

# 预压量对橡胶减振器减振效果的影响分析

杨杰<sup>1,2</sup>, 李宛骏<sup>1</sup>, 张祥<sup>1</sup>, 汪玲<sup>1</sup>, 张红<sup>1</sup>

(1. 合肥同智机电控制技术有限公司, 安徽 合肥 230088;

2. 安徽大学物理学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 本文以橡胶的硬度和预压量作为变量, 共设计八种减振器, 分别安装于箱体上进行振动试验, 对比不同减振器的减振效果。试验结果显示, 当预压量为 0.5 mm 时, 减振器在水平纵向和垂直方向振动下的减振效果均优于其他预压量, 但在振动过程中由于安装间隙会发生额外的摩擦, 其中硬度为 43 的橡胶上更容易产生明显的裂痕, 降低了橡胶的使用寿命。当预压量增加到 2.5 mm 或 2.0 mm 时, 橡胶上的裂痕较浅, 使用寿命更长。综上所述, 橡胶减振器的使用过程应适当增加预压量, 减振效果的降低并不明显且减振器的使用寿命将提高。

**关键词:** 橡胶减振器; 随机振动; 实验研究; 预压量

**中图分类号:** TQ336.42

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)03-0049-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.03.011

## 0 引言

物体或结构系统在其平衡位置附近的往复运动, 是普遍存在的一种运动形式。过于剧烈的振动往往带来危害, 比如地震波引起的房屋振动<sup>[1]</sup>, 发动机振动产生的噪音, 还有一些设备振动导致的结构失效等, 强烈的振动对生产活动、科学研究和日常生活都有严重的危害<sup>[2]</sup>。如果把振动中产生激振力的物体叫做振源体, 需要降低其振动强度的物体就称为减振体, 相应的减振措施则归纳为三类: 抑制振源强度, 隔振和消振<sup>[3]</sup>。其中, 降低路面的不平衡度以减轻车轮受到的激励, 在振源和减振体之间安装减振器, 发动机舱上黏贴高阻尼黏弹性材料分别是三种减振措施的典型例子。显然, 抑制振源强度从理论上是解决减振问题的最佳方法, 如果振源强度无法改变, 则需要通过隔振措施进行减振。机电产品大部分都通过隔振措施进行减振, 即加装不同类型的减振器<sup>[4-7]</sup>。

减振器作为一种工业产品, 广泛应用在社会生产、生活的活动中, 以降低振动带来的损坏或不舒适, 如汽车上的减振器, 大型风机减振器等。对于轻量级的产品, 市面上的大部分减振器产品承重量较大, 无法为轻量级产品提供良好的减振效果, 而承重适合的减振器多用于精密设备或航天设备等, 成本较高。对于这

种情况, 需要设计与开发新的减振器。并进行试验验证。

橡胶减振器是最常见的减振器, 通常包含金属, 由橡胶与金属在制造过程黏贴而成。橡胶减振器基于橡胶的弹性和阻尼实现减振功能, 其中的金属部件主要提供限位和安装固定螺栓之用<sup>[8]</sup>, 如图 1 所示是常用的橡胶减振器。这类减振器的性能主要取决于胶料的特性和添加剂等。橡胶减振器的减振性能主要表现为动刚度, 由于其弹性段为非线性, 不同的压缩量对其动刚度存在显著的影响<sup>[9]</sup>。本文通过试验考察预压缩量对减振器的减振效果的影响。

## 1 材料和结构

本文选用邵氏硬度分别 43 和 51 的天然橡胶, 通过模具制造如图 2 所示的橡胶块。使用两块该橡胶配合加工的钢套和垫片, 得到如图 3 所示的组合式橡胶减振器。通过改变钢套的高度, 控制减振器组合后橡胶的预压量, 即当钢套尺寸小于橡胶的原始高度时, 减振器安装后橡胶即会被压缩<sup>[10]</sup>。根据橡胶的硬度,

作者简介: 杨杰 (1988-), 男, 博士, 工程师, 主要从事机电产品的振动分析与减振设计工作。

收稿日期: 2023-08-22



图1 常用橡胶减振器示意图

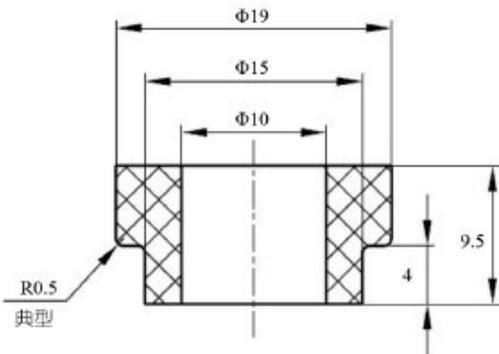


图2 减振器橡胶示意图

取预压量分别为 0.5 mm、1.0 mm、1.5 mm、2.0 mm 和 2.5 mm，同样作为试验的变量，具体如表 1 所示。

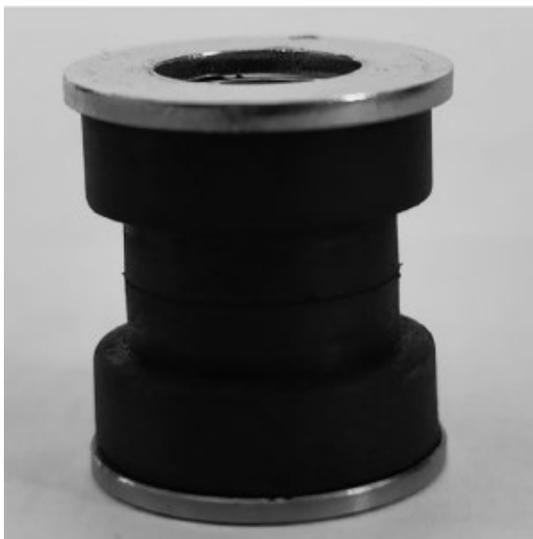


图3 减振器组合示意图

编号	硬度 /HS	预压量 /mm
1	43	0.5
2	43	1.5
3	43	2
4	43	2.5
5	51	0.5
6	51	1
7	51	1.5
8	51	2

振动试验的设备是振动台，试样的安装情况如图 4 所示，试验过程中在试验箱体上端黏贴加速度传感器，结合振动台上的加速度传感器，记录试验过程箱体的输入振动和输出振动的量级，评价减振器的减振效果。

振动输入量级遵循 GJB 150.16A-2009 中的 C.3 图谱，如图 5 所示，对水平横向（箱体短边方向）、水平纵向（箱体长边方向）和垂直方向分别进行振动加载，每个轴向振动时间为 30 min。同样的，试验结果以振动的加速度谱密度作为评价振动量级大小的指标，对试验结果进行评价。

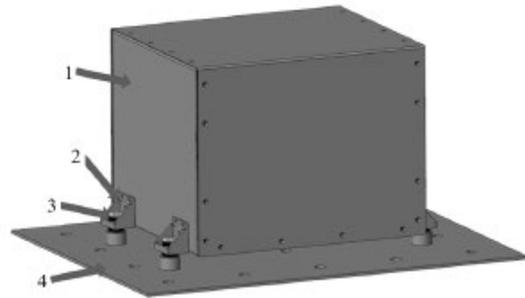


图4 减振器试验安装情况示意图

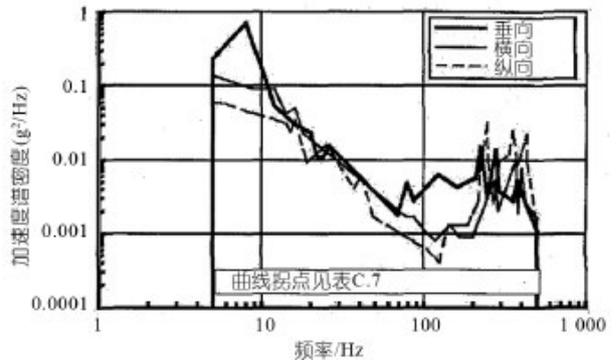


图5 振动试验条件 GJB 150.16A-2009 C.3 图谱示意图

## 2 预压量对减振效果的影响

通过对同一硬度橡胶的减振器在不同预压量下的振动加速度谱密度进行对比，比较减振效果的差异。其中，代表谱密度的坐标轴为对数形式，因此，谱密

度较大的频率范围在考虑减振效果时的比重更大。

如图 6~ 图 8 所示, 是硬度 43 的橡胶对应的减振器 (编号 1~4) 在预压量分别为 0.5 mm、1.5 mm、2.0 mm、2.5 mm 时的振动传递情况。由结果可知, 减振器对于低频段 (水平横向振动下低于约 200 Hz, 水平纵向和垂直方向振动下低于约 100 Hz) 的减振效果较差, 几乎是放大了振动, 而高频段的减振效果明显。在水平横向振动中, 预压量为 1.5 mm 时的减振效果最好, 随着预压量的增加, 振动量级先变小后变大, 预压量为 0.5 mm 时的减振效果最差; 在水平纵向振动中, 当预压量为 0.5 mm 时, 减振效果最好, 随着预压量的增加, 振动量级先变大后变小, 预压量为 1.5 mm 时的减振效果最差; 在垂直方向振动中, 当预压量为 0.5 mm 时, 减振效果最好, 随着预压量的增加, 振动量级先变大后变小, 预压量为 1.5 mm 时的减振效果最差。

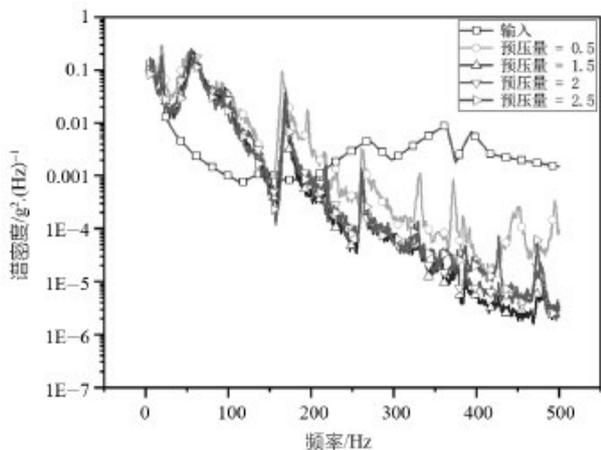


图 6 水平横向振动中, 硬度 43 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

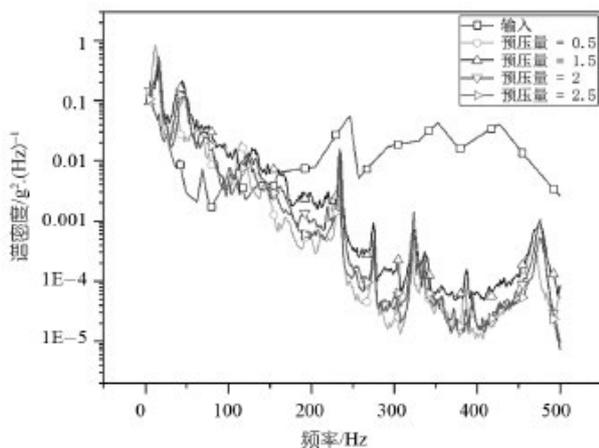


图 7 水平纵向振动中, 硬度 43 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

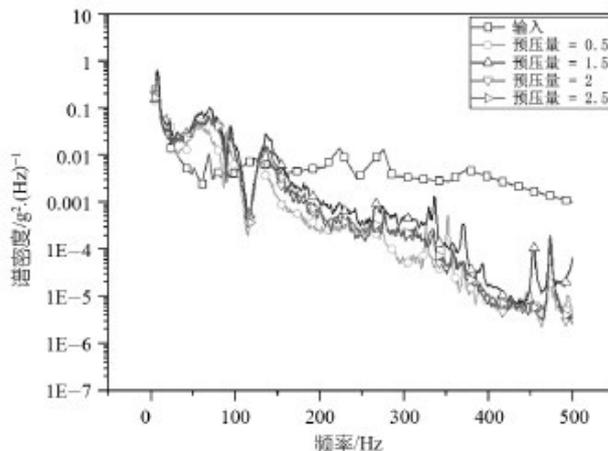


图 8 垂直方向振动中, 硬度 43 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

如图 9~ 图 11 所示, 考察硬度 51 的橡胶对应的减振器 (编号 5~8) 在预压量分别为 0.5 mm、1.0 mm、1.5 mm、2.0 mm 时的振动传递情况。由结果可知, 减振器对于低频段 (水平横向振动下低于约 200 Hz, 水平纵向和垂直方向振动下低于约 150 Hz) 的减振效果较差, 几乎是放大了振动, 而高频段的减振效果明显。在水平横向振动中, 随着预压量的增加, 振动量级先变小后变大, 预压量为 1.0 mm 时的减振效果最好, 预压量为 0.5 mm 时的减振效果最差; 在水平纵向振动中, 随着预压量的增加, 减振效果没有明显的规律, 当预压量为 1.5 mm 和 2.0 mm 时, 减振效果几乎相同, 预压量为 0.5 mm 时在频率低于 300 Hz 时的减振效果是最好的; 在垂直方向振动中, 随着预压量的增加, 振动量级先变大后变小, 当预压量为 0.5 mm 时, 减振效果明显好于其他预压量情形。

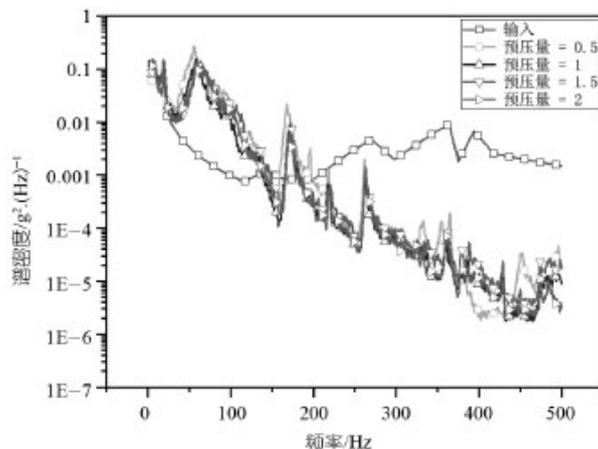


图 9 水平横向振动中, 硬度 51 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

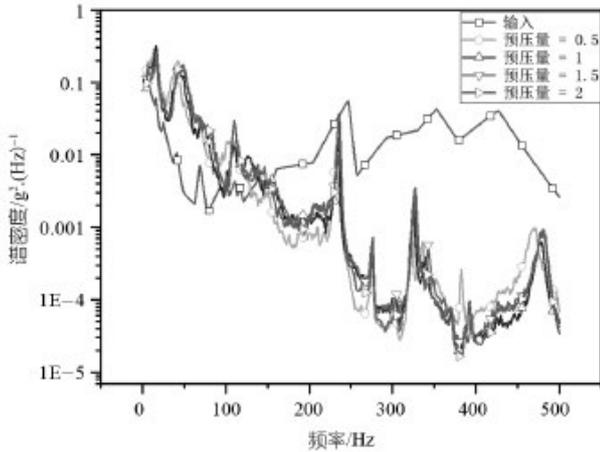


图 10 水平纵向振动中, 硬度 51 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

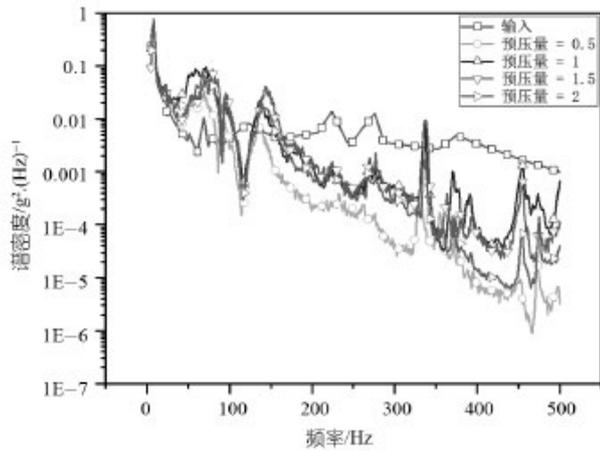


图 11 垂直方向振动中, 硬度 51 橡胶在不同预压量下的减振器减振效果对比示意图

综合以上结果, 当预压量为 0.5 mm 时, 减振器的减振效果在水平纵向和垂直方向的振动中均最好, 在水平横向的振动中反而最差。其原因是减振器安装在箱体上时, 箱体自重引起的橡胶压缩量大于 0.5 mm, 此时安装支角和减振器之间存在间隙, 当水平横向振动时, 更容易时箱体发生倾斜, 相同时间内更大的水平振动幅度引起了更大的加速度。垂直方向振动时, 安装支角和减振器之间的间隙会引起额外的摩擦, 也会降低振动的幅值。这个过程可能对橡胶的使用寿命造成不良影响。

### 3 预压量对减振器寿命的影响

基于前一节的结果, 考虑到预压量为最大的 2.0 mm 或 2.5 mm 时, 减振效果不存在最差的情况, 因此选择水平纵向和垂直方向的振动中减振效果均最好 0.5 mm

预压量和最大预压量的试验结果分别进行对比, 观察橡胶材料的完好情况。需要注意的是, 同一个试验通常先进行垂直方向的振动试验, 再进行水平方向的振动试验, 垂直方向振动和水平方向振动时, 橡胶的受力方向有所不同。

硬度 43 橡胶对应的减振器在预压量 0.5 mm 和 2.5 mm 时, 振动试验结束后的橡胶试样图如图 12 所示, 可看出, 预压量 0.5 mm 组的橡胶存在裂痕在深度和长度上明显大于预压量 2.5 mm 组的橡胶上的裂痕。

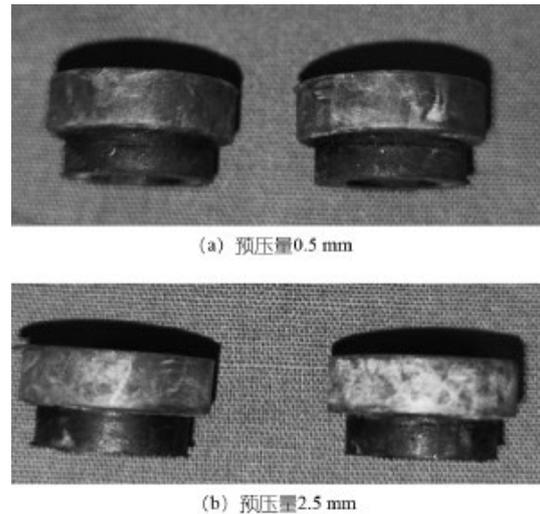


图 12 硬度 43 橡胶预压量不同时, 振动后的材料损伤情况

硬度 51 橡胶对应的减振器在预压量 0.5 mm 和 2.0 mm 时, 振动试验结束后的橡胶试样图如图 13 所示, 可看出, 两种预压量下, 橡胶表面均存在较浅的裂痕, 且裂痕均。

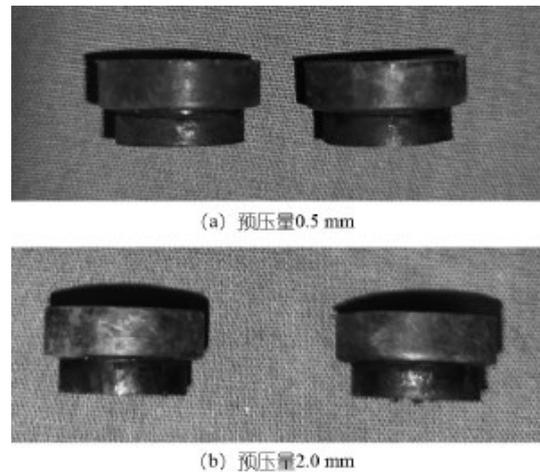


图 13 硬度 51 橡胶预压量不同时, 振动后的材料损伤情况

### 4 结论

橡胶具有良好的弹性和适宜的阻尼, 常常被用在

减振器上。本文分别采用了两种硬度的橡胶、四种不同的预压量,共设计八种减振器,并分别安装与试验箱体上进行振动试验,通过箱体上的加速度传感器计算振动过程中的振动谱密度曲线,对比不同减振器的减振效果。试验结果显示,橡胶减振器由于自身的频率,对于低频的振动的减振效果较差,甚至放大了振动,对高频振动具有良好的减振效果。当预压量为 0.5 mm 时,两种硬度橡胶对应的减振器在水平纵向和垂直方向振动下的减振效果均优于其他预压量,但此时减振器在安装后与安装支脚之间存在间隙,在振动过程中会发生额外的摩擦,其中硬度为 43 的橡胶上更容易产生明显的裂痕,降低了橡胶的使用寿命。当预压量增加到 2.5 mm (橡胶硬度 43) 或 2.0 mm (橡胶硬度 51) 时,橡胶上的裂痕较浅,其使用寿命更长。

综上所述,橡胶减振器的使用过程应适当增加预压量,减振效果的降低并不明显且减振器的使用寿命将提高,本例中的设计可以根据硬度选择预压量为 2.0 mm 或 2.5 mm。

#### 参考文献:

- [1] 郑颖人,叶海林,黄润秋.地震边坡破坏机制及其破裂面的分析探讨[J].岩石力学与工程学报,2009(8):10. DOI:10.3321/j.issn:1000-6915.2009.08.024.
- [2] 王虎.建筑结构的隔震,减振和振动控制[J].2023,07.
- [3] 丁文镜.减振理论.第2版[M].清华大学出版社,2014.
- [4] 于治会.机电产品在车载运输过程中的振动情况[J].电子产品可靠性与环境试验,2000(6):38-41. DOI:10.3969/j.issn.1008-5300.2000.06.010.
- [5] 陈国军.机器设备基础的振动控制分析[J].安装,1997(6):2. DOI:CNKI:SUN:ANZH.0.1997-06-001.
- [6] 付密果,刘源,崔敏亮,等.空间飞行器用金属橡胶减振器[J].光学精密工程,2013,21(5).DOI:10.3788/OPE.20132105.1174.
- [7] 秦朝红,陆宏伟,等.金属减振器减振技术在复杂系统中的应用[C]//第十六届全国模态分析与试验学术会议论文集.中国振动工程学会,2016. DOI: ConferenceArticle/5af277adc095d716587fa6c2.
- [8] 孙延奎.橡胶减振器的设计与优化[D].青岛科技大学,2016. DOI:10.7666/d.D845794.
- [9] [1]刘辉,胡晓东,胡煦.某橡胶减振器动态振动特性试验研究[J].特种橡胶制品,2020,41(6):5.
- [10] 邹广平,刘泽,程贺章.等.预紧量与振动量级对金属橡胶减振器振动特性影响研究[J].振动与冲击,2015,34(22):6. DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2015.22.030.

## Influence of preloading on the vibration reduction effect of rubber shock absorbers

Yang Jie<sup>1,2</sup>, Li Wanjun<sup>1</sup>, Zhang Xiang<sup>1</sup>, Wang Ling<sup>1</sup>, Zhang Hong<sup>1</sup>

(1.Hefei Tongzhi Electromechanical Control Technology Co. LTD., Hefei 230088, Anhui,China;

2.School of Physics, Anhui University, Hefei 230601, Anhui, China)

**Abstract:** This article takes the hardness and preloading of rubber as variables and designs eight types of shock absorbers, which are installed on the box for vibration tests to compare the vibration reduction effects of different shock absorbers. The experimental results show that when the preloading amount is 0.5 mm, the vibration reduction effect of the damper under horizontal, longitudinal, and vertical vibration is better than other preloading amounts; However, during the vibration process, additional friction occurs due to installation gaps, making it easier to produce obvious cracks on rubber with a hardness of 43, which reduces the service life of the rubber. When the preloading amount increases to 2.5 mm or 2.0 mm, the cracks on the rubber are shallower and the service life is longer. In summary, the use of rubber shock absorbers should appropriately increase the preloading amount. At this time, the reduction in vibration reduction effect is not significant and the service life of the shock absorber will be improved.

**Key words:** rubber shock absorber; random vibration; experimental research; preloading amount

(R-03)

