动机械能转变为热能,从而达到减振降噪的目的,在航空、航天、船舶、兵器、车辆、建筑等领域得到了广泛应用。阻尼橡胶材料的弹性模量和损耗因子是决定其减振效果的主要性能参数,这两个参数的准确测量对阻尼橡胶的研究开发和阻尼结构的设计具有重要作用。阻尼性能的测试方法通常包括强迫非共振法、悬臂梁共振法、自由梁法、衰减法等,其中,悬臂梁共振法具有测试的温度频率范围较宽、可以预测材料应用性能等优点,因而被广泛采用^[1]。为了准

确获得材料的阻尼性能,研究者在悬臂梁共振法测试方面做了大量的研究工作^[2,3],马少璞等^[4]分析了试样的密度比、厚度比、共振频率比、夹芯梁损耗因子对误差放大因子的影响,胡卫强等^[5]分析了自由阻尼结构试样基层的阻尼性能、阻尼材料的模量等对测量结果可信度的影响,陈耀辉^[6]研究了试样的厚度变化率、密度变化率、共振频率变化率对材料的弹性模量和损耗因子测试结果的影响,裴高林等^[7]研究了稳态正弦激励、随机噪声激励和瞬态激励三种激励方式对约束阻尼材料的剪切模量和材料损耗因子测试结果的影响。

悬臂梁共振法在测试橡胶材料的阻尼性能时,测试结果受响应传感器引入的附加质量的影响以及传感器安装位置的影响还不确定,标准 ASTM E 756-05(2010)^[8]中未明确规定激励传感器和响应传感器

收稿日期:2014-02-20

作者简介:李辉(1988-),女,山东莒县人,硕士,目前从事阻尼减振橡胶材料及结构设计研究。

E-mail: 1212lihui@163.com

的安装位置,以及接触式响应传感器引入的附加质量对测试结果的影响。本文制备了约束阻尼橡胶材料复合试样,分别以非接触式位移传感器和接触式加速度传感器作为响应传感器,研究了接触式加速度传感器引入的附加质量对阻尼橡胶材料阻尼性能测试结果的影响;保持激励器平面与复合试样自由端平面间的距离不变,研究了激励器与复合试样之间的偏心距对测试结果的影响;避开复合试样各阶模态的共振节点^[9],设置不同的加速度传感器粘贴位置,研究了不同测点对测试结果的影响。

1 试验

1.1 试样

以自制的自粘性丁基橡胶材料为阻尼层,以钢板为基层和约束层,制备了约束阻尼复合试样。其中,基层、约束层的长宽尺寸为210 mm、10 mm,厚度分别为1.955 mm、1.930 mm,阻尼层的厚度为0.208 mm。复合试样夹持端长15 mm,夹持端基层与约束层之间垫0.2 mm厚铝垫片。复合试样结构如图1所示。

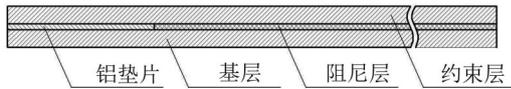


图1 试样结构示意图

1.2 测试

测试中使用的仪器设备如表1所示,测试装置安装如图2所示。

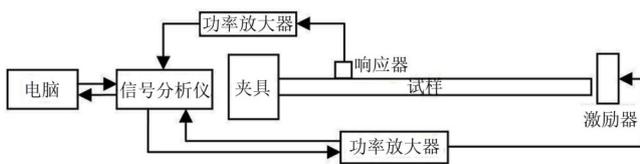


图2 测试装置安装图

测试时,使用非接触式激励器激励试样,激励方式为猝发随机噪声激励;使用位移传感器拾取钢板

的振动信号。

研究加速度传感器引入的附加质量对测试结果的影响时,分别使用位移传感器和加速度传感器拾取复合试样的振动信号,其中加速度传感器使用固体蜡粘贴到试样表面。

研究激励器与复合试样之间的偏心距对测试结果的影响时,保持激励器平面与复合试样自由端平面间的距离不变,调节激励器的安装位置如图3所示,位置1、位置2、位置3、位置4、位置5的偏心距分别为0 mm、2 mm、4 mm、6 mm、8 mm。

研究响应传感器的安装位置对测试结果的影响时,选择距离夹持端30 mm、40 mm、60 mm、85 mm、110 mm、160 mm、190 mm的位置安装响应传感器,各测点分别编号为测点1—测点7,如图4所示。

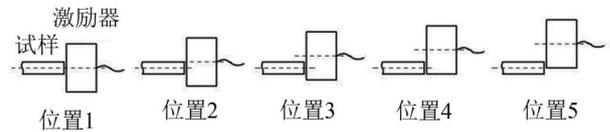


图3 激励器安装位置示意图

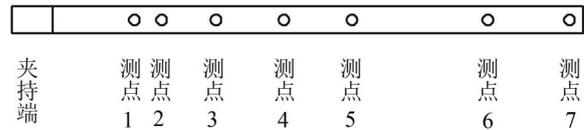


图4 响应传感器安装位置示意图

2 结果与分析

2.1 不同响应传感器测试结果与分析

使用位移传感器和加速度传感器作为响应传感器分别测试了复合试样的阻尼性能,每种传感器各进行了三次试验,测试结果如图5所示。测试中,响应传感器安装位置为测点3,激励传感器安装位置为位置3。

图5显示,复合试样在2 000 Hz频率范围内有四阶模态。2阶模态下,复合试样的共振频率、结构损耗因子和材料的弹性剪切模量、剪切损耗因子如

表1 主要仪器设备一览表

名称	规格	厂家
LMS信号分析仪	SCM 02	比利时LMS公司
LMS测试软件	Test. Lab 11 B	比利时LMS公司
非接触式激励传感器	MM0002	丹麦B&K公司
激励传感器用功率放大器	HEAS-20	南京佛能公司
非接触式位移响应传感器	S1	德国米铱公司
接触式加速度响应传感器	357 A 09/0.6 g	美国PCB公司
加速度响应传感器用功率放大器	422 E 01	美国PCB公司
高低温试验箱	—	西安同晟公司

表2所示,其中,结构损耗因子采用测试软件自带的半功率带宽法读取,材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子按照标准ASTME 756-05(2010)中的公式计算所得。

表2数据表明,两种响应传感器得到的材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子的变异系数分别为0.068 7和0.004 9,满足ASTME 756-05(2010)中同一温度、频率下,多次试验得到的材料弹性剪切模量、

剪切损耗因子的分散系数不超过0.45、0.25的规定,表明加速度传感器引入的附加质量对测试结果的影响在测试误差允许范围之内。

2.2 激励器不同安装位置测试结果与分析

按图3所示安装激励器,每种安装位置分别进行了三次测试,得到的传递函数曲线如图6所示。其中,响应传感器为加速度传感器,安装位置为测点2。

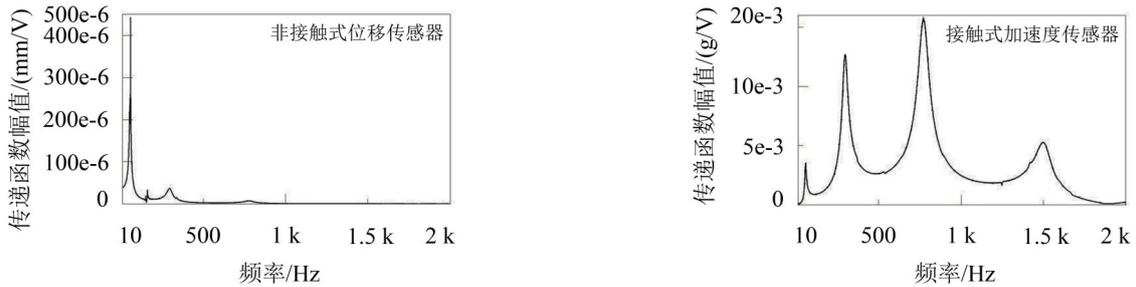


图5 两种响应传感器获得的传递函数曲线图

表2 两种相应传感器获得的2阶模态试验结果

项目	结构性能		材料性能		
	共振频率/Hz	结构损耗因子	弹性剪切模量/Pa	剪切损耗因子	
位移传感器	三次测试结果	294.75	0.113 2	2 125 224	0.519 7
		295.00	0.112 5	2 142 170	0.514 0
		292.75	0.115 5	1 993 842	0.551 7
	平均值	294.17	0.113 7	2 087 078	0.528 5
	标准差	1.744 0	0.002 2	114 818	0.028 7
	变异系数	0.005 9	0.019 5	0.055 0	0.054 3
加速度传感器	三次测试结果	291.75	0.106 6	1 937 095	0.517 9
		290.50	0.109 6	1 855 563	0.547 5
		291.00	0.107 5	1 888 756	0.530 8
	平均值	291.08	0.107 9	1 893 805	0.532 1
	标准差	0.889 8	0.002 2	57 982	0.021 0
	变异系数	0.003 1	0.020 2	0.030 6	0.039 4
两种传感器	平均值	292.6 3	0.110 8	1 990 442	0.530 3

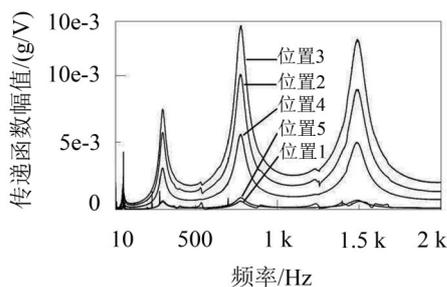


图6 激励器五种安装位置的传递函数曲线图

由图6可知,激励器的5个安装位置中,位置1、5获得的传递函数曲线幅值较小,杂峰干扰较严重;位置2、3、4获得的传递函数曲线幅值较大且杂峰较小;从位置1到位置5,传递函数曲线的2、3、4阶模态共振峰峰值先增大后减小,并存在一最佳安装位置,在位置1—5中为位置3时共振峰峰值达到最大值。综上所述,激励器的安装位置是位置2、3、4时,可获得良好的传递函数曲线图;选择合适的激励器安装位置有利于提高传递函数曲线幅值。

激励器的安装位置为位置2、3、4时,2阶模态下复合试样的共振频率、损耗因子和材料的弹性剪切模量、剪切损耗因子如表3所示。

由表3可知,在可以获得良好的传递函数曲线的位置2—4得到材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子数据的变异系数分别为0.017 8和0.030 4。因此,当可以获得良好的传递函数曲线时,激励器的安装位置对测试结果的影响较小。

2.3 传感器不同安装位置测试结果与分析

将响应传感器安装在试样不同位置并各进行了三次测试,获得了各测点的传递函数曲线,测试结果如图7所示。其中响应传感器为加速度传感器,安装位置如图4所示,激励器安装位置为位置3。

由图7中测点1—7获得的传递函数曲线可知,加速度传感器安装在测点1—测点7均可以获得复合试样的1阶~4阶模态,其中测点1—5可以获得良

表3 激励器安装位置2、3、4时2阶模态测试结果

项目	结构性能		材料性能		
	共振频率/Hz	结构损耗因子	弹性剪切模量/Pa	剪切损耗因子	
位置2	三次测试结果	299.50	0.114 2	2 440 712	0.483 6
		299.75	0.114 7	2 457 234	0.483 9
		299.75	0.116 4	2 455 554	0.491 4
	平均值	299.67	0.115 1	2 451 167	0.486 3
位置3	三次测试结果	298.00	0.118 1	2 335 683	0.513 1
		299.25	0.118 4	2 419 607	0.504 1
		300.00	0.115 5	2 473 487	0.485 5
	平均值	299.08	0.117 3	2 409 593	0.500 9
位置4	三次测试结果	298.25	0.110 9	2 359 280	0.478 6
		299.00	0.111 7	2 409 176	0.476 3
		299.00	0.114 0	2 406 992	0.486 5
	平均值	298.75	0.112 2	2 391 816	0.480 5
	平均值	299.17	0.114 9	2 417 525	0.489 2
位置2、3、4	标准差	0.656 2	0.003 6	43 077	0.014 9
	变异系数	0.002 2	0.031 7	0.017 8	0.030 4

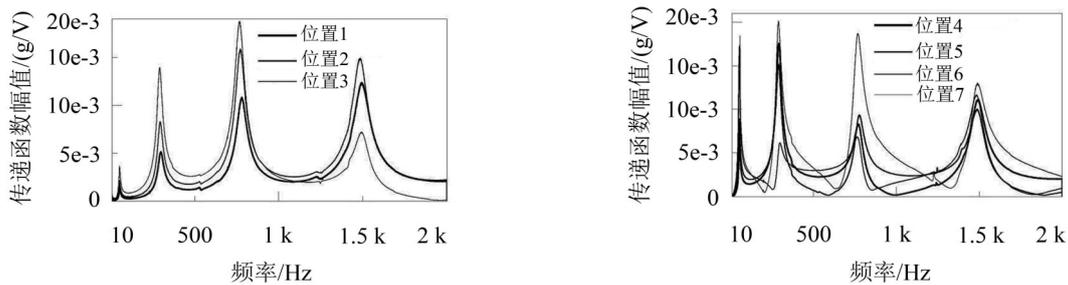


图7 七个测点获得的传递函数曲线图

好的2阶模态,测点1—3可以获得良好的3阶模态,测点1、测点2可以获得良好的4阶模态。因此,测试中应根据所要获得的模态信息选择合适的响应传感器安装位置。

测点1—5得到的复合试样2阶模态的试验结果如表4所示。

表4中测点1—5得到的材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子的变异系数分别为0.051 4和0.051 6,这表明,当可以获得良好的传递函数曲线时,响应传

感器的安装位置对测试结果的影响满足ASTME 756-05(2010)对测试精度的规定。

3 结语

本文按照标准ASTME 756-05(2010)的测试方法,测试并分析了接触式响应传感器引入的附加质量、非接触式激励传感器和接触式响应传感器的安装位置对测试结果的影响,得到了如下结论:

- (1) 质量为0.6 g的接触式加速度传感器引入的

表4 测点1—5得到的2阶模态试样结果

项目	结果性能		材料性能		
	共振频率/Hz	结构损耗因子	弹性剪切模量/Pa	剪切损耗因子	
测点1	三次测试结果	300.25	0.108 7	2 497 153	0.454 1
		299.00	0.108 3	2 412 323	0.461 3
	平均值	300.50	0.109 8	2 513 258	0.457 1
		299.92	0.108 9	2 474 245	0.457 5
测点2	三次测试结果	297.50	0.102 3	2 316 432	0.445 7
		297.25	0.105 3	2 297 166	0.461 1
	平均值	298.50	0.103 8	2 382 472	0.445 0
		297.75	0.103 8	2 332 023	0.450 6
测点3	三次测试结果	294.75	0.100 3	2 135 801	0.458 4
		294.75	0.103 0	2 133 692	0.471 2
	平均值	295.00	0.100 5	2 152 039	0.457 2
		294.83	0.101 3	2 140 511	0.462 3
测点4	三次测试结果	295.00	0.101 2	243 693	3.445 0
		292.00	0.102 4	77 462	10.622 4
	平均值	292.50	0.103 4	104 365	8.003 5
		293.17	0.102 3	141 840	7.357 0
测点5	三次测试结果	291.50	0.104 4	49 286	16.930 4
		291.50	0.105 2	48 918	17.188 4
	平均值	292.00	0.104 7	76 405	11.010 9
		291.67	0.104 8	58 203	15.043 2
测点1~5	标准差	291.75	0.104 8	62 760	14.050 3
	变异系数	0.058 7	0.000 1	3 226	0.725 4
		0.000 2	0.000 7	0.051 4	0.051 6

附加质量对材料的弹性剪切模量和剪切损耗因子的影响较小,测试结果满足标准 ASTM E756-05(2010)对测试精度的规定;

(2) 选择合适的激励器安装位置有利于提高传递函数曲线幅值;当可以获得良好的传递函数曲线时,激励器的安装位置对测试结果的影响较小;

(3) 响应传感器的安装位置对传递函数曲线影响较大,测试时应根据所要获得的模态信息选择合适的测点;当可以获得良好的传递函数曲线时,响应传感器的安装位置对测试结果的影响较小。

参考文献:

- [1] 常冠军. 粘弹性阻尼材料[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012, 10. 168-179.
- [2] 黎大志, 陈树年. 复合材料阻尼测试方法及空气阻尼影响的探讨[J]. 振动与冲击, 1992, 41-42(1-2): 128-130.

- [3] 孙培林, 李晓娟. 声学材料阻尼性能弯曲共振试验方法初探[J]. 华东船舶工业学院学报, 1997, 11(2): 61-65.
- [4] 马少璞, 王敏庆, 胡卫强, 等. 对称夹层结构的共振梁法理论误差研究[J]. 噪声与振动控制, 2008, 4: 38-41.
- [5] 胡卫强, 王敏庆, 刘志宏. 悬臂梁弯曲共振法自由阻尼结构试件设计研究[J]. 实验力学, 2008, 23(3): 241-247.
- [6] 陈耀辉. 阻尼材料阻尼性能的测试与计算[J]. 橡塑资源利用, 2005, 1: 4-15.
- [7] 裴高林, 米志安, 苏正涛, 等. 约束阻尼材料性能测试方法的探讨[J]. 噪声与振动控制, 2008(3): 156-159.
- [8] ASTM E756-05(2010) Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials[S].
- [9] Harris. C. M., Piersol. A. G. 著. 刘树林, 王金东, 李凤明, 等, 译. 冲击与振动手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007. 13.