

文章编号:1000-6893(2004)02-0140-03

航空发动机用金属橡胶隔振器动静态性能的研究

姜洪源¹, 董春芳², 敖宏瑞¹, 夏宇宏¹, A. M. Ulanov³

(1. 哈尔滨工业大学 机械设计系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

(2. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040)

(3. 萨马拉国立航空航天大学 飞行器发动机系, 萨马拉 443086, 俄罗斯)

Research on Dynamic and Static Characteristics of Metal Rubber Isolator Used in Aero-Engine

J IANG Hong-yuan¹, DONG Chun-fang², AO Hong-rui¹, XIA Yu-hong¹, A. M. Ulanov³

(1. Department of Machine Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

(2. North-East Forestry University, Harbin 150040, China)

(3. Department of Aircraft Engine, Samara State University, Samara 443086, Russia)

摘要:以某型号航空发动机阻尼减振需求为背景,对开发研制的金属橡胶隔振器与现用的橡胶隔振器进行了动、静态实验研究。研究表明:金属橡胶隔振器的能量耗散性能、静态承载能力、过临界的能力及提供振动防护的区域都远远大于橡胶隔振器,而且通过改变金属橡胶隔振器的结构参数和预压缩量可以优化其隔振效果。研究结果为利用金属橡胶隔振器来改善航空发动机的振动状况提供了依据。

关键词:金属橡胶;橡胶;隔振器;实验研究

中图分类号:V231.92 **文献标识码:**A

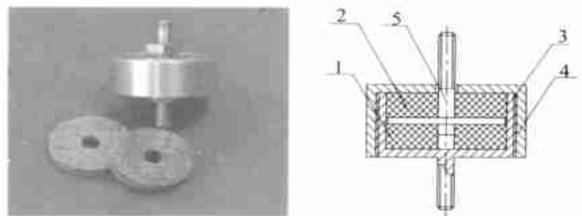
Abstract: To satisfy the need of reducing vibration of aero-engine, Metal Rubber (MR) isolator is designed and compared with rubber isolator experimentally. It is shown from the results that the performance of dissipating energy, load capacity, passing resonance and the range of vibration protection of MR isolator are much more excellent than those of rubber isolator. The isolating effects of MR isolator can be optimized by changing structural parameters and pre-compressing value of the elastic elements. The results of research offer evidences for MR isolator being applied to improve the vibration condition of aero-engine.

Key words: metal rubber; rubber; isolator; experimental research

某型号直升机发动机采用的隔振器是利用橡胶作为阻尼材料,通过螺栓实现发动机与飞机机体的联接,螺栓与橡胶固连。由于橡胶工作温度范围窄、耐高低温性能差,其使用寿命和承载能力难以保证发动机的工作需要。本文作者开发研制了一种金属橡胶隔振器。该隔振器中采用金属橡胶构件作为阻尼元件,克服了橡胶隔振器所存在的不足。关于金属橡胶的制备工艺详见文献[1]。结合某型号直升机发动机用隔振器的需求,本文进行了橡胶隔振器与金属橡胶隔振器的动静态特性实验研究。获得了金属橡胶隔振器的主要性能特点及与橡胶隔振器主要区别,为金属橡胶隔振器的实际应用提供了依据。

1 金属橡胶隔振器的结构设计

金属橡胶隔振器的结构见图1,其中2个金属橡胶弹性元件以一定的压缩量分别安装在中间支撑盘的两侧,当隔振器受轴向拉伸、压缩及剪切



1,2 - 金属橡胶弹性元件;3,4 - 壳体;5 - 中间支撑盘

图1 金属橡胶隔振器结构图

Fig. 1 Structure of MR isolator

载荷时能保证至少有一个弹性元件处于工作状态。隔振器的中间支撑盘及外壳体都采用了航空用硬质铝合金材料以减轻隔振器的质量。铝合金材料还可以将振动产生的热量迅速传递到周围介质中去。杯状外壳体可有效地防止振动过程中由于金属丝之间的磨损而产生的金属碎屑污染工作环境,以及对其它设备正常工作的影响。该隔振器也可用于航空环境下其他设备的阻尼隔振。

2 静态对比实验研究

研究中,分别对隔振器进行轴向静态受载和

径向静态受载实验。研究表明,与橡胶隔振器相比,金属橡胶隔振器滞迟回线的非线性更强,因此为了使金属橡胶隔振器与橡胶隔振器具有可比性,应先确定金属橡胶隔振器的工作范围,使两者工作范围极限点上的滞迟回线较为接近。这可以通过改变金属橡胶材料的相对密度 $\bar{\rho}$ 、丝线直径 d_w 、以及弹性元件的预压缩量 Q 来实现。在实际工况中,隔振器的工作范围应在0.7倍的最大变形幅值 A_{\max} 内为最佳,即:工作范围内的最大幅值为 $A = 0.7 A_{\max}$ 。对所研究的橡胶隔振器和金属橡胶隔振器的振动幅值取为1mm,在这个工作幅值内与橡胶隔振器轴向受载滞迟回线最为接近的金属橡胶隔振器的结构参数为: $\bar{\rho} = 0.18$, $d_w = 0.1 \text{ mm}$, 预压缩量 $Q = 1.7 \text{ mm}$ 。这两个隔振器的静载实验结果见图2和图3。

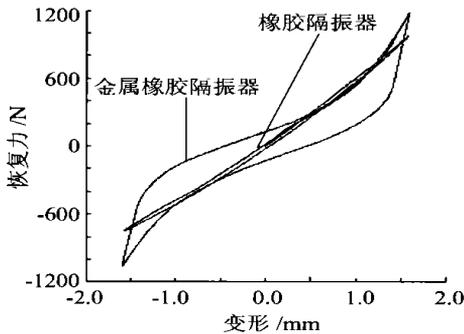


图2 轴向静载实验曲线

Fig. 2 Static loading experimental results in axial direction

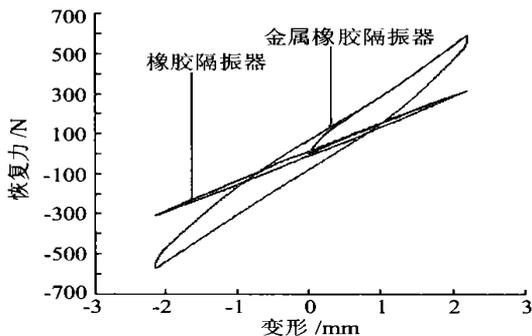


图3 径向静载实验曲线

Fig. 3 Static loading experimental results in radial direction

可以看到,橡胶隔振器的滞迟回线近似于线性且回线非常窄。由于元件的能量耗散性能由能量耗散系数 W 表示,而 W 可通过下式计算^[1]

$$W = \frac{W}{W} \quad (1)$$

$$W = \frac{1}{2} F_{\max} X_{\max} \quad (2)$$

式中: W 为滞迟回线包围的面积; W 为最大变形势能; F_{\max} 为恢复力最大值(N); X_{\max} 为恢复力

最大时的变形值(mm)。

由此可以得出这样的结论:受载相同时,金属橡胶隔振器的能量耗散性能比橡胶隔振器要好得多。同时,金属橡胶隔振器的轴向和径向阻尼性能的差别比橡胶隔振器要小得多。在变形值为1mm时,金属橡胶隔振器轴向和径向的平均刚度之比为3.5,而橡胶隔振器轴向和径向的平均刚度之比为9.8。同时,还可以看出,在相同载荷作用下,橡胶隔振器的变形比金属橡胶隔振器的要大。由于橡胶隔振器的轴向和径向平均刚度之比比金属橡胶隔振器的轴向和径向平均刚度之比大很多,当系统受到来自不同方向振动干扰时,橡胶隔振器径向振动的共振频率远小于其轴向振动的共振频率,因此其共振区间要大大增加,而金属橡胶隔振器由于其轴向振动和径向振动的共振频率的差别不大,其共振区间很小。

可以看出,金属橡胶隔振器径向受载滞迟回线的变化近似于线性。这从金属橡胶材料的内部结构得到解释:材料内部金属丝间形成了点接触,接触点间的金属丝可视为一段梁,金属橡胶构件的刚度与梁的跨度成反比;当外界载荷与其成型压力方向相同时,金属橡胶元件体积减小,其内部接触点数量迅速增加,刚度急剧增大;当金属橡胶材料的受载方向与其成型压力方向垂直时,金属橡胶元件的体积几乎不发生变化,其内部接触点的数目发生线性变化,接触点间的距离近似不变,所以其滞迟回线近似线性变化。

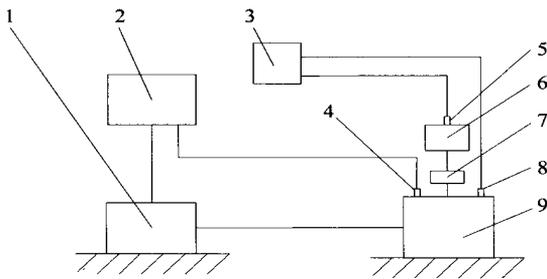
3 动态对比实验研究

(1) 实验原理及装置 隔振器的动态实验是在VS-300-2电动振动实验系统上完成的,实验原理如图4所示。电动振动实验系统主要由振动控制仪、功率放大器、振动发生机、电荷放大器及传感器等组成。实验中,振动台面上的加速度传感器4拾取振动台面信号并反馈到振动控制仪。加速度传感器5和8分别拾取经过隔振器后输出到被隔振物体上的加速度信号和输入到振动台的加速度信号。

(2) 对比实验结果与分析 隔振器的轴向和径向静载和动态实验结果见图5~图7。系统的传递率与能量耗散系数的关系可用下式表示^[2]

$$\frac{2}{\quad} \quad (3)$$

因此,金属橡胶隔振器在共振点处的传递率要比橡胶隔振器在共振点处的传递率小得多。从



1—功率放大器;2—振动控制器;3—电荷放大器;4,5,8—加速度传感器;6—被隔振物体;7—隔振器;9—振动台

图4 动态实验原理图

Fig. 4 Scheme of dynamic experiment

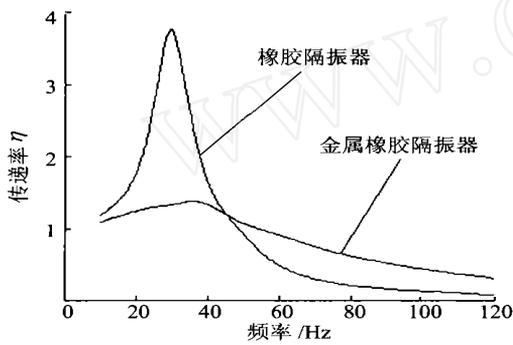


图5 轴向动态实验曲线

Fig. 5 Transmissibility of MR isolator in axial direction

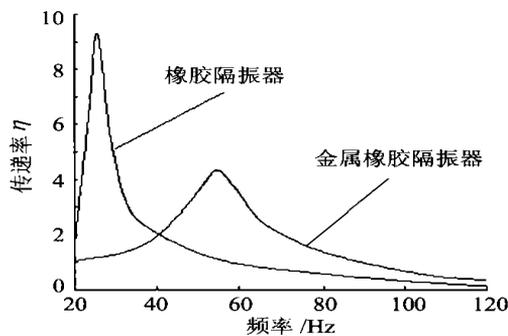


图6 径向动态实验曲线

Fig. 6 Transmissibility of MR isolator in radial direction

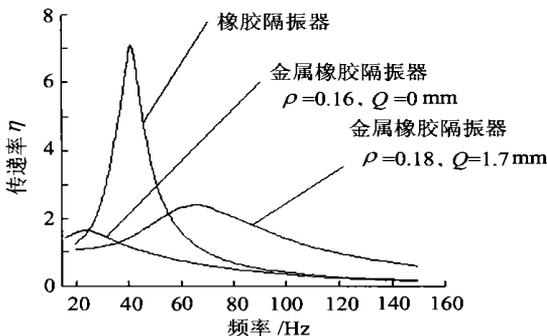


图7 不同相对密度下的金属橡胶隔振器与橡胶隔振器的对比实验曲线

Fig. 7 Comparison of transmissibilities of rubber isolator and MR isolator with different relative densities

图5中可以看到在共振频率处橡胶隔振器与金属橡胶隔振器的传递率之比约为3:1;从图6可以看出,在共振频率处橡胶隔振器与金属橡胶隔振器的传递率之比约为2:1。也就是说,在过共振区时金属橡胶隔振器为设备提供了很好的防护。在振动防护区(<1)内,金属橡胶隔振器传递率比橡胶隔振器大,且金属橡胶隔振系统的固有频率比橡胶隔振系统的固有频率大。然而对于一个优良的隔振系统的基本要求是:系统的固有频率要低,共振时传递率要小,越过共振区后传递率曲线应迅速下降^[3]。要改变这种情况,使金属橡胶隔振器的共振频率比橡胶隔振器的共振频率低,可通过减小金属橡胶元件的相对密度、丝线直径及预压缩量来实现。图7所示为减小金属橡胶弹性元件的相对密度及预压缩量 Q 后轴向动态实验曲线的比较。可以看出,改变金属橡胶弹性元件的结构参数可以实现隔振系统的基本要求。

需要指出的是,共振时橡胶隔振器的传递率和振动幅值都比较大,橡胶隔振器的支撑杆曾发生折断,而金属橡胶隔振器却未发生类似情况。

4 结论

(1) 金属橡胶隔振器的承载能力、耗散振动能量的能力、过临界能力、性能稳定性及提供振动防护的区域均优于橡胶隔振器。

(2) 通过改变金属橡胶隔振器的结构参数及预压缩量可以实现对其隔振性能的调整,使其满足各种不同工况的要求。利用金属橡胶隔振器代替现用橡胶隔振器将有助于航空发动机工作环境的改善。

参 考 文 献

- [1] [M]. 1994. 1 - 156.
- [2] [M]. 1967, 204 .
- [3] 严济宽. 机械振动隔离技术[M]. 上海:上海科学出版社, 1986. 282 - 289. (Yan J K. Isolation techniques of mechanical vibration[M]. Shanghai :Shanghai Science Press , 1986. 282 - 289.)

作者简介:



姜洪源(1960 -) 男,黑龙江人,哈尔滨工业大学教授,硕士,主要从事新型同步带传动、机械传动与控制 and 金属橡胶技术的研究,联系电话:0451-86418028;网址: http://mr.hit.edu.cn.

(责任编辑:李铁柏)