

弹性环式挤压油膜阻尼器实验研究与应用

北京航空航天大学 周 明* 李其汉 晏砺堂

【摘要】 实验证实了弹性环式挤压油膜阻尼器(ERSFD)的油膜阻尼的存在,并研究了 ERSFD 的减振、调频特性。将 ERSFD 应用于某核心机减振、调频,其效果很好,ERSFD 在某核心机上获得成功应用。实验和应用研究表明 ERSFD 有优良的减振、调频性能。

主题词: 油膜 阻尼器 弹性支座 调频 减振
分类号: O326 V233

1 前 言

理论分析表明,弹性环式挤压油膜阻尼器(Elastic Ring Squeeze Film Damper 缩写为 ERSFD)不仅具备 SFD 的重量轻、体积小、结构简单可靠、减振效果显著等一系列优点,还改善了油膜刚度的高度非线性,而且还具有弹性器件的调频功能^[1]。要将 ERSFD 用于实际发动机,仅理论研究是不够的,还需实验和应用研究,为设计合适的 ERSFD 提供可信的实践依据。为此设计了单层式 ERSFD 试验件,其结构见示意图 1,参数见表 1。为能初步摸索出 ERSFD 对转子系统动力特性的主要影响因素,特在图 2 所示的模型转子上作了 ERSFD 存在挤压油膜阻尼的验证性实验,并做了模型转子加 ERSFD 的动力特性实验,分别进行了模型转子带 SFD 和 ERSFD 的动力特性对比实验研究。实验时, SFD 或 ERSFD 安装于后支承处。分别在前后支承轴承座上的水平和垂直方向安装加速度传感器,在前后支承轴颈处和轮盘处的水平和垂直方向安装位移传感器,在联轴器靠电动机端安装光电测速仪监测转子转速。用 XR-7000 磁带记录仪和 HP3566A 信号分析仪组成记录分析系统。

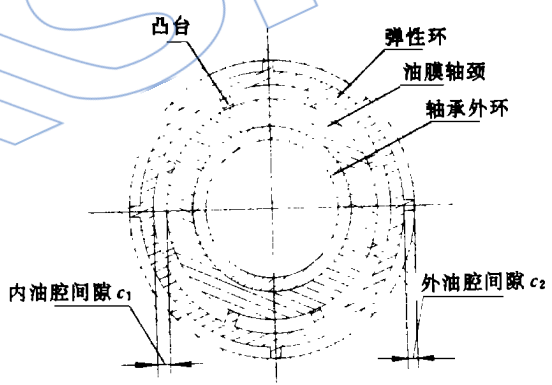


图 1 单层式 ERSFD 示意图

根据某核心机转子动力特性的理论和实验分析结果及其减振调频要求,为其设计了如图 1 所示结构的单层环式 ERSFD。将 ERSFD 安装于该核心机后支点,分别在压气机和涡轮机匣水平、垂直位置安装振动加速度传感器,与振动测试仪、磁带机以及 CF920 组成振动测试分析

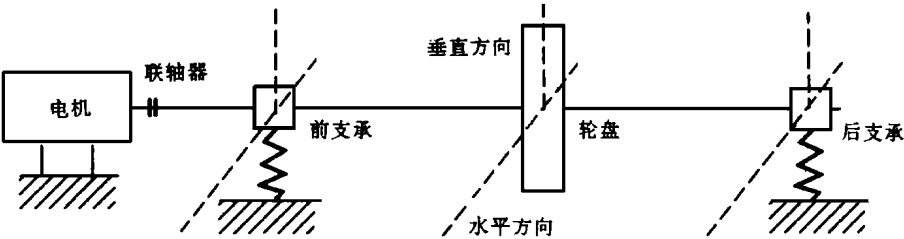


图 2 实验模型转子及传感器安装位置示意图

系统。在地面试车台上进行了 ERSFD 的应用实验研究, 结果表明临界转速调整到了预定值, 减振效果理想, ERSFD 在某核心机上获得成功应用。

2 实验证实 ERSFD 存在油膜阻尼

表 1 是弹性环不充滑油的实验数据, 可见当不平衡量为 $40\text{ g}\cdot\text{cm}$ 时, 振动值很大, 达到 9.347 g , 未能通过临界转速。

表 1 弹性环不充油之振动实验数据

阻尼器参数	转速/(r / m in)	水平加速度/g	垂直加速度/g	水平位移/mm	垂直位移/mm
$R=77.35$ $B=28$ $C_1=0.15$ $C_2=0.15$ 8个凸台 弹性环 不充油 不平衡量 $40\text{ g}\cdot\text{cm}$	2370	0.137	0.151	0.1012	0.0962
	2700	0.386	0.451	0.1285	0.1032
	3240	0.914	0.824	0.4242	0.4145
	3900	1.667	1.334	1.0341	1.0678
	4200	2.536	1.923	1.2238	1.2463
	4380	3.726	2.927	1.8277	1.7766
	4530	5.912	4.603	2.1034	1.9120
	4680	7.106	5.438	2.4281	2.1062
	4770	8.541	6.928	2.6281	2.2412
	4890	9.347	7.832	2.8320	2.3872
振动太大 未过临界转速					

图 3 是不平衡量 $40\text{ g}\cdot\text{cm}$ 时 ERSFD 供和不供滑油(弹性环内、外腔无滑油) 的水平 and 垂直方向振动加速度与转速的实验曲线; 图 4 是水平和垂直方向振动位移与转速的实验曲线。

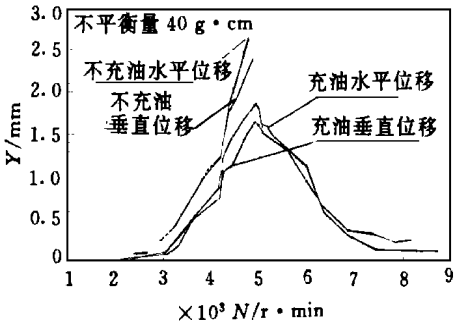
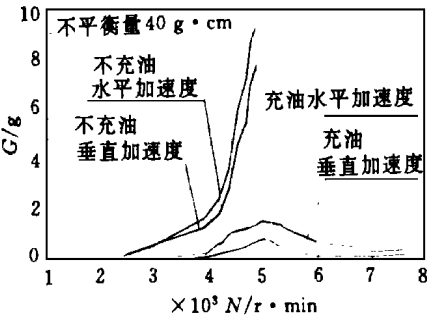


图 3 ERSFD 充油与不充油之振动加速度与转速特性线 图 4 ERSFD 充油与不充油之振动位移与转速特性线

图 3 和图 4 清晰表明, $40 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 不平衡量情况下, 不给弹性环供滑油, 无论是振动加速度响应曲线还是振动位移响应曲线, 都是随着转子转速的升高急剧增大, 其振动加速度响应数值已大到 9.347 g , 并表明实验转子系统在此工况下不能通过临界转速。而同样在 $40 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 不平衡量的情况下, 给弹性环供油, 无论是振动加速度还是振动位移响应曲线, 都随转子转速的增大而缓慢地升高, 而且振动加速度响应的数值也很小, 最大不到 2 g , 实验转子系统非常平稳通过了临界转速。

上述实验结果证明了当给弹性环供油时, 弹性环内、外油腔形成了油膜压力场, 转子轴颈进动时产生了油膜阻尼, ERSFD 吸收和耗散了实验转子系统的振动能量, 而且振动能量越大 ERSFD 吸收和耗散的振动能量就越多, 因此实验转子系统能很平稳通过临界转速。

3 稳态动力特性研究

本文以实验对比方法研究带 ERSFD 或 SFD 的转子动力特性, 既作了在不同不平衡量下加 ERSFD 实验转子的实验, 也相应作了相同工况下加 SFD 的实验转子的实验。图 5 和图 6 分别是 ERSFD 于实验转子上几种不平衡量情况下的水平、垂直方向的振动加速度响应实验曲线和振动位移响应实验曲线。图 7 和图 8 是与 ERSFD 相同工况下带 SFD 实验转子的水平、垂直方向的振动加速度响应实验曲线和振动位移实验曲线。图 9 是将 ERSFD 和 SFD 的水平方向加速度响应曲线作在同一图上, 以此比较两种阻尼器的加速度响应情况。

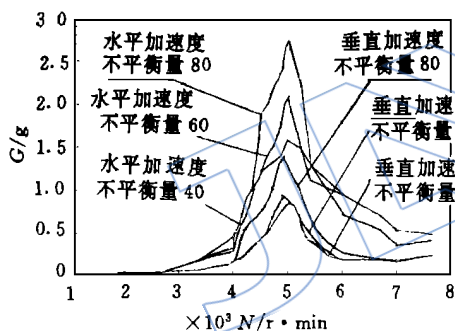


图 5 ERSFD 加速度响应曲线

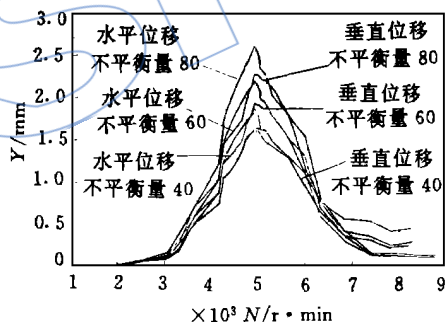


图 6 ERSFD 位移响应曲线

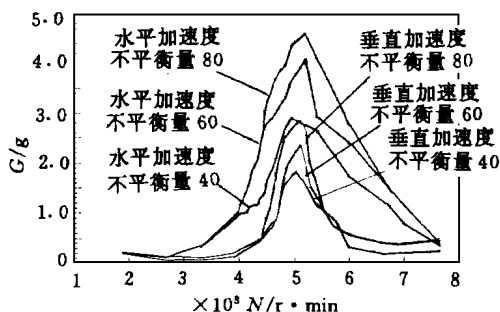


图 7 SFD 加速度响应曲线

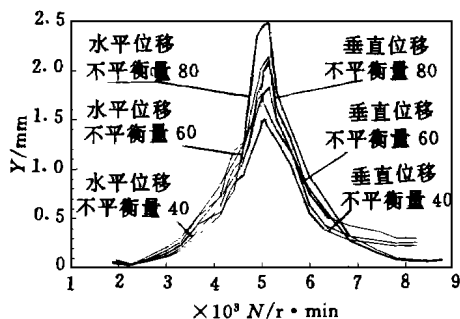


图 8 SFD 位移响应曲线

从以上实验幅频特性曲线可以看出, 无论是 ERSFD 还是 SFD 其转子振动位移响应和加速度响应随着转子转速的增加均比较平稳和缓地增加, 当转速达到临界转速 5000 r/min 左右时, 无论是转子振动位移还是加速度响应都出现峰值, 当转子转速继续增加时, 转子振动响应

值下降到一很小的数值,实验转子均平稳地通过了临界转速状态。无论是 ERSFD 还是 SFD,转子振动值均随转子不平衡量的增加而增加,但增量不大。表明 ERSFD 与 SFD 一样在一定不平衡范围内,均具有良好的减振性能。

此外,图 9 实验曲线还表明,在相同不平衡量情况下,SFD 转子系统振动加速度响应总是比 ERSFD 的大,尤其在转子临界转速附近,SFD 的振动加速度要比 ERSFD 的振动加速度大得多。振动加速度代表着外传力,表明 SFD 转子系统振动外传力比 ERSFD 转子系统外传力大,这与理论分析是相符合的。这是因为 ERSFD 同时具有弹性支承的功能,转子系统受不平衡力激起振动时,振动能量不仅使 ERSFD 油膜阻尼吸收耗散一部分振动能量,而且振动能量致使弹性环发生弹性形变,即弹性环又吸收贮存了一部分振动

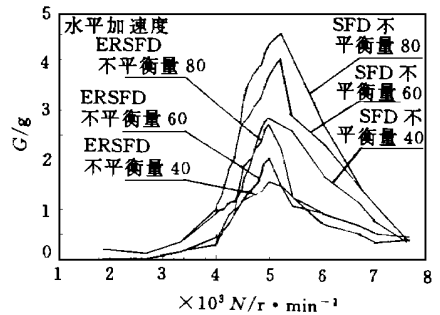


图 9 ERSFD 和 SFD 水平方向加速度响应曲线

能量,但这一部分能量不能立即作用到支座上,而是随后由弹性环较缓和的释放出来作用在支座上,也就是振动能量历经了一时间平均过程,其振动能量峰值就降低了,当然引起的加速度就较小。图中幅频特性曲线明显显示,随着不平衡量的增大,无论是 ERSFD 还是 SFD 其转子振动响应幅频特性曲线的峰值点都向右移动,只不过 ERSFD 的转子振动幅频特性曲线峰值右移没有 SFD 显著。这表明随不平衡量的加大,使得转子的偏心率增大,油膜刚度增大,致使转子系统的临界转速提高,曲线峰值点右移。只是 ERSFD 的油膜刚度随不平衡力的增加比 SFD 的小,尤其当不平衡量较大时表现更为突出,说明 ERSFD 改善了 SFD 油膜刚度的高度非线性特性。

在实验中无论是加 ERSFD 还是加 SFD 的实验转子在通过临界转速时,都无需快速通过临界,表明 ERSFD 与 SFD 一样改善了转子系统对转子转速的加速度的敏感性。

4 ERSFD 在某核心机上应用实验研究

某核心机原转子支承结构,未加弹性支承和阻尼器时,在工作转速范围内有两阶临界转速,一阶为 8700 r/min 左右,二阶为 15200 r/min 左右。台架试车结果压气机水平方向振动为 3.55 g,涡轮水平方向振动达 7.8 g,且过临界时对加速很敏感,必须很快通过临界转速,否则会产生大的振动^[2]。因此必须采取调整临界转速和减振措施,以确保发动机安全可靠运行。将一阶临界转速调到 3000 r/min 左右,二阶调到 11000~12000 r/min,并且采用阻尼减振。

将该核心机后支承处改装 ERSFD,经地面台数次开车试验测试得到:压气机水平和垂直方向、涡轮水平和垂直方振动幅频特性曲线如图 10~图 13 所示。图中有两条曲线,其中一条是某核心机后支承安装鼠笼条式弹支加多孔环挤压油膜阻尼器(PSFD)时的振动幅频特性曲线。图 10~图 13 明显显示,某核心机后支点加 ERSFD 后,无论是压气机还是涡轮处,振动值都降低了,尤其是涡轮处的振动大为下降,由原来 7.8 g 降到 1.03 g,表明由于 ERSFD 油膜阻尼效应等吸收和耗散了振动能量,起到了很好的减振作用。由于 ERSFD 安装于后支承处,对涡轮的减振效果尤为突出,这是合理的。

台架试车时,转速在 4000 r/min 以下,振动非常小,即使过一阶临界也很小,因此只作了较高转速时的上述幅频曲线。图中曲线明显显示,在转子转速为 11200 r/min 左右时振动最大。结果表明,某核心机后支点加装 ERSFD 后,其一阶临界转速降为 3000 r/min 左右,二阶临

界转速降为 11200 r/min 左右, 这与计算值和要求是一致的, 表明 ERSFD 将某核心机临界转速调到了预期值。

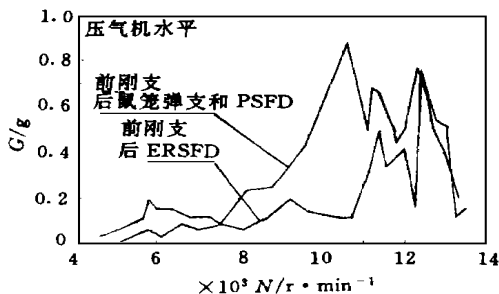


图 10 压气机水平方向振动幅频曲线

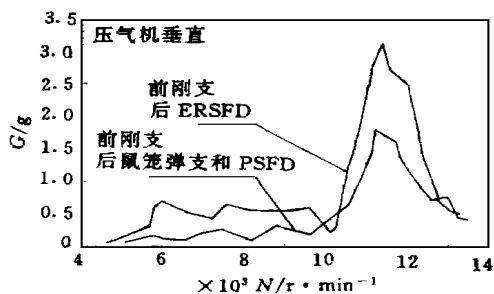


图 11 压气机垂直方向振动幅频曲线

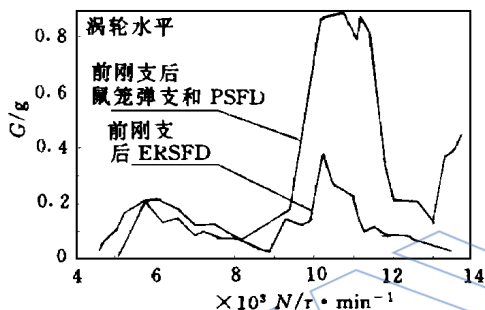


图 12 涡轮处水平方向振动幅频曲线

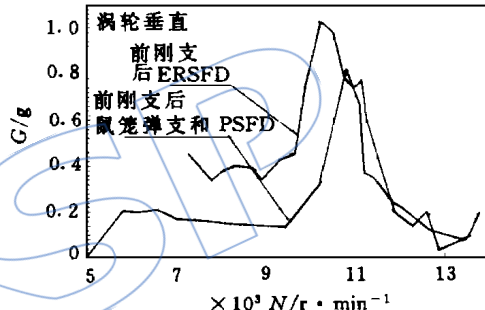


图 13 涡轮处垂直方向振动幅频曲线

从地面台开车情况来看, 即使很缓慢通过二阶临界转速时, 振动也不大, 表明转子系统对加速度不敏感, 说明 ERSFD 改善了转子系统对不平衡的敏感性。

从核心机后支安装鼠笼条式弹支加 PSFD 时的幅频曲线可以看出, 无论是鼠笼弹支加 PSFD 还是 ERSFD 其临界转速都调到了预定值, 某核心机的振动值都大为下降。其结果表明 ERSFD 与鼠笼弹支加 PSFD 一样有显著的减振、调频作用。

结论 实验和应用研究表明: ERSFD 的确存在挤压油膜阻尼; ERSFD 有优良的减振、调频性能; 并在某核心机上得到成功的应用。

致谢 实验得到了航空总公司六二四所领导和同志们的大力支持, 尤其是五室转子动力学组、二室试车组和测试中心参数组同志们热情帮助和支持。谨致诚挚谢意。特别要感谢付才高研究员、周松江高工和郑大平高工的帮助。

参 考 文 献

- 1 周明. 弹性环式挤压油膜阻尼器理论与实验研究: [博士学位论文]. 北京航空航天大学, 1996
- 2 周明等. 弹性支承和 PSFD 在中推核心机上的应用. 燃气涡轮试验与研究, 1994, (1): 6-13

(责任编辑 杨再荣)

port system.

Key Words Oil film Damper Elastic support Vibration damping Mechanism

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND APPLICATION OF AN ELASTIC RING SQUEEZE FILM DAMPER

Zhou Min, Li Qihan, Yan Litang

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT

An experimental investigation on a model of rotor support system with Elastic Ring Squeeze Film Damper (ERSFD) was completed in the case of supplying oil for the squeeze oil film damping during rotor system operation. The dynamic characteristic experiments including vibration damping and frequency retuning characteristics of the model of rotor support system with EQSFD were conducted. It is proved true that the ERSFD possesses very good properties for both vibration damping and frequency retuning. At last, the ERSFD has been used successfully in the rotor system of a given core aero-engine. It is indicated that the ERSFD can adjust the critical speeds of the rotor system to meet the demands of engine operation and control the vibration of whole core engine very well.

Key Words Oil film Damper Elastic supports Frequency retuning
Vibration damping

CONSTRAINT-BASED STRUCTURAL MODELING AND ANALYSIS OF AEROENGINE BLISK IN CONCURRENT ENGINEERING ENVIRONMENT

Ma Mei, Fan Xiaohua, Yang Xiaoguang

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT

A solid modeling system for aeroengine blisk in the concurrent engineering environment is developed on the platform of the integrated CAD/CAE/CAM Software-Unigraphics of network station, by using the capability for solid modeling of sophisticated components with advanced hybrid feature modeling technology and corresponding features in UG and STEP according to entity definition. A general constraint management system is established to meet the needs of multidisciplinary teams for designing the components of the engine. It coordinates the real activities of multidisciplinary teams to check all design parameters dynamically by constructing a constraint network and user defined rule-based knowledge base, and takes the follow-up operations into account in the designing stage. The data exchange between geometric model and FEA from UG to PATRAN is performed successfully. As an example, a blisk of a given turbofan engine is employed for modeling, and its static stress and modal analyses have been completed with satisfied results. So this work provides a supporting tool for application of concurrent engineering to designing the components of an aeroengine.

Key Words Aircraft engines Feature Modeling Finite element analysis