

文章编号: 1000-8055(2003) 06-0723-04

组合压气机振动故障分析研究

杨治国^{1,2}, 梅 庆², 欧园霞², 陈运西², 徐长庚²

(1. 南京航空航天大学 能源与动力工程学院, 江苏 南京 210016;
2. 中国航空动力机械研究所, 湖南 株洲 412002)

摘要: 组合压气机试验件台架试验时振动较大, 转子无法达到额定转速。本文从试验及转子系统临界转速、振型出发, 通过分析计算, 确定产生故障的原因, 提出改进措施, 并排除故障。
关键词: 航空、航天推进系统; 组合压气机; 振动; 浮动轴; 故障
中图分类号: V 231. 9 文献标识码: A

A Study of Vibration Fault of Combined Compressor

YANG Zhi-guo^{1,2}, MEI Qing², OU Yuan-xia²,
CHEN Yun-xi², XU Chang-gen²

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. China Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: The combined compressor rotor is not able to reach the maximum rating speed on test bench because its level of vibration is very high and exceeds vibration limits. This paper studies vibration of combined compressor by rotor dynamics analysis and experiments to discover the reason of fault. An advanced measure is taken and makes the combined compressor to operate normally.

Key words: aerospace propulsion system; combined compressor; vibration; floating shaft; fault

组合压气机试验件转子由多级轴流叶轮、离心叶轮、卸荷盘、中心拉杆及小拉杆等组成, 转子采用鼠笼式弹性支承加挤压油膜阻尼器的双弹性支承方式。台架试验时, 通过浮动轴与齿轮箱动力输出轴连接。

为监测试验件的振动情况, 分别在压气机入口处机匣、出口处机匣的垂直和水平安装加速度传感器, 同时在前、后弹性支承粘贴应变片获取弹支应力。试验发现, 当转速升高至 35000~37000

r/min 时, 前弹性支承动应力和压气机入口处机匣的振动加速度显著增加, 超过振动限制值。后弹支动应力及压气机出口处机匣的振动加速度也有所上升, 但其峰值只有压气机前端振动量的 1/2~1/3。图1示出了前、后弹性支承动应力的垂直、水平分量随转速变化的曲线, 图2则示出了压气机入口、出口处机匣振动加速度随转速变化的曲线。

在振动与应力谱图上显示出此时的振动表现为基频振动, 说明整个试验系统存在一个共振点,

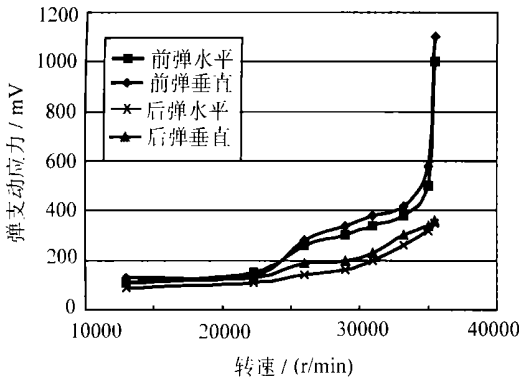


图1 弹支动应力随转速变化曲线

Fig. 1 Dynamic stress of elastic bearing vary with rotational speed

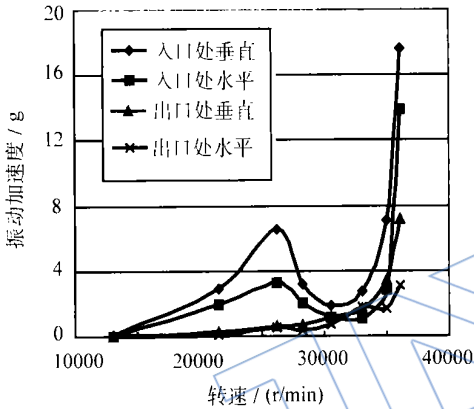


图2 机匣振动加速度随转速变化曲线

Fig. 2 Vibration acceleration of casing vary with rotational speed

可能是试验件转子的,也可能是机匣或试验器本身的。

1 试验研究

在未知故障根本原因的情况下,试验研究从降低前弹性支承动应力这一方面着手。试图通过调整滑油供油压力和挤压油膜间隙增加阻尼,降低振动。

1.1 滑油供油压力

保持挤压油膜间隙、滑油温度等状态不变,调整滑油供油压力。试验时的前弹支动应力与转速关系曲线见图3。

由图3可知,当滑油供油压力由0.42 MPa 下降至0.31 MPa,转子转速为35000 r/min 时的前弹支动应力增加了15%。而当滑油供油压力由

0.41 MPa 增大至0.49 MPa,前弹支动应力下降约6%左右。这表明供油压力的变化对弹支动应力有一定的影响。

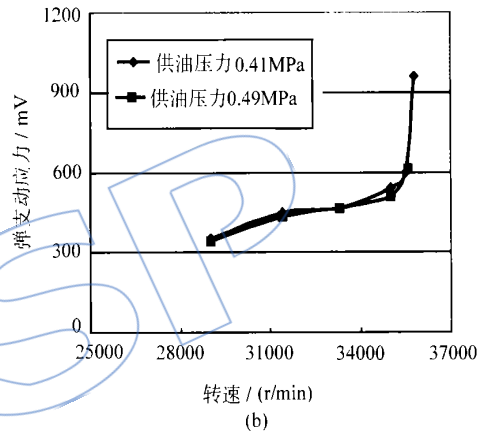
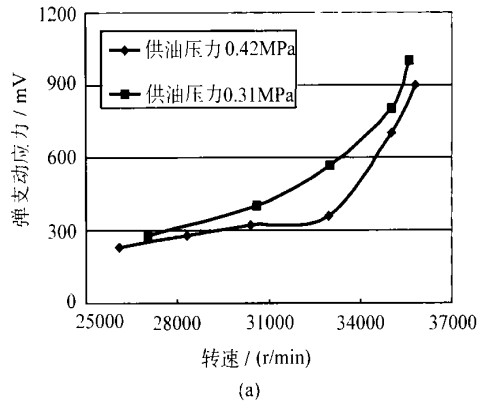


图3 滑油供油压力对弹支动应力的影响

Fig. 3 Influence of lubricating oil supplying pressure to elastic bearing dynamic stress

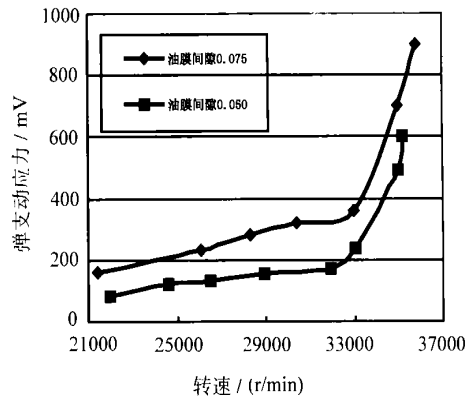


图4 挤压油膜间隙对弹支动应力的影响

Fig. 4 Influence of squeeze-films clearance to elastic bearing dynamic stress

表1 计算模型
Table 1 Calculation model

模 型	零部件及连接状态
模型1	组合压气机试验件转子
模型2	组合压气机试验件转子、浮动轴、齿轮箱动力输出轴; 铰连接
模型3	组合压气机试验件转子、浮动轴、齿轮箱动力输出轴; 刚性连接

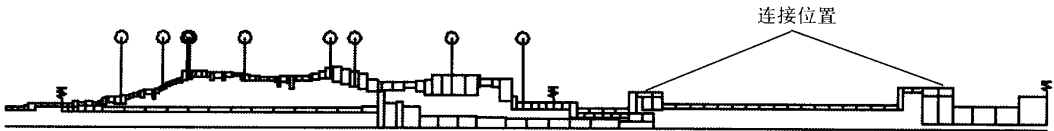


图5 转子有限元计算模型
Fig. 5 Finite element model of rotor system

1. 2 挤压油膜间隙

不改变滑油供油压力、滑油温度, 调整挤压油膜间隙。图 4 示出了挤压油膜间隙分别为 0. 075mm 和0. 060 mm 时的前弹支动应力与转速关系曲线。

由图4可知, 当挤压油膜间隙由0. 075 mm 调整至0. 060 mm, 在试验转速范围内前弹支动应力下降约33%~60%。由此可见, 改变油膜间隙对弹支动应力有较大的影响。

尽管采取以上措施能够降低试验件转子的振动水平, 但如果调整不当则可能导致转子失稳等严重后果, 因此参数的调整范围十分有限, 这些措施不能根本解决这一故障。试验表明, 转子在较高转速下运转时, 仅靠增加有限的阻尼是不能够大幅度降低振动水平的。

2 计算分析

为找出故障的根本原因, 本文对台架状态下的组合压气机试验件转子系统的临界转速和振型进行了计算分析。

2. 1 计算模型

在转子试验器上多采用浮动轴进行试验件和动力输出轴之间的连接方式, 理论上浮动轴在工作过程中不传递弯矩, 既不会改变试验件转子本身的动力特性, 又能保证转子间的振动不耦合, 起到较好的隔振作用。但浮动轴的不精确加工或非合理安装可能导致其“浮动”作用失效, 严重状况

下使得试验件转子与动力输出轴刚性耦合成一个转子。基于这一实际情况, 本文建立了3个计算模型(表1), 采用转子动力特性分析软件 DARC 对转子系统的临界转速和振型进行计算分析。

计算模型2见图5, 整个计算模型有梁单元174个, 轴承单元3个, 集中质量9个, 共有节点178个。图中还示出了试验件转子与浮动轴的连接位置, 模型2和模型3的区别仅是此位置连接方式的不同。

2. 2 计算结果与分析

表2列出了由上述三种计算模型得到的临界转速值。

表2 临界转速
Table 2 Critical speeds

模型	临界转速/(r/min)		
	一阶	二阶	三阶
模型1	11713	21253	68413
模型2	11596	22266	57978
模型3	11671	20142	38255

可以看出, 组合压气机试验件转子本身在 35000~40000 r/min 转速范围内不存在临界转速, 铰连接的试验转子系统在此转速范围内也没有临界转速, 而刚性连接的试验转子系统有一个 38255 r/min 的临界转速。图6示出了这一临界转速下的转子系统振型图。

由图6可知,此临界转速下的前支承振动幅值约是后支承的2~3倍,符合试验测得的前、后弹支动应力及入口、出口处机匣振动加速度的规律。

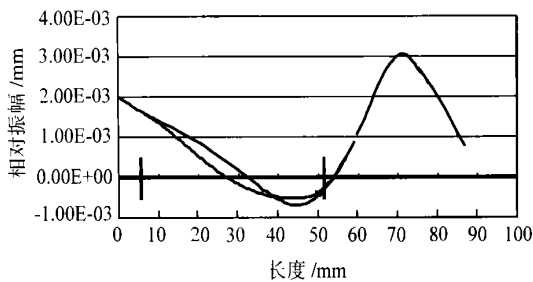


图6 转子系统振型图
Fig. 6 Mode of rotor system

3 故障排除

通过以上的试验和计算分析,浮动轴在工作状态下与试验件之间存在弯曲刚度耦合导致试验件转子系统在35000~40000 r/min 转速范围内存在一个弯曲型临界转速,是试验件无法推到额定转速的根本原因。通过修磨浮动轴花键的齿厚

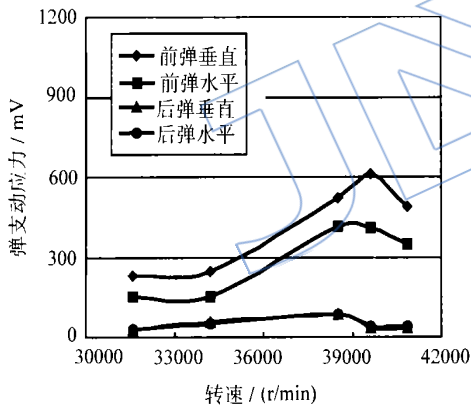


图7 弹支动应力随转速变化曲线(排除故障后)
Fig. 7 Dynamic stress of elastic bearing vary with rotational speed (after clearing fault)

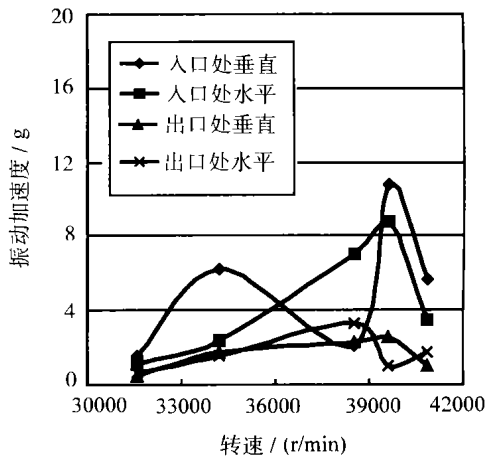


图8 机匣振动加速度随转速变化曲线
(排除故障后)

Fig. 8 Vibration acceleration of casing vary with rotational speed (after clearing fault)

实现浮动量增大,使浮动轴在转子试验过程中真正起到“浮动”作用,并选择合适的滑油供油压力和挤压油膜间隙,采取这些措施后,试验件转子在额定转速范围内前、后弹支动应力以及压气机机匣入口、出口处的振动变化情况分见图7、图8,其幅度远小于限制值,使试验件转子顺利地达到额定转速。在后续的验证试验中,人为减小浮动轴的浮动量,实现了故障再现,进一步证明了上述分析研究的正确性。

4 结 论

浮动轴是一种常用的连接试验件和动力输出的零件。在发动机试验中要注意浮动轴的装配状况,通过两端的鼓形花键来实现其“浮动”,起到隔振作用。

参考文献:

[1] 航空发动机设计手册总编委会. 航空发动机设计手册第19册转子动力学及整机振动[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000.
[2] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.