

文章编号: 1000-8055(2002)01-080-03

某型发动机压气机最先失速级判定的 的试验研究

姜 涛, 李应红, 李 军

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要: 针对某型发动机旋转失速/喘振问题, 通过试验的方法, 寻找引起该型发动机失速起始级和在叶片上的位置, 并利用 Matlab 语言编写了试验数据处理程序。根据发动机失速的机理, 提出了失速级的判别准则, 利用频谱分析和时域分析的方法, 对试验数据进行了处理与分析, 结果发现该型发动机最先在第三级叶片上发生失速, 且为全叶高失速。

关键词: 旋转失速; 喘振; 数据处理

中图分类号: V 231.3

文献标识码: A

An Experimental Research on Identification of the First Stall Stage of a Certain Engine

JIAN G Tao, LI Ying-hong, LI Jun

(The Airforce University of Engineering, Xi'an 710038, China)

Abstract: Aiming at surge problem of a certain engine, this paper tries to find out the starting stage resulting in rotating stall/surge in an experimental way. A data processing program based on Matlab language is developed. A criterion based on stall theories is proposed to identify the first stall stage of the compressor. During data processing, spectrum theories and time domain methods are employed. The results of experiment show that the engine stalls first at the 3rd compressor stage, and stalls simultaneously at different height of blades. The followed experiments proved the verity of the judgement.

Key words: rotating stall; surge; data processing

1 引 言

某型发动机在使用中的喘振故障是较多的, 同时, 工厂大修后的该型发动机及部分生产的新机都有很难通过“喘振关”的问题。使用部门和发动机的修理厂、生产厂都迫切要求解决该型发动机的喘振问题。

失速/喘振的根源是压气机内的气流分离, 寻找最先失速的级, 并采取相应措施来延缓气流分

离, 对于防止和延缓发动机失速具有重要意义。

高速多级轴流式压气机失速首发级试验研究是国内发动机研究的内容^[1]。寻找最先失速的级有两种方法, 一种是计算法, 一种是试验法。由于目前囿于对失速和喘振的机理认识, 物理模型的计算方法不能满足要求。本文对某型发动机, 利用试验的方法, 寻找失速/喘振的起始级, 取得了令人满意的效果。不仅可为使用部门和工厂解决该型发动机的失速/喘振问题提供指导, 还能为今

收稿日期: 2000-12-01; 修订日期: 2000-07-03

作者简介: 姜涛(1974-), 男, 空军工程大学工程学院飞机与发动机工程系博士生

后更进一步研究发动机的不稳定工作奠定基础。

2 试验设备和发动机的改装

所用设备有: 某修理厂该型发动机试车台, 1 个 DA S-50 高速数据采集板, 1 台计算机, 1 个直流稳压电源 (0~30 V 可调), 7 个动态压力传感器, 2 个三孔测压探针及双芯屏蔽线和其他连接器材。

传感器精度等级为 0.2, 非线性: $\pm 0.08\%$, 重复性: 0.03%, 迟滞: 0.04%, 使用温度范围: $40^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

所用发动机基本数据: 该型发动机是七级轴流式单转子涡喷发动机, 设计转速为 4700^{+25}_{-10} r/min, 设计推力为 93100^{+1516}_{-1016} N, 防喘装置为放气带, 已大修两次, 本次工作时间为 298 h 40 min。

发动机的改装主要是在发动机中机匣上打孔, 安装压力传感器, 以便能够测量压气机静子叶片间的压力变化。考虑到强度因素, 打孔位置选择在上下机匣的安装面上。对应于前七级静子位置, 在前七级上打孔, 装 7 个动态压力压力传感器。

3 数据的采集与处理

3.1 数据采集方法和计算机采集过程

本次试验数据的采集分为计算机自动采集和人工记录两种方式。关闭放气带缓收油门, 在喘振边界转速以上 20 r/min 左右, 启动计算机数据采集系统, 利用计算机记录发动机收油门至喘振过程中各级的压力变化, 并将所测到各级压力数据以 dat 文件保存, 以供进行数据的离线处理。发动机性能数据由常规人工方式记录。

计算机数据采集按如下的流程进行: 动态压力传感器分别测量压气机静子间的压力变化, 经变送器对信号进行调理之后, 送到高速数据采集板, 由数据采集板将测试到的数据送到计算机并存储。

本文利用两种采样频率 (1 kHz 和 10 kHz) 对发动机不同状态进行数据采集, 同时为了找出采集系统的噪声的特点, 在发动机开车前, 启动数据采集系统, 记录数据。

3.2 试验数据处理

在采集到的数据中, 混有大量的干扰信号。为了消除干扰信号的影响, 对信号频谱进行了分析, 首先在发动机开车前, 采集压气机各级静子间压力, 对其进行频谱分析, 显然此时为干扰信号频

谱, 其结果如图 1 所示, 干扰信号集中在 100 Hz 的频率上。

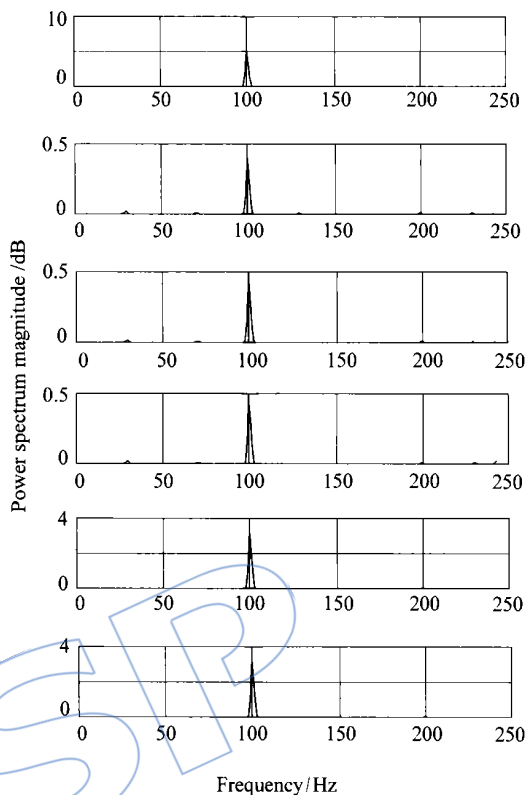


图 1 干扰信号频谱

该型发动机失速时转速在 3500 r/min, 由文献[2]知失速频率应在 50 Hz 以下, 对采样数据的频谱分析也说明了这一点。因此设计了 1 个低通巴特沃斯滤波器, 滤除 50 Hz 以上的干扰信号, 保留 50 Hz 以下的失速信号。本文利用“MATLAB”语言编写了数字滤波和数据处理程序, 该程序可以对采集到的数据进行时域分析、频谱分析以及对数据进行数字滤波处理。图 2 为对失速信号进行滤波后的频谱图, 从图上可以看出, 所设计的数字滤波器成功地滤除了高频的干扰信号, 保留了有用的失速信号, 结果令人满意。

4 试验结果分析

4.1 最先失速级的判定准则

最先失速级的判定, 对于高速的轴流压气机, 相邻两级间失速时间相差很小, 很难利用互相关分析的方法判定最先失速级。本文通过对滤波后的时域信号的分析, 来寻找最先失速级。如果发动机的某级首先出现失速团, 由于失速团的阻塞作用, 该级的前几级压力应该出现略微上升, 其后的各级压力应依次下降, 同时该级出现明显的压力

脉动。如果在所测到的各级压力曲线图上能够找

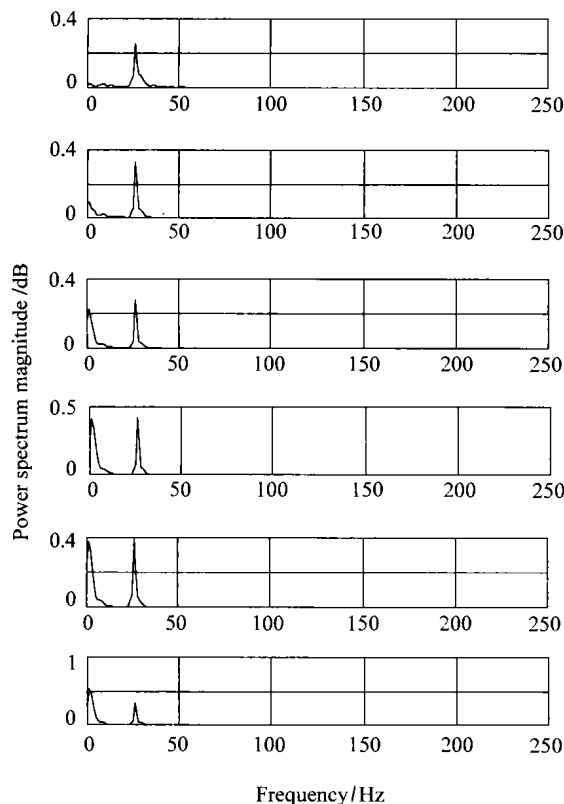


图 2 失速信号频谱

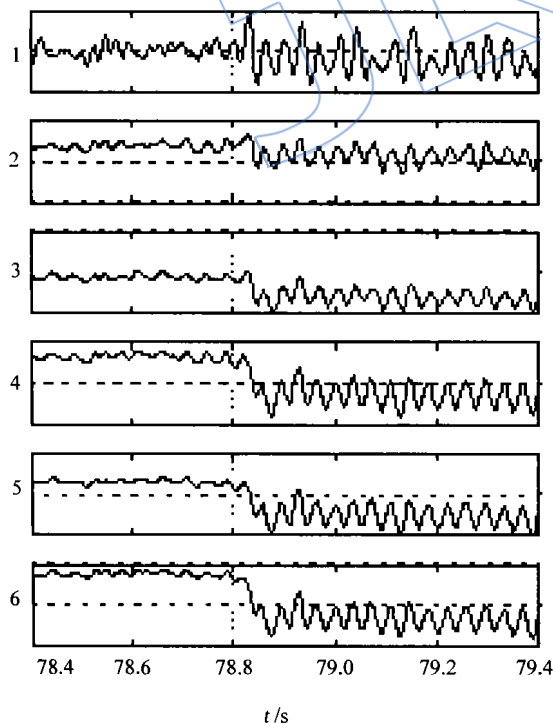


图 3 滤波后各级失速波形

到这样的级, 就可以断定是该级首先出现失速。

4.2 结果分析

对所测数据进行滤波后, 画出波形如图 3 示。由图可以看出, 在失速信号第一个波峰到达后, 从第三级开始以后各级都有 1 个压力突降点(图上 a 点), 可以认为失速从第三级开始, 造成第三级和以后各级出现 1 个压力突降, 随后发动机压气机各级进入失速, 各级压力整体下降, 突降点消失。为了更清楚的二、三、四级的压力变化情况, 利用探针分别对二、三级和三、四级的不同叶高处的压力进行了测量, 利用相同的方法对采样数据进行分析发现, 不同叶高上几乎同时出现失速信号, 为全叶高失速。

为验证判断的正确性, 将第二级导流叶片的安装角增大 2 后, 进行发动机试车试验。增大第二级导流叶片的安装角后, 第三级静子叶片的进气攻角减小了, 理论上^[6]可延缓第三级的失速。接下来的试验证明, 第二级安装角改变后, 发动机的临界转速下降了 37.5 r/min, 发动机中小转速的性能得到了改善, 表现在排气温度降低, 燃油消耗率降低。从而表明发动机稳定裕度增加。

5 结 论

该型发动机第三级压气机首先出现失速, 通过增大第二级静子叶片的安装角, 试验表明可以增大该型发动机的稳定裕度, 从而表明了判断的正确性, 为工程上解决该型发动机的喘振问题提供了依据。

参考文献

- [1] Ishii H. Numerical Investigation of Surge and Rotating Stall in Multistage Axial Compressors[R]. AIAA-92-3193
- [2] Ronald C. Pampreen, Compressor Surge and Stall[R]. 中国航空工业总公司发动机系统工程局, 1993
- [3] 黄世霖. 工程信号处理[M]. 北京: 人民交通出版社, 1986
- [4] 夏联, 顾杨, 等. 多级轴流压气机失速/喘振的测量及数据处理[J]. 燃气涡轮试验与研究, 1999, 12(3).
- [5] 黄文梅, 熊桂林, 杨勇. 信号分析与处理·MATLAB 语言及应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000
- [6] 景寿清. 航空燃气涡轮发动机原理[M]. 西安: 中国人民解放军空军工程学院, 1992

(责任编辑 王震华)