

涡轮后机匣支点弹性支承结构优化研究



庄来杰*,丁小飞,马斯博,张超

中国航发沈阳发动机研究所, 辽宁 沈阳 110015

摘要:针对某型发动机整机振动大的问题,从减弱支点支撑刚性入手,通过支点弹性支撑结构优化,改善整机振动问题。本文以某型发动机后机匣支点弹性支撑结构为例,介绍了支点弹性支撑设计思路及具体应用情况,对同类支点支撑结构的优化设计具有一定的借鉴作用。

关键词:后机匣; 支点; 弹性; 支撑; 振动

中图分类号:V235.13+3

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.10.006

在我国机械设计领域,弹性阻尼支撑结构的应用已经有一定发展,目前常用的有弹性板支撑结构、挤压油膜结构等。但在我国军用小涵道比涡扇发动机设计领域中多为刚性支点支撑结构,且常发生整机振动大的问题^[1,2]。因此将弹性支撑设计思路引入支点支撑结构设计中,可利用其吸能减振的优点改善整机振动水平。

1 研究背景

小涵道比军用发动机的涡轮后机匣承担着低压涡轮转子的后支撑作用,简要连接结构形式如图1所示。主要的支撑结构可以简化为三个部分:支点轴承、轴承座和后机匣框架。轴承座通常为斜臂结构,但相对于本文要介绍的弹性支撑连接结构,均偏向于刚性连接。刚性轴承座对振动响应包容能力相对弹性支撑差,对平衡、支点同心度等装配因素比较敏感,更易出现振动问题^[3,4]。

结合小涵道比发动机整机振动容易超标的问题,借鉴弹性支撑结构和挤压油膜结构,形成了如图2所示的“黏弹性”支点支撑结构形式^[5,6]。

2 设计思路

通过在轴承座和支点轴承之间增加弹性阻尼装置,利

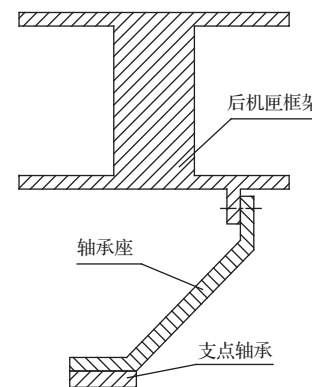


图1 刚性支撑
Fig.1 Rigid supporting

用弹性阻尼装置的自身形变,增强转子工作稳定,达到改善整机振动的目的,弹性支撑结构设计思路及要点如下。

弹性支撑结构由三个零件组成(见图3),从外到内分别为外衬套、弹性环和内衬套,各个零件之间选择过盈配合,具体过盈量视情而定。

弹性环、内外衬套均为回转件,结构参数选取过程要结合实际应用条件,包括装配空间、转子重量(质量)、转速等。弹性环厚度过厚会影响整机重量及弹性阻尼效果,过薄则会影响强度储备系数和使用安全性。弹性环内外壁凸台要

收稿日期:2019-06-27; 退修日期:2019-07-20; 录用日期:2019-07-30

*通信作者: Tel.: 18502485451 E-mail: 18502485451@163.com

引用格式: Zhuang Laijie, Ding Xiaofei, Ma Sibo, et al. Optimization study of rare casing fulcrum structure based on flexible supporting [J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(10): 41-44. 庄来杰, 丁小飞, 马斯博, 等. 涡轮后机匣支点弹性支承结构优化研究 [J]. 航空科学技术, 2019, 30(10): 41-44.

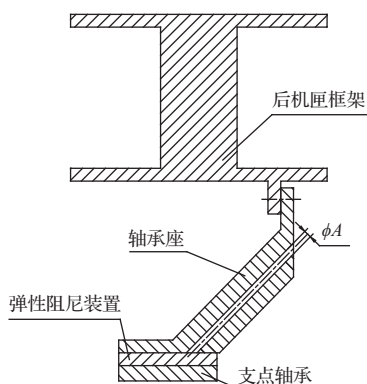


图2 弹性支撑

Fig.2 Flexible supporting

求角向错开,凸台的数量和高度同样要结合实际情况。凸台数量越多,高度越小,弹性作用越小;凸台数量越少,凸台高度越高,强度储备系数越小。

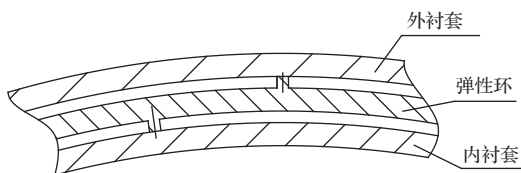


图3 弹性阻尼装置结构示意图

Fig.3 The structure of flexible supporting

为保证弹性阻尼装置在工作状态下持续稳定发挥作用,需要给弹性阻尼装置供油,在弹性环和内外衬套之间的径向间隙形成挤压油膜。设计过程中要保证滑油具有一定流动性,保证弹性阻尼效果的同时不能影响支点的正常供油。

3 弹性支撑结构在某型发动机上的应用

在保证现有结构不产生大幅度结构变化的前提下,结合某小涵道比军用发动机的结构特点,利用弹性支撑思路,对后机匣支点支撑形式进行改进。

3.1 改进结构

由于该型发动机径向空间限制,弹性阻尼装置设置为两层,分别为内衬套和弹性环,轴承座、弹性环、内衬套、轴承外环间均为过盈配合,此外通过限位销钉实现弹性阻尼装置与轴承座、轴承外环之间的角向定位。

在满足强度储备要求的前提下,尽可能提高吸收振动能量的效率,初步确定弹性环内外壁凸台数分别为10个,单个凸台宽度约占周向长度的1%,凸台高度为弹性环基体厚度的5.5%。

为了实现挤压油膜,如图4所示在轴承座上增加油路,将支点滑油分流,从弹性阻尼装置后端流入各径向间隙并形成油膜,且内外层油膜通过弹性环基体上的通油孔连通,滑油从轴承座预设的回油槽中排出,挤压油膜供油量占支点供油量的比例为1.8%。

工作过程中的传力路线如图4所示,低压转子的激振力由支点轴承沿径向向外传递,在经由弹性支撑装置过程中,弹性环产生的形变会吸收一部分振动能量,剩余部分由轴承座继续传递给后机匣框架。

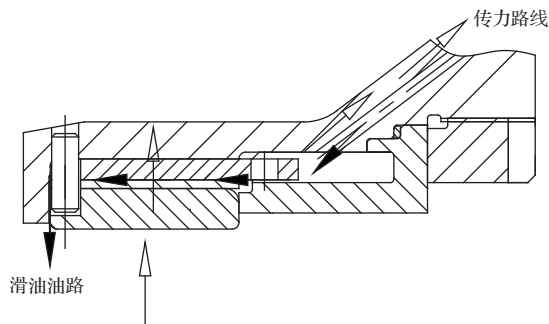


图4 某型发动机支点弹性支撑结构示意图

Fig.4 The optimized structure of fulcrum supporting based on engine rare casing

3.2 计算分析

3.2.1 强度计算

由于支点弹性支撑装置中主要的变形部件为弹性环,因此须针对弹性环展开强度评估。弹性环具有一定的横向柔度,工作时在横向载荷的作用下产生变形,其应力为动应力。

在计算过程中约束右半圆周外凸台径向位移,在外凸台的一点加周向和轴向约束,限制刚体位移,边界条件如图5所示。在右半周内凸台上加载径向力,其合力方向最终垂直于最右端内凸台,各内凸台上的分力满足 $P_i = P_0 \times \cos i$,其中 P_0 与 P_i 同方向。

在上述约束边界和加载力作用下得到了弹性环的变形和应力。弹性环的变形云图如图6所示,右半周最右侧凸台处的变形最大。弹性环的应力云图如图7所示,应力最大处为最右侧内凸台根部位置,如图8所示。

根据弹性环在工作时的应力历程分析,弹性环最大应力点为内凸台根部位置,承受的应力循环为0至最大循环。结合弹性环应力水平计算结果和材料强度极限数据,利用强度储备系数计算公式得出弹性环的强度储备系数为4.2,高于该型发动机强度储备系数的要求。

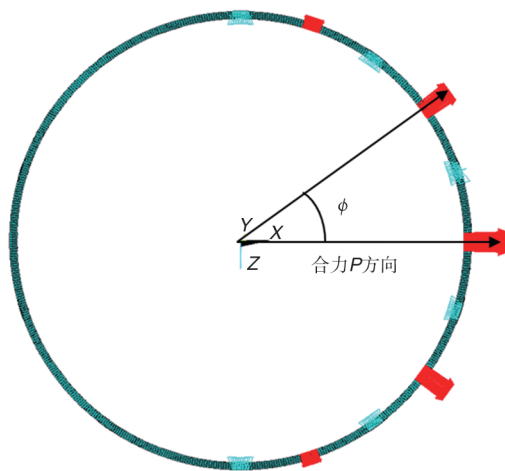


图5 边界条件和加载方式
Fig.5 Boundary condition and loading mode

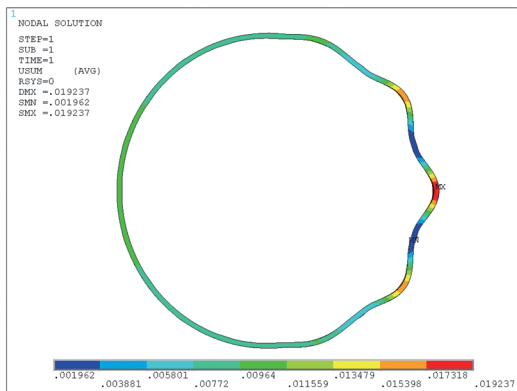


图6 变形云图
Fig.6 Morphous cloud map

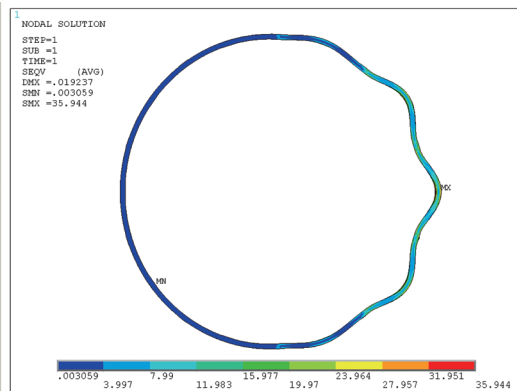


图7 等效应力云图
Fig.7 Isokinetic map

3.2.2 动力学特性计算

由动力学特性计算结果得知,支点柔度提高了30%左

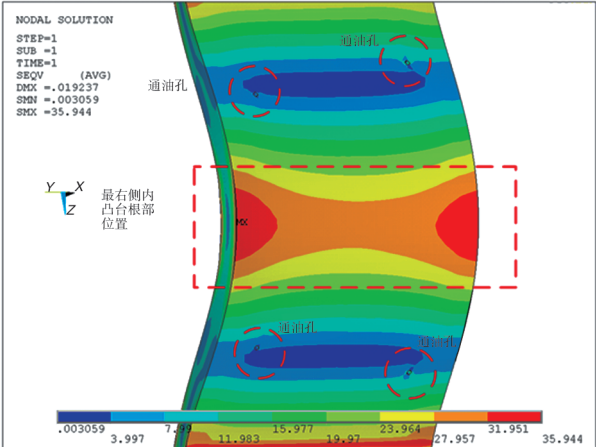


图8 应力最大处等效应力云图
Fig.8 The isokinetic map of greatest stress

右。弹性支撑结构使得第一阶临界转速,即涡轮转子俯仰型临界转速下降,对其他阶次的临界转速影响较小。由于第一阶临界转速远低于高低压转子的慢车转速,因此改成弹性支撑结构后,一阶临界转速会更远离工作转速,转子动力学特性仍能满足要求。

3.3 试验表现

为了验证后机匣支点弹性支撑结构在改善整机振动方面的效果,对该改进结构进行了发动机层面的单点对比试验。稳态试车振动表现(见图9)表明,虽然两次试车振动水平总体相当,但换装弹性支撑结构后,没有出现明显的振动峰值或振动台阶,表明弹性支撑结构对于改善转静子碰磨引起的振动起到明显效果。此外试验后弹性支撑结构件的分解故检结果无异常,具备长时间使用条件。

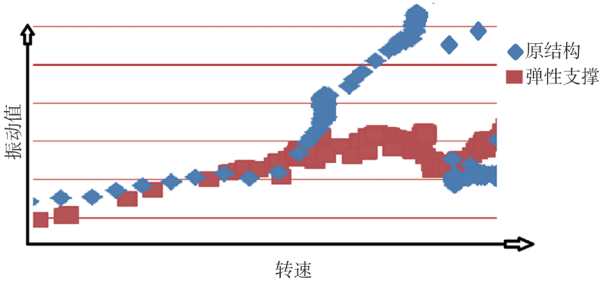


图9 振动表现
Fig.9 Vibration performance

4 结束语

通过在某型发动机上开展的支点弹性支撑结构优化与验证,表明弹性阻尼装置对于改善整机振动水平有明显效果,在高温高转速的航空发动机领域有较大的应用空间。

但该型发动机的支点弹性支撑结构并未经过考核,因此对于弹性支撑结构在发动机寿命周期内的使用稳定性有待验证。

AST

参考文献

- [1] 熊国良,王小明,宁莉,等.用黏弹性轴承支撑减少轴承转子系统的不平衡响应[J].振动、测试与诊断,1998,18(3):197-200.
Xiong Guoliang, Wang Xiaoming, Ning Li, et al. Unbalance response reduction of a rotor-shaft system using viscoelastic bearing supports[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 1998,18(3):197-200. (in Chinese)
- [2] 李树权,王全胜.汽轮机轴承箱弹性支撑技术研究[J].华北电力技术,2002(11):13-14.
Li Shuquan, Wang Quansheng. Studying for elasticity support technique of bearing box[J]. North China Electric Power, 2002 (11):13-14. (in Chinese)
- [3] Ot a H, Kanbe Y. Effects of flexible mounting and damping on the synchronous response of a rotor-shaft system[J]. ASME Journal of Applied Mechanics, 1976, 98: 144-149.
- [4] Pilkey W P, Wang B P, Vannoy D. Efficient optional design of suspension system for rotating shafts[J]. ASME Journal of Engineering for Industry, 1976, 98: 1026-1029.
- [5] 周建星,刘更,吴立言.含弹性支撑的船用减速器箱体动态特性[J].哈尔滨工业大学学报,2012,44(7):97-101.
Zhou Jianxing, Liu Geng, Wu Liyan. Vibration analysis of marine planetary reducer with elastic support[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(7):97-101. (in Chinese)
- [6] 熊国良,王小明,徐尤南,等.考虑频率变化的黏弹性支撑参数对转子轴振动响应的影响[J].华东交通大学学报,1996,13(4):28-31.
Xiong Guoliang, Wang Xiaoming, Xu Younan, et al. Unbalance response reduction of a rotor-shaft system using viscoelastic bearing supports[J]. Journal of East China Jiaotong University, 1996, 13(4):28-31. (in Chinese) (责任编辑 王昕)

作者简介

庄来杰(1988—)男,硕士,工程师。主要研究方向:航空发动机涡轮结构。

Tel:18502485451

E-mail:18502485451@163.com

Optimization Study of Rare Casing Fulcrum Structure Based on Flexible Supporting

Zhuang Laijie*, Ding Xiaofei, Ma Sibao, Zhang Chao

AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China

Abstract: Aim at the problem of large vibration of the engine, start with reducing fulcrum support stiffness, through optimization of the support structure as flexible supporting, improve the vibration problem of the engine. The paper introduces the designing ideas of flexible supporting in fulcrum structure, and the practical application based on the flexible supporting structure of engine rare casing fulcrum. It has some reference function in the optimization of similar fulcrum supporting structure.

Key Words: rare casing; fulcrum; flexible; support; vibration

Received: 2019-06-27; Revised: 2019-07-20; Accepted: 2019-07-30

*Corresponding author. Tel.: 18502485451 E-mail: 18502485451@163.com