

涡轮增压器起停过程转子轴向力测试研究*

洪汉池^{1,2} 黄红武¹ 胡辽平³

(¹厦门大学 物理与机电工程学院 厦门 361005) (²厦门理工学院 机械工程系 厦门 361024)

(³湖南天雁机械有限责任公司 衡阳 421005)

Study on Turbocharger Rotor Axial Thrust Test in Start and Stop Process

HONG Han-chi^{1,2} HUANG Hong-wu¹ HU Liao-ping³

(¹School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering Xiamen University Xiamen 361005 ,China)

(²Mechanical Department of Xiamen University of Technology Xiamen 361024 ,China)

(³Huan Tyen Machinery Co. Ltd Hengyang 421005 ,China)

【摘 要】涡轮增压器起动和停机过程转子所受的轴向力大小对于增压器的设计是至关重要的。以 JP60C 型涡轮增压器为研究对象,利用有限元方法计算增压器止推轴承的应变场,确定了转子轴向力的测量方案。并在增压器性能试验台上对增压器转子轴向力进行实验测量。实验结果表明,增压器起动和停机时,止推轴承所承受的轴向力远大于稳定工作时所承受的轴向力;且起动和停机工况下,转子所受的轴向力方向相反。试验结果将为增压器止推轴承的合理设计提供理论依据。

关键词 涡轮增压器;止推轴承;轴向力;实验测量

【Abstract】 One of the most challenging aspects in turbocharger design is the axial thrust acting on the rotor in start-stop conditions. JP60C turbocharger was taken as an example for researching. The distribution of strain in axial thrust is calculated using finite element method. Based on the result of calculation, the measuring strategy of axial thrust is determined and the axial thrust was measured on turbocharger test rig. The testing results show that the value of axial thrust in the start-stop conditions is much bigger than that under stable conditions. The direction of axial thrust bearing on the rotor in start condition is opposite to stop condition. The testing results would provide theoretical reference for thrust bearing reasonable designing of the turbocharger.

Key Words Turbocharger; Thrust Bearing; Axial Thrust; Experimental Measurement

中图分类号: TH16; TK413.5+2 文献标识码: A

1 引言

汽车工业的蓬勃发展造成的能源紧张、环境污染等问题日益严重。涡轮增压器因其能有效地提高发动机的动力性、经济性和减少废气排放而越来越多被应用到汽车发动机上。绝大多数车用涡轮增压器上采用止推轴承来承受增压器转子轴的轴向力。而止推轴承摩擦功率损失占总机械摩擦功率损失的 (30~50)% 同时,止推轴承失效也是涡轮增压器的主要失效形式之一。因此,止推轴承的结构设计是车用涡轮增压器设计中的重要一环^[1]。准确的获得止推轴承所承受的轴向力大小对于止推轴承的合理设计是至关重要的。由于叶轮两侧气体压力变化频繁,车用涡轮增压器经常在变工况条件下工作,止推轴承承受动载荷。由于,车用涡轮增压器几何尺寸小,转速高,工作温度较高,其轴向空间被机械密封占据,使得转子轴向力的测量比较困难^[2-4]。目前,涡轮增压器转子轴向力的计算通常是在某一确定的工况下进行的,无法全面的反映增压器工作的真实情况。研究以某涡轮增压器为研究对象,采用应变片在起动、停机过程工况下测量转子轴向力。

2 应变测试系统

应变测试系统各仪器的连接框图,如图 1 所示。

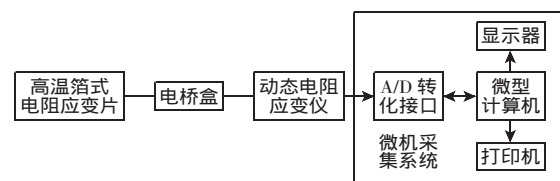


图 1 应变测试系统框图

3 传感器安装及静态标定

3.1 传感器安装

为了确定应变片的粘贴位置,首先利用有限元分析法对止推轴承进行受力分析,在建模时只考虑 3 个螺栓孔的轴向约束,根据文献^[1]方法计算得出轴向力大小与方向,计算时增压器转速取最高转速 120000r/min,止推轴承材料为 ZCuSn₁₀Pb₁,其杨氏模量 $E=1.2 \times 10^{11} \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$,泊松比 $\mu=0.3$ 。增压器在最高转速时,止推轴承应变云图如图 2 所示。综合止推轴承的实际工作情况和应变场的分布,确定应变片的贴片位置,如图 3 所示。

3.2 传感器静态标定

为了正确计算止推轴承上轴向力的大小,需要对测力传感器进行静态标定。通过加载装置对传感器施加一系列已知载荷,通过动态应变仪读取输出电压的变化,从而得到传感器的标定常

* 来稿日期 2011-10-30

数。由于润滑油的供油压力对应变片的输出结果有影响^[6]。标定过程在增压器正常工作时所需的润滑油供油压力 $P=0.37\text{MPa}$ 的条件下进行。按照行程 1(空载向涡轮端逐渐装至满载)、行程 2(在行程 1 的基础上,逐渐卸至空载)、行程 3(在行程 2 的基础上,自空载向压气机端逐渐装至满载)、行程 4(在行程 3 的基础上,逐渐卸至空载)顺序进行试验两次。试验中规定轴向力方向以涡轮端指向压气机端为正。静态标定曲线如图 4 所示。图中进程 1 包括行程 1 与行程 2,而 3 进程 2 包括行程 3 与行程 4。

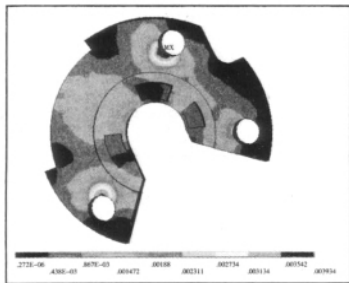


图 2 止推轴承应变云图

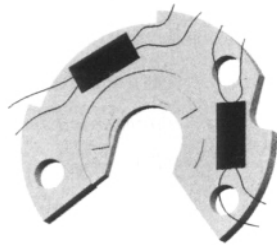


图 3 应变片粘贴位置示意图

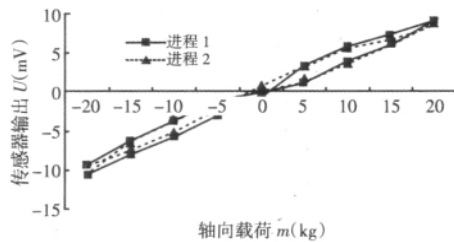


图 4 传感器静态特性曲线

利用最小二乘法对试验结果进行拟合,得到直线方程 $U=0.464m-0.1260$,最小二乘法线性度 $\xi=\pm 2.88\%$ 。

4 实验测量与结果分析

4.1 实验台控制系统

试验在湖南天雁机械有限责任公司涡轮增压器性能实验台上进行。利用数据采集及处理系统对测量数据进行记录分析。增压器性能实验台示意图如图 5 所示。压气机 3 由涡轮增压器的涡轮 5 直接带动。通过变化涡轮的温度、压力和流量等参数来调节压气机的转速。涡轮进口流量与压力的调节是由气源流量、高压气源转换阀 10 来实现。涡轮进口温度的调节是通过燃油及点火系统 8 来控制。压气机空气流量的改变,是用压气机出口调节阀 11 来控制。试验台的润滑是通过润滑油系统 6 来控制。试验过程中,油压 $P=0.37\text{MPa}$ 。

4.2 结果分析

试验曲线如图 6 所示。其中粗实线代表轴向力变化曲线,细实线代表转速变化曲线。从试验结果可以看出,增压器在启动工况,止推轴承所受轴向力瞬时上升,轴向力由压气机端指向涡轮端。

这可能是由于燃油及点火系统与高压气源控制阀同时工作造成的。增压器在停机瞬时,止推轴承所受轴向力也是急剧上升,轴向力由涡轮端指向压气机端,这可能是由于燃油及点火系统与高压气源控制阀均停止工作,涡轮端压力突然减少,而压气机端压力由于惯性作用并无明显变化造成的。在启动和停机工况下,转子所受的轴向力方向相反。这将加快止推轴承磨损,轴向窜动大,振动、噪声大,严重时甚至会导致止推轴承失效。

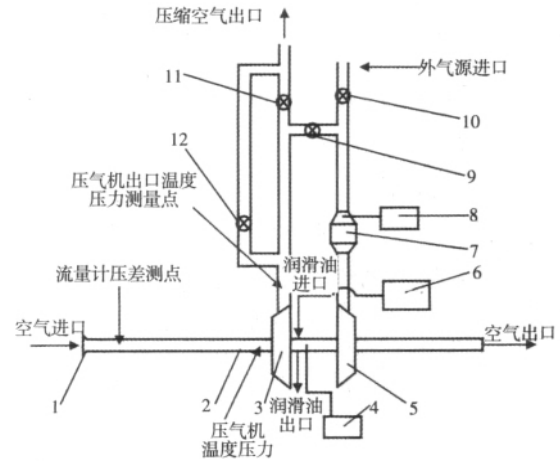


图 5 增压器性能实验台示意图

- 1. 双组线流量计 2. 增压器转速传感器位置 3. 压气机 4. 应变测量系统
- 5. 涡轮 6. 润滑油系统 7. 燃烧室 8. 燃油及点火系统 9. 气源转换阀
- 10. 高压气源转换阀 11. 压气机出口调节阀 12. 压气机出口微调阀

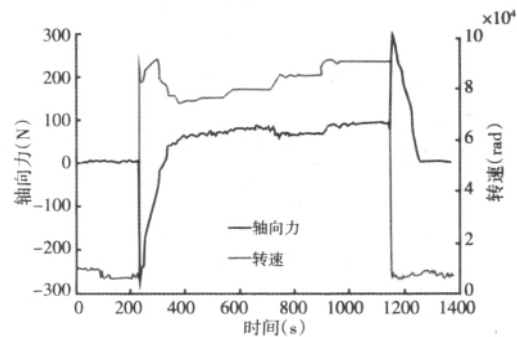


图 6 增压器轴向力与转速曲线

5 结论

研究提出了测量涡轮增压器轴向力的试验方法,并在增压器试验台上对某涡轮增压器启动和停止过程时的转子轴向力进行了测量。实验结果表明,增压器启动、停机时增压器止推轴承所承受的轴向力都接近 300N,约为其稳定工作时的 3 倍,而且启动和停机工况下,转子所受的轴向力方向相反。试验结果将为增压器止推轴承的合理设计提供理论依据。

参考文献

- [1] 王延生,黄佑生.车用发动机废气涡轮增压[M].北京:国防工业出版社,1984.
- [2] Se?bastien Berger, Olivier Bonneau, Jean Frene. Influence of axial thrust bearing defects on the dynamic behavior of an elastic shaft[J]. Tribology International, 2000(33): 153-160.
- [3] Concept ETI Inc. Experimental evaluation of axial thrust in pumps [J]. World pumps, 1999.
- [4] 何洪,徐华.增压器轴向力测量及止推轴承优化设计研究[J].铁道机车车辆, 2003, 23(1): 170-172.
- [5] 樊尚春.传感器技术及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2004.
- [6] 胡辽平,马朝臣,鲍捷.一种测量车用涡轮增压器转子轴向力的新方法[J].车用发动机, 2008, 177(4).