

进气畸变下涡喷发动机转子间的气动耦合及稳定性分析*

西北工业大学 刘燕** 刘伟 陈辅群

【摘要】应用本文作者建立的改进多子区平行压气机模型,对进气畸变下双转子涡喷发动机的实际工况进行了仿真,得到了发动机各截面的总温、总压以及工作过程参数与性能参数等随低压转子相对折合转速 $\bar{n}_{\text{COY,L}}$ 的变化规律。特别是能从表征高、低压压气机气动稳定性的参数随 $\bar{n}_{\text{COY,L}}$ 的变化规律中看出双转子发动机的稳定工作范围。分析表明仿真结果与进气畸变下整机台架试验的参数变化规律相符。该仿真模型可作为发动机辅助设计与试验以及进气道/发动机相容性评定的有利工具。

主题词: 进气畸变 双转子喷气发动机 稳定性

分类号: O235.11

1 前言

文献[1]已分析并预测了进气畸变对单轴涡喷发动机气动稳定性的影响。文献[2]计算了畸变进气对双轴涡喷发动机性能的影响。但其计算是基于畸变进气下压气机试验特性,并假定畸变气流流经低压压气机后已掺混成均匀气流,即高压压气机工作于均匀进气流。然而,在预测畸变对发动机性能影响时,往往缺乏畸变进气下的压气机试验特性,而且畸变流流经低压转子后,不但来不及掺混成均匀流,而且由于各低压子压气机对气流的加功量不等而生成温度畸变,所以高压压气机事实上是经受压力和温度的组合畸变^[3]。本文应用改进的多子区平行压气机模型,详细地分析了这两方面的问题,以均匀进气压气机试验特性为基础,考虑了转子间的气动耦合作用,分析了双转子涡喷发动机的稳定工作范围。本文给出的仿真模型犹如在计算机中建立了一个“发动机试验装置”。可在进气道/发动机匹配试验前,对进气畸变下发动机的参数变化进行细致、深入的了解,从而减少试验次数。

2 仿真模型概述

本模型将压气机进口的畸变流场划分为 6 个局部流场为均匀的扇形子区,气流以每一子区为进口沿压气机流路一直到出口,并将其视为一均匀进气的子压气机,分析时以均匀进气的压气机试验特性为基础。由于局部流场均匀进气的子压气机特性与完全均匀进气的压气机试验特性不同,所以本模型计入了非定常可压流效应:非定常流体加速效应和非定常转子损失效应、流体微团的位移效应,还考虑了进气畸变引起的压气机进口流动重新分布^[4]。

模拟的边界条件: 在低压压气机进口取实测的总压、总温分布, 在高压压气机出口取静压均匀, 两转子之间为非均匀流场。因为低压压气机级数少, 畸变衰减较慢, 加之出口环形空间太小, 其后的高压压气机必然对低压压气机出口参数有强烈影响, 所以低压出口不仅仍存在总压、静压畸变, 还生成了总温畸变。本模型由流量连续原理, 通过迭代方法考虑了高低压转子间的匹配, 求出了低压压气机出口参数的周向分布。

稳定性判据: 低压压气机取有效攻角 α_{eff} , 高压压气机取有效压比 π_{keff}^* 。只要任一子压气机的 α_{eff} (或 π_{keff}^*) 大于或等于均匀进气下失速攻角 α_{ss} (或失速压比 π_{loss}^*), 则认为整机进入不稳定工作状态。

3 仿真结果及分析

以某型双轴加力式涡喷发动机为算例。模拟了 180° 畸变进气下该发动机各截面的总温总压分布、工作过程参数、性能参数与气动稳定性。

图 1 为在 180° 畸变进气下, 低压转子进口及用本模型预测的高低压转子之间和高压转子出口的总压、静压和总温分布图。从图中可看出, 畸变进气流通过压气机时, 总、静压畸变是不断衰减的, 但是低压转子进口原均匀分布的总温, 在低压转子出口却产生温度畸变, 并且压气机进出口低压区不在同一周向位置处。这是由于本模型考虑了流体微团的位移效应, 才使仿真结果更符合压气机对进气畸变响应的实验现象。图 2 为畸变及均匀进气发动机过渡态转速特性。

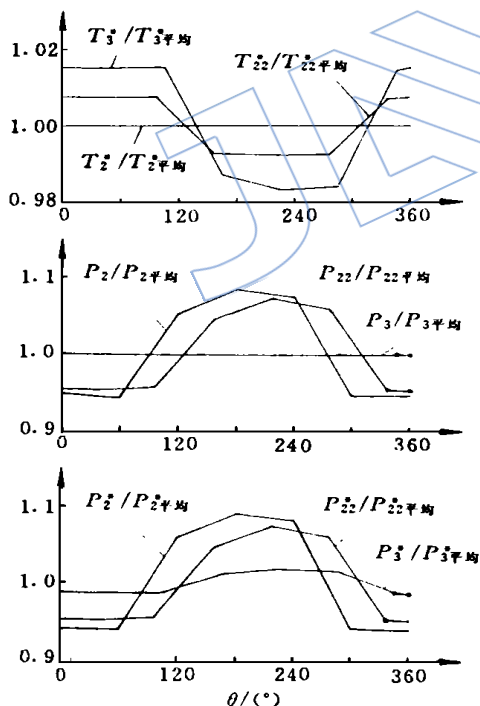


图 1 180° 畸变总压、静压及总温分布

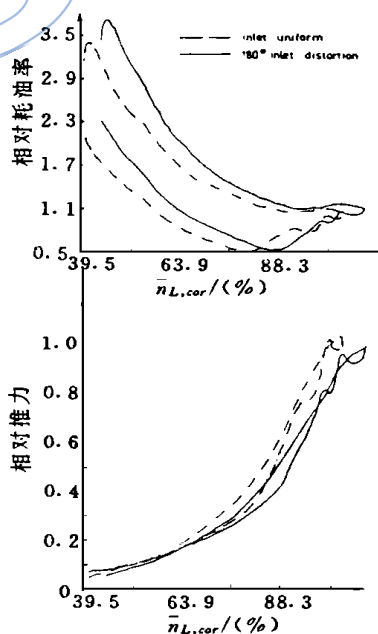


图 2 畸变及均匀进气双轴涡喷发动机过渡态转速特性

图 3 给出了稳态、过渡态时判别高低压转子工作稳定性的参数, 即最大有效压比、最大有效攻角随转子相对折合转速的变化规律。实线表示 180° 畸变进气值, 点划线表示均匀进气下

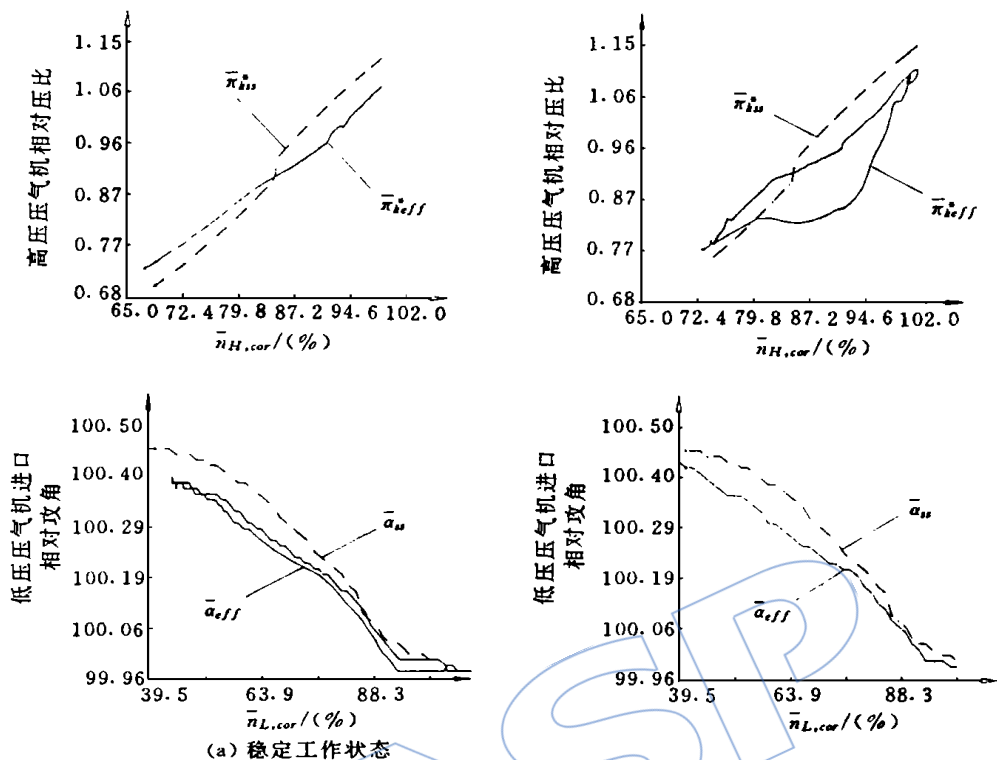


图 3 表征畸变进气压气机气动稳定性的参数随相对折合转速的变化规律

的稳态值。无论是高压转子还是低压转子, 只要最大有效攻角(或压比)大于或等于均匀进气稳态失速攻角(或压比), 则整台发动机便进入不稳定工作状态, 由图中可看出稳态下, 当高压转子相对折合转速低于 N_0 时, 则高压压气机易进入不稳定工作状态。加速过程中, $\bar{n}_{H,cor}$ 低于 N_2 , 或减速过程中 $\bar{n}_{H,cor}$ 小于 N_1 均易使高压压气机进入不稳定工况。

由以上分析可见, 仿真结果是符合发动机原理及实验现象的。该仿真模型可作为发动机辅助设计与试验以及进气道/发动机相容性评定的有利工具。

参 考 文 献

- 1 刘燕, 陈辅群. 进气压力周向畸变对发动机稳定性的影响. 中国航空科技文献 HJB870566, 1987
- 2 郑庆雄, 廉小纯, 陈辅群, 沈韶瀛. 畸变进气对双轴涡喷发动机性能的影响. 航空学报, 1993, 14(10)
- 3 Edwin J. Graber, Jr. and Willis M. Braithwaite. Summary of Recent Investigations of Inlet Flow Distortion Effect on Engine Stability. AIAA 74- 236
- 4 刘燕, 刘伟, 刘志伟, 陈辅群. 畸变进气压气机特性与气动稳定性的改进模拟技术及其实验研究. 航空动力学报, 1994, 9(7)

(责任编辑 魏星禄)