

船用燃气轮机挤压油膜阻尼器阻尼特性试验研究

徐 宁¹,王 旭¹,张 敏²,徐方程²

(1. 中国船舶重工集团公司 第七〇三研究所 黑龙江 哈尔滨 150078;
2. 哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 采用脉冲激励法研究船用燃气轮机的挤压油膜阻尼器结构参数对其阻尼特性的影响规律。研究表明, 阻尼器的有效长度、油膜半径间隙对其阻尼特性有较显著的影响, 偏心率在 0~0.3 的范围内, 其影响不大。另外, 在试验过程中滑油的微小气泡及噪声信号对测试结果有一定的影响, 脉冲激励对测试结果的影响则不大, 同时也验证了本试验研究方案的可行性。

关 键 词: 挤压油膜阻尼器; 脉冲激励法; 有效工作长度; 油膜半径间隙; 偏心率

中图分类号: TK474 文献标识码: A

引 言

挤压油膜阻尼器因其优良的减振特性在燃气轮机等旋转机械中得到广泛应用。目前, 有关挤压油膜阻尼器的一些设计研究多采用经验、理论和试验相结合的方法^[1]。而挤压油膜阻尼器的结构参数对其阻尼特性影响较大, 在这方面如何合理的选择挤压油膜阻尼器结构参数, 是使其在工作过程中发挥良好减振作用的关键因素。

国内外的学者对挤压油膜阻尼器的阻尼特性进行了较多的研究, 但由于不同挤压油膜阻尼器的工作特性不相同, 有关结构参数对其阻尼特性影响规律方面的试验研究还很少, 有的文献多是针对特定型号进行少数的试验验证, 具有一定的局限性。

本文以船用燃气轮机的鼠笼式挤压油膜阻尼器为研究对象, 对 7 个不同结构的挤压油膜阻尼器进行试验研究, 通过试验结果与理论计算结果的对比分析和相应的误差分析, 找到影响挤压油膜阻尼器阻尼系数的因素, 从而为挤压油膜阻尼器参数的选取提供了依据。

1 试验原理

采用脉冲激励法对鼠笼式挤压油膜阻尼器的阻

尼特性进行测试, 该方法是模态试验中较常用的方法, 所需设备简单, 试验速度快, 不存在传统的正弦激励所带来的激振器安装及附加质量等问题。图 1 为挤压油膜阻尼器的试验原理图。本试验将分别测试无供油状态下的鼠笼式挤压油膜阻尼器系统的固有阻尼 c_0 、有供油状态下的系统的阻尼 c_1 , 二者差值即为挤压油膜的阻尼值 c :

$$c = c_1 - c_0 \tag{1}$$

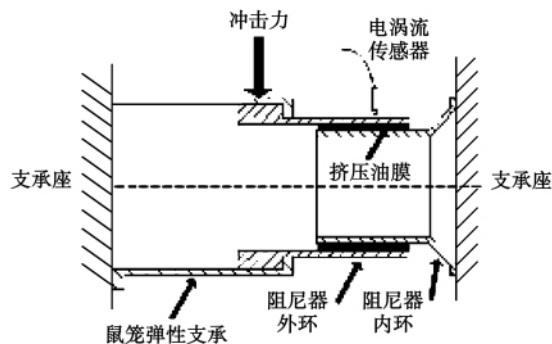


图 1 测试原理图

Fig. 1 Drawing for showing the test principle

当鼠笼式挤压油膜阻尼器的内外环间隙中没有油介质时, 鼠笼外环受到瞬间的冲击力之后, 只有鼠笼和挤压油膜阻尼器外环做自由衰减振动, 通过位移传感器测出振动信号, 并提取出该系统的固有频率 ω_0 及自由衰减振动曲线, 如图 2 所示。根据衰减曲线得到其对数衰减比 δ_0 ^[2]:

$$\delta_0 = \ln \frac{A_1}{A_3} = 2 \ln \left| \frac{A_1}{A_2} \right| = 2 \ln \left| \frac{A_2}{A_3} \right| = \dots \tag{2}$$

假设该系统为单自由度系统, 由其动力学方程可得该系统的临界阻尼:

$$c_c = 2 \sqrt{mk} = 2m\omega_0 \tag{3}$$

由于系统的阻尼系数 c_0 为:

$$c_0 = \zeta_0 \cdot c_c \tag{4}$$

再利用衰减曲线得到的系统的阻尼比 ζ_0 :

收稿日期: 2011 - 05 - 19; 修订日期: 2011 - 09 - 20

作者简介: 徐 宁(1983 -), 男, 黑龙江哈尔滨人, 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所助理工程师。

$$\zeta_0 \approx \delta_0 / 2\pi \quad (5)$$

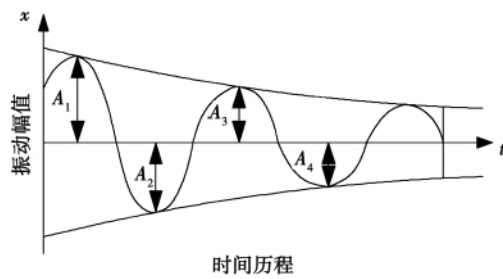


图 2 振动衰减曲线

Fig.2 Vibration attenuation curve

从而得到系统的固有阻尼 c_0 为:

$$c_0 = \frac{\delta_0 k}{\pi \omega_0} = \frac{k}{\pi \omega_0} \ln \left| \frac{A_1}{A_3} \right| \quad (6)$$

同样,可以测试得到在供油状态下阻尼器系统的阻尼 c_1 。

2 挤压油膜阻尼器试验研究

2.1 试验台介绍

挤压油膜阻尼器动力学特性测试试验台主要由 3 部分组成: 试验台本体, 测试系统及供油系统, 如图 3 所示。



图 3 挤压油膜阻尼器动力学测试试验台

Fig.3 Dynamic test rig for extruded oil film dampers

为了能给阻尼器提供稳定的油压,避免传统离心式油泵在供油时存在的微小波动影响测量精度,试验采用液压油缸式准静态供油方式,其原理为把润滑油存储在一个等截面的圆柱液压油缸里,通过对活塞施加不同的压力来达到调节供油压力的目的。图 4 是试验件实物图。试验设计的 7 个阻尼器试验件的结构参数如表 1 所示。试验过程中所用的电涡流位移传感器型号为 WD201,灵敏度为 0.125 mm/V,信号采集系统为 ACME II-850,采样频率大于 1 000 kHz。



图 4 挤压油膜阻尼器实物

Fig.4 An actual extruded oil film damper

表 1 挤压油膜阻尼器结构参数

Tab.1 Structure parameters of the extruded oil film damper

	阻尼器编号						
	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号
油膜半径间隙 c/mm	0.08	0.1	0.13	0.1	0.1	0.1	0.1
阻尼器有效长度 L/mm	24	24	24	10.1	16.7	10.1	10.1
长径比 (L/D)	0.225	0.225	0.225	0.095	0.157	0.095	0.095
偏心率 ε	0	0	0	0	0	0.1	0.3

2.2 测试试验

首先测试无供油状态下 1 号阻尼器系统的固有

阻尼。1 号阻尼器外环系统的刚度值选用鼠笼的刚度为 2.7766×10^7 N/m。测量结果如图 5 所示,从振动衰减曲线图中可以看出,由鼠笼和挤压油膜阻尼器外环组成的外环系统的固有阻尼比较小,其振动经过较多个周期才衰减完毕。信号采样得到该系统的固有频率为 198.8 Hz,计算出阻尼器外环系统的固有阻尼系数 c_0 为 998 N·s/m。

然后在供油状态下,测试阻尼器系统的阻尼值,从图 6 的振动衰减图中可以看到 1 号挤压油膜阻尼器系统的振动幅值经历了一个波峰之后就衰减到很小。这说明挤压油膜阻尼器起到了减振效果。

这样就可以得到了 1 号挤压油膜阻尼器的阻尼系数。

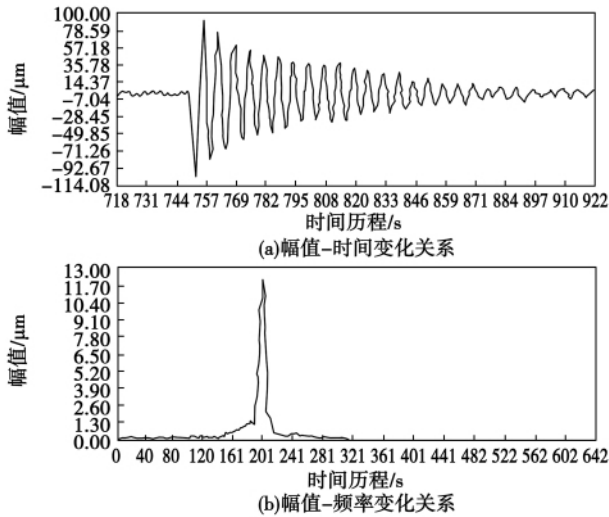


图 5 外环系统固有阻尼测试图
Fig. 5 Inherent damping test spectrum of the outer-loop system

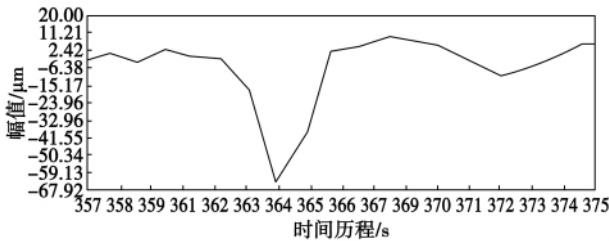


图 6 1 号阻尼器系统的振动衰减曲线图
Fig. 6 Chart for showing the vibration attenuation curves of No. 1 damper system

3 试验结果与理论结果分析

3.1 阻尼特性的理论计算

目前,对挤压油膜阻尼器的油膜力的研究主要采用短轴承和长轴承两种模型。根据两种模型的假设理论,就可以推出相应条件下的挤压油膜阻尼器阻尼系数^[3]。由于所研究的阻尼器长径比均小于 0.25,且供油压力较大,因此符合短轴承全油膜假设条件,其阻尼系数计算式为:

$$C_{rr} = \frac{\mu RL^3}{c^3} \frac{\pi(1+2\varepsilon^2)}{(1-\varepsilon^2)^{5/2}} \quad (7)$$

3.2 结果对比分析

7 个不同结构参数的挤压油膜阻尼器试验结果及计算结果如表 2 所示。

表 2 两种方法的结果对比

Tab. 2 Comparison of the results obtained by using both methods

阻尼器编号	试验结果 /N · s · m ⁻¹	短轴承全油膜理论计算值 /N · s · m ⁻¹	误差 /%
1 号	85 352	99 463	14.3
2 号	45 220	50 925	11.3
3 号	21 680	23 179	9.8
4 号	3 611	3 796	4.9
5 号	15 828	17 157	7.8
6 号	3 855	3 970	3.0
7 号	5 512	5 670	2.9

图 7 ~ 图 9 是不同油膜半径间隙、不同有效长度、不同偏心率时的阻尼系数试验结果和计算结果的对比曲线。

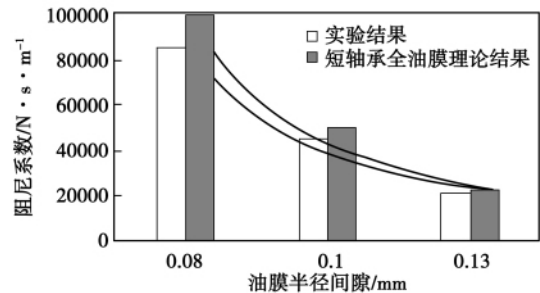


图 7 半径间隙与阻尼系数关系曲线
Fig. 7 Relation curves between the radius clearance and the damping coefficient

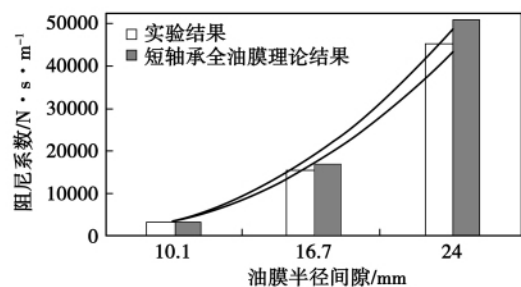


图 8 有效长度与阻尼系数关系曲线
Fig. 8 Relation curves between the effective length and the damping coefficient

3.2.1 油膜半径间隙对阻尼特性的影响分析

由图 7 可以看出,挤压油膜阻尼器的阻尼特性随着油膜半径间隙的增大而急剧减小,变化规律约与半径间隙的三次方成反比;同时两者之间的误差也逐渐缩小,这是因为在给定敲击力的作用下,半径

间隙越小的油膜越容易破裂产生气泡,这些气泡在一定程度上影响了油膜的阻尼特性,使阻尼器的阻尼系数降低。

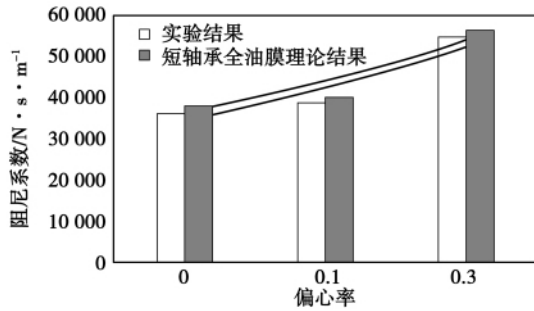


图9 偏心率与阻尼系数关系曲线

Fig. 9 Relation curves between the eccentricity and the damping coefficient

3.2.2 有效工作长度对阻尼特性的影响分析

由图8可以看出,挤压油膜阻尼器的阻尼特性随着有效工作长度的增加而显著增大,变化规律大约与其长度的三次方成正比;表3是长度为16.7、24 mm的5号和2号阻尼器相对于长度为10.1 mm的4号阻尼器的阻尼变化结果:虽然5号和2号的长度只比4号的长度增加了65.3%和137.6%,但阻尼特性却增大了338.3%和1152.3%。理论计算值也是如此。这体现了挤压油膜阻尼器较强的非线性动力学特点。

表3 阻尼系数随有效工作长度增幅变化结果表
Tab. 3 Table for showing the results of the change of the amplitude of the damping coefficient with the effective working length

	有效长度/mm	相对于4号长度的增幅/%	试验值增幅/%	计算值增幅/%
5号	16.7	65.3	338.3	352.1
2号	24	137.6	1152.3	1241.9

3.2.3 偏心率对阻尼特性的影响分析

由图9可以看出,挤压油膜阻尼器的阻尼特性随着偏心率的增大而增大,在偏心率为0~0.3的范围内大致成线性关系,且试验值与计算值比较接近。

3.3 其它影响因素分析

3.3.1 润滑油微小气泡

试验虽然采用了准静态的供油方式,避免了机械式旋转泵引起的压力脉动等缺点。但是每次在试验前向油缸内注入润滑油的过程中,不可避免的带入了少量的空气。空气以微小气泡的形式随着润

油流入到阻尼器的挤压油膜中,从而影响了润滑油在阻尼器内部形成周向挤压油膜的完整性,这在一定程度上降低了阻尼器的阻尼特性。

3.3.2 信号噪声

图10是在试验测试过程中通道噪声。从图中可以看出,噪声的范围在±0.7 μm之间,并且噪声信号一直伴随着振动响应信号衰减的全过程而难以消除,影响了信号的分析处理。图11是在供油状态下阻尼器的振动衰减曲线。脉冲激励过后噪声的绝对值占阻尼器振动的第一个波峰值的12.7%。图12是该阻尼器在无供油条件下的振动衰减曲线。脉冲激励之后噪声的绝对值占波峰值的1.1%,这说明噪声对测量结果有一定的影响。为得到可靠的模态参数,需进行多次反复的试验。

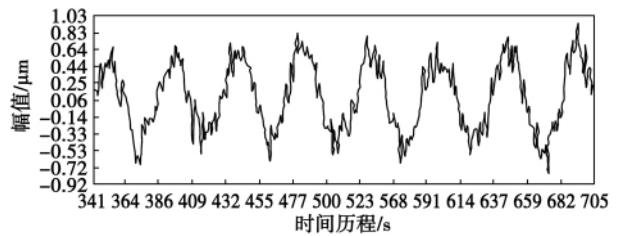


图10 测试过程中振动噪声信号

Fig. 10 Vibration noise signals during the test

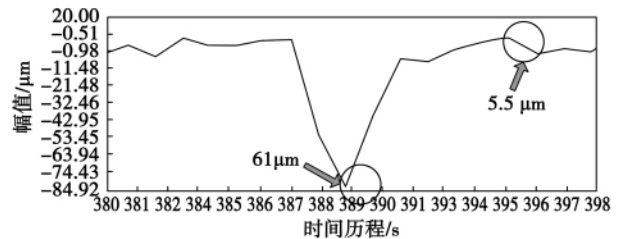


图11 供油充足条件下阻尼器振动衰减曲线

Fig. 11 Vibration attenuation curves of the damper under the condition when oil is sufficiently supplied

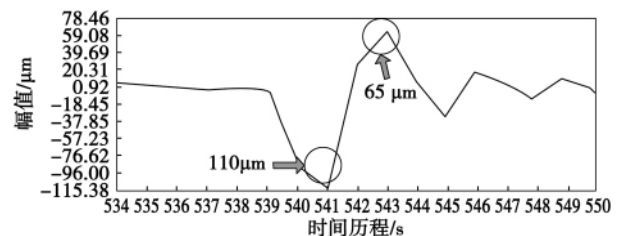


图12 无油条件下阻尼器振动衰减曲线

Fig. 12 Vibration attenuation curves of the damper under the condition when no oil is supplied

3.3.3 脉冲激励大小

图 13 是振动衰减率随脉冲激励力大小的变化图。其中横坐标体现的是脉冲激励的大小,纵坐标体现的是阻尼器的阻尼系数。试验中第一个波谷值在 20~70 μm 时,阻尼器振动信号衰减曲线的对数衰减率基本上分布在 1 上下,可以认为试验中脉冲激励大小对试验结果没有影响。

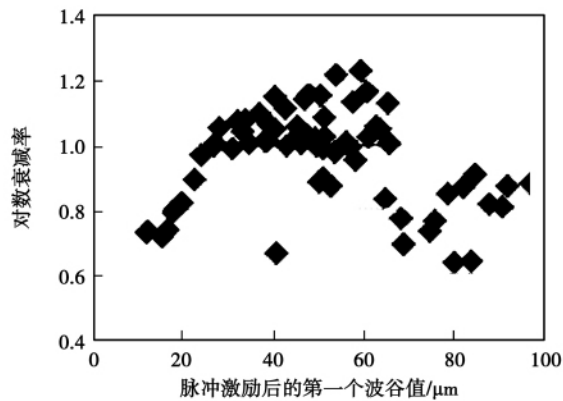


图 13 振动曲线对数衰减率随第一个波谷值变化图

Fig. 13 Chart for showing the logarithm attenuation rate vibration curves changing with the first wave valley value

4 结 论

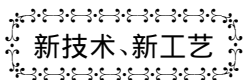
基于船用燃气轮机的鼠笼式挤压油膜阻尼器,

设计了 7 个不同结构参数的试验件。在准静态的供油方式下,采用脉冲激励法进行了阻尼特性试验,研究了挤压油膜阻尼器结构设计参数对其阻尼特性的影响规律:挤压油膜阻尼器的阻尼系数与油膜半径间隙的三次方成反比例关系,与有效工作长度的三次方成正比例关系,在偏心率为 0~0.3 的范围内,与其成正比例的关系。并且试验过程中,润滑油中存在的微小气泡一定程度上会降低挤压油膜阻尼器的阻尼特性,噪声信号也会对测试结果产生一定的影响,脉冲激励的大小对试验测试的结果几乎没有影响。与理论假设模型的计算结果相比较,本试验得到的结果更具工程实际意义。

致谢:在本研究工作中,得到哈尔滨工业大学刘占生教授的指导,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 晏砺堂. 航空燃气轮机振动和减振 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
YAN LI-tang. Vibration and vibration abatement of aero-gas turbines [M]. Beijing: National Defence Industry Publishing House, 1991.
- [2] 李德葆, 陆秋海. 工程振动试验分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
LI De-bao, LU Qiu-hai. Engineering vibration test and analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 2004.
- [3] 付才高. 航空发动机手册第 19 册 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2000.
FU Cai-gao. Aero-engine handbook, Volume 19 [M]. Beijing: Aviation Industry Publishing House, 2000.



新技术、新工艺

新一代破冰船的反应堆装置

据《Судоостроение》2011 年 6 月刊报道,俄罗斯将研制新一代原子能破冰船的反应堆装置。

俄罗斯现装有 OK-900 型反应堆装置的原子能破冰船的使用寿命即将期满,为了捍卫国家在北极圈的利益,俄罗斯需要建造新一代原子能破冰船。

为此,提出研制新一代的破冰船 РИТМ-200 型反应堆装置。

根据技术设计要求,给出了 РИТМ-200 型反应堆的技术特性,并把它与正在俄罗斯破冰船上运行的现 OK-900A 和 КЛТ-400 型反应堆主要的技术特性进行了比较。

分析的比较表明,РИТМ-200 型反应堆装置具有明显的优点。

(吉桂明 摘译)

船用燃气轮机挤压油膜阻尼器阻尼特性试验研究 = **Experimental Study of the Damping Characteristics of an Extruded Oil Film Damper in a Marine Gas Turbine** [刊, 汉] XU Ning, WANG Xu (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078), ZHANG Min, XU Fang-cheng (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2012 27(1). -13 ~ 17

By using the pulsation excitation method, studied was the law governing the influence of the structural parameters of an extruded oil film damper in a marine gas turbine on its damping characteristics. The research results show that the effective length and the oil film radius clearance of the damper have a remarkable influence on the damping characteristics. However, when the eccentricity is in a range of 0-0.3, such an influence is not big. Furthermore, the tiny bubbles and noise signals in the oil film during the test process have certain influence on the test results while the pulsation excitation has little influence. In the meantime, the feasibility of the present test and study scheme was also verified. **Key words:** extruded oil film damper, pulsation excitation method, effective working length, oil film radius clearance, eccentricity

水蒸气环境下金属表面温度红外测量的试验研究 = **Experimental Study of the Infrared Measurement of the Temperature on Metallic Surfaces in a Steam Environment** [刊, 汉] ZHANG Jin, WANG Kun, LU Fang-ming, AN Jun (College of Energy Source and Power Engineering, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2012 27(1). -18 ~ 23

In a high temperature steam environment, the authors have conducted an analysis of the feasibility to measure the temperature of the rotor surface and various factors influencing the measurement precision through an infrared radiation mode. In the meantime, through a test mode, studied was the influence of the high temperature steam and quartz inspection window glass on the single and dual color and wide wave band infrared temperature measurement precision. The research results show that to measure the surface temperature of an object (rotor) in a high temperature steam environment through an infrared radiation mode is basically feasible and the response speed can meet the requirement for thermal stress analysis. The single/dual wave band temperature measurement modes have their separate merits and demerits. The interference to the infrared energy penetration by the infrared inspection window glass can be controlled within the range acceptable. The foregoing has laid a foundation for directly measuring the surface of the rotor of a steam turbine by utilizing the infrared temperature measurement technology. **Key words:** steam turbine rotor, temperature measurement, infrared radiation, steam