

过载状态下橡胶减振器动态性能分析

方兴, 毕京丹

(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: **目的** 研究飞行过载状态下的橡胶减振器动态性能。**方法** 通过对试验件施加不同大小力来模拟过载情况, 测量试验件减振前后的加速度响应。**结果** 对加速度响应进行分析, 发现橡胶减振器主减振方向上的减振效率随飞行过载增大而减小, 减振器的刚度反而增大。在正交于主减振方向上, 其减振器减振效率和刚度, 基本不随飞行过载环境而变化。**结论** 飞行过载影响橡胶减振器在过载方向上的动态性能, 因此在橡胶减振器选型时, 应考虑到飞行过载环境的影响。

关键词: 橡胶减振器; 过载; 动态性能

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.05.003

中图分类号: TJ01; V244 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2017)05-0012-04

Dynamic Performance of Rubber Buffer in Overload Flight

FANG Xing, BI Jing-dan

(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: Objective To study the dynamic performance of rubber buffer in overload flight. **Method** Different press was applied to test pieces to simulate overload and measure the acceleration response before and after vibration reduction of test pieces. **Results** The vibration reduction efficiency in the main vibration reduction direction of the rubber buffer decreased with the increase of the flight overload, while the stiffness of the damper increased instead. In orthogonal to the main vibration direction, the vibration reduction efficiency and stiffness don't change with the overload environment. **Conclusion** Flight overload influences the dynamic performance of the rubber butter in the overload direction; therefore, influences of the flight overload conditions should be considered in lectotype of rubber buffer.

KEY WORDS: rubber buffer; overload; dynamic performance

减振器是一类用途广泛的工程结构原件, 适用于各种工程结构的减振、隔振、抗冲击等领域, 如地面车辆的悬挂系统、舰船燃气轮机的浮筏结构、机床的基础安装等。其工作原理一般是选择合适的阻尼和刚度系数达到迅速衰减由外力扰动或突加载荷引起的系统振动, 以提高舒适性、降低噪声辐射、保证系统的工作精度和灵敏度不受损害等。目前橡胶减振器依然是一些设备隔振设计的首选类型。航天领域中, 惯组对于飞行器属于重要仪器设备, 对任务成败有着关键作用, 对其安装和使用环境有较

为苛刻的要求。因此, 为降低惯组飞行中受到的振动环境, 有些惯组将橡胶减振器安装在基座上, 其他一些直接安装于支架上的惯组, 则设有内置减振。橡胶材料的动态特性与材料配方、环境温度、预紧量等因素有关。地面试验中, 曾发现内置减振器随惯组加温时间的延长, 其减振频率发生变化。因此, 飞行器在飞行过程中, 惯组处的减振器特性会有何种细微变化, 需要进行地面试验研究。文中通过一个惯组环境试验, 研究了不同飞行过载情况下, 橡胶减振器的动态特性变化。

1 试验设计

文中研究的橡胶减振器结构如图 1 所示。

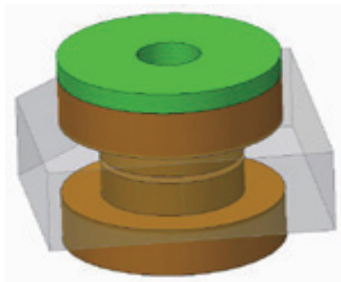


图 1 橡胶减振器结构示意图

研究飞行过载状态下减振器动态性能。试验在不同过载、且相同随机振动环境下，测量产品四个连接处减振前、后的振动响应，通过对响应的分析来研究橡胶减振器的动态特性。试验采用航天希尔 2130 型 30 吨振动台进行试验，振动试验原理如图 2 所示。

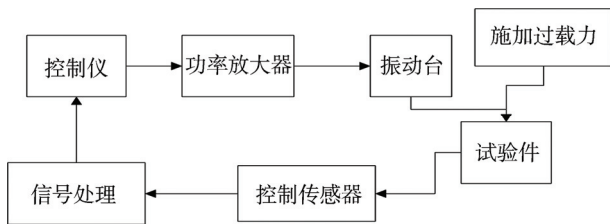


图 2 试验原理

试验中需要模拟空中过载飞行环境，那么就要想办法模拟过载加速度带来的效果。飞行中，在不同 g 值的环境下，对于惯组处的橡胶减振器感受到的主要是惯组带来的惯性力 ma ，该力的方向为飞行负方向。对于本试验的试验件，在过载环境下，橡胶减振器受到压力。试验中惯组安装于仪器舱舱的梁上，很难直接施加竖直向下的力，因此试验中设计一套系统将外部拉力转为减振器上的压力。试验中，在惯组上对应安装减振器位置设 4 个施力点，对两两一组施加外力来模拟过载时，惯组产生对减振器的压力，如图 3 所示。

图 3 中 x 轴为承力梁受力点的竖直中心线，此时力 F 作用点处 y 向合力为 0。外力 F 作用于一个滑轮上，分为两个力后，经钢丝绳作用在惯组本体外的承

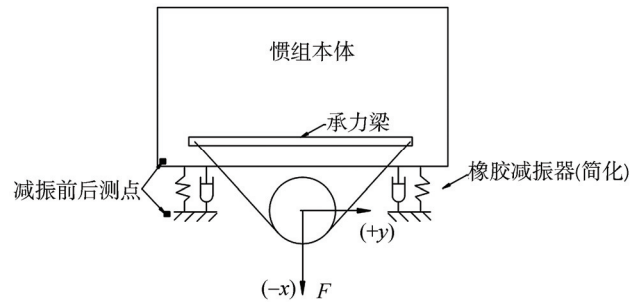


图 3 惯组处加力设计

力梁上。分力中的横向分量在承力梁上转化为梁的内力，不作用于惯组本体；竖直向分力通过惯组本体外壳作用于减振器上，来模拟过载环境下惯组本体施加在减振器上的力。

当系统中力 F 作用点在垂直于 x 轴方向上发生偏移扰动 δ ，钢丝绳与竖直方向夹角变化 $\delta\alpha$ ，则力 F 作用点处横向合力变化近似为 $-2F\delta\alpha$ 。在无阻力情况下，力 F 的作用点将回复到原点位置，保持 y 向合力为 0 的状态。进而可以保证，在试验过程中分解后作用于两个减振器上的 x 向模拟过载力基本相同。试验实施时，外部同时施加两个大小相同的力，最终转化为四个大小相同的力作用于减振器上。试验分析惯组本体上响应与其安装基础的响应。

由振动力学方程 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ 得出惯组及橡胶减振器系统的固有频率 $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2m\omega_0}\right)^2}$ ，其中

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，对应系统阻尼 $c=0$ 时的系统固有频率。由此可知，外部定常力 F 对系统的固有频率无影响。该研究的问题为过载对橡胶减振器的刚度、阻尼的影响。试验中对应四个减振器布置八个加速度测点，分别位于惯组安装基础和惯组本体上。试验进行两个方向：减振器主减振方向和一个与主减振方向正交的方向。

2 减振器动态性能分析

试验测量数据见表 1、表 2。减振效率为：1-减振后均方响应/减振前均方响应。

从表 1 中看到，随着过载 g 值的增大，减振器的减振效率都在减小，谐振响应频率由约 90 Hz 增大到

表 1 主减振方向试验数据

过载条件/ g	位置 1			位置 2			位置 3			位置 4		
	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	减振效率
0	90	0.237	0.456	85	0.050	0.443	85	0.050	0.577	85	0.021	0.599
5	95	0.306	0.382	90	0.061	0.407	90	0.061	0.548	90	0.022	0.516
10	115	0.309	0.192	105	0.082	0.367	105	0.083	0.479	95	0.023	0.440
20	120	0.195	0.029	115	0.169	0.0069	115	0.168	0.400	115	0.028	0.348

表2 正交于主减振方向试验数据

过载条件/g	位置 1			位置 2			位置 3			位置 4		
	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/(g ² ·Hz ⁻¹)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/(g ² ·Hz ⁻¹)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/(g ² ·Hz ⁻¹)	减振效率	减振后谐振响应频率/Hz	减振后谐振响应/(g ² ·Hz ⁻¹)	减振效率
0	60	0.069	0.229	55	0.070	0.255	55	0.067	0.252	55	0.068	0.270
5	65	0.076	0.257	65	0.077	0.319	65	0.073	0.314	65	0.074	0.314
10	65	0.073	0.220	65	0.074	0.287	65	0.070	0.277	65	0.071	0.271
20	65	0.071	0.211	65	0.072	0.231	65	0.067	0.221	65	0.069	0.274

120 Hz。其中位置 1, 2 处在 20 g 过载条件下几乎无减振效果, 另两个位置处的减振效率相比无过载也有大幅下降。减振器中阻尼的作用是使系统的能量消耗, 因此判断, 随着过载 g 值的增大(减振器受压力增大), 减振器主减振方向上的总体阻尼减小。

从表 2 中可以看到, 随着过载 g 值的增大。在 5g 过载环境下, 减振器减振效率略有增加, 谐振响应频率基本无变化。再增大过载环境, 其减振效率下降至约与无过载环境下相同。整体趋势上看, 减振器正交于主减振方向上的阻尼, 基本与过载(减振器受压)环境无关。

图 4、图 5 给出了减振前后振动量级的传递曲线。表 3 给出谐振频率下的阻尼比 ξ , 利用 $\xi=2Q$ 得到。

从图 4 中可以看了 40 Hz, 且放大倍数有所提升。

根据阻尼系统角频率公式 $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2m\omega_0}\right)^2} = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$ 可知, ω_d 增大。由表 3 可知, 随着过载的增大, 谐振处阻尼比 ξ 略有减小。对于本试验研究, 可简化为图 3 所示的质到, 随着过载 g 值的增大, 减振器的减振频率升高量-弹簧阻尼系统。试验研究中的主减振方向的谐振频率即为简化系统的一阶平

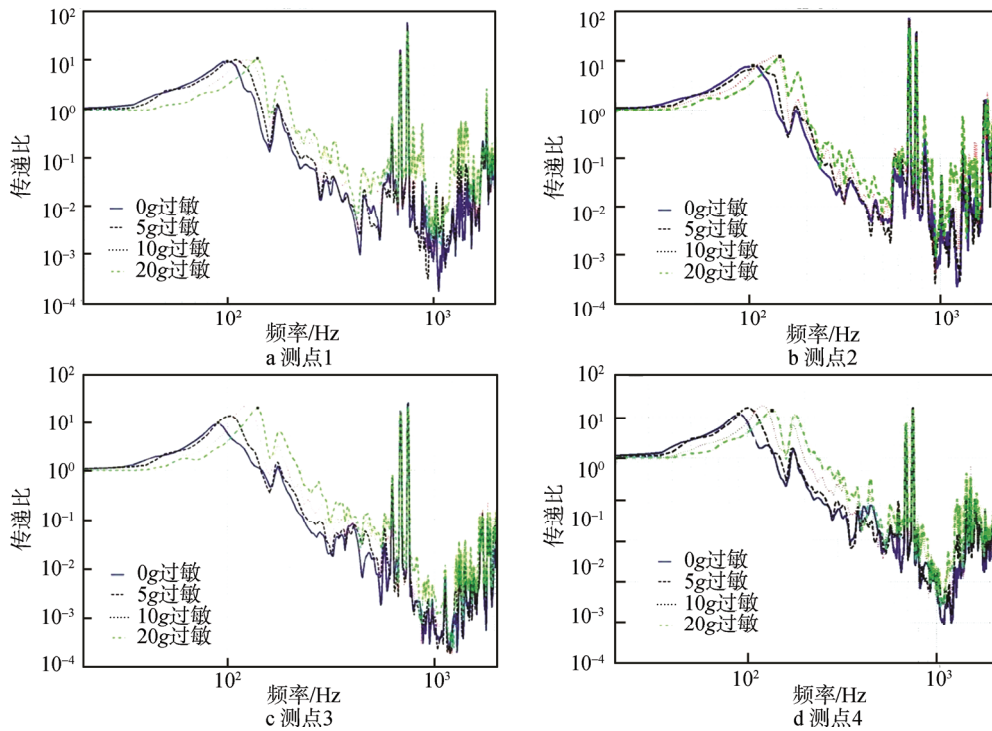


图4 主减振方向上减振后与减振前传递曲线

表3 主减振方向谐振频率处阻尼比

过载条件/g	位置 1		位置 2		位置 3		位置 4	
	谐振响应频率/Hz	阻尼比 ξ	谐振响应频率/Hz	阻尼比 ξ	谐振响应频率/Hz	阻尼比 ξ	谐振响应频率/Hz	阻尼比 ξ
0	100	0.211	105	0.244	90	0.214	90	0.169
5	110	0.192	110	0.247	105	0.152	100	0.120
10	125	0.194	135	0.152	120	0.096	120	0.106
20	140	0.182	145	0.161	140	0.104	135	0.139

动固有频率,因此试验中谐振频率对应的模态质量是基本不变的。

假设刚度 k 不变 (即 ω_0 不变),将 $20g$ 与无过载时的谐振频率带入公式做比,则存在下列关系

$(1.56\xi_1)^2 = 1.419 + \xi_2^2$ (以位置 3 为例,其中 ξ_1 对应无过载时阻尼, ξ_2 对应 $20g$ 过载时阻尼),显然等式不成立。由此可知,参数 ω_0 增大,使得主减振方向上刚度 k 增大。

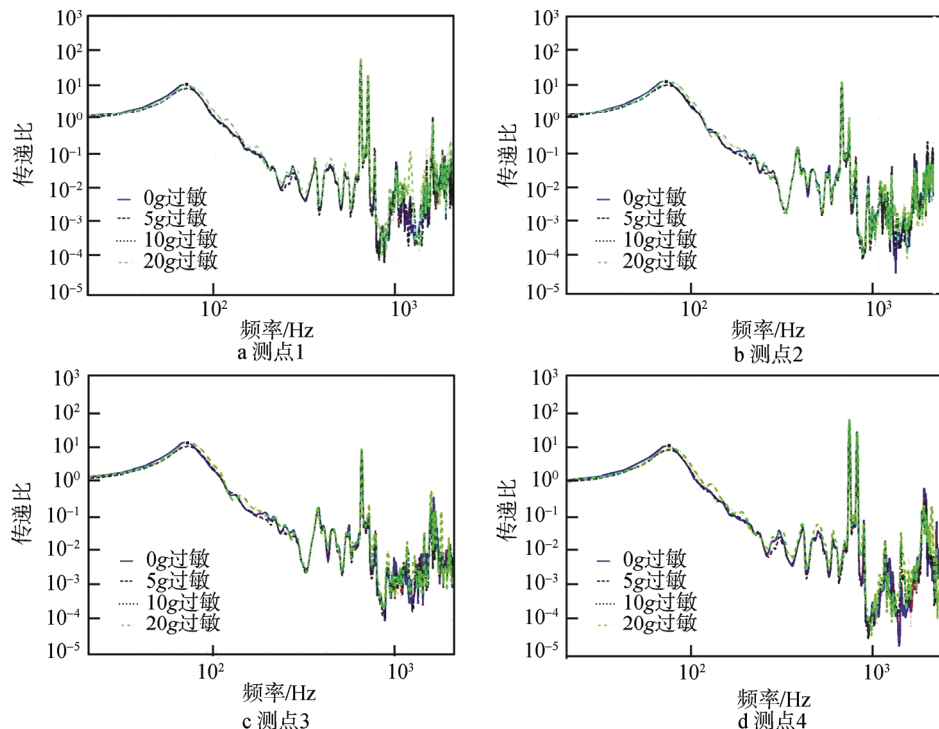


图 5 正交于主减振方向上减振后与减振前传递曲线

从图 5 中可以看到,随着过载 g 值的增大,传递曲线基本一致。由此可知,橡胶减振器在正交于主减振方向上的阻尼、刚度基本与过载环境无关。

3 结论

通过试验分析可知,在相同振动环境下,橡胶减振器主减振方向上的过载,使得主减振方向上的阻尼减小、刚度变大。在正交于主减振方向上,减振器的阻尼、刚度不受主减振方向上的过载影响。因此,在橡胶减振器选型时,应考虑到飞行过载环境的影响。该试验方法可以实现地面模拟飞行过载环境的考核,为后续过载状态下橡胶减振器性能研究以及研制选

型提供参考。

参考文献:

- [1] 韩德宝,宋希庚,薛冬新. 橡胶减振器非线性动态特性的试验研究[J]. 振动工程学报, 2008, 21 (1): 102—106.
- [2] 宋汉文,王文亮,傅志方. 橡胶减振器非线性动力参数识别[J]. 复旦学报(自然科学版), 1998, 37(5): 607—612.
- [3] 李雄魁,徐珊珊,闫路,等. 运载火箭惯组基座设计与优化[J]. 强度与环境, 第 42 卷第 1 期: 46—53.
- [4] 宓宝江,高建军. 基于 Creo Simulate 的橡胶减震器超弹性材料分析[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2013(4): 56—61.
- [5] 诸德超,邢誉峰. 工程振动基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 8—57.

勘误说明

由于作者供稿时的失误,2017 年第 1 期期刊上出现了一处错误,现更正如下。

第 87 页作者署名中

原描述: 刘杨

更正为: 刘扬