

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.02.004

弹性支撑颗粒碰撞阻尼的设计与实验研究

杨淮南, 麦云飞

(上海理工大学机械工程学院, 上海 200093)

摘要:为了改善传统碰撞阻尼器对低频机械振动的减振性能,设计了一款新型的弹性支撑碰撞阻尼器。在阻尼器上加上了弹簧作为弹性支撑,使得阻尼器与主系统之间产生充分的能量交换,可以进一步提高减振效果。通过设计对比实验验证了阻尼器的减振性能,分析了弹簧刚度对减振特性的影响。实验证明弹簧的使用使阻尼器的减振性能得到提高,而且对低频振动的减振效果远比其它类型的阻尼器好。弹簧刚度对阻尼器性能具有一定的影响,弹簧刚度存在最佳值。

关键词:机械振动;振动控制;弹性支撑;对比实验;颗粒碰撞阻尼

中图分类号:O328 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)02-0016-04

Design and Experimental Study of Particle Impact Damper with Elastic Support

YANG Huainan, MAI Yunfei

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to improve the vibration reduction performance of the traditional impact damper on the low frequency mechanical vibration, a new type of elastic support impact damper was designed. Springs were added on the damper as elastic support, and the energy exchange between the damper and the main system could be produced more fiercely, which could further improve the effect of vibration reduction. The damping performance of the damper could be verified, and the influence of the spring stiffness on the vibration characteristics could be analyzed, by comparing the experimental results of the designed contrast experiments. The experimental results show that the vibration performance of the damper is improved by using the springs, and the vibration on the low frequency vibration is better than other types of dampers. The spring stiffness has a certain effect on the performance of the damper, and the spring stiffness has the best value.

Keywords: mechanical vibration; vibration control; elastic support; contrast experiment; particle impact damping (PID)

机械振动^[1]是指物体系统在平衡位置附近来回往复运动。阻尼技术的主要目的就是减振降噪,安装在结构系统上的这种用来减振的装置被称为阻尼器。几十年来,阻尼技术不断更新,而碰撞阻尼减振器不仅结构简单、体积小、附加质量小、减振效果优良,而且成本较低,适合在恶劣环境下使用。碰撞阻尼技术种类繁多,主要包括单体碰撞阻尼技术^[2]、多体碰撞阻尼技术^[3]、柔性颗粒阻尼技术^[4-5](简称BBD),还有近年来提出的颗粒碰撞阻尼技术^[6-8]、非阻塞性颗粒碰撞阻尼^[9]和带颗粒减振剂的碰撞阻尼^[10]等。塑性颗粒的应用取得了很好的减振效果,由于塑性变形的不可逆

性,对能量的消耗大大增加,提高了阻尼器的减振性能。

传统的碰撞阻尼的原理为动量交换、摩擦耗能等,但是动量交换并不能将振动能量永久地消耗掉,摩擦对于高频振动具有良好的减振性能,但是对于低频振动减振效果并不明显。而其中减振效果最好的颗粒碰撞阻尼仅对低于50 Hz的振动有良好的减振效果,而且单颗粒碰撞阻尼器会形成最大碰撞力,引发高峰加速度、高噪和材料接触表面的磨损,还有一部分能量并没有真正的消耗掉,转化成了另一种频段的振动。

为了解决这个问题,设计了一款弹性支撑颗粒碰

收稿日期:2016-09-12;修回日期:2016-10-25

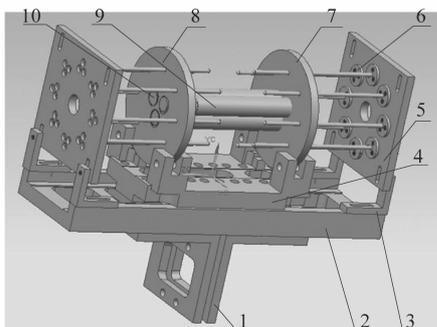
第一作者简介:杨淮南(1990),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要研究方向为机电液一体化。通信作者:麦云飞(1962),男,上海人。工学硕士,副教授,硕士生导师。E-mail:m2005sh@163.com

撞阻尼器,主要包括3部分:塑性碰撞阻尼、弹簧、导轨以及外壳固定部分。弹性支撑碰撞阻尼器是基于塑性碰撞阻尼,附加了弹簧结构,使其具有更宽的吸振频带。弹性支撑颗粒碰撞阻尼器为两级结构,增加的弹簧构件,形成外层减振系统,弹簧具有较大的恢复系数、缓和冲击、吸收振动、控制机构的运动及存储能量等优点,使得阻尼器与主系统之间产生充分的能量交换。弹簧的动力放大作用^[11],使得腔体内塑性撞击更猛烈,更大程度上消耗能量,进一步提高减振效果;内腔的塑性碰撞阻尼器具有较小的恢复系数,在最大程度的吸收弹簧的能量,提高颗粒间的碰撞概率,极大地增加颗粒的破裂及摩擦,充分消耗系统的动能,使其不再返回主系统,从而实现更好的减振效果。

1 弹性支撑碰撞阻尼器的结构设计

1.1 弹性支撑碰撞阻尼器的整体结构

弹性支撑颗粒碰撞阻尼器结构如图1所示。阻尼器由支架1固定在弹性梁上面,通过激振器作为振动源进行实验。底座2与滑动块4由轨道连接,滑动块可以移动,使腔内发生碰撞等。固定件3与底座配合可以调节滑动块的最大行程。腔体9由无头螺柱10和活塞固定在固腔盘7和8上,通过活塞可以调节腔体的大小,腔内可以放冲击体和塑性颗粒。弹簧套在弹簧轴6上,夹在挡板5与固腔盘之间,弹簧最开始的状态为压缩状态。



1—支架;2—底座;3—固定件;4—滑动块;5—挡板;6—弹簧轴;
7,8—固腔盘;9—腔体;10—无头螺柱。

图1 弹性支撑颗粒碰撞阻尼器

Figure 1 Particle impact damper with elastic support

1.2 其它主要部件

弹簧轴结构如图2所示。弹簧轴部分主要采用轴-孔结构,轴和孔接触面积很小,减少了摩擦力对精度的影响。8个轴均匀分布,可以根据实际情况需求,采用不同的弹簧个数。

腔体两头分别有无头螺柱和活塞连接在固腔盘

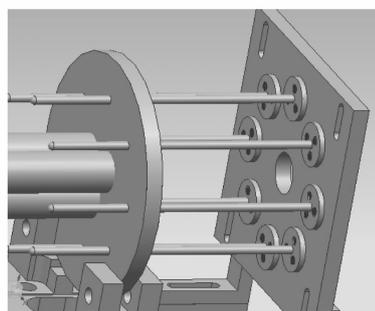


图2 弹簧轴结构图

Figure 2 Structure diagram of spring shaft

上。腔内用来放塑形颗粒和冲击体,在腔内发生的碰撞、断裂、变形等消耗能量。腔体是整个机构的核心,能量的消耗主要就发生在腔体内。而且配合活塞可以改变腔体内的大小,满足不同的实验需求。腔体与活塞结构如图3~4所示。

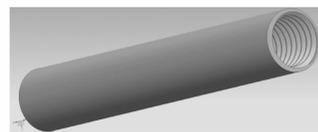


图3 腔体结构图

Figure 3 Structure diagram of cavity

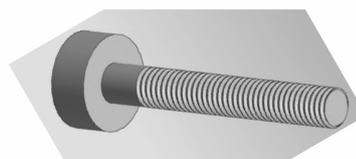


图4 活塞结构图

Figure 4 Structure diagram of piston

2 弹性支撑碰撞阻尼器的实验

2.1 实验装置

实验所用设备如图5~6所示。主要由高频电磁激振器、功率放大器、信号放大器、悬臂梁、阻尼器、加速传感器、信号采集及分析系统组成。激振器如图5所示,采用金顿科技有限公司生产的高频电磁激振器,型号为EM-20F5K-10N03。信号分析系统如图6所示,采用北京东方振动与噪声研究所生产的信号采集器和分析软件。从图5~6看出,振动测试的主要仪器设备有电磁式振动机、悬臂梁机构、计算机(DASP相关软件)组成。

悬臂梁振动主要由高频电磁激振器、悬臂梁、阻尼器和加速传感器组成。输入激励信号,高频电磁激振产生激振力作用于悬臂梁,使得悬臂梁振动。阻尼器



图5 高频电磁激振器

Figure 5 High frequency electromagnetic vibration exciter



图6 信号采集器及分析软件

Figure 6 Signal acquisition and analysis software

和加速度传感器置于悬臂梁末端。激振器是附加在某些机械和设备上用以产生激励力的装置,可产生单向或多向、简谐或非简谐的激振力^[12]。电磁激振器及悬臂梁如图7所示。

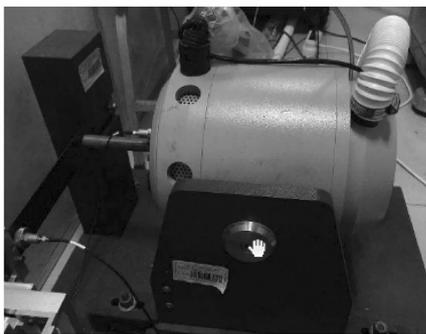


图7 电磁激振器及悬臂梁

Figure 7 Electromagnetic vibration exciter and cantilever beam

2.2 实验方案

实验先将自主设计的阻尼器固定在悬臂梁末端一侧,以电磁激振器作为振动源,正弦波为激振信号,对悬臂梁的根部激振。利用安装在悬臂梁末端另一侧的加速度传感器和信号分析装置测量悬臂梁的末端振

幅,用来检验和观察阻尼器的减振性能。实验装置示意图如图8所示。实验中采用的悬臂梁的外形尺寸为:315.0 mm×45.0 mm×2.1 mm。悬臂梁的加工材料为Q235A钢,其主要参数为:密度 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,弹性模量206 GPa,泊松比0.29。阻尼器腔体采用圆柱体结构,外形尺寸为:外径为15 mm,内径为12 mm,长为100 mm,材料采用Q235A钢。

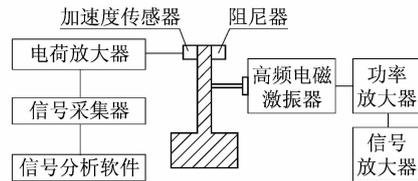


图8 实验装置示意图

Figure 8 Schematic diagram of experimental device

1) 实验1

实验中首先测试悬臂梁末端的位移,将阻尼器腔体作为悬臂梁的末端质量处理;分别采用各种阻尼器,包括:①安装钢球冲击器;②除了安装钢球冲击器还填充减振剂;③使用带弹性支撑的颗粒碰撞阻尼器。将无阻尼和3种不同阻尼器的频率-振幅曲线进行比较。实验条件如表1所示。

表1 阻尼器各实验条件

Table 1 Experiment condition of damper

| 序号 | 名称 | 冲击器 | 减振剂 | 弹簧 |
|-----|--------------|-----|-----|----|
| I | 无阻尼 | 无 | 无 | 无 |
| II | 碰撞阻尼器 | 有 | 无 | 无 |
| III | 颗粒碰撞阻尼器 | 有 | 有 | 无 |
| IV | 带弹性支撑颗粒碰撞阻尼器 | 有 | 有 | 有 |

2) 实验2

将阻尼器腔体内装直径10 mm的钢球1个,分别加上不同刚度值的弹簧,测试其对悬臂梁的减振效果;然后在阻尼器的腔体中加入60%填充率的锌粉,在弹簧不同刚度值的情况下测试其对悬臂梁的减振效果。最后将实验结果做成折线图进行观察。为了证明弹簧在有球有粉和有球无粉的情况下都能优化减振性能,需通过实验找出弹簧的最佳刚度值。

2.3 实验结果

从图9中可以看出,弹性支撑颗粒碰撞阻尼器减振性能要明显好于其它几种阻尼器,悬臂梁末端振幅下降了近80%。弹性支撑颗粒碰撞阻尼器曲线相对其它曲线更平稳,证明其在低频振动领域的减振性能更稳定。通过现场观察,利用弹性支撑颗粒碰撞阻尼器时产生的冲击噪音也明显更小。

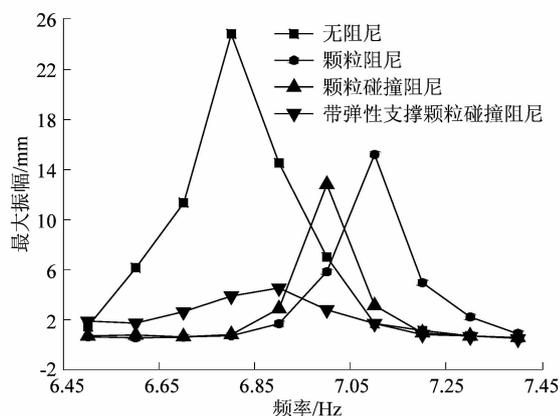


图9 不同阻尼条件下悬臂梁振幅值
Figure 9 Amplitude value of cantilever beam under different damping

由图10可以看出,当弹簧刚度在0.07~0.11时,2种情况下减振性能几乎没有变化。当弹簧刚度小于0.07时,减振效果稍差,说明弹簧刚度过低,不能将未消耗的能量完全储存起来。当弹簧刚度大于0.11时,刚度越大减振效果越差,说明弹簧刚度过大,形变小使得腔体位移减小,腔内碰撞减弱,影响了减振性能。

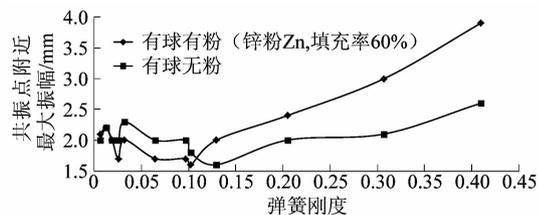


图10 不同弹簧刚度下悬臂梁振幅值
Figure 10 Amplitude value of cantilever beam under different spring stiffness

3 结论

1) 弹性支撑颗粒碰撞阻尼器解决了传统碰撞阻尼器在低频振动中效果不佳的问题,弹簧将没有消耗掉的能量完全储存起来,防止余下的没有消耗掉的能

量转化为新的低频振动。

2) 结合了弹性碰撞和塑性碰撞2种减振方式,减振效果相较于传统碰撞阻尼器得到了很大提高,减振效果达到75%。而且恢复静止的时间要比传统的碰撞阻尼器快得多。

3) 对于弹性支撑颗粒碰撞阻尼器来说,弹簧刚度过小或者过大,都对减振性能有影响,因此弹簧刚度存在一个最佳值。弹簧刚度最佳值与弹性碰撞和塑性碰撞2种减振机理的相互关系有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张义民. 机械振动[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [2] LIEBER P, JENSON D P. An acceleration damper: development, design and some application [J]. Transactions ASME, 1945, 67(7): 523-530.
- [3] BAPAT C N, SANKAR S. Multiunit impact damper: re-examined [J]. Journal of sound and vibration, 1985, 103(4): 457-469.
- [4] POPPLEWELL N, SEMERCIGIL S E. Performance of particle dampers under random excitation [J]. Journal of vibration and acoustics, 1989, 113(2): 193-223.
- [5] 李伟, 胡选利, 黄协清, 等. 柔性约束颗粒阻尼耗能特性研究[J]. 西安交通大学学报, 1997, 31(7): 23-28.
- [6] PANOSIAN H V. Structural damping enhancement via non-obstructive particle damping technique [J]. Journal of vibration and acoustics, 1992, 114(1): 101-105.
- [7] 杜妍辰, 王树林, 朱岩, 等. 带颗粒减振剂碰撞阻尼的减振特性[J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): 186-189.
- [8] WONG C X, DANIEL M C, RONGONG J A. Energy dissipation prediction of particle dampers [J]. Journal of sound and vibration, 2009, 319(1/2): 91-118.
- [9] 胡凛, 黄其栢, 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, 28(5): 52-55.
- [10] 杜妍辰, 张铭命. 带颗粒减振剂的碰撞阻尼的理论与实验[J]. 航空动力学报, 2012, 27(4): 789-794.
- [11] 杜妍辰, 刘喆, 李海超. 带弹性支承的颗粒-钢球碰撞阻尼的实验研究[J]. 振动与冲击, 2013, 32(24): 56-60.
- [12] 龚顺镒. 工业控制自动化实用技术手册[M]. 上海:机械工业, 2009.

(上接第15页)

- [12] 闫维恒. 面向点云的特征模型重构及其关键算法研究[J]. 机械设计与制造, 2012, 12(4): 210-221.
- [13] COOPER D B, WILLIS A, ANDREWS S, et. al. Assembling virtual pots from 3D measurements of their fragments [C]//Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage. Glyfada, Athens, Greece: ACM Press, 2001: 241-252.
- [14] 梅向明. 微分几何[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2008.

- [15] 缪永伟. 点模型的几何处理和形状编辑[D]. 杭州:浙江大学, 2007: 36-40.
- [16] 李岸. 反求工程中一类规则曲面特征提取关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2005: 74-76.
- [17] 赵娜. 非线性优化问题的模式搜索法[D]. 大连:大连理工大学, 2010: 3-8.
- [18] 卢金娜. 基于优化算法的径向神经网络模型的改进及应用[D]. 太原:中北大学, 2015: 19-21.