

# 高压压气机可调静子叶片角度 $\alpha_2$ 摆动故障诊断与分析

张振兴, 金 帅, 闫海骄

(中国航发沈阳发动机研究所, 沈阳 110015)

**摘要:** 针对某型航空发动机高压压气机可调静子叶片角度  $\alpha_2$  摆动故障, 以  $\alpha_2$  控制系统及其原理为基础, 建立覆盖整个控制系统的故障树, 并且综合考虑各零部件发生故障的概率、维护排故工作的工作量及难易程度, 制定合理有效的排故方案。结果表明: 故障原因为反馈钢索预紧力过紧。本次排故过程介绍的结构原理和总结的排故经验, 对  $\alpha_2$  摆动故障诊断具有指导作用, 对该型发动机在外场使用维护过程中  $\alpha_2$  相关故障具有借鉴意义, 为促进发动机快速成熟提供了技术支撑。

**关键词:**  $\alpha_2$  摆动; 故障诊断; 故障树; 高压压气机; 可调静子叶片角度; 航空发动机

中图分类号: V232.4

文献标识码: A

doi: 10.13477/j.cnki.aeroengine.2021.S1.010

## Diagnosis and Analysis of $\alpha_2$ Swing Fault of Adjustable Stator Vane in High-pressure Compressor

ZHANG Zhen-xing, JIN Shuai, YAN Hai-jiao

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** Aiming at the adjustable stator vane angle  $\alpha_2$  swing fault of an aeroengine high-pressure compressor, a fault tree covering the whole control system was established based on  $\alpha_2$  control system and its principle. Considering the failure probability of each part, the workload and difficulty of maintenance troubleshooting, a reasonable and effective troubleshooting scheme was formulated. The results show that the cause of the fault is that the pretension of the feedback wire rope is too tight. The structure principle introduced in the troubleshooting process and the troubleshooting experience summarized in this troubleshooting process have a guiding role for  $\alpha_2$  swing fault diagnosis and have reference significance for  $\alpha_2$  related faults of this type of engine in the field use and maintenance process, and provide technical support for promoting the rapid maturity of the engine.

**Key words:**  $\alpha_2$  swing; fault diagnosis; fault tree; high-pressure compressor; adjustable stator vane angle; aeroengine

## 0 引言

航空发动机性能参数的稳定, 是发动机稳定工作的基本要求, 更是发动机使用维护的有力保障<sup>[1-2]</sup>。

某型发动机在外场使用维护过程中, 参数摆动是常见的故障模式之一, 刘志敏等<sup>[3]</sup>、李吉伟等<sup>[4]</sup>、田巍<sup>[5]</sup>、姚华廷等<sup>[6]</sup>、周雁等<sup>[7]</sup>针对参数摆动进行了分析研究; 张秀云等<sup>[8]</sup>、范世新等<sup>[9]</sup>、张健等<sup>[10]</sup>针对  $\alpha_2$  相关故障进行了分析研究; 隋岩峰等<sup>[11]</sup>、毛可久<sup>[12]</sup>、樊思齐等<sup>[13]</sup>、曾俊英<sup>[14]</sup>、周宗才<sup>[15]</sup>针对控制系统及控制规律进行了研究综述。但高压压气机可调静子叶片角度  $\alpha_2$  摆动故障的相关文献较少。 $\alpha_2$  摆动会导致发动机各项参数摆动, 轻则造成发动机工作不稳定, 影响其正

常使用, 重则会引起发动机压气机喘振。

本文针对某型发动机 1 起  $\alpha_2$  摆动故障, 以  $\alpha_2$  控制系统及其原理为基础, 建立覆盖整个控制系统的故障树, 并且综合考虑各零部件发生故障的概率、维护排故工作的工作量及难易程度, 制定合理且有效的排故方案, 据此对故障定位并排除。

## 1 故障现象

某航空发动机在地面试车过程中, 低压相对转速  $N_1$ 、高压相对转速  $N_2$ 、排气温度  $T_6$  等表征发动机工作状态的主要性能参数全程摆动, 包括慢车状态、节流状态、中间及以上状态, 其中, 中间状态数据见表 1。

收稿日期: 2019-11-28 基金项目: 航空动力基础研究项目资助

作者简介: 张振兴(1988), 男, 工程师, 主要从事航空发动机外场技术保障工作; E-mail: tjukinge@163.com。

引用格式: 张振兴, 金帅, 闫海骄. 高压压气机可调静子叶片角度  $\alpha_2$  摆动故障诊断与分析[J]. 航空发动机, 2021, 47(增刊 1): 57-59. ZHANG Zhen-xing, JIN Shuai, YAN Haijiao. Diagnosis and analysis of  $\alpha_2$  swing fault of adjustable stator vane in high-pressure compressor[J]. Aeroengine, 2021, 47(S1): 57-59.

分析发动机数据,初步判定本次发动机参数摆动是由于高压压气机可调静子叶片角度 $\alpha_2$ 摆动影响发动机工作,从而引起其它参数摆动。

表1 发动机中间状态数据

	参数平均值	摆动幅值
$N_1/\%$	97	$\pm 1$
$N_2/\%$	100	$\pm 1$
$\alpha_1$ 刻度	109	$\pm 1$
$\alpha_2$ 刻度	67	$\pm 3$
$T_6/^\circ\text{C}$	717	$\pm 30$

## 2 故障分析

### 2.1 控制系统及其工作原理

该型发动机高压压气机可调静子叶片控制系统包括高压压气机可调静子叶片调节器、高压压气机可调静子叶片转动作动筒、高压压气机可调静子叶片机械反馈、导管及电缆、 $\alpha_2$ 角位移传感器。发动机高压压气机可调静子叶片控制系统原理如图1所示。

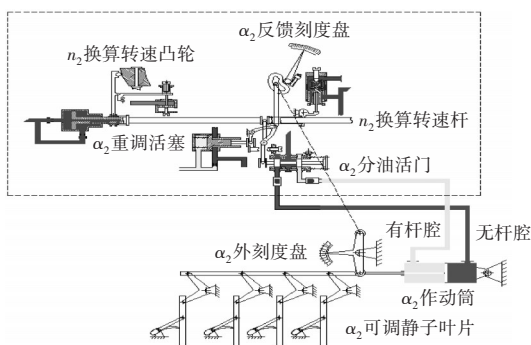


图1 高压压气机可调静子叶片调节器原理

发动机进口温度 $T_1$ 温度传感器将发动机进口温度转换为液压信号供向主泵内部的温度放大机构,并转换为转动信号传递至3维凸轮,同时,离心式转速传感器将发动机 $N_2$ 转速转换为位移信号传递至3维凸轮。3维凸轮综合 $N_2$ 和 $T_1$ 后形成与高压相对换算转速 $N_{2r}$ 一一对应的位置信息,通过杠杆、 $N_{2r}$ 指令形成转置等机构,使 $\alpha_2$ 分油活门根据 $N_{2r}$ 移动,改变 $\alpha_2$ 作动筒2腔油压,作动筒移动时通过传动机构和反馈钢索使 $\alpha_2$ 反馈凸轮转动。反馈凸轮的转动通过杠杆机构使 $\alpha_2$ 分油活门向相反方向移动,并最终保持在平衡位置附近。

### 2.2 故障分析

发动机 $\alpha_2$ 摆动大体分为真摆和假摆2类。真摆是由 $\alpha_2$ 控制系统造成的,与主泵、 $T_1$ 传感器以及控制系统相关;假摆是由 $\alpha_2$ 角位移传感器和相关电缆引起的,发动机及其附件和调节系统本身工作正常。这2种摆动有本质的区别,正确区分和判断,是排除发

动机转速表摆动的第一步。

本文基于 $\alpha_2$ 控制系统及其工作原理,以真摆和假摆为2个主要方向,建立故障树,为排故方案的制定提供方向和指导,故障树如图2所示。

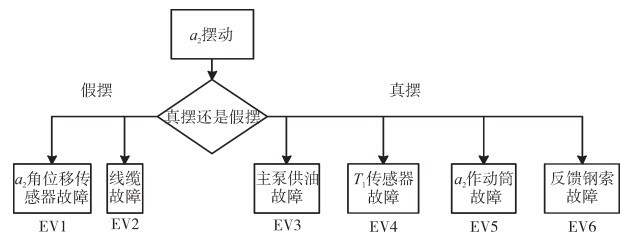


图2  $\alpha_2$ 摆动故障树

## 3 故障排查及原因分析

### 3.1 故障排查

根据故障树,综合考虑各零部件发生故障的概率、维护排故工作的工作量及难易程度,制定排故方案如下:

通过故障现象分析判断 $\alpha_2$ 摆动是真摆还是假摆。

(1)假摆。检查 $\alpha_2$ 角位移传感器是否故障(故障概率大,检查方便);检查相关线缆是否存在虚连断连的现象(故障概率小,检查不便)。

(2)真摆。检查主泵 $\alpha_2$ 外刻度值是否摆动(检查方便);检查 $\alpha_2$ 作动筒行程是否跟随摆动(检查方便);检查 $T_1$ 传感器是否故障(故障概率小,检查方便);检查主泵供给作动筒的油压是否摆动(故障概率小,检查不便);检查反馈钢索是否异常(故障概率小,检查不便);更换主泵,检查主泵是否故障(故障概率大,检查极其不便)。

### 3.2 故障原因分析

按照排故方案进行排查,发现反馈钢索预紧力过紧,其他零部件均无异常。

由于 $\alpha_2$ 与 $N_{2r}$ 存在一一对应的关系,当发动机状态稳定时, $\alpha_2$ 控制系统将 $\alpha_2$ 调整至与 $N_{2r}$ 对应的 $\alpha_2$ , $\alpha_2$ 控制系统属于闭环调节控制。反馈钢索预紧力过紧,会导致 $\alpha_2$ 控制系统对 $\alpha_2$ 的调整存在一定的延迟性,即控制系统在调整 $\alpha_2$ 偏开或偏关时会将 $\alpha_2$ 调整至超过与 $N_{2r}$ 对应的值。因此, $\alpha_2$ 控制系统一直在 $N_{2r}$ 对应值附近调整 $\alpha_2$ ,致使 $\alpha_2$ 摆动。

调整反馈钢索预紧力后进行试车验证,发动机运行良好, $\alpha_2$ 摆动现象未复现,故障排除。

## 4 结束语

本文针对某航空发动机 $\alpha_2$ 摆动故障,建立故障树,综合考虑制定合理排故方案,最终将故障定位为反馈钢索预紧力过紧所致。本文建立的覆盖整个 $\alpha_2$ 控制系统的故障树不仅能够帮助排查 $\alpha_2$ 摆动故障,对其他 $\alpha_2$ 相关故障的排查也具有指导作用。此外,本文综合考虑了零部件发生故障的概率和维护排故工作的工作量以及难易程度,对提高发动机外场维护使用的有效性和合理性具有借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 邓明. 航空发动机故障诊断[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2012:28-30.  
DENG Ming. Fault diagnosis of civil aeroengine[M]. Beijing: Beihang University Press, 2012:28-30. (in Chinese)
- [2] 宋兆泓. 航空发动机故障分析[M]. 北京:北京航空学院出版社, 1993:245-252.  
SONG Zhaohong. Aeroengine fault analysis[M]. Beijing: Beijing Aviation College Press, 1993:245-252. (in Chinese)
- [3] 刘志敏,张英民,张亮. 某型飞机转速表摆动的原因分析及预防措施[J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2013, 31(1):12-13.  
LIU Zhiming, ZHANG Yingmin, ZHANG Liang. Reason analysis and preventive measures on jiggling motion of the revolution meter on a certain aircraft[J]. Journal of Xi'an Aero Technical College, 2013, 31(1): 12-13. (in Chinese)
- [4] 李吉伟,冷鑫. 某型发动机最大状态转速摆动故障排除方法的研究[J]. 航空维修与工程, 2015(8):38-40.  
LI Jiwei, LENG Xin. Troubleshooting method of the speed swing on engine's maximum state[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(8):38-40. (in Chinese)
- [5] 田巍. 军用发动机转速摆动故障分析及预防措施初探[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2007, 7(2):36-39.  
TIAN Wei. The analysis of aeroengine rotational speed swing problems and preventive steps[J]. Journal of Changsha Aeronautical Vocational and Technical College, 2007, 7(2):36-39. (in Chinese)
- [6] 姚华廷,徐敏,王曦. 航空发动机转速摆动问题研究[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2012, 25(4):1-7.  
YAO Huating, XU Min, WANG Xi. Research on speed oscillation of an aero-engine[J]. Gas Turbine Experiment and Research, 2012, 25(4): 1-7. (in Chinese)
- [7] 周雁,任征. 飞机发动机转速摆动排故程序[J]. 航空维修与工程, 2003(1):49-59.  
ZHOU Yan, REN Zheng. The procedure of remove the trouble of plane engine with revolution swing[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2003(1):49-59. (in Chinese)
- [8] 张秀云,崔利丰,马端杰. 航空发动机喷口收放转速和 $\alpha_2$ 角度同时突变故障分析[J]. 航空发动机, 2014, 40(5):23-27.  
ZHANG Xiuyun, CUI Lifeng, MA Duanjie. Failure analysis on abrupt changing of engine speed at min/max nozzle status and  $\alpha_2$  angle of an aeroengine[J]. Aeroengine, 2014, 40(5):23-27. (in Chinese)
- [9] 范世新,黄猛,郑明. 航空发动机导流叶片角度调整参数变化故障分析[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2013, 26(4):48-50.  
FAN Shixin, HUANG Meng, ZHENG Ming. Failure analysis on adjustable parameter deviation of aero-engine's compressor inlet guide vane angle[J]. Gas Turbine Experiment and Research, 2013, 26(4): 48-50. (in Chinese)
- [10] 张健,任铭林. 静叶角度调节对压气机性能影响的试验研究[J]. 航空动力学报, 2000, 15(1):27-30.  
ZHANG Jian, REN Minglin. Experimental research about influence of compressor performance of stator vane angle[J]. Journal of Aerospace Power, 2000, 15(1):27-30. (in Chinese)
- [11] 隋岩峰,邴连喜,施磊,等. 某发动机高压压气机进口可调静子叶片角度控制方法[J]. 航空动力学报, 2010, 25(11):2589-2593.  
SUI Yanfeng, BING Lianxi, SHI Lei, et al. Control method of compressor stator vane angle for an aeroengine[J]. Journal of Aerospace Power, 2010, 25(11):2589-2593. (in Chinese)
- [12] 毛可久. 航空动力装置控制系统[M]. 北京:北京航空学院出版社, 1991:76-89.  
MAO Kejiu. Aviation propulsion control system[M]. Beijing: Beijing Aviation College Press, 1991:76-89. (in Chinese)
- [13] 樊思齐,李华聪. 航空发动机控制[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2008:10-20.  
FAN Siqi, LI Huacong. Aeroengine control[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnic University Press, 2008:10-20. (in Chinese)
- [14] 曾俊英. 航空动力装置控制(元件部分)[M]. 北京:航空工业出版社, 1995:118-122.  
ZENG Junying. Aviation power device control (component portion) [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1995:118-122. (in Chinese)
- [15] 周宗才. 飞机推进系统控制[M]. 西安:空军工程学院, 1997:39-49.  
ZHOU Zongcai. Aircraft propulsion system control[M]. Xi'an: Air Force Engineering College, 1997:39-49. (in Chinese)

(编辑:刘 亮)