

新型结构磁流变阻尼器的设计与实验

贾 双, 邢海军, 杨绍普

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:设计了一种新型结构的磁流变阻尼器,该阻尼器的励磁线圈置于阻尼缸筒的外部,具有线圈组件拆装方便,散热效果好,能够提高磁流变阻尼器的有效行程等优点。研制了该磁流变阻尼器的简易样机,实验验证了样机的阻尼特性。

关键词:磁流变阻尼器;线圈外置;实验验证;阻尼力

中图分类号:TH122;TM925.33 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2016)02-0083-05

0 引言

磁流变阻尼器是一种优良的半主动控制器件,具有阻尼力连续顺逆可调并且可调范围大^[1-3]、响应快、良好的温度稳定性以及可与微机控制结合等优良特性,在土木工程、车辆工程等领域获得了广泛关注和研究^[4-5],因而各种新型结构磁流变阻尼器应运而生。Lord公司研制了多种结构的磁流变阻尼器并投入到工程应用中;沙凌峰^[6]从磁流变液的本构关系和磁流变阻尼器的阻尼力模型出发,讨论了土木工程中常用的磁流变阻尼器的设计问题,对磁流变阻尼器的构造和磁路部分给予了详细的介绍;L. Balamurugan^[7]、吴晓庆^[8]、相衡波^[9]等对磁流变阻尼器的设计及相关特性进行了研究。

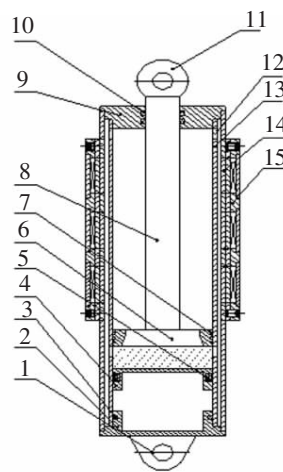
常见磁流变阻尼器将电磁线圈绕于阻尼器的活塞之上,活塞上设置环状通道或在活塞与缸体之间设置环状通道,工作时磁流变液从环状通道流过,从而产生阻尼力。本文提出了一种线圈外置的磁流变阻尼器,具有线圈组件拆装方便,散热效果好,能够提高磁流变阻尼器的有效行程等优点,并对新型结构磁流变阻尼器的简易样机进行了试验研究,证明了新型结构磁流变阻尼器的实用性。

1 新型结构磁流变阻尼器的结构组成

1.1 新型结构磁流变阻尼器的结构特征

新型结构磁流变阻尼器的工作模式为剪切阀式^[10],其结构如图1所示。

如图1所示,阻尼缸筒包括缸底、浮动活塞、上盖、内层缸筒和外层缸筒组件。内层缸筒和浮动活塞、上盖形成磁流变液腔,内层缸筒的上端和下端设有通流孔,活塞在上下通流孔之间做往复运动,内层缸筒和外层缸筒组件形成磁流变液工作间隙,浮动活塞和内层缸筒、缸底之间形成蓄能腔,蓄能腔内充有氮气,用于补偿活塞杆伸缩时磁流变液腔的体积变化。线圈组件、外层缸筒组件、内层



1-缸底耳环;2-缸底;3-缸底密封;4-浮动活塞;5-浮动活塞密封;6-活塞;7-活塞密封;8-活塞杆;9-上盖;10-上盖密封;11-活塞杆耳环;12-通流孔;13-内层缸筒;14-外层缸筒组件;15-线圈组件。

图1 新型结构磁流变阻尼器结构图

收稿日期:2015-05-07 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.2016.02.16

基金项目:河北省科技支撑项目(14212202D);河北省高校重点学科建设项目;河北省高等学校创新团队领军人才培养计划项目(LJRC018)

作者简介:贾双(1990—),女,硕士研究生,研究方向为机械设计及理论。E-mail:15512138270@163.com

通讯作者:邢海军(1967—),男,博士,教授,主要从事振动控制结构分析等方面研究。E-mail:xinghj@stdu.edu.cn

贾双,邢海军,杨绍普.新型结构磁流变阻尼器的设计与实验[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(2):83-87.

缸筒形成有效的磁场区域。

当活塞向上运动即拉伸行程时,阻尼器上腔的磁流变液经过磁流变液孔、磁流变液工作间隙流入磁流变液下腔,为了补偿有杆腔和无杆腔的体积差浮动活塞向上运动。当活塞向下运动即压缩行程时,磁流变液由下腔流入上腔,浮动活塞向下运动。

如图 2 所示,线圈组件包括导磁套筒、导磁环、线圈缠绕体、电磁线圈。多个线圈位于线圈缠绕体的外侧,线圈缠绕体位于外层缸筒组件(图 1 所示)的外侧。电磁线圈和电磁线圈之间通过导磁环进行分割,导磁套筒、两个导磁环和线圈缠绕体之间形成的环状腔体将单个电磁线圈封闭在其内,线圈组件的上下端部的导磁环与线圈缠绕体固定连接,电磁线圈与电磁线圈之间串联连接,导磁套筒、导磁环和线圈通过紧钉螺钉固定在线圈缠绕体上,线圈缠绕体通过紧定螺钉与外层缸筒组件固定连接。

1.2 新型结构磁流变阻尼器的磁路形成原理

如图 3 所示,外层缸筒组件(图 1 所示)的上部和中部为不导磁段和导磁段间隔设置的结构,下部为不导磁段结构,导磁段和不导磁段焊接连接。内层缸筒、导磁段、导磁环、导磁套筒为高磁导率软磁材料,不导磁段为不导磁材料,当电磁线圈通电后会形成如图 3 所示的磁路,在内层缸筒与外层缸筒组件之间的磁流变液工作间隙内产生有效磁场。每一个线圈组件产生一个有效磁场,提高了磁场的利用率。各个电磁线圈串联连接,可选择通电线圈的个数范围较大,从而实现调节阻尼力的范围大。

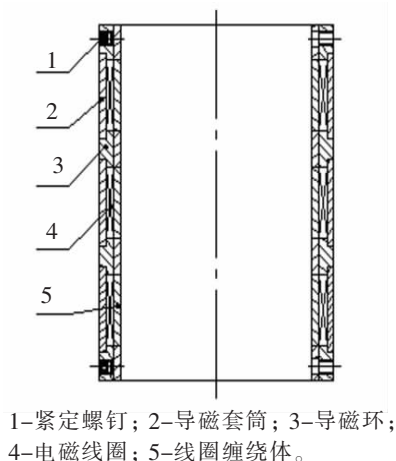
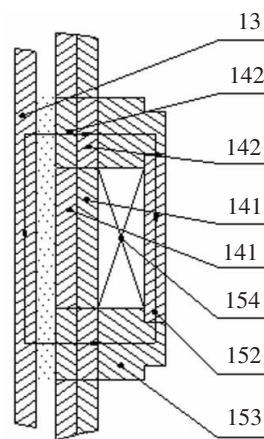


图 2 线圈组件结构图



13-内层缸筒;141-不导磁段;142-导磁段;
152-导磁套筒;153-导磁环;154-电磁线圈。

图 3 磁路形成原理图

1.3 新型结构磁流变阻尼器的特点

新型结构磁流变阻尼器与常见磁流变阻尼器相比较具有以下特点:

(1)散热性好,线圈拆装方便。电磁线圈设置在阻尼缸筒的外侧,不与磁流变液接触,电磁线圈及磁流变阻尼器耗能产生的热量通过整个外层缸筒组件、电磁线圈均匀散发,散热面积大,会明显提高阻尼器的散热速度。电磁线圈通过紧定螺钉固定在阻尼缸筒的外侧,在拆卸线圈组件时只需松开紧定螺钉,电磁线圈的拆装方便。

(2)阻尼力调节范围大。电磁线圈串联连接,通过选择电磁线圈组件的个数调节阻尼力的大小。其他因素相同的情况下,电磁线圈数量大则阻尼力大,反之则阻尼力较小。

(3)活塞的有效行程大。活塞上不缠绕电磁线圈,活塞的轴向尺寸小,提高了活塞的有效行程。当采用串联活塞时,活塞的有效行程更大。

(4)减弱了磁流变液泄露的问题。由于活塞上不缠绕线圈,无需在活塞杆上钻孔穿线,活塞与活塞杆的结构简单紧凑,避免了由于密封不良在导线穿出时出现磁流变液泄露的问题。

2 新型结构磁流变阻尼器的样机制作

为了制作简单、生产方便,新型结构磁流变阻尼器样机采用一组电磁线圈组件和双出杆活塞缸结构,

样机的图纸如图 4,实物如图 5 所示。

如图 4,新型结构磁流变阻尼器样机采用一组线圈组件和双出杆活塞缸结构,活塞和活塞杆采用圆锥销固定,活塞往复运动时不需要考虑活塞杆体积补偿,且活塞的稳定性好,阻尼器制作方便。下缸盖和下夹头形成空气腔体,用于试验过程中阻尼器的固定,保护活塞杆。活塞杆与上夹头采用螺纹连接。

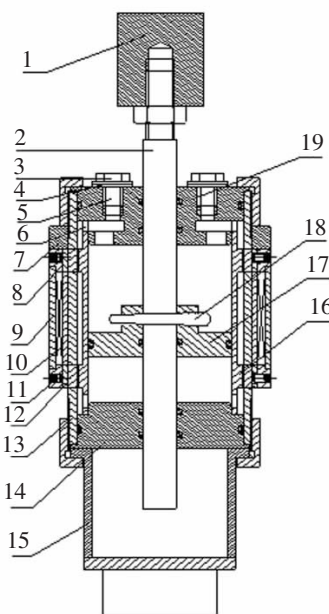
上缸盖上设有磁流变液补给孔,由螺塞和螺塞用密封垫片密封,可方便的补给磁流变液。当活塞运动时,磁流变液在活塞的上下腔之间通过通流孔及内层缸筒、外层缸筒之间磁流变液工作间隙。活塞与内层缸筒密封防止磁流变液在活塞与内层缸筒的间隙泄露,上缸盖密封防止磁流变液在活塞杆与上盖的导向间隙泄露。上缸盖与内层缸筒采用过渡配合,压盖与外层缸筒螺纹连接,将外层缸筒与上缸盖固定。

由图 5 可以很直接地了解到新型结构磁流变阻尼器样机的结构特征,阻尼器的样机用于以下试验中。

3 新型结构磁流变阻尼器的实验研究

3.1 实验原理

在试验机上完成新型结构磁流变阻尼器样机的阻尼力实验测试,该试验机是一台液压伺服控制试验机。通过采用设计的专用夹具将样机固定在试验机上进行试验,如图 6 所示。



1-上夹头;2-活塞杆;3-螺塞;4-螺塞用密封垫片;5-磁流变液补给孔;6-通流孔;7-定位环;8-导磁环;9-导磁套筒;10-电磁线圈;11-内六角平端紧定螺钉;12-线圈缠绕体;13-外层缸筒;14-下缸盖;15-下夹头;16-内层缸筒;17-活塞;18-圆锥销;19-上缸盖。

图 4 新型结构磁流变阻尼器样机图纸



图 5 新型结构磁流变阻尼器样机实物图

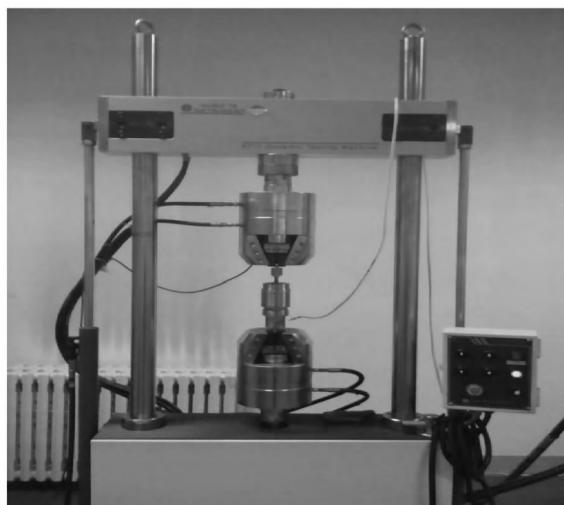


图 6 实验装置

试验采用三角形激励,测量振幅为 5 mm,频率分别为 0.2 Hz、0.4 Hz、0.6 Hz、0.8 Hz、1.0 Hz、1.2 Hz、1.4 Hz、1.6 Hz、1.8 Hz、2.0 Hz。磁流变阻尼器样机在每一个频率下均进行 6 次试验,电流分别为 0 A、0.5 A、1.0 A、1.5 A、2.0 A、2.5 A。

3.2 实验结果分析

试验可得时间-阻尼力曲线、位移-阻尼力曲线、速度-阻尼力曲线分别如图 7、图 8、图 9 所示。

由图 7 可得,阻尼力随着励磁电流强度的增大而增大。这是因为,磁场强度随励磁电流的增大而增强,磁流变液在磁场作用下的流变是瞬间的、可逆的,而且其流变后的剪切屈服强度随磁场强度的增大而增大,当励磁电流增大到一定值时,磁流变液由液体变为半固态甚至为固态,导致阻尼力不断增大。

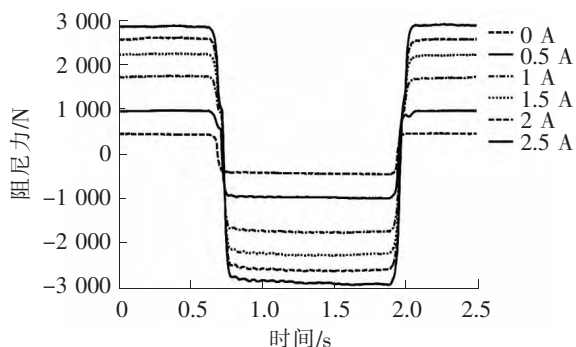


图 7 频率为 0.4 Hz,时间-阻尼力曲线

由图 8 可知,随着励磁电流的增大,位移阻尼力曲线包围面积逐渐增大,表明励磁电流的增大导致阻尼器振动消耗的功增大。

由图 9 可知,阻尼器振动的速度越大,阻尼力越大。这是因为励磁电流一定,可控阻尼力不变,粘滞阻尼力随频率的增大而增大,所以阻尼力增大。

由图 7、图 8、图 9 可以看出,在各个励磁电流下,时间-阻尼力曲线、位移-阻尼力曲线、速度-阻尼力曲线都很顺畅、平滑,所以此新型结构磁流变阻尼器满足工程应用要求。

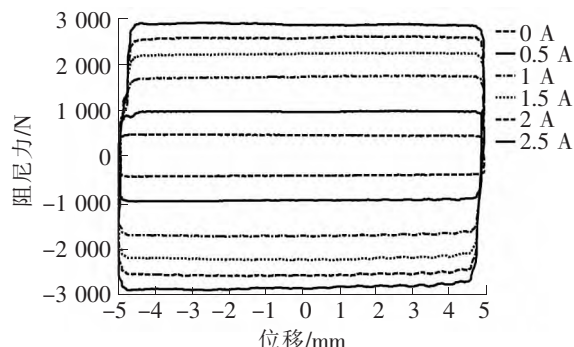


图 8 频率为 0.4 Hz,位移-阻尼力曲线

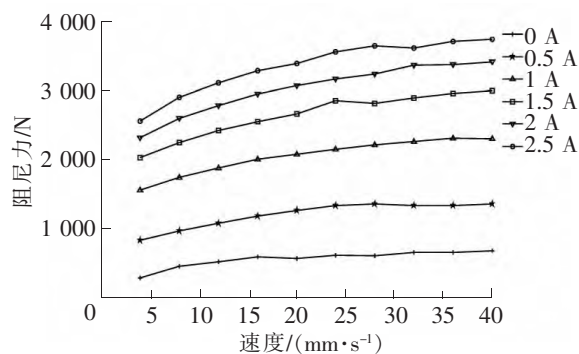


图 9 速度-阻尼力曲线

4 结论

介绍了新型结构磁流变阻尼器的结构、工作原理,并进行了阻尼力的实验研究。新型结构磁流变阻尼器有线圈组件拆装方便,散热效果好,能够提高磁流变阻尼器的有效行程等优点。根据实验得到新型结构磁流变阻尼器样机的时间-阻尼力曲线、位移-阻尼力曲线、速度-阻尼力曲线,验证了此新型结构磁流变阻尼器满足工程应用要求。

参 考 文 献

- [1] Tang Xinlu, Hans Conrad. Quasistatic measurements on a magnetorheological fluid[J]. J Rheo, 1996, 40(6): 1167-1177.
- [2] Felt T W, Hagenbuchle M, Liu J. Rheology of magnetorheological fluid [J]. Intel Mater. Sys. Struct., 1996, 7: 589-593.
- [3] 邢海军. 磁流变阻尼器及其在车辆悬架系统的控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [4] 徐晓美, 曾才民, 余伟. 线圈外置式磁流变阻尼器阻尼特性理论研究[J]. 煤矿机械, 2010, 31(12): 46-48.
- [5] Young-Tai Choi, Norman M Wereley. Comparative analysis of time response characteristics of electrorheological and magnetorheological dampers using nondimensional parameters[J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2002, 13: 443-451.
- [6] 沙凌锋, 徐赵东, 李爱群, 等. 磁流变阻尼器的设计与分析[J]. 工业建筑, 2008, 10(3): 59-63.
- [7] Balamurugan L, Jancirani J, Eltantawie M A. Generalized magnetorheological (MR) damper model and its application in semi-active control of vehicle suspension system[J]. International Journal of Automotive Technology, 2014, 15(3): 7-9.

- [8]吴晓庆,陈海卫,张秋菊,等.磁流变阻尼器结构设计及其阻尼特性试验研究[J].轻工机械,2014,32(6):81-88.
- [9]Xiang Hengpo, Fang Qin, Gong Ziming, et al. Experimental investigation into magnetorheological damper subjected to impact loads [J]. Transactions of Tianjin University, 2008,14(1):540-544.
- [10]杨绍普,邢海军,王兴民,等.一种线圈组件拆装方便的磁流变阻尼器:中国,CN102661353A[P].2012-09-12.

Design and Experiment of Magneto-Rheological Damper

Jia Shuang, Xing Haijun, Yang Shaopu

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: In this paper, a new type structure of the magnetorheological damper is proposed, with the excitation coil of the magnetorheological damper on the external of the damping cylinder. The advantages of the new magnetorheological damper include easy removal and installation of the coil, good heat dissipation effect, and better effective stroke of the magnetorheological damper, etc. A simple prototype of the magnetorheological damper is developed, and its characteristics are verified through experiment.

Key words: magnetorheological damper; external coil; experimental verification; damping force

(上接第 82 页)

- [9]Yang G, Large-scale magnetorheological fluid damper for vibration mitigation; modeling, testing and control, PHD dissertation[D]. Indiana: University of Nortre Dame, 2001.
- [10]Philips R W. Engineering applications of fluids with variable yield stress[D]. California: Ph. D Dissertation University, 1976.
- [11]邓志党,高峰,刘献栋,等.汽车磁流变减振器阻尼特性理论计算与试验[J].机械工程学报,2008,44(8):202-207.
- [12]邢海军,布美娜,杨绍普,等.外置多圆孔阻尼通道磁流变阻尼器:中国,CN201410666465[P].2014-11-20.

Quasi-static Analysis of Magnetorheological Dampers with Multi-hole-ducts Valve

Bu Meina, Xing Haijun, Jia Shuang, Yang Shaopu, Shen Yongjun

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: In this paper, the damping force of Magnetorheological dampers with multi-hole-ducts valve is analyzed using quasi-static axi-symmetric model. Based on Bingham model, the equation of Magnetorheological fluid through outlay multi-hole-ducts valve is derived. The relationship between the pressure gradient, the structure parameters of MR damper and the performance parameters of Magnetorheological fluid is shown as a quartic algebraic equation. The analytical solution of the pressure gradient equation is obtained by algebraic equation theory. Because of the complexity of the analytical solution, an approximate solution which is in close agreement with the analytical solution is given.

Key words: magnetorheological damper; damping force; Bingham model; multi-hole-ducts valve