

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.12.008

# 从动轴粘滞阻尼器安装对齿轮轴系减振的实验研究\*

黄秀金,何立东\*,夏雪然

(北京化工大学 北京市高端装备健康监控与自愈化重点实验室,北京 100029)

**摘要:** 针对齿轮箱较为复杂的振动与噪声问题,对齿轮轴系振动特性及粘滞阻尼器的减振特性进行了研究,并提出了一种新型粘滞阻尼器用于控制齿轮轴系的振动。该粘滞阻尼器通过轴承与齿轮轴连接实施了齿轮轴系振动能量的消耗,从而达到了减振的目的。搭建了粘滞阻尼器—齿轮减速箱实验台,对粘滞阻尼器作用于输出轴时对齿轮轴系统减振特性进行了实验研究。研究结果表明,该粘滞阻尼器能有效抑制齿轮轴系的振动的各频率成分,减振幅度主动轴和从动轴分别高达55.4%和65.2%,从而可保证齿轮轴系稳定运行。

**关键词:** 粘滞阻尼器;齿轮轴系;振动;噪声;减振

**中图分类号:** TH113.1; TH132.4; TH703.62 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2014)12-1551-04

## Experimental study on vibration reduction for gear shafting with viscous damper mounted on the driven shaft

HUANG Xiu-jin ,HE Li-dong, XIA Xue-ran

(Beijing Key Laboratory of Health Monitoring and Self-recovery for High end Mechanical Equipment, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of complex vibration and noise in gearbox, the vibration characteristics of gear shaft and the damping properties of viscous dampers were studied. And a novel viscous damper for controlling vibration of gear shafting system was proposed in this study. The viscous damper conducts the vibration energy consumption by connected to the gear shaft with a bearing, so as to achieve the purpose of vibration reduction. A viscous damper-gearbox bench was built, and the damping characteristics for viscous damper acting on the driven shaft in gear shafting system was studied experimentally. The studied results show that the viscous damper could effectively suppress the respective frequency vibration components of the gear shafting system, achieving vibration amplitude reduction up to 55.4% and 65.2% for the drive shaft and the driven shaft respectively, thus ensuring the stability of the gear shafting system.

**Key words:** viscous damper; gear shafting; vibration; noise; vibration reduction

## 0 引 言

齿轮传动系统是机械中最常用的传动装置之一,广泛应用于船舶、航空航天、机械等领域。但齿轮传动中的振动与噪声是机械设备噪声的主要来源之一,即使是正常运转的无故障齿轮,也会由于轮齿啮合对

数的变化,产生随啮合刚度周期性变化的激励,导致参激振动而向外辐射噪声<sup>[1-2]</sup>。当有制造误差、安装误差时,这种振动会更加剧烈。如何对齿轮机构进行减振降噪处理在整个机械传动领域都有着重要的意义。

目前,国内外学者对齿轮传动系统非线性振动产生的机理和齿轮故障诊断研究的比较多<sup>[3-5]</sup>。也有部分学者从不同方面研究了降低齿轮振动的一些措施方

收稿日期: 2014-08-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)资助项目(2012CB026000);北京市教育委员会共建项目专项资助与博士点基金资助项目(20110010110009)

作者简介: 黄秀金(1989-),女,广东茂名,主要从事旋转机械动力学及振动减振方面的研究。E-mail:xiatian06@126.com

通信联系人: 何立东,男,研究员,博士生导师。E-mail:he63@263.com

法。常用的减振降噪方法有主动设计和被动减振两大类,主动设计主要在齿轮的设计阶段优化齿轮设计参数,如齿廓修形,以及提高加工精度<sup>[6-7]</sup>,被动减振是指在设计加工好齿轮之后,研究者采用其他方法对齿轮的振动进行控制,例如采用阻尼环对齿轮进行减振降噪<sup>[8-9]</sup>,这是目前研究比较多的一种减振方法。但阻尼环需要安装在轮体上,会增加齿轮的质量。

本研究提出一种新型的粘滞阻尼器,它能对齿轮这种复杂的振动有一定的减缓作用。先简单介绍粘滞阻尼器结构,并设计一个一级直齿轮传动系统,应用该粘滞阻尼器对齿轮轴系进行减振降噪实验研究。

## 1 粘滞阻尼器结构和减振特性

### 1.1 粘滞阻尼器结构

基于齿轮轴系结构和振动特征,本研究设计了一种新型齿轮轴用的粘滞阻尼器如图1所示。该阻尼器具有结构简单且易于装卸等优点。

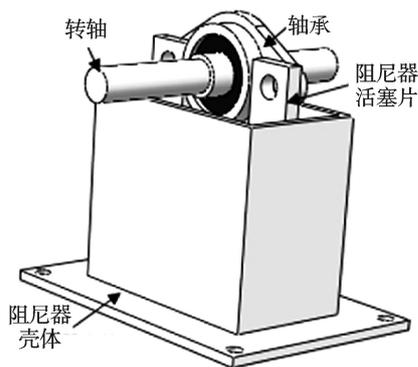


图1 粘滞阻尼器结构

本研究所设计的新型粘滞阻尼器的结构包括阻尼器活塞片、阻尼器壳体、轴承和阻尼液。

### 1.2 减振特性

阻尼液是一种高粘度硅油基材料,这种硅油基阻尼液在很宽的温度和频率范围内减振性能稳定。阻尼液活塞片通过轴承与齿轮轴连接,齿轮体上产生的振动与噪声通过与轴连接的轴承传递到阻尼器活塞片,将振动能量消耗到阻尼液中,进而抑制齿轮传动系统的内部激励,衰减整个系统的振动和噪声。

该粘滞阻尼器是与动力响应速度成正比的粘性阻尼,不承受静载荷,即不改变齿轮轴系统原有支撑。

## 2 减振降噪实验研究

### 2.1 实验装置介绍

实验用的粘滞阻尼器与齿轮传动系统装置如图2所示。

齿轮传动系统由一对渐开线直尺圆柱齿组成的减速传动,其具体参数如表1所示。

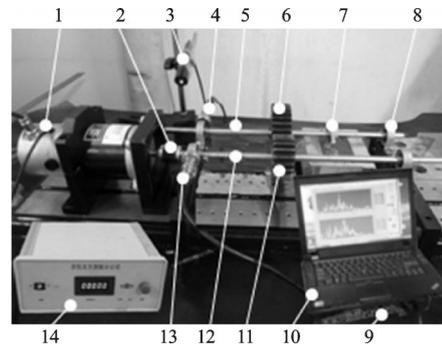


图2 实验装置

1—电机;2—联轴器;3—光电传感器;4—加速度传感器2;5—从动轴;6—从动齿轮;7—粘滞阻尼器;8—滚动轴承(4个);9—LC8004采集系统;10—计算机;11—主动齿轮;12—主动轴;13—加速度传感器2;14—电机转速控制器

表1 啮合齿轮参数

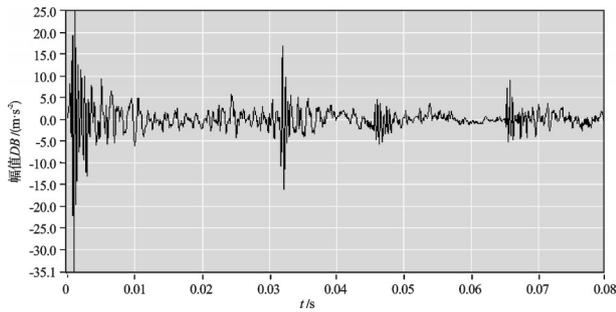
| 参 数                | 数 值 |
|--------------------|-----|
| 主动轮齿数 $Z_1$        | 20  |
| 从动轮齿数 $Z_2$        | 30  |
| 传动比 $i$            | 1.5 |
| 齿轮模数 $m/\text{mm}$ | 3   |
| 压力角/ $^\circ$      | 20  |
| 齿厚/ $\text{mm}$    | 30  |
| 理论中心距/ $\text{mm}$ | 75  |

齿轮传动系统的主动轴与传动轴的直径为10 mm,跨距为300 mm。主动轴和从动轴均支撑在滚动轴承上。主动轴由电机经联轴器驱动,通过转速控制器调节,输出转速范围为0~10 000 r/min。齿轮副采用滴油方式进行润滑,保证齿轮在运行过程中润滑充足。

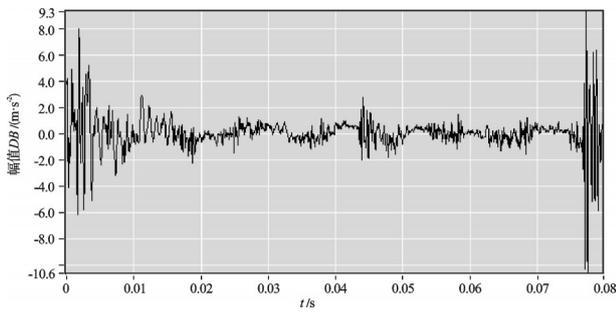
实验用测试系统为LC-8004系列多通道振动监测故障诊断系统,包含8个输入通道和专用振动信号处理采集板。两齿轮的水平方向的振动由吸在图2中左边轴承座上的加速度传感器分别测量,光电传感器采集转速,经计算机处理后能够对齿轮轴系振动的时域波形、频谱等实时采集、存储和分析。

### 2.2 实验过程

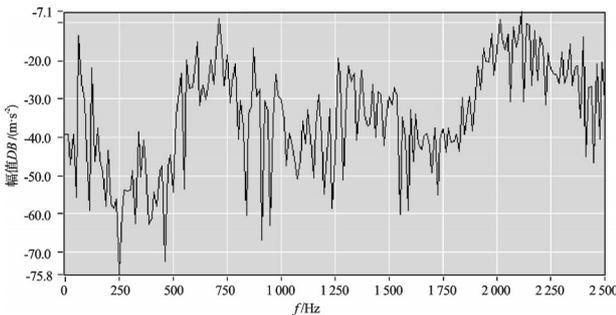
实验过程将齿轮的中心距调为74.85 mm,产生一定的安装误差。本研究将所设计的实验用的粘滞阻尼器安装于从动轴距离齿轮右端面70 mm处(具体如图2所示),实验过程通过调节转速控制器设置主动轴的输出转速  $n_1=600$  r/min(10 Hz),则从动轴的转速  $n_2=n_1 \cdot i=400$  r/min(6.7 Hz)。数据采集设置的分析频率为5 kHz,采样点数为1 024。实验中通过LC8004分别采集并分析了安装阻尼器前后的轴承座测点的加速度时域和频域信息,其实验结果如图3、图4所示。



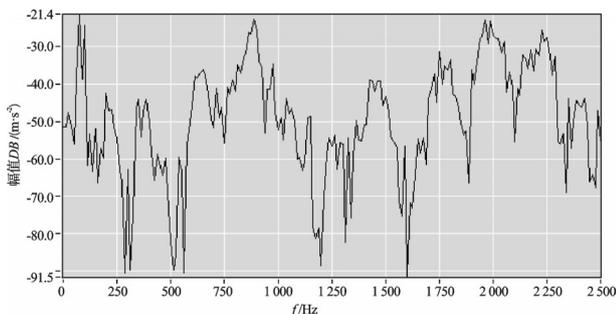
(a) 主动轴测点时域波形(无阻尼器)



(b) 主动轴测点时域波形(有阻尼器)



(c) 主动轴测点功率谱图(无阻尼器)



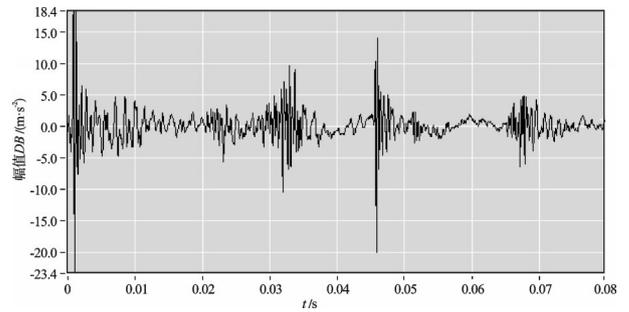
(d) 主动轴测点功率谱图(有阻尼器)

图3 在从动轴上加阻尼器前、后主动轴测点振动情况

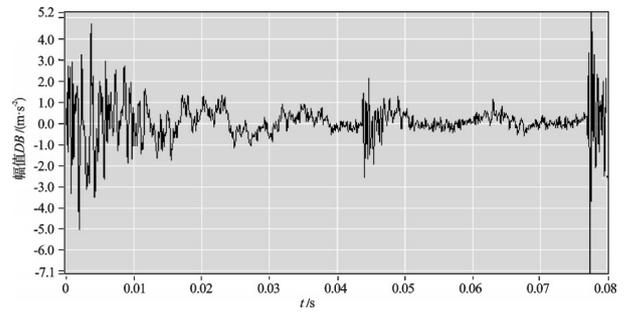
### 2.3 结果分析

齿轮副的啮合频率  $f_i = f_1 \cdot z_1 = f_2 \cdot z_2 = 200$  Hz。从图3(c)、4(c)的功率谱中可知,其频率成分比较复杂,主要有62.5 Hz、612.5 Hz、712.5 Hz、875 Hz、2 000 Hz以上的高频谐波成分和一些隐含频率成分,而转频和啮合频率成分的振动幅值很小,是齿轮安装不当或加工误差引起的振动。

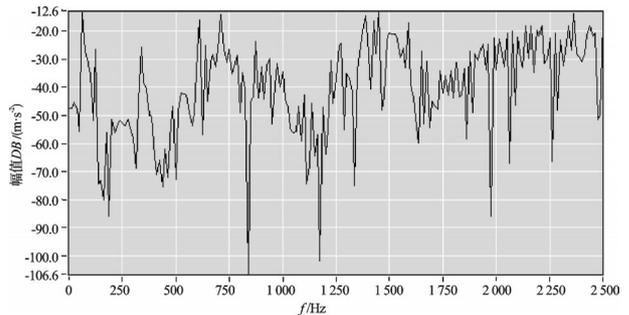
对比安装阻尼器前后的时域波形图,主动轴的加速度振动幅值从4.28 m/s<sup>2</sup>降到了1.91 mm/s<sup>2</sup>,降幅达到55.4%;从动轴的加速度振动幅值从3.59 m/s<sup>2</sup>降到



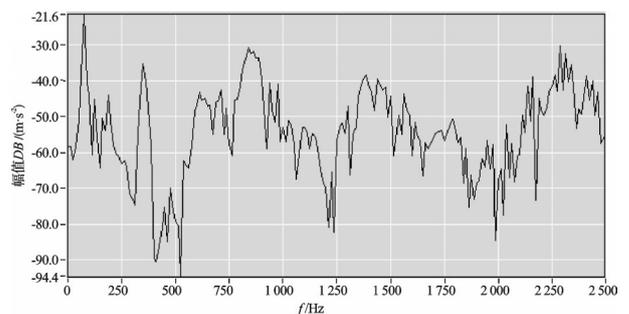
(a) 从动轴测点时域波形(无阻尼器)



(b) 从动轴测点时域波形(有阻尼器)



(c) 从动轴测点功率谱图(无阻尼器)



(d) 从动轴测点功率谱图(有阻尼器)

图4 在从动轴上加阻尼器前、后从动轴测点振动情况

了1.25 m/s<sup>2</sup>,降幅达到了65.2%。

对比安装阻尼器前、后的主动轴的功率谱如图3(c)、3(d)所示。从动轴的功率谱如图4(c)、4(d)所示。加阻尼器后各主要频率成分的振动幅值均有明显的降低,尤其2 000 Hz以上的高频谐波成分振动得到了很好的抑制,而且一些隐含的频率成分的振动也基本消失。实验中虽仍有些频率的振幅增大,但由于不是主要振动频率成分,其对齿轮传动的影响可以忽略。

综上所述,该粘性阻尼器不仅能有效抑制所在安装齿轮从动轴的振动,也能很好控制与之相啮合的主动

齿轮轴的振动,从而保证了整个齿轮轴系稳定运行。

### 3 结束语

针对齿轮箱较为复杂的振动与噪声问题,本研究对齿轮轴系的振动特性及粘滞阻尼器的减振特性进行了研究,并由此提出了一种新型的粘滞阻尼器,用于减小齿轮轴系的振动控制。

本研究对粘滞阻尼器在齿轮轴系的振动的控制中的应用进行了初步的试验分析,通过在从动轴安装阻尼器进行实验。实验结果表明,该粘滞阻尼器能有效抑制齿轮轴系的振动的各频率成分,从而保证了齿轮轴系稳定运行。

对于该粘滞阻尼器的减振机理分析以及其安装位置对减振降噪的影响等还有待进一步的研究。

#### 参考文献(References):

[1] 许光. 故障齿轮的振动分析和故障诊断[D]. 北京:燕山大学机械工程学院,2012.

[2] 沈庆根,郑水英. 设备故障诊断[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

[3] KUBUR M, KAHRAMAN A, ZINI D M, et al. Dynamic analysis of a multi-shaft helical gear transmission by finite elements: model and experiment[J]. **Journal of Vibration and Acoustics**, 2004(126):398-406.

[4] 宋雪萍,于涛,李国平,等. 齿轮轴系弯扭耦合振动特性[J]. 东北大学学报:自然科学版,2005,26(10):990-993.

[5] 邵忍平,黄欣娜,张延超,等. 弹性支撑条件下齿轮体的动力特性与啮合齿的动力响应[J]. 航空学报,2007,28(3):757-762.

[6] 袁哲. 齿轮振动可靠性与修形减振策略研究[D]. 沈阳:东北大学机械工程与自动化学院,2010.

[7] 袁哲,孙志礼,郭瑜. 直齿圆柱齿轮齿廓修形曲线优化设计,机械传动,2010,34(5):5-8.

[8] 毛炳秋,林莉,曹挺杰. 采用阻尼环降低齿轮传动振动噪声的研究[J]. 机械设计与研究,2005,21(1):47-49.

[9] 王庆洋,曹登庆,杨军波. 阻尼环对齿轮系统轴向振动的减振特性研究[J]. 振动与冲击,2013,32(6):190-194.

[编辑:李辉]

#### 本文引用格式:

黄秀金,何立东,夏雪然. 从动轴粘滞阻尼器安装对齿轮轴系减振的实验研究[J]. 机电工程,2014,31(12):1551-1554.

HUANG Xiu-jin, HE Li-dong, XIA Xue-ran. Experimental study on vibration reduction for gear shafting with viscous damper mounted on the driven shaft[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(12):1551-1554. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1550页)

### 5 结束语

本研究根据人体腰背部运动特点及治疗要求,设计了一种可穿戴式腰背部治疗仪,并对其结构设计和运动分析进行了研究和探讨,尤其对结构的几何学分析进行了详细的推导,并通过实验验证了模型的准确性。笔者通过运动学分析,了解了机构运动的核心指标。实验和仿真数据表明,可穿戴式腰背部治疗仪能很好地实现对人体腰背部的治疗,且具有良好的舒适性和安全性。本研究的设计思路与分析方法可为其他产品的研发提供参考。

#### 参考文献(References):

[1] 沈雷. 腰背部肌力训练结合牵引治疗腰椎间盘突出症[J]. 中国康复,2013(1):33-34.

[2] SUNDBERG T, HAGBERG L, ZETHRAEUS N, et al. Integrative medicine for back and neck pain: Exploring cost-effectiveness alongside a randomized clinical pilot trial[J]. **European Journal of Integrative Medicine**, 2014, 6(1):

29-38.

[3] MARTIN P, EMAMI M R. A neuro-fuzzy approach to real-time trajectory generation for robotic rehabilitation[J]. **Robotics and Autonomous Systems**, 2014, 62(4):568-578.

[4] CRAIG J J. 机器人学导论[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.

[5] 姚猛,韩宝玲,罗庆生,等. 工业码垛机器人机构设计与运动学分析[J]. 组合机床与自动化加工技术,2011(5):31-33.

[6] 于蓬,张为春,裴宝洁. 抢险机器人手臂机液耦合仿真分析[J]. 液压气动与密封,2011(6):29-33.

[7] 侯越,熊晓燕,王绚,等. 基于ADAMS和ANSYS的联合动力学仿真及应用[J]. 矿山机械,2014,42(1):111-115.

[8] 库才高,傅惠南. 基于ADAMS弹性浮动研磨机的动力学仿真[J]. 机电工程技术,2012(11):7-10.

[9] NESPOR J. Knowledge in motion: Space time and curriculum in undergraduate physics and management[M]. Newyork: Routledge, 2014.

[10] 马光伟,郭帅,程泓井,等. 下肢康复训练机器人腰部机构建模与运动学仿真研究[J]. 中国康复医学杂志,2014, 29(2):145-149.

[编辑:李辉]