

【其他研究】

电流变液阻尼器的动态性能模拟仿真

谭锁奎^{1,2}, 宋晓平², 郭红燕¹, 纪松¹, 赵红³

(1. 中国兵器科学研究院 宁波分院, 浙江 宁波 315103; 2. 西安交通大学, 西安 710049;
3. 大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要:利用 Matlab 软件研究了不同频率、不同间隙、不同直径和不同加载电场条件下的电流变液阻尼器的阻尼力与位移、速度等的关系规律, 分析了影响阻尼器阻尼力大小的因素。研究发现, 阻尼器结构、动态频率等是影响电流变液阻尼器动态性能的关键因素。

关键词:电流变液; 阻尼器

中图分类号: TQ138; TB383

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2011)07-0117-04

电流变体是由纳米级的介电、导电微粒经过一定的预处理分散于非导电基液中所形成的悬浮液^[1-4]。在外加电场的作用下, 其黏度、剪切强度、阻尼特性会发生快速、连续、可控的转变。利用电流变体的此种特性开发的电流变液阻尼器已成功应用于桥梁、普通轻型汽车悬挂系统、发动机悬置、驾驶员座阻尼装置、火炮后座装置等结构的阻尼减振中^[5-7]。电流变体的阻尼减振性能与其阻尼器的结构、激励频率、所加电场等密切相关, 本文拟通过 Matlab 软件对减振器进行阻尼的仿真计算, 来分析不同条件下阻尼力随环境条件变化而变化的规律。

1 试验方法

图 1 为某剪切式减振器的结构图, 图 2 为电流变液剪切强度与剪切速率的关系图。

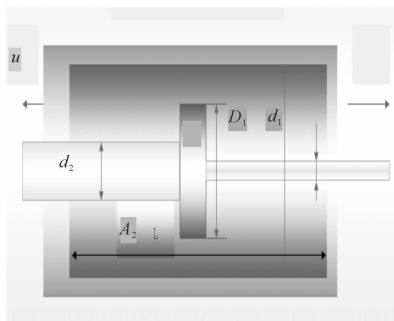


图 1 电流变液阻尼器结构

在没有施加电场的情况下, 电流变液的剪切力与剪切速率成正比, 近似牛顿流体; 而在施加外电场作用下, 由于电流变液介电微粒、导电微粒链的存在, 其流变特性已经发生变化, 力学性能已经不同于牛顿流体, 而近似 Bingham 流体。其剪切力的表达式为

$$\Gamma = \eta_0 \frac{dv}{dr} + \Gamma_R(E)$$

式中: Γ 为液体流动中所产生的剪切力或流动阻力; Γ_R 为电流变液体在电场作用下的剪切力; η_0 为基础液的黏度; $\frac{dv}{dr}$ 为剪切速率。电场作用下的剪切力是电场强度的函数, 其表达式为

$$\Gamma_R(E) = \alpha E^\beta$$

式中: α 和 β 是与电流变液相关的常数。

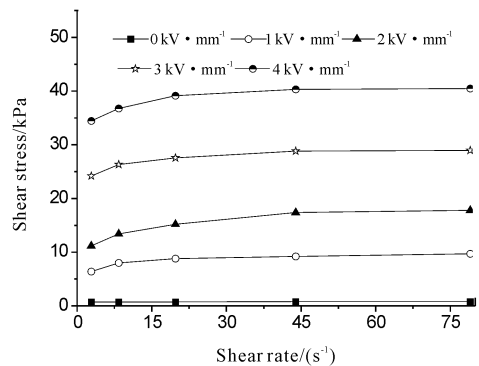


图 2 电流变液剪切强度与剪切速率的关系

剪切式减振器工作时, 减振器的阻尼力可以通过控制电流变液体穿过阀通道时的压差来获得, 此时的阻尼力可有加载和不加载电场 2 种情况。当不施加电压时, 理想的电流变液体为牛顿流体; 当给极板施加电场时, 电流变液体由于微粒成链黏度增加(黏度随着电场的增加而增大), 阻碍了电流变液体在极板中的流动, 故形成可控阻尼力, 并且阻尼力随着电压升高而增加, 从而可以通过改变电场强度来控制、调节电流变体的流动阻力。剪切阀式电流变体阻尼减振器可按下式计算阻尼力

收稿日期: 2011-05-22

基金项目: 宁波市自然科学基金资助项目(2010A610168)

作者简介: 谭锁奎(1963—), 男, 博士研究生, 研究员, 主要从事材料科学研究。

$$F_f = \frac{3\pi L \eta_0 (d^2 - d_1^2)}{4dh^3} v + \frac{3\pi L \alpha (d^2 - d_1^2)}{2h} E^\beta \text{sign}(v)$$

式中： η_0 为电流变液的表现黏度； d 为减振器的内缸直径； d_1 为活塞杆的直径； α 和 β 是与电流变液有关的参数； h 为内缸与活塞之间的间隙； L 为间隙的长度； v 为活塞杆相对内缸速度。从上式可看出：阻尼力大小由阻尼器结构因素的 d 、 L 、 D 、 h 等决定，且受环境变化因素即加载电场 V 、 f 、 v 等的影响，以及与电流变液的参数 α 、 β 、 η_0 密切相关。

一般来说，阻尼器由于受到安装地方的制约，其结构尺寸定了的话，可改变的主要是间隙 h （其与阻尼力成立方倒数关系），即使 h 很小的改变，也会使阻尼力发生大的变化，但是当阻尼器设计后，其结构因素的影响被固化。其次，电流变液自身参数 α 、 β 、 η_0 等决定着电流变液的性能，同时还左右着阻尼器的性能参数。当以上 2 种参数均确定后，影响阻尼性能的主要就是外部参数 V 、 f 、 v 等。本文通过对某剪切阀式电流变体阻尼减振器的受力分析，并利用 Matlab 软件进行建模仿真分析，可给出阻尼力与速度的关系曲线、阻尼力与位移的关系曲线，同时分析不同频率、不同间隙、不同活塞直径、不同场强下阻尼力的变化规律。

2 试验结果与分析

2.1 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

图 3 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。电场强度由内向外依次为 0, 1, 2, 3, 4 kV/mm，结构参数间隙为 15 mm， $h = 0.005$ mm， $L = 0.3$ mm， $d_1 = 0.12$ mm， $\alpha = 8.6428$ ， $\beta = 1.1080$ ， $S_m = 0.2$ ， $f = 1.67$ Hz， $w = 2\pi f$ ， $T = 1/f$ ， $\eta = 0.5$ ， $d = 0.13$ mm。由图 3 可看出：随着电场强度的增加，其阻尼力随之增加，最大阻尼力可达 100 kN。

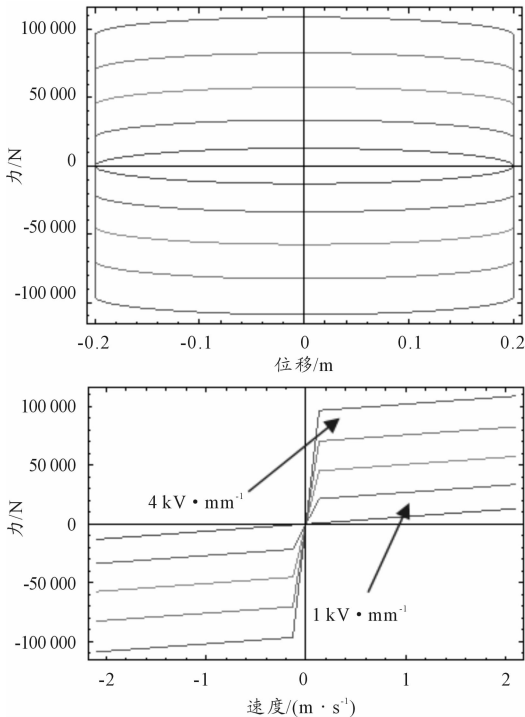


图 3 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

2.1.1 活塞直径与阻尼力的关系

图 4 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线，间隙为 15 mm，频率为 2 Hz，活塞内径取为 100 mm，阻尼力最大为 3 t。

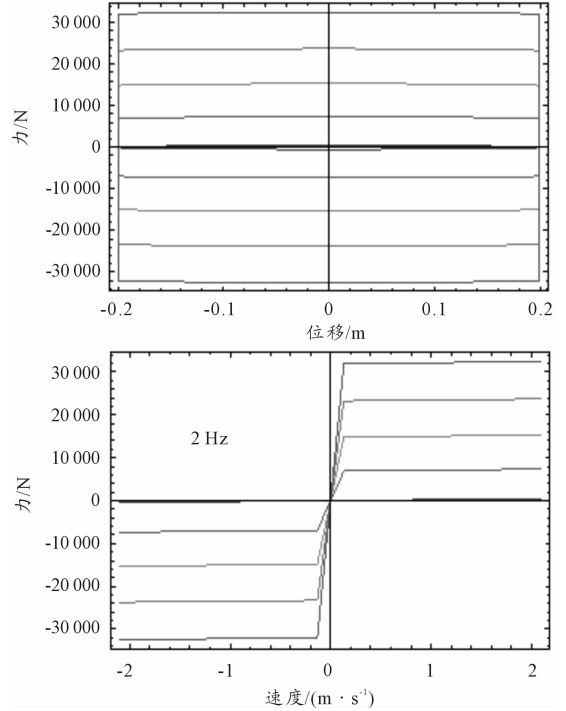


图 4 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

图 5 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线，活塞内径取为 120 mm，频率为 2 Hz，间隙为 5 mm，阻尼力为 11 t。

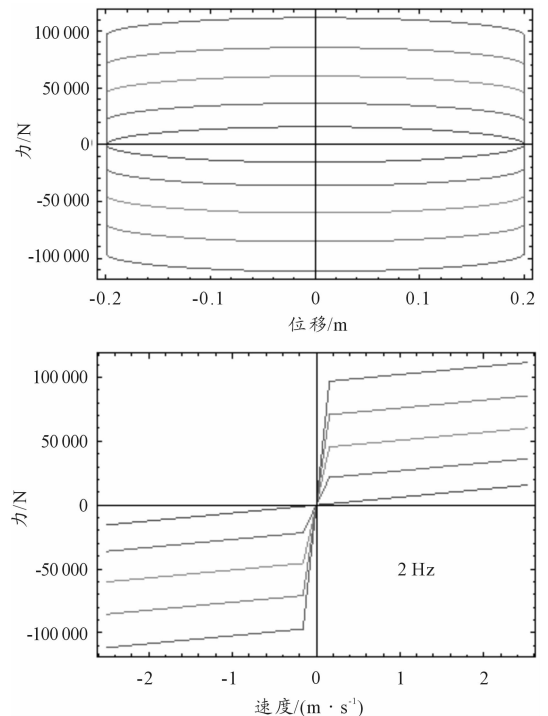


图 5 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

2.1.2 不同频率时阻尼力与频率的关系

图6为不同电场时阻尼力与位移的关系曲线,活塞内径取为100 mm,间隙为15 mm,频率为115 Hz时阻尼力为6 t,频率为72 Hz时阻尼力为5 t。

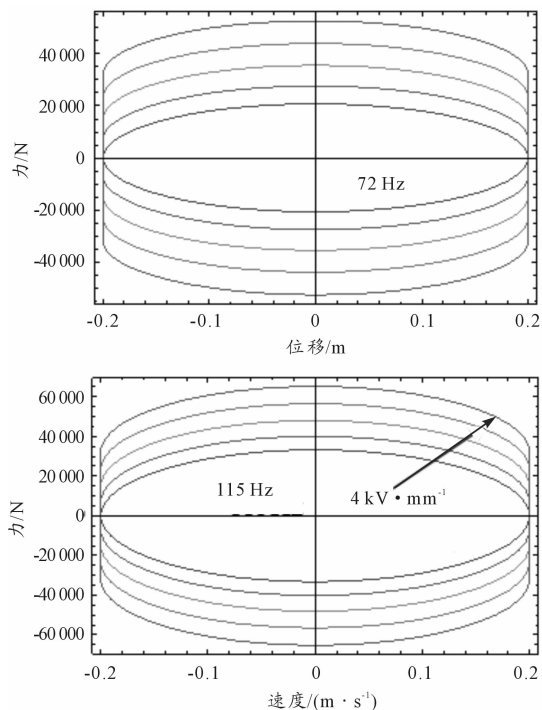


图6 不同电场时阻尼力与位移的关系曲线

图7为剪切式阻尼器的不同频率与阻尼力的关系曲线。从图7中可看出,在试验范围内,阻尼力大小与阻尼器所受到的激振频率成线性正比关系,即随频率提高,阻尼力增大。

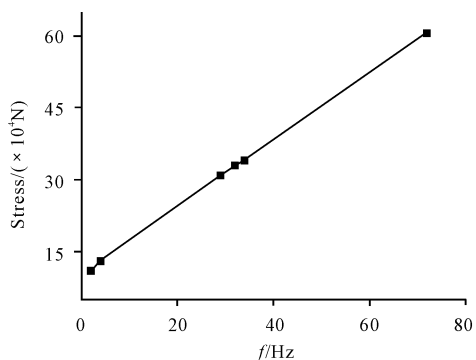


图7 不同频率与阻尼力的关系曲线

2.1.3 不同间隙的阻尼力与间隙大小的关系

图8为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。图8中, $d_1 = 0.11$ mm,最大阻尼力50 kN,即5 t。

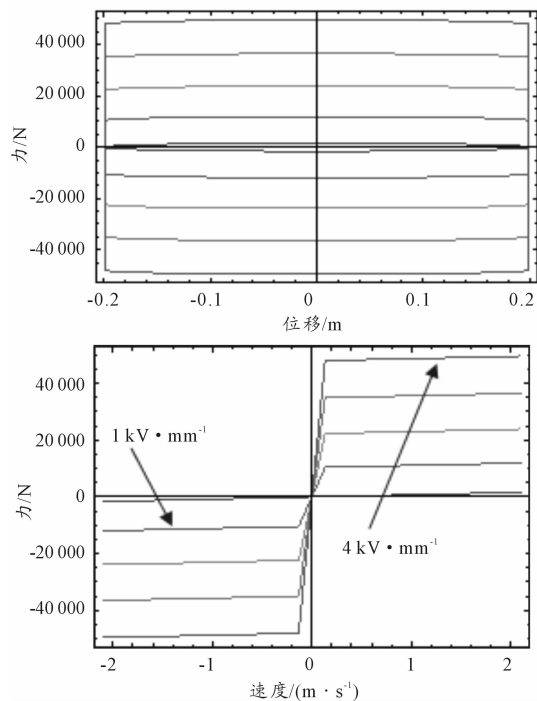


图8 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

图9为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。图9中, $d_1 = 0.10$ mm,最大阻尼力30 kN,即3 t。

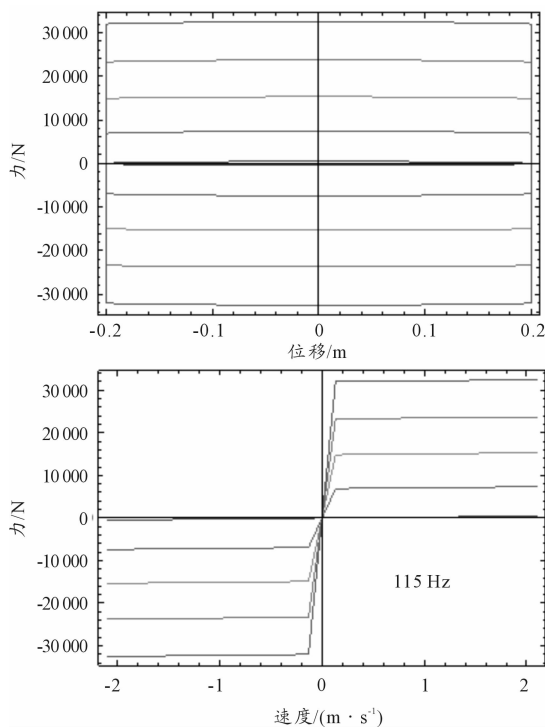


图9 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

图 10 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。

图 10 中, $d_1 = 0.127 \text{ mm}$, 最大阻尼力 90 kN , 即 9 t 。

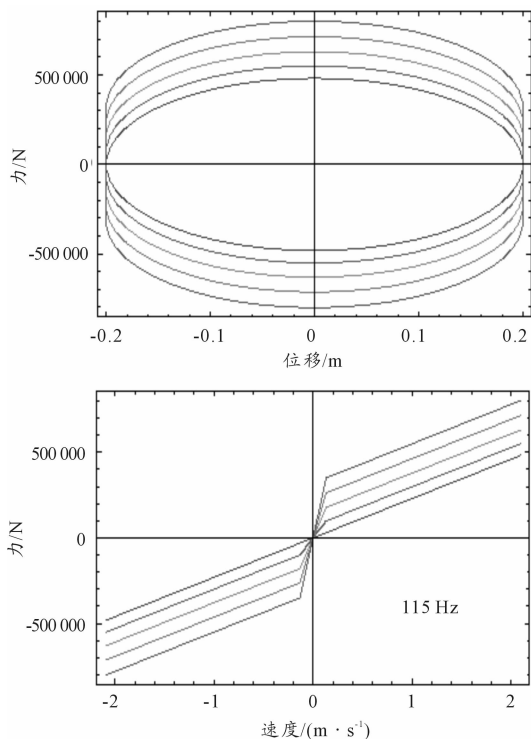


图 10 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

图 11 为阻尼力与电流变阻尼器间隙大小的关系曲线。

从图 11 中可看出, 阻尼力随间隙的变小而增大。

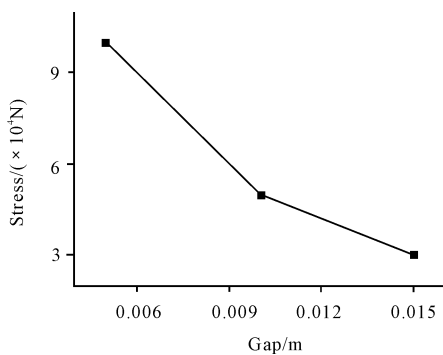


图 11 阻尼力与电流变阻尼器间隙大小的关系曲线

图 12 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。

图 12 中, 活塞内径取为 120 mm , 间隙为 5 mm , 阻尼力为 61 t 。

图 13 为不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线。

从图 13 中可以看到, 阻尼力可达 100 t 。

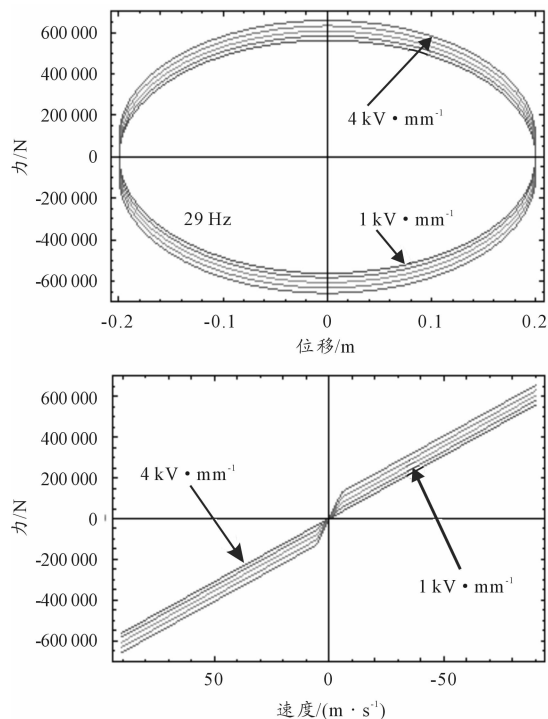


图 12 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

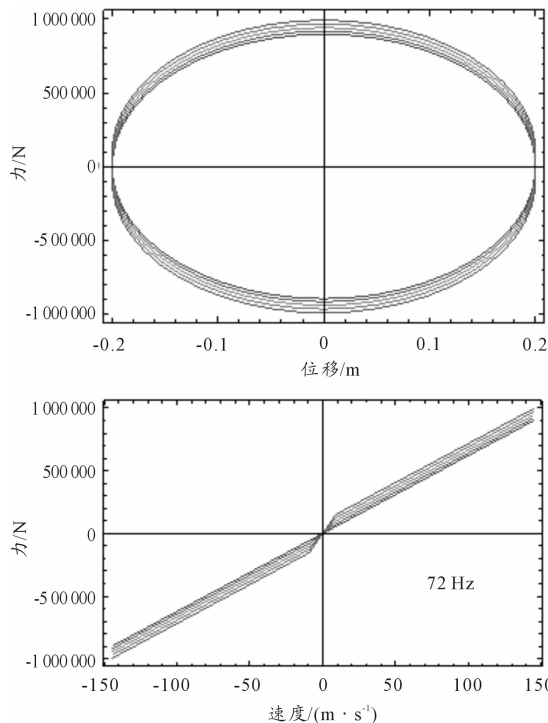


图 13 不同电场时阻尼力与位移、速度的关系曲线

(下转第 133 页)