金属橡胶颗粒静态特性试验

洪 杰 朱 彬 马艳红 陈璐璐

(北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对目前航空航天领域板壳结构较多,其模态成分密集、振动复杂等问题,提出了一种可用于各种复杂结构振动抑制的新型金属橡胶构件——金属橡胶颗粒. 为了解及掌握这种新型金属橡胶构件的性能和设计规律,开展了有关金属橡胶颗粒的静态性能试验研究. 通过试验测量了金属橡胶颗粒的静态迟滞回线,获得了金属橡胶颗粒的刚度和阻尼的范围. 通过对比不同参数下的刚度和阻尼的试验结果,总结材料参数(丝材、螺旋卷和相对密度)和工艺参数(变形量和安装密度)等对金属橡胶颗粒的刚度特性和阻尼性能的影响规律. 金属橡胶颗粒静态特性试验研究为金属橡胶颗粒的设计和工程应用奠定了基础.

关 键 词: 金属橡胶颗粒; 静态试验; 刚度特性; 阻尼特性

中图分类号: V 257

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2012)02-0218-04

Experiments on static characteristics of metal rubber particles

Hong Jie Zhu Bin Ma Yanhong Chen Lulu

(School of Jet Propulsion, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: According to problems of the high mode density of natural frequencies of plane-shell structure and a broad spectrum of aerodynamic excitation forces, a new metal rubber (MR) component was designed by improving the processing technology of MR. It is called metal rubber particles (MRP). The WDW3100 electronic universal testing equipment was used to obtain static characteristics of MRP damper experimentally. The average stiffness and loss factor of MRP was obtained by measured the static hysteresis loop. The material parameters and process parameters on the influence of stiffness and damping characteristics was obtained by experimental results. Through this study, it provids experimental basis for further research and engineering application of metal rubber particles damper.

Key words: metal rubber particles; static characteristics; nonlinear stiffness; hysteresis curve

板壳结构由于其质量轻、承载能力大等优点,在航空、航天发动机中被广泛采用,但是其模态十分密集,振型复杂;高温的工作环境,材料的性能下降,严重影响抗疲劳破坏能力不足. 因此采用阻尼技术来削弱振动应力水平. 金属橡胶材料是将金属丝卷成螺旋形,经过编织,加压成型的金属材料. 金属橡胶的弹性恢复力和阻尼是依靠金属丝之间的咬合、摩擦提供的[1]. 金属橡胶材料显著的非线性干摩擦阻尼性能和在恶劣环境下保持良好性能的优点,使其成为一种很好的阻尼材料. 金属橡胶材料作为减振器件在军事、航空航天、汽车等领域日益得到广泛地重视[2-3].

本文在保证金属橡胶构件阻尼特性的前提下,改进加工工艺过程研制出质量更轻,结构适用性更强的金属橡胶构件——金属橡胶颗粒,其具有质量轻、阻尼性能好、结构简单、可塑性强等特点,在各种机械减振领域前景广泛. 为了解及掌握这种新型金属橡胶构件的性能和设计规律,本文开展了有关金属橡胶颗粒的静态性能试验研究.

收稿日期: 2010-11-04; **网络出版时间**: 2012-02-21 11:47; **DOI**: CNKI:11-2625/V.20120221.1147.025

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20120221.1147.025.html

基金项目: 航空基金资助项目(2006ZC51)

作者简介: 洪 杰(1965-),男(回族),北京人,教授,hongjie@buaa.edu.cn.

1　金属橡胶颗粒介绍

传统的颗粒阻尼器是将一定的颗粒填充于结构体中,结构体受迫振动时,颗粒受到冲击将发生弹塑性变形和断裂,同时,颗粒之间以及颗粒与器壁之间将产生碰撞和摩擦,从而消耗部分振动能量,达到了减振的目的[4-5]. 金属橡胶颗粒阻尼结构同样也是一种填充式的结构阻尼,将金属螺旋卷分成小段后制成直径为 4 ~ 5 mm 左右的小球状颗粒形态(见图 1),然后以小颗粒为基体,将其填充在需要减振的结构中. 金属橡胶颗粒的加工只经过选丝、绕丝、拉伸及编织四步骤,与传统的金属橡胶构件相比缺少了模压成型的步骤,结构和工艺更为简单,相对密度也大大降低了.

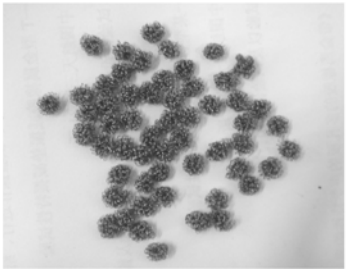


图 1　金属橡胶颗粒实物图

与传统的金属橡胶构件相似,金属橡胶颗粒内部同样由许多相互接触的金属丝构成,其阻尼机理不同于传统的颗粒阻尼的颗粒的弹塑性变形、断裂和碰撞,而是金属橡胶内部颗粒间相互接触的金属丝之间的滑动摩擦耗能,与传统的金属橡胶构件相似. 因此金属丝和螺旋卷自身的刚度以及金属丝之间的摩擦力是影响其刚度和阻尼性能的关键参数. 参考传统的金属橡胶构件,影响金属橡胶颗粒性能的主要参数有金属丝丝径、螺旋径、颗粒直径、相对密度以及颗粒数目等.

2　静态试验方案

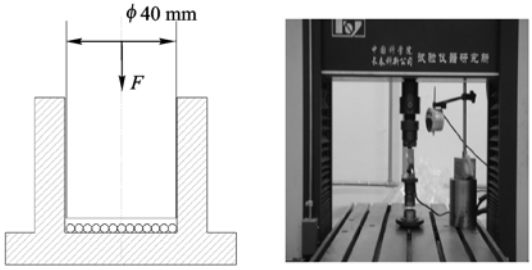
2.1　试验方案

金属橡胶颗粒的研究,不同于以往的金属橡胶构件,它以金属橡胶小颗粒为主体. 对颗粒本身而言,它的质量、密度、刚度、阻尼等都没有基本的经验知识. 所以对其进行静态试验,可以初步掌握其力学特性和不同参数的影响.

将金属橡胶颗粒均匀铺设在刚性容器底部,应用电子万能试验机进行静态迟滞特性试验,见图 2. 为了使其性能稳定,进行 6 ~ 12 次循环后,根据稳定后的试验数据绘制静态迟滞回线图.

2.2　试验件相关参数

金属橡胶阻尼颗粒性能同样由其制备工艺和



a　示意图　　b　实物图

图 2　静态特性试验方案

材料参数所决定的. 表 1 给出了不同金属橡胶颗粒试验件的材料参数和工艺参数. 其中丝径、螺旋卷和相对密度参数的含义和传统金属橡胶一致,平均质量为容积内平均每个小球的质量,颗粒个数为试验容积内颗粒小球的个数.

表 1　试验件材料的相关参数

序号	丝材	丝径 ds/mm	螺旋径 D/mm	平均质量/g	颗粒平均直径/mm	相对密度	颗粒个数 N
1	不锈钢	0.12	1.8	0.0519	4.50	0.138	40
2	不锈钢	0.12	1.2	0.0645	4.75	0.146	40
3	不锈钢	0.12	1.2	0.0366	4.00	0.138	50
4	GH4169	0.12	1.2	0.0418	4.20	0.136	57
5	不锈钢	0.18	1.2	0.0579	4.65	0.139	40
6	不锈钢	0.12	1.2	0.0366	4.00	0.138	55

3　相关参数影响规律

根据表 1 选取不同的试验件,分别试验分析不同参数对金属橡胶颗粒刚度和损耗因子的影响.

3.1　变形量的影响

图 3 和图 4 分别所示试验件 1 受压缩载荷时均载-位移曲线(均载表示一个颗粒小球受到的力)和损失因子随变形量的变化曲线.

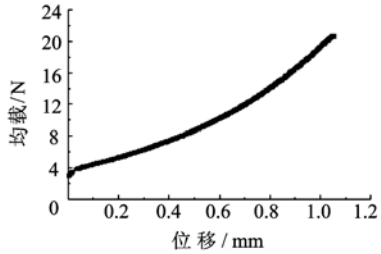
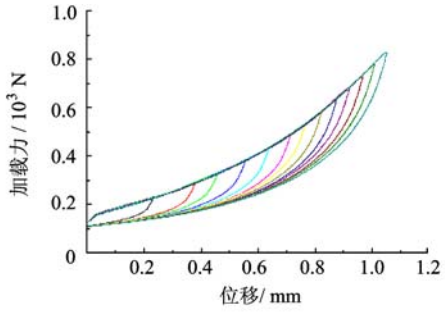


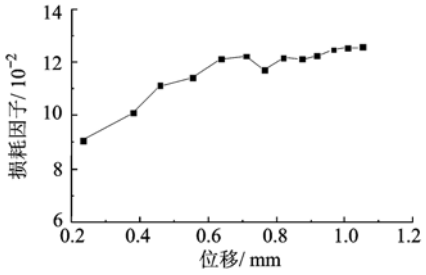
图 3　试验件 1 受压缩载荷时均载-位移曲线

由图 3 均载-位移曲线可知,金属橡胶颗粒的刚度在小变形时近似为线性,随着变形的增大,刚度呈现软特性和硬特性的规律. 这一特性与传统模压成型的金属橡胶构件较为相似. 由图 4 损耗因子变化曲线可知,随着变形量的增加,金属橡胶颗粒的损耗因子也随之增加,然后趋于稳定值,这是由于变形量的增加导致原来内部颗粒间未接触

的金属丝开始接触,因此参与滑移摩擦的颗粒数逐渐增多. 金属橡胶颗粒损耗因子的变化过程和传统的金属橡胶相近,从数值来看,与传统的金属橡胶的阻尼性能相当.



a 迟滞回线



b 损耗因子

图4 试验件1的损失因子随变形量的变化

3.2 安装密度的影响

通过对比试验件3和试验件6的静态试验结果,研究安装密度(一定容积内颗粒的个数)对金属橡胶颗粒静态性能的影响.

由图5可知,金属橡胶颗粒的刚度随安装密度的增加而增加. 安装密度大颗粒多,即同样面积内受载的颗粒小球多,因而刚度增大. 由图6可知,当变形量较小时,安装密度越大,金属橡胶颗粒的损耗因子越小,其后数值相当. 由于安装密度大的颗粒之间的滑动摩擦距离小,因而滑动摩擦耗能小.

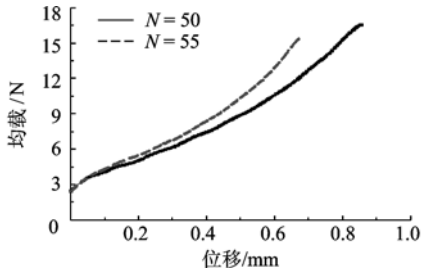


图5 试验件3和6受压缩载荷时均载-位移曲线

3.3 丝径的影响

通过对比试验件3和试验件5的静态试验结果,研究丝径对金属橡胶颗粒静态性能的影响.

由图7可知,金属橡胶颗粒的刚度随丝径增加而减小. 由参数表1可知,在安装密度和相对密

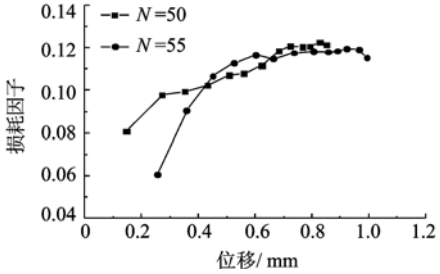


图6 试验件3和6的损失因子随变形量的变化

度相同时,丝径增加导致颗粒小球的平均直径增加,相当于减小了颗粒小球的弯曲刚度. 由图8可知,随着丝径的增加,金属橡胶颗粒的损耗因子随之减小. 同样平均直径的增加,颗粒数目减小,颗粒间间隙增大,内部参与滑移摩擦耗能的接触金属丝减少,因此损耗因子下降.

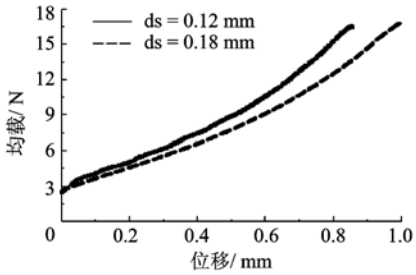


图7 试验件3和5受压缩载荷时均载-变形曲线

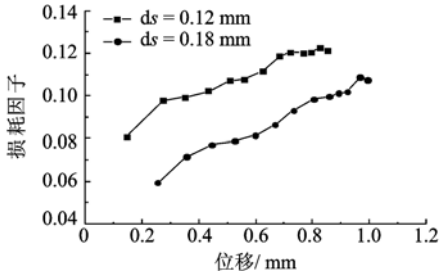


图8 试验件3和5的损失因子随变形量的变化

3.4 螺旋径的影响

通过对比试验件1和试验件3的静态试验结果,研究螺旋径对金属橡胶颗粒静态性能的影响.

由图9可知,随着螺旋径的增加,金属橡胶颗粒的刚度稍微减小,因为螺旋径的增加导致单位面积内颗粒数目减小,因而整体的刚度降低. 由图10可知,随着螺旋径的增加,金属橡胶颗粒的损耗因子变化不大. 因此颗粒数目的减小,平均直径

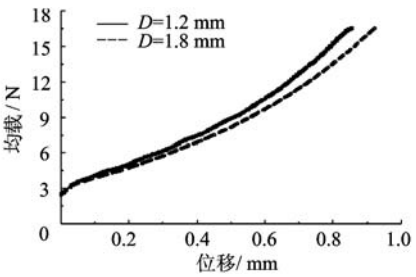


图9 试验件1和3受压缩载荷时均载-变形曲线

的增加对损耗因子的影响相互综合.

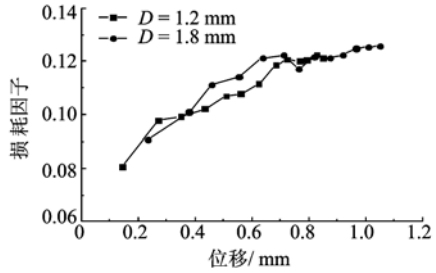


图 10　试验件 1 和 3 的损失因子随变形量的变化

3.5　相对密度的影响

通过对比试验件 2 和试验件 3 的静态试验结果,研究相对密度对金属橡胶颗粒静态性能的影响.

由图 11、图 12 可知,随着相对密度的增加,金属橡胶颗粒的刚度和损耗因子随之增加,这是由于相对密度的增加单个颗粒的刚度增大,并相对密度增加颗粒数目减小,颗粒之间间隙减小,相对相互接触耗能的金属丝增多.

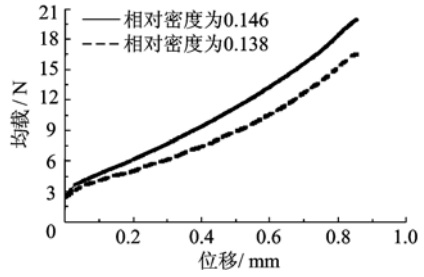


图 11　试验件 2 和 3 受压缩载荷时载荷-变形曲线

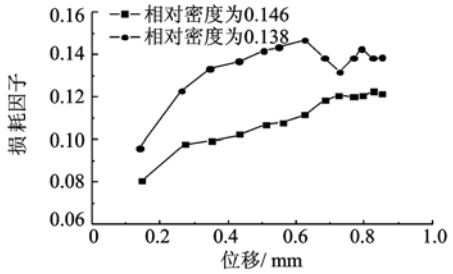


图 12　试验件 2 和 3 的损失因子随变形量的变化

3.6　丝材的影响

通过对比试验件 3 和试验件 4 的静态试验结果,研究丝材对金属橡胶颗粒静态性能的影响.

由图 13 可知,相同变形量下丝材为不锈钢的刚度略高于 GH4169. 由于不锈钢的弹性模量略大于 GH4169. 由图 14 可知,相同变形量下不锈钢材料的损耗因子低于 GH4169. 相同变形量下不锈钢丝材的 MR 颗粒所受到的压应力大,发生滑动摩擦的金属丝对较少,阻尼则就较小.

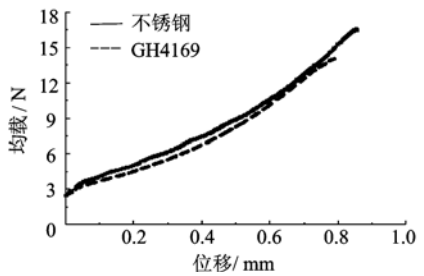


图 13　试验件 3 和 4 受压缩载荷时均载-变形曲线

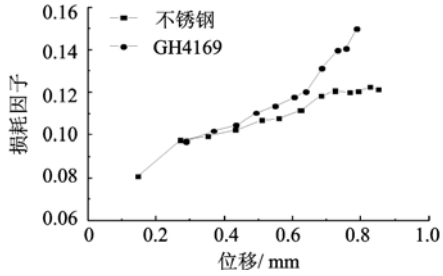


图 14　试验件 3 和 4 的损失因子随变形量的变化

4　结　论

本文通过改进金属橡胶材料的加工工艺,把金属丝螺旋卷加工成金属颗粒小球,设计出新型的金属橡胶颗粒阻尼构件. 通过对其工艺参数和材料参数的静态迟滞试验分析,初步的了解了相关参数对金属橡胶颗粒阻尼构件的刚度和阻尼性能的影响规律,对金属橡胶颗粒阻尼构件动态特性研究奠定了试验基础.

参考文献(References)

[1] 契戈达耶夫(俄). 金属橡胶构件的设计[M]. 李中郢译. 北京:国防工业出版社,2000
Chegodayev D E (Russia). The designing of component s made of metal rubber[M]. Translated by Li Zhonge. Beijing: Industry Publishing Company of National Defence,2000 (in Chinese)

[2] Ma Yanhong. Vibration on reduction investigation of a squeeze film damper[C]//Ma Yanhong, Hong Jie, Deng Yin. Proceedings of ASME TURBO EXPO 2006. Barcelona, Spain: [s. n.],2006

[3] Ma Yanhong. Study on metal rubber material's characteristics of damping and sound absorption[C]//Ma Yanhong, Wang Hong, Li Haoyu. Proceedings of ASME TURBO EXPO 2008. Berlin, Germany: [s. n.],2008

[4] 夏兆旺,单颖春,刘献栋. 颗粒阻尼应用于平板叶片减振试验[J]. 振动、测试与诊断,2008,28(3):269 - 303
Xia Zhaowang, Shan Yinchun, Liu Xiandong. Particle damping tests on cast steel plates[J]. Journal of Vibration, Measurement &Diagnosis,2008,28(3):269 - 303(in Chinese)

[5] 胡溧,黄其柏,马慰慈. 颗粒阻尼减振性能的试验研究[J]. 噪声与振动控制,2008,05(13):52 - 55
Hu Li, Huang Qibai, Ma Weici. Experimental research on the damping performance of particle dampers[J]. Noise and Vibration Control,2008,05(13):52 - 55(in Chinese)

(编　辑:张　嵘)