

文章编号: 1000-8055(2007)11-1893-05

主动式弹支干摩擦阻尼器控制转子振动的实验

王四季, 廖明夫, 杨伸记

(西北工业大学 旋转机械与风能装置测控研究所, 西安 710072)

摘 要: 设计了一种主动控制式弹支干摩擦阻尼器. 实验研究了该主动控制式弹支干摩擦阻尼器对转子减振的效果. 实验发现, 通过选择合适的控制方案, 主动式弹支干摩擦阻尼器能够对转子振动进行有效控制, 减振效果明显. 另外, 实验表明, 主动控制式弹支干摩擦阻尼器结构简单, 易于施加控制, 功耗小, 将是一种很有应用前景的转子主动减振结构.

关 键 词: 航空、航天推进系统; 主动式弹支/干摩擦阻尼器; 转子; 振动控制

中图分类号: V231.9

文献标识码: A

Experimental investigation on rotor vibration control by elastic support/ dry friction damper

WANG Si-ji, LIAO Ming-fu, YANG Shen-ji

(Institute of Monitoring and Control for Rotating Machinery and Windturbines,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: An actively controlled elastic support/ dry friction damper was designed and investigated experimentally for its effectiveness of reducing rotor vibration. It is proven that the active damper can effectively reduce rotor vibration by an active control strategy. Experimental results show that the damper features simple construction, ease-of-control and little power consumption. So, such an actively controlled elastic support/ dry friction damper is promising in practical application.

Key words: aerospace propulsion system; active elastic support/ dry friction damper; rotors; vibration control

弹支干摩擦阻尼器作为一种新型的减振机构具有较好的减振效果^[1]. 用它作为转子振动的被动控制装置能够明显降低转子过临界转速时的振动幅值^[1]. 但是作为被动控制的机构存在着无法根据转子振动状态进行寻优控制和长时间干摩擦使摩擦面过热的缺点. 因此, 研究主动式弹支干摩擦阻尼器用于转子振动的控制, 具有十分重要的意义.

文中设计了一种主动式弹支干摩擦阻尼器及控制执行器, 实验研究了主动式弹支干摩擦阻尼

器抑制转子振动的可行性和有效性. 实验发现, 通过选择合适的控制方案, 主动式弹支干摩擦阻尼器能够对转子振动进行有效控制, 减振效果明显. 另外, 实验表明, 主动控制式弹支干摩擦阻尼器具有结构简单, 易于施加控制, 功耗小等特点, 是一种很有应用前景的转子主动减振结构.

1 弹支干摩擦阻尼器控制器的结构和实验装置

图 1 给出了主动式弹支干摩擦阻尼器及控制

收稿日期: 2007-04-29; 修订日期: 2007-09-17

作者简介: 王四季(1981-), 男, 安徽濉溪人, 博士生, 研究方向: 转子振动控制, 旋转机械状态监测与故障诊断.

执行器实验装置的详细结构. 实验装置主要包括: 盘、轴、保护支承、电磁铁、支座、鼠笼式弹性支承、动摩片、静摩片、轴承支座、柔性联轴器以及电机等.

单盘对称转子支承在两个滚动轴承上. 轴承外环分别支承在两个鼠笼式弹性支座中. 弹支一端固定在固装的支座 1 上, 另一端面上固定了动摩片. 在支座 2 中安装了静摩片和电磁铁. 弹性支

承、动摩片、静摩片和电磁铁等一起构成了主动式弹支干摩擦阻尼器. 电磁铁提供法向压力, 使静摩片与动摩片保持接触, 同时可以根据转子振动的大小控制动、静摩片之间压力以及动、静摩片的接触和分离. 转子两端的支承以及弹支干摩擦阻尼器结构是相同的. 图 2 为主动式干摩擦阻尼器的详细结构.

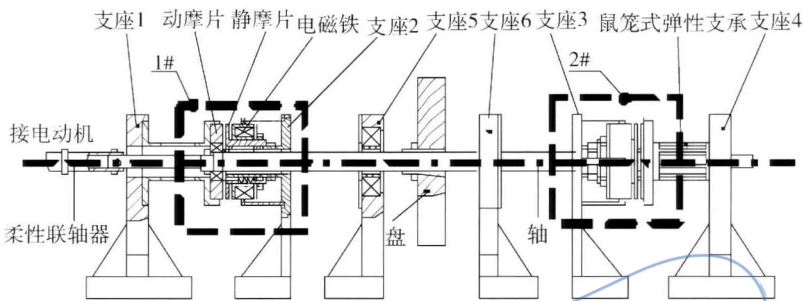


图 1 主动式弹支干摩擦阻尼器实验装置结构图

Fig. 1 A rotor system with two active elastic support/dry friction dampers

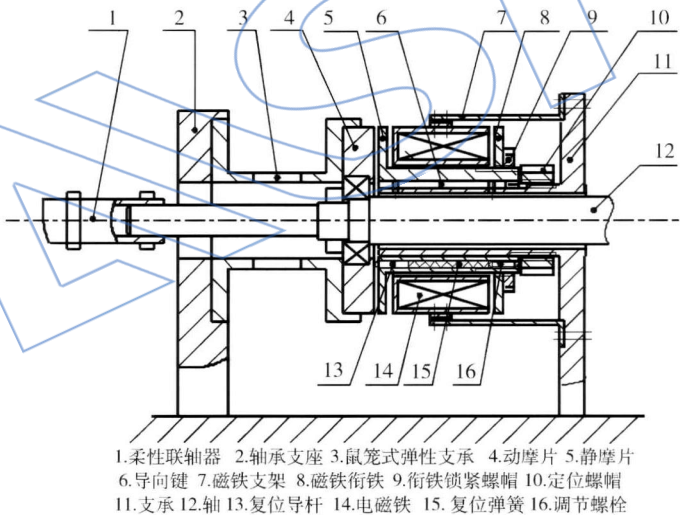


图 2 主动式弹支干摩擦阻尼器详细结构图

Fig. 2 Cross-section of an active elastic support/dry friction damper

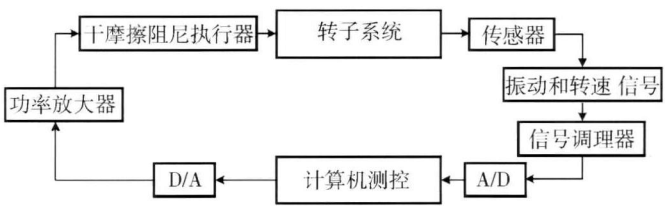


图 3 控制系统框图

Fig. 3 The controller system

图 3 是控制系统框图, 主要由干摩擦阻尼执行器、电涡流位移传感器、光电传感器、信号调理器、功率放大器、数据采集卡、电脑等组成. 干摩擦阻尼执行器主要由电磁铁和动静摩片构成, 其中

电磁铁用于控制动、静摩片之间的正压力, 即控制动、静摩片之间的摩擦力; 两只电涡流位移传感器用来测量圆盘水平方向 (CH_1) 和垂直方向 (CH_2) 处的振动位移量. 光电传感器用于测量转速, 并作

为测量相位角的参考标志. 信号调理器和功率放大器分别用于测量信号的调理和控制信号的放大. 数据采集卡主要用于转速和振动信号的采集以及控制信号的输出. 用自行研制的旋转机械振动状态监测与控制系统, 作为信号的监视、采集、记录、分析以及控制.

2 实验过程与结果讨论

为了研究主动式弹支干摩擦阻尼器对转子系统振动控制的效果以及振动控制下的振动特征, 主要进行以下试验:

(1) 主动式弹支干摩擦阻尼器不加控制电流, 转子从 0 r/min 均匀升速到 2700 r/min , 确定转子的临界转速和转子的幅频特性.

(2) 根据 (1) 中的幅频曲线, 设置转子从 0 r/min 均匀升速到 2700 r/min 过程中的转速阈值, 在阈值范围内, 1 # 和 2 # 主动式弹支干摩擦阻尼器动、静摩擦片之间的正压力根据转子振动大小和转速调节.

(3) 1 # 和 2 # 主动式弹支干摩擦阻尼器施加恒定电流, 转子从 0 r/min 均匀升速到 2700 r/min

min, 即转子从 0 r/min 升速至 2700 r/min 过程中, 1 # 和 2 # 弹支干摩擦阻尼器动、静摩擦片之间的正压力恒定. 观察转子的临界转速以及幅频特性.

(4) 分别用 1 # 和 2 # 主动式弹支干摩擦阻尼器进行 (2) 中的实验, 观察振动控制效果.

图 4 是按照试验过程 (1) 没有施加控制, 转子从 0 r/min 均匀升速至 2700 r/min 的 Bode 图. 从图中可看出转子的临界转速大约在 1500 r/min 左右, 临界转速区域为 $1350 \text{ r/min} \sim 1720 \text{ r/min}$, 此外转子在 $680 \text{ r/min} \sim 850 \text{ r/min}$, $420 \text{ r/min} \sim 590 \text{ r/min}$ 和 $230 \text{ r/min} \sim 380 \text{ r/min}$ 转速区间内振动比相邻区间大. 因此设定转速阈值和 4 个主动控制区间为 $230 \text{ r/min} \sim 380 \text{ r/min}$, $420 \text{ r/min} \sim 590 \text{ r/min}$, $680 \text{ r/min} \sim 850 \text{ r/min}$ 和 $1350 \text{ r/min} \sim 1720 \text{ r/min}$. 在以上转速区间内弹支干摩擦阻尼器工作, 动摩擦片和静摩擦片之间的正压力根据振动大小进行调整; 区间之外弹支干摩擦阻尼器不工作, 即动摩擦片和静摩擦片脱离接触.

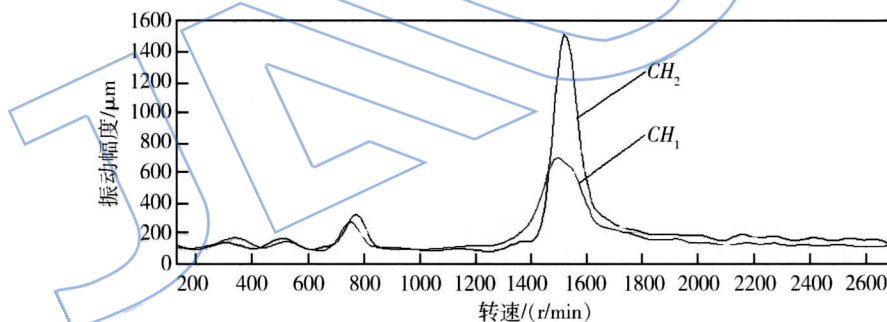


图 4 增速 Bode 图

Fig. 4 Diagrams of Bode

转子从 0 r/min 均匀升速至 2700 r/min 的过程中, 同时开启 1 # 和 2 # 弹支干摩擦阻尼器对转子振动进行控制 (试验过程 2). 图 5 比较了施加控制和未施加控制转子的 Bode 图. 结果表明

经过控制后, 4 个控制区间的振动幅值都明显减小, 在临界转速区间内最大减幅达到了 71.1% , 同时转子系统的临界转速没有变化.

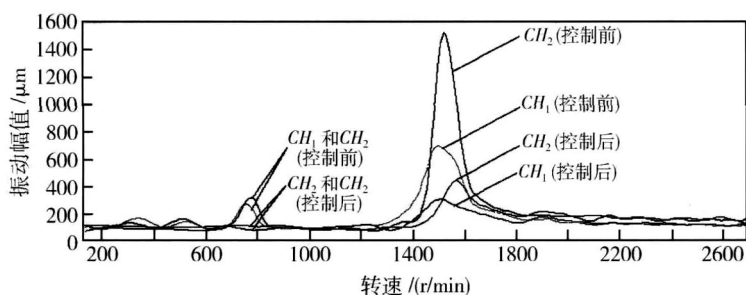


图 5 控制前、后增速 Bode 图对比

Fig. 5 Comparing with diagrams of bode before active controlled and after

图 6 是按照试验过程(3)所做的增速 Bode 图与没有施加控制的增速 Bode 图对比. 实验结果表明被动控制虽然能够同样减小临界转速区的振动,但是由于转子在增速过程中,动、静摩片一直接触,给转子支承附加了支承刚度,从而改变了转子系统的临界转速,临界转速从 1 500 r/min 左右变化为 1 800 r/min 左右(如图 6),不利于转子系

统的工作. 而主动控制后,由于动、静摩片只在临界转速区接触,转速通过了临界转速区域动、静摩片又分离,这样只是在临界转速区给转子支承附加了支承刚度,在转子的工作和其它转速区域并没有附加支承刚度,所以主动控制后弹支阻尼器不会增加转子系统的临界转速.

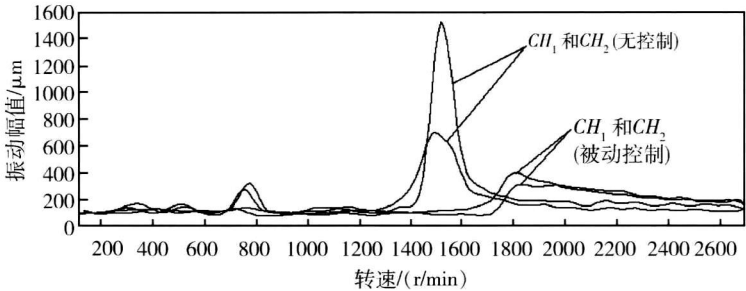


图 6 无控制与被动控制增速 Bode 图对比

Fig. 6 Comparing with diagrams of bode without damper and with passive controlled

图 7 和图 8 是按照试验过程(4)分别单独开启 1 # 和 2 # 弹支干摩擦阻尼器所做的增速 Bode 图与无控制状态下的增速 Bode 图对比. 从图中可以看出单个弹支干摩擦阻尼器控制转子振动同

样有较好效果. 其中,用 1 # 弹支干摩擦阻尼器控制时,振幅最大减小 53.8 %,用 2 # 弹支干摩擦阻尼器控制时,振幅最大减小 22.7 %.

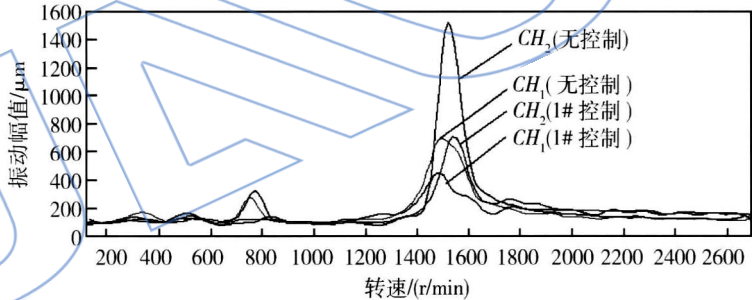


图 7 无控制与 1 # 控制的增速 Bode 图对比

Fig. 7 Comparing with Diagrams of Bode without damper and with 1 # active damper

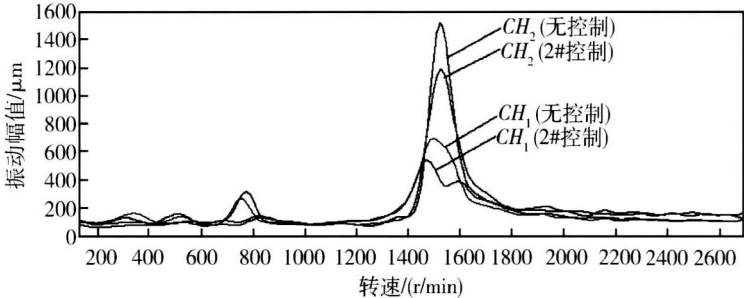


图 8 无控制与 2 # 控制的增速 Bode 图对比

Fig. 8 Comparing with Diagrams of Bode without damper and with 2 # active damper

图 9 是分别用 1 # 和 2 # 弹支干摩擦阻尼器控制时增速 Bode 图对比. 从图中可以看出 1 # 单独控制时的减振效果比 2 # 单独控制时的效果

好. 这是因为 1 # 弹支干摩擦阻尼器靠近传动轴振动幅度比较大,即动摩擦片、静摩擦片之间的耗能就比较大.

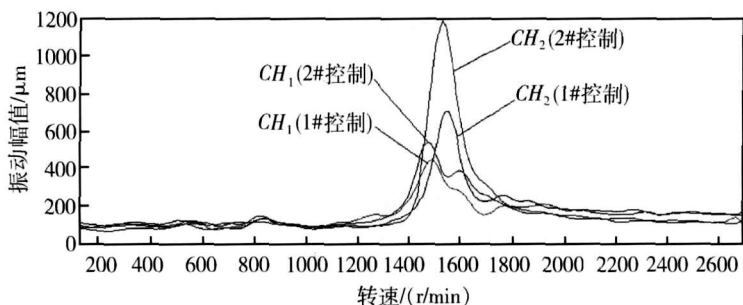


图 9 1 # 和 2 # 分别控制增速 Bode 图对比

Fig. 9 Comparing with diagrams of Bode with 1 # active damper and with 2 # active damper

在以上各个控制过程中,功率放大器的最大功率不超过 25 W,因此主动式弹支干摩擦阻尼器具有减振效果好,功耗小,易于控制等特点。

3 结 论

实验研究了主动式弹支干摩擦阻尼器控制转子振动的效果.实验结果表明:

(1) 主动式弹支干摩擦阻尼器减振效果很好.通过选择合适的控制方案,使主动式弹支干摩擦阻尼器减振效果达到最优,同时克服了被动式弹支干摩擦阻尼器不能进行主动控制和改变转子系统的临界转速等缺点;

(2) 用一个弹支干摩擦阻尼器同样能够对转子振动进行控制,但控制效果要稍逊于同等条件下的两个弹支干摩擦阻尼器;

(3) 主动式弹支干摩擦阻尼器具有减振效果好,功耗小,易于控制的优点;

由于文中的控制执行机构只是进行原理性验

证,机构设计和控制系统比较庞大.但是通过结构设计和控制方案的改进,主动式弹支干摩擦阻尼器将是一种很有应用前景的转子主动减振机构。

参考文献:

[1] 范天宇,廖明夫,王俨凯. 弹性支承干摩擦阻尼器减振实验研究[J]. 机械科学与技术,2005,(24)9:1063-1065.
FAN Tianyu, LIAO Mingfu, WANG Yankai. Experimental investigation of dry friction damper with elastic support[J]. Mechanical Science and Technology, 2005, (24)9:1062-1065.

[2] 范天宇,廖明夫. 转子干摩擦阻尼器及其减振机理[J]. 机械科学与技术,2003,(22)5:743-745.
FAN Tianyu, LIAO Mingfu. Dynamic behavior of a rotor with dry friction dampers[J]. Mechanical Science and Technology, 2003,(23)5:743-745.

[3] LIAO M F, GASCH R, KOLKO, et al. Stability improvement of motion of a rotor with an active control method[J]. Journal of Vibration and Control, 2000, 6(2):291-308.