

# 航空发动机失速喘振辅助判别方法研究

刘 卓

(中国航发沈阳发动机研究所 辽宁 沈阳 110015)

**摘 要:** 目前,对脉动压力的监测主要以监测脉动压力幅值为主。发生失速、喘振现象时,脉动压力幅值一定会超过限制值。但有时由于测点安装位置、管腔效应等因素的影响,在发动机气动平稳状态下,脉动压力幅值也超过限制值。因此,脉动压力幅值超限不一定说明发动机发生了气动失稳。为了降低在试验中对失速、喘振的误报率,引入了紊流度值辅助判别的方法。

**关键词:** 航空发动机;失速;喘振;紊流度

中图分类号: O313

文献标识码: A

国家标准学科分类代码: 460.4099

DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2019.3.021

## Research on the Auxiliary Discriminant Method for Stall and Surge Conditions of Aero-Engine

Liu Zhuo

**Abstract:** At present, detecting dynamic pressure amplitude is the most important part in detecting dynamic pressure. When stall or surge happens, dynamic pressure amplitude will exceed the limits. But, Sometimes because of the position of sensors or tube cavity effect, When the aero-engine works smoothly, the dynamic pressure amplitude will also exceed the limits. Accordingly, Exceeding the limits doesn't always proof that aero-engine works with an unstable performance. In order to reduce the wrong judgment of stall or surge, this paper introduces the concept of turbulence intensity.

**Keywords:** aero-engine; stall; surge; turbulence intensity

为了提高对发动机气动稳定性判断的准确性,需要在监测各测点脉动压力幅值  $A$  值的同时也实时监测各测点的紊流度值。通过对各测点  $A$  值和紊流度值的综合分析,更准确地判断发动机的气动稳定性。

### 1 航空发动机的失速与喘振

失速可以是突发的,也可以是渐进的,可以有多个失速气团,这些气团可能覆盖部分或全部叶高,而且一个失速气团可能覆盖多个叶片。喘振就是全部压缩系统不稳定并且在此期间通过整个压气机的平均流量发生脉动的流动状态。飞机在正常飞行中,如果发动机出现喘振现象,可能导致发动机停止运行。

### 2 失速喘振辅助判别方法研究

#### 2.1 发动机紊流度值计算及分析

发动机台架试车时,通常在风扇出口及压气机出口布置动态压力测点来获取发动机脉动压力情况。

脉动压力幅值是评价发动机稳定性的一项重要指标,目前对脉动压力的监测主要以监测脉动压力幅值为主。当发动机发生气动失稳现象时,风扇或压气机出口检测到的脉动压力幅值会迅速增大并且

超过规定的限制值。但有时由于测点安装位置、管腔效应等因素的影响,在发动机气动平稳状态下,脉动压力幅值也超过规定的限制值。

脉动压力幅值  $A$  值的计算公式:

$$A = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{\bar{P} + P_0} \quad (1)$$

式中:  $\bar{P}$ — $T$  时间内各点平均表压值;

$P_0$ —当天大气压;

$P_{\max}$ — $T$  时间内最大压力值;

$P_{\min}$ — $T$  时间内最小压力值。

$A$  值计算的是一段时间内最大值与最小值距离平均值的波动情况,紊流度值计算的是一段时间内所有数据点相对于平均值的波动情况。因此,紊流度值更具有稳定性。

紊流度  $\varepsilon$  的计算公式如下:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (P(t) - \bar{P})^2 dt}}{\bar{P} + P_0} \quad (2)$$

收稿日期: 2019-01-14

式中:  $\bar{P}$ — $T$  时间内各点平均表压;

$P(t)$ —单点采集的瞬间压力值;

$T$ —计算的积分时间;

$P_0$ —当天大气压。

在某次台架试车中,某发动机在某转速状态下,风扇出口测点的  $A$  值已经超过该测点的限制值,但发动机未发生失速和喘振现象。选取该发动机在 4 个转速状态下的三个脉动压力测点的  $A$  值与紊流度值进行对比,发现在  $A$  值超限时紊流度值都很平稳。 $A$  值与紊流度值对比图如图 1 所示。为了提高对发动机气动稳定性判断的准确性,需要在监测各测点脉动压力幅值  $A$  值的同时也监测各测点的紊流度值。通过对各测点  $A$  值和紊流度值的综合分析,更准确的判断发动机的气动稳定性。

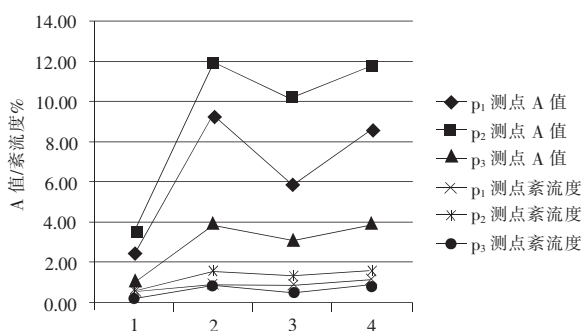


图 1 不同转速状态下  $A$  值与紊流度值

## 2.2 发动机气动平稳状态下 $A$ 值与紊流度值对比分析

选取 2 次发动机气动稳定性良好的试验数据作为样本,对样本(1)、样本(2)试验数据分别取 4 个不同转速状态,分别记录 4 个转速状态下的  $A$  值与紊流度值。图 2 为样本(1)的  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  测点的紊流度值图,图 3 为样本(1)的各测点  $A$  值图,图 4 为样本(2)的紊流度值图,图 5 为样本(2)的  $A$  值图。可见,当发动机气动稳定性良好且各测点  $A$  值不超限的情况下,各测点紊流度值都很平稳。

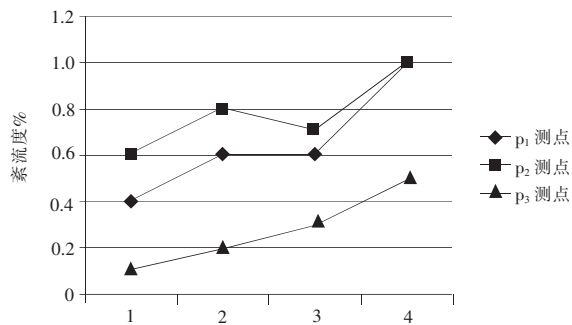


图 2 样本(1)紊流度值图

## 2.3 发生失速、喘振时 $A$ 值与紊流度值对比分析

选取某试验件 2 次失速数据进行分析,失速发

生时各测点  $A$  值与紊流度值都明显上升。图 6、图 7 分别为失速样本(1)紊流度值图及  $A$  值图,图 8、图 9 分别为失速样本(2)紊流度值图及  $A$  值图。

选取某发动机 2 次喘振数据进行分析,喘振发生时各测点  $A$  值与紊流度值都明显上升。图 10 ~ 图 11 分别为 2 个样本的喘振发生时的紊流度值图。

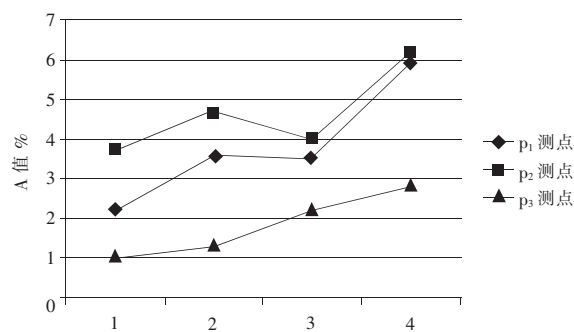


图 3 样本(1)  $A$  值图

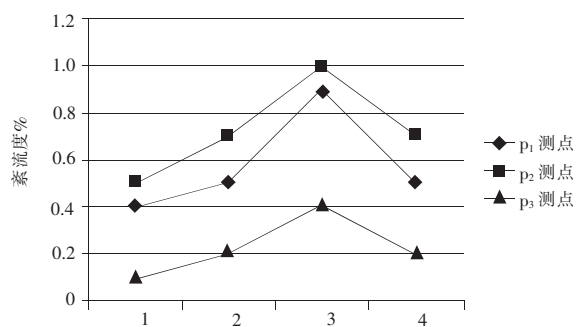


图 4 样本(2)紊流度值图

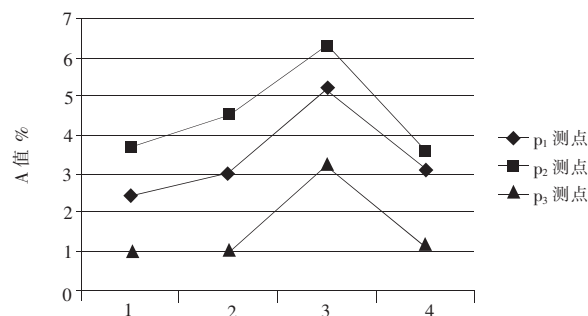


图 5 样本(2)  $A$  值图

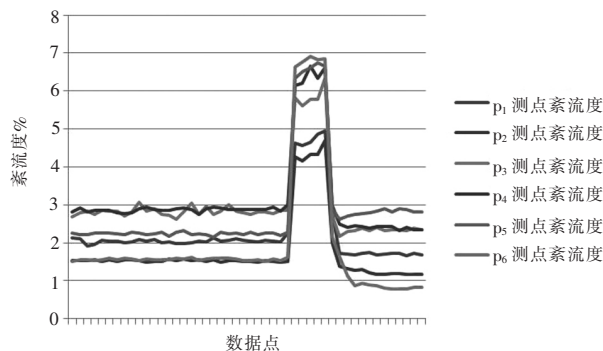


图 6 失速样本(1)失速时紊流度值图

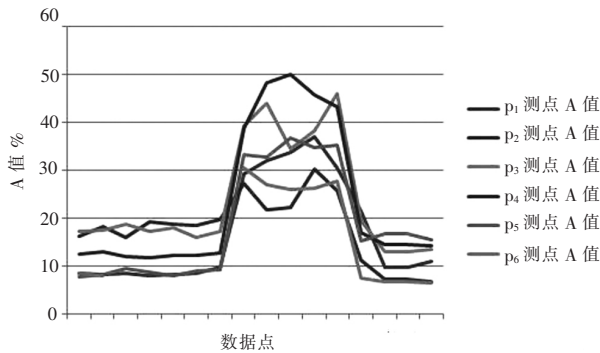


图7 失速样本(1)失速时A值图

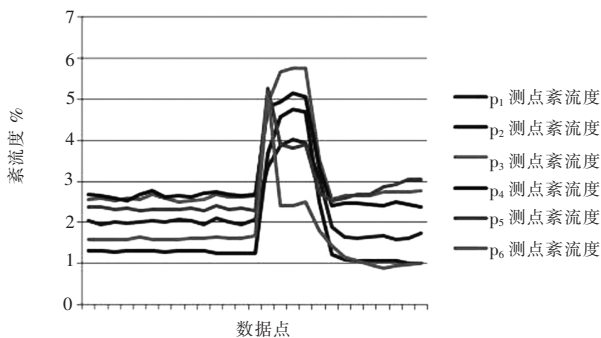


图8 失速样本(2)失速时紊流度值图

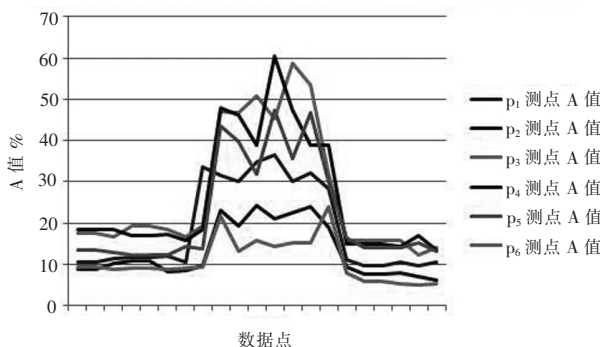


图9 失速样本(2)失速时A值图

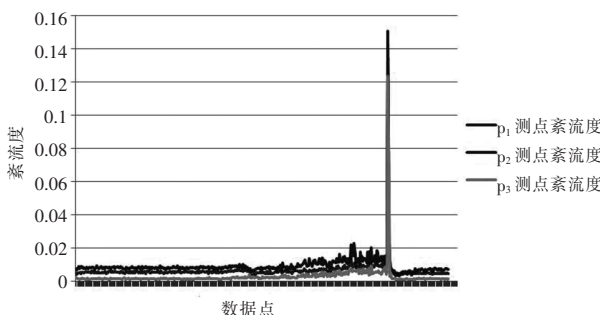


图10 喘振样本(1)紊流度值图

## 2.4 紊流度限制值的建议

通过对大量发动机正常、失速、喘振状态下脉动压力测点紊流度值的统计分析,发现在发动机气动稳定性良好的状态下,各脉动压力测点的紊流度值都比较平稳。当发动机突发失速、喘振时,各测点的A值与紊流度值都迅速增大。现对某系列发动机36

次试车过程中平稳状态时3个脉动压力测点紊流度值进行详细分析,发现3个测点紊流度值均未超过1.5%,如图12所示。

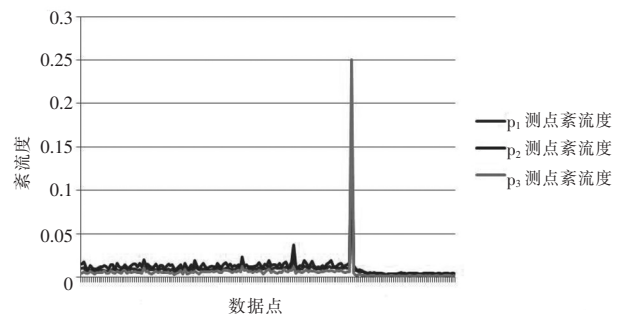


图11 喘振样本(2)紊流度值图

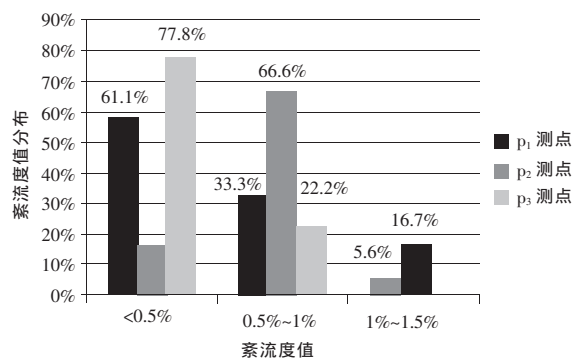


图12 参考状态下紊流度值分布

因此,在发动机台架试车时应该在现有的失速喘振判别方法的基础上加强对各测点紊流度值的实时监测,结合各测点A值、紊流度值综合判断发动机当前的气动稳定情况。根据图12统计的紊流度值分布结果,且考虑安全性原则,初步建议在该系列发动机台架试车时,当紊流度值超过1%时应密切关注各测点A值及时域波形,以减少对发动机失速、喘振的误判,提高对发动机失速、喘振判断的准确性。

## 3 总结

本文提出了航空发动机失速喘振辅助判别方法,此方法可以提高航空发动机失速喘振判别的准确性,在接下来的工作中,还需要大量不同发动机的失速、喘振数据对紊流度建议限制值进行验证,提高对发动机气动失稳现象判断的准确性。

### 参考文献

- [1] 廉筱纯,吴虎. 航空发动机原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2005:346~387.
- [2] 孔卫东,李军,吕建伟. 涡扇发动机进气总压畸变试验动态总压紊流度计算分析[J]. 燃气涡轮试验与研究,2004,17(3):31~34.
- [3] 江勇,张百灵,孔卫东. 航空发动机插板式进气压力畸变紊流度分布[J]. 空军工程大学学报,2008,9(1):1~4.
- [4] 董文瀚,孙秀霞,林岩,尹晖. 航空发动机旋转失速和喘振的动态面控制[J]. 系统工程与电子技术,2013,35(7).

作者简介:刘卓,女,工程师。工作单位:中国航发沈阳发动机研究所。