

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.021

磁流变阻尼器结构设计及其阻尼特性试验研究

吴晓庆, 陈海卫, 张秋菊, 仇庆章

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 目前市场上的磁流变阻尼器由于阻尼力与体积过大而并不适用于滚筒洗衣机安装与控制, 依据滚筒洗衣机悬挂系统阻尼器力学性能以及磁流变液的材料特性和磁路设计原则, 设计并制作了一个单出杆的剪切阀式磁流变阻尼器样品, 采用 Instron 8800 材料试验机对所设计的磁流变阻尼器进行特性试验, 采集其不同电流、频率和位移下的阻尼力。采用 MATLAB 对实验数据进行处理, 分析磁流变阻尼器的阻尼性能, 结果表明该磁流变阻尼器设计是符合设计要求, 可用于滚筒洗衣机抑振控制策略的研究。

关键词: 磁流变阻尼器; 构造设计; 力学特性; 性能试验

中图分类号: TM925.33

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2014)06-0081-04

Structure Design of Magneto-Rheological Damper and Experimental Study on the Damping Characteristics

WU Xiaoqing, CHEN Haiwei, ZHANG Qiuju, QIU Qingzhang

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Magnetorheological damper on the market at present is not applied to install and control drum washing machine because the damping force and the volume are too large. Based on mechanical properties of suspension damper and material characteristics of the magnetorheological fluid and magnetic circuit design principle, a single lever shear valve type of magnetorheological damper was designed and produced. Using Instron 8800 materials testing machine could collect the data of damping force under different current, frequency and displacement. Analysis of the mechanical properties on the data showed that magnetorheological damper could meet design requirements, it could be used for the suppression control strategy research of drum washing machine vibration.

Key words: magnetorheological damper; structural design; mechanical properties; performance experiment

磁流变阻尼器是一种以磁流变液为工作介质的阻尼器, 因其具有耗能低、输出阻尼力大、可调范围广、响应速度快、结构简单等特点^[1-2], 因此它在振动控制领域具有广阔的发展与应用前景, 目前主要的应用领域包含汽车、机械以及土木工程等^{[3]129}。

廖昌荣, 余森等^[4]根据 Bingham 模型描述, 提出了混合模式的汽车磁流变阻尼器的设计原理, 按照某微型汽车设计制作了微型汽车磁流变阻尼器并对其进行实验测试。

李忠献等^{[3]129}设计并制造一种适用于土木工程振动控制的双出杆剪切阀式磁流变阻尼器, 并通过 MTS

伺服试验机进行了性能测试。

本文综合考虑滚筒洗衣机试验用磁流变阻尼器的尺寸、所需阻尼力大小等性能参数, 并依据磁流变液的材料特性确定了磁流变阻尼器的工作模式及其零部件参数, 设计并制作一个单出杆剪切阀式磁流变阻尼器, 通过 Instron 8800 万能材料试验机对磁流变阻尼器进行特性试验, 得到了阻尼器一系列振动数据, 采用 MATLAB 绘图工具得到一系列阻尼器特性曲线。通过曲线分析可以了解阻尼力与各个变量之间的对应关系, 从而得到相关结论, 为所设计磁流变阻尼器的后续改进与优化提供可靠的参考依据。

收稿日期: 2014-05-28; 修回日期: 2014-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(51205166); 中国博士后科学基金(2013M531271)

作者简介: 吴晓庆(1987), 男, 江苏南通人, 硕士, 主要研究方向为机电一体化。E-mail: wuxiaoqing1987@gmail.com

1 磁流变阻尼器设计及制造

设计加工的磁流变阻尼器工作模式为剪切阀式,其结构如图1所示。磁流变液采用深圳泰达尔生产的MRF15C。

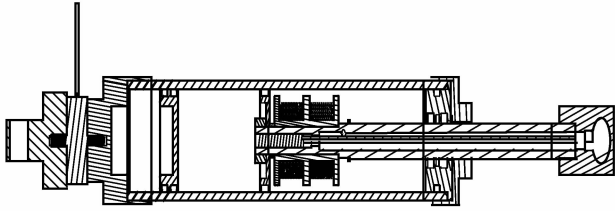


图1 单出杆式剪切阀式磁流变阻尼器

Figure 1 Single out shear valve type magnetorheological damper

图2为所采用的剪切阀式磁流变阻尼器主要元件示意图,包括:活塞杆、活塞、励磁线圈和筒体。

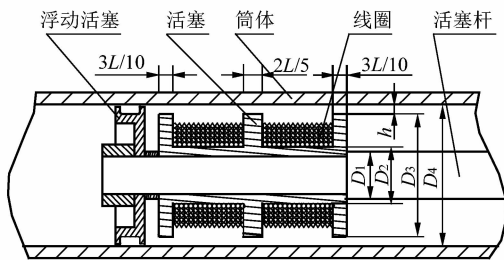


图2 剪切阀式磁流变阻尼器内部尺寸

Figure 2 Internal size of shear valve type magnetorheological damper

根据机械设计手册设计阻尼器筒体外径、内径以及活塞杆直径,材料均采用磁导率较高的45钢^[5]。采用逆向设计方式确定阻尼器各个尺寸。磁流变阻尼器具体设计参数:未通电时最大速度下最大阻尼力30 N,最大行程20 mm(往复),阻尼器复原力30 N,可控阻尼力80 N,最大电流1.5 A。

剪切阀式磁流变阻尼器阻尼力主要分为库伦阻尼力和粘滞阻尼力^[6-7],其计算公式分别如下

$$F_{\tau} = \left[\frac{4LA_p}{h} + 2bL \right] \tau_y \operatorname{sgn}(v_0) \quad (1)$$

$$F_{\eta} = \left[\frac{24\eta LA_p^2}{bh^3} + \frac{2Lb\eta}{h} \right] v_0 \quad (2)$$

式中, $A_p = \frac{\pi(D_3^2 - D_1^2)}{4}$ 为有效面积, L 为有效长

度, h 为间隙(取值为1 mm^{[8]28}), $b = \frac{\pi(D_3 + D_4)}{2}$, η 为磁流变液表观黏度(由所选取磁流变液参数可查), τ_y 为磁流变液剪切屈服应力, v_0 为活塞杆运动速度。

由阻尼器工作原理可知,未通电时最大速度下粘滞阻尼力等于此时阻尼器阻尼力30 N,通过式(2)可知,阻尼器有效长度计算方式为^{[8]28}

$$L = \frac{F_{\eta}}{\left(\frac{24\eta A_p^2}{bh^3} + \frac{2\eta b}{h} \right) v_0} \quad (3)$$

具体参数,见表1。

表1 磁流变阻尼器基本参数

Table 1 Basic parameters of magnetorheological damper

筒体内径/mm	间隙厚度/mm	活塞直径/mm	活塞杆直径/mm
30	1	28	10

由于最大可控阻尼力和阻尼器复原力确定,因此可以确定库伦阻尼力

$$F_{\tau} = f_e + f_r - F_{\eta} \quad (4)$$

式中, f_e 表示最大可控阻尼力, f_r 表示阻尼力复原力,由式(1)可得剪切屈服应力 τ_y 。由剪切屈服应力,通过查所选用磁流变液特性曲线,可得所对应磁场感应强度 B 。

励磁线圈匝数计算公式为

$$N = \frac{2Bh}{\mu_0 I} \quad (5)$$

式中, μ_0 为真空磁导率, I 为额定电流,设为1 A。通过计算,所需线圈匝数为150匝。

图3为绕线圈的活塞和组装完毕的磁流变阻尼器,活塞采用两段线圈,每段线圈匝数为80匝,漆包线线径为0.6 mm,最大允许电流为1.5 A。组装后的磁流变阻尼器如图4所示。



图3 励磁线圈

Figure 3 Excitation coil



图4 磁流变阻尼器

Figure 4 Magnetorheological damper

2 特性试验

本文采用 Instron 8800 万能材料试验机作为实验平台。Instron 8800 材料试验机是美国 Instron 公司研制开发的数控液压伺服激振试验台,可产生正弦波、半正弦波、方波及随机白噪声等信号,可以使激振头按照一定的位移或载荷要求而运动,并能够保存激振头的位移以及载荷信号,具有实时性高,可靠性好的特点,可用于减震器动态特性试验和悬架系统动态特性试验^[9]。通过采用设计的专用实验夹具,将磁流变阻尼

器固定于 Instron 8800 万能材料实验机上进行试验,如图 5 所示。

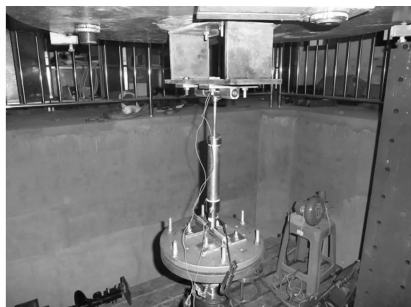


图 5 阻尼器测试安装图

Figure 5 Installation drawing of damper test

测量振幅为 ± 10 , ± 15 , ± 20 mm 以及频率为 0.25, 0.50, 1.00, 2.00 Hz 时电流为 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.3, 1.5 A 下的采集阻尼力与位移相关的数据^[10]。将采集到的数据,通过 MATLAB 绘图工具,可以得到相应的阻尼力-位移,阻尼器-速度的示功曲线^[11]。

首先讨论相同电流、频率,不同位移时,阻尼力与位移、速度的关系。图 6~7 为电流 0.4 A、频率 1.00 Hz 时阻尼力-位移以及阻尼力-速度的曲线。

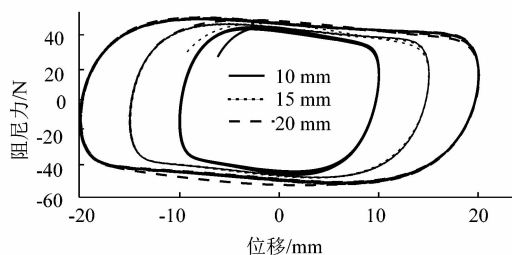


图 6 0.4 A, 1.00 Hz 阻尼力-位移关系曲线

Figure 6 0.4 A 1.00 Hz damping force-displacement curve

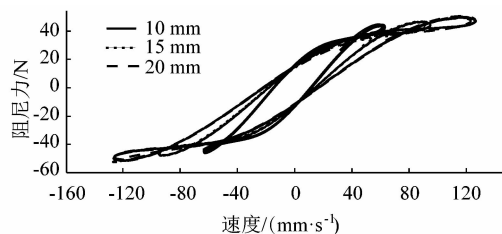


图 7 0.4 A, 1.00 Hz 阻尼力-速度关系曲线

Figure 7 0.4 A 1.00 Hz damping force-velocity curve

结果表明,在电流一定时,阻尼力随着速度的增大而增大,但效果并不明显。

相同位移、频率时,不同电流作用下阻尼力的变化规律。绘制电流 0.1, 0.4, 1.3, 1.5 A 的阻尼力-速度,

阻尼力-位移,如图 8~9 所示。

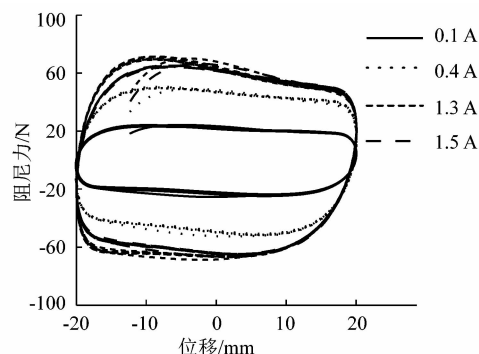


图 8 不同电流下阻尼力-位移关系曲线

Figure 8 Damping force-displacement curve with different current

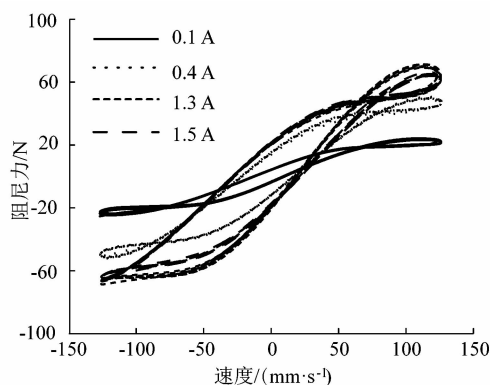


图 9 不同电流下阻尼力-速度关系曲线

Figure 9 Damping force-velocity curve with different current

由图 9 可知,阻尼力随着电流的增大而明显增大,且当电流为 1.3, 1.5 A 时,曲线几乎重合。

由图 10 可知,在相同电流、振幅时,频率越高,阻尼力越大,即阻尼力随着活塞往复频率的增高而增大。

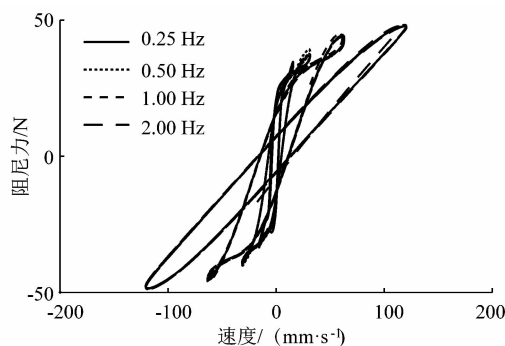


图 10 0.4 A、位移 10 mm, 阻尼力-频率关系

Figure 10 0.4 A displacement 10 mm damping force-frequency curve

(下转第 88 页)