

航空发动机外场振动问题分析与研究

邓午立*, 王娟

中航工业沈阳发动机设计研究所, 辽宁 沈阳 110015

摘要: 针对某型航空发动机在外场使用过程中出现的整机振动异常问题, 根据现场实物检查、飞参数据判读以及比对发动机返厂后的分解检查结果, 总结归纳了几种典型振动问题的表现形式和产生的原因。研究表明, 不同部位的转子、静子碰磨是造成发动机整机振动异常的主要因素。确定了整机振动异常分析检查工作内容, 制订了规范的工作流程, 并提出了出现振动问题后发动机不返厂应满足的条件。根据振动值超出使用规定的程度、结构是否产生损伤和发动机其他参数表现, 决定发生振动问题的发动机是否可以继续使用。

关键词: 航空发动机; 外场振动; 检查流程; 振动异常

中图分类号: V263.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 04-0019-05

整机振动值超出使用规定要求是航空发动机在外场使用中暴露的主要问题之一。由于存在振动值异常问题的航空发动机数量较多, 将造成大部分飞机因缺发而停飞。在出现振动问题后, 必须按照规定的流程, 通过完整的分析检查, 确认振动问题的表现形式、产生的原因以及是否造成发动机结构损伤和功能失效。

1 故障原因分析

航空发动机整机振动值由安装在中介机匣或其他承力部件上的振动传感器测得, 同时将振动信号引入综合控制器和飞参系统。例如, 振动值超限, 综合控制器则通过飞机语音系统发出“CO”降转信号提示, 飞参系统完整地记录振动值数据。

产生航空发动机振动值异常一般有以下两方面原因。

(1) 外部原因。航空发动机本身工作正常, 但是由于航空发动机安装、振动传感器故障、线路虚连等问题造成输送至综合控制器和飞参系统的振动信号异常。这是一种虚假信号, 比较容易甄别。

(2) 航空发动机自身原因。航空发动机确实存在振动值异常问题, 并且有三种表现: a. 航空发动机振动值数值超限, 即机载记录的振动数据极值超出使用规定; b. 平均值变化异常,

即某一时期内, 虽然航空发动机整机振动数值没有超限, 但振动值水平相比之前出现明显变化的现象, 尤其是对于已经使用了较长时间的航空发动机, 振动情况应趋于稳定, 一旦总体振动水平出现变化则需引起足够重视; c. 航空发动机一次使用过程中, 在某一阶段振动值异常变化, 与其他时间段的振动特性有差异。

2 检查工作

当航空发动机出现上述振动异常现象时, 需要确认发动机状态是否完好, 一般要进行以下几项工作。

2.1 飞参数据判读

查看振动值异常时发动机其他参数变化情况, 包括油门位置、高低压转子转速(N_1 、 N_2)、涡轮后排气温度(T_6)、高低压静子可调叶片角度(α_1 、 α_2)、喷口尺寸(D_8)、加力通断信号、喘振信号(包括防喘、消喘信号)、飞机姿态参数(攻角、俯仰角等)、武器发射信号等。

通过飞参判读可以确认是否其他参数正常而只有振动值异常; 确认各参数变化的先后时序, 即是由其他参数变化引起振动值异常, 还是因振动异常导致其他参数变化; 查看振动值异常持续时间, 确认是否能够迅速恢复正常还是持续甚至扩展恶化; 查看振动异常时, 发动机状态变化、飞机姿态改变情况对

收稿日期: 2013-11-05; 退修日期: 2013-11-30; 录用日期: 2013-12-26

*通讯作者. Tel.: 024-24281862 E-mail: 13002427009@163.com

引用格式: DENG Wuli, WANG Juan. Research and analysis of in-field vibration problem for aero-engine[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(04): 19-23. 邓午立, 王娟. 航空发动机外场振动问题分析与研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(04): 19-23.

振动是否有影响。

2.2 安装检查

航空发动机通过主安装节和辅助安装节与飞机连接,并固定在飞机发动机舱内,并通过主安装节将航空发动机产生的推力传递给飞机;如果航空发动机安装不正确,造成安装节出现松动、蹿动等现象,则可能导致振动问题产生。

2.3 滑油光谱分析

查看滑油光谱分析数据,用以判断是否因航空发动机传动润滑系统损伤而产生振动异常。例如,航空发动机内部各轴承、各种齿轮以及各种燃滑油附件泵体内部出现磨损等结构损伤,将直接导致振动变化异常。由于系统或部件损伤

导致振动,还可以通过光谱数据中各元素含量和比例初步判断材料成分、定位故障件部位。

2.4 检查各处磁塞、磁堵、金属屑末信号器

检查航空发动机各油滤、磁塞、磁堵、金属屑末信号器上是否有明显的金属颗粒,如有数量较多、尺寸较大的金属颗粒、异物出现,则说明航空发动机结构产生了损伤,有可能是振动问题产生的原因。可通过能谱分析等检测方法确认颗粒、异物材质成份,推断其来源;并配合滑油光谱分析确认是否因结构损伤导致振动。

2.5 流道检查

使用孔探针等工具进行流道检查,必要时使用涡流探

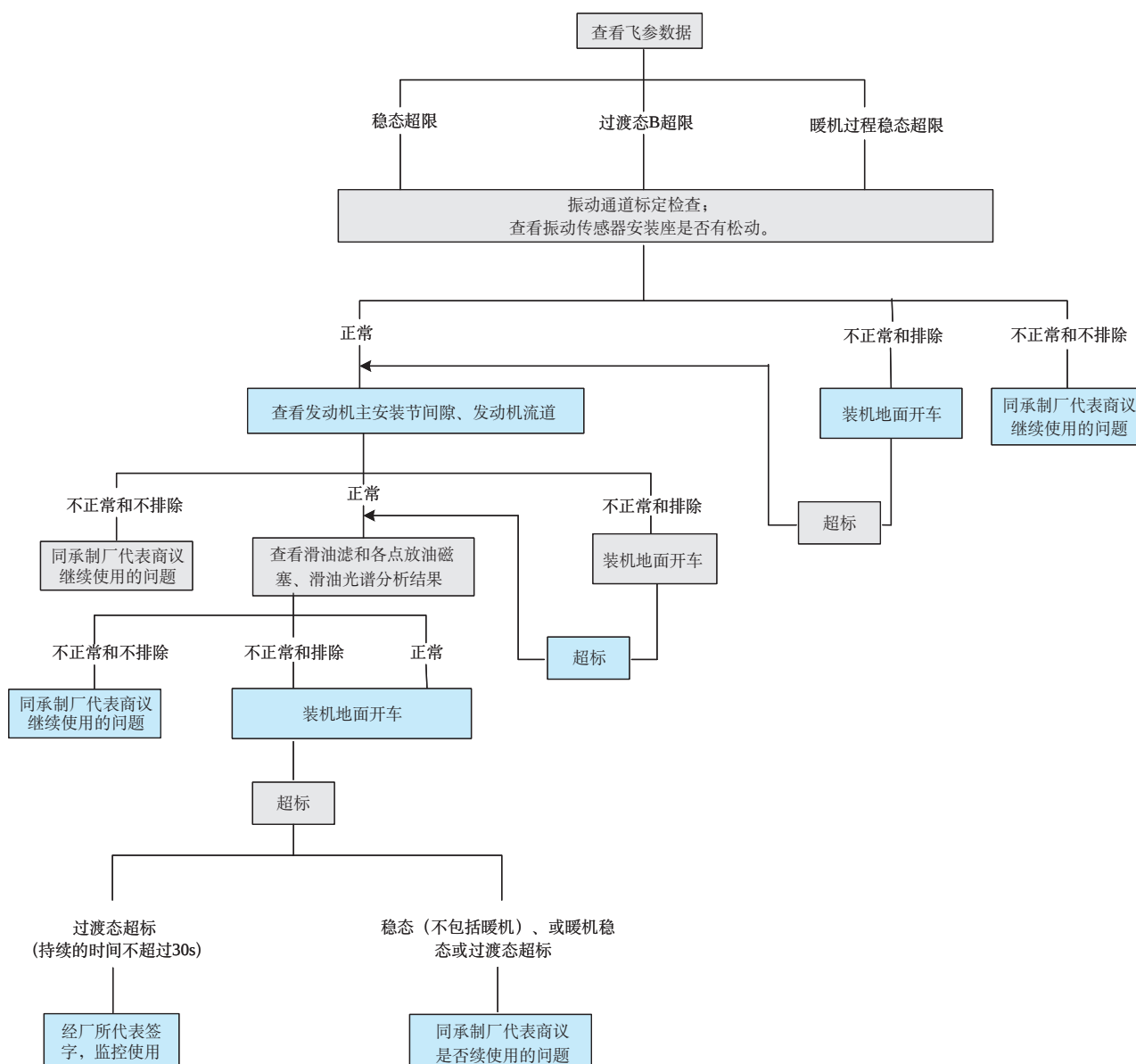


图1 地面开车振动异常检查流程

Fig.1 Inspection procedure of vibration exceed the standard during ground drive

伤等手段,检查航空发动机转、静子,并确认叶片叶尖、篦齿、静子封严等结构是否有开裂、掉角、掉块、磨痕等现象,确认是否因发动机结构损伤或转、静子碰磨产生振动以及振动产生部位。

2.6 检查振动传感器和相关线路

通过检测传感器阻值、阻抗,确认是否是因传感器失效产生振动异常;检查传感器与综合控制器和飞参系统之间电气线路连接情况,确认各插头、导线是否有松动、虚连现象;必要时可更换传感器、对各插头进行清洗然后重新安装。

3 检查流程

在外场实际工作中,用户总结制订了出现振动问题后的检查流程。根据振动异常出现时机的不同,如果在航空发动机装机后、地面开车、起动及飞行过程中出现振动问题,可根据检查结果决定航空发动机是否继续使用或返厂检查。图1为发动机装机地面开车振动值是否超标的检查流程。

4 振动异常表现形式

对航空发动机的整机振动数据进行统计分析,归纳得出整机振动异常问题主要有四种表现形式。

4.1 发动机热起动时异常振动

航空发动机在进行热起动(航空发动机停车后再次起动)时可能出现因转子叶片热弯曲和转静子碰磨产生的振动异常现象。

航空发动机转子热弯曲现象就是在热起动过程中,转子因上下温度不同,上下表面热膨胀伸长量不同,使得转子发生暂时性的弯曲;还可能由于航空发动机停车后,机匣和转子冷却不同步,即机匣冷却收缩比盘、轴、叶片快,造成转子、静子间隙发生变化,当进行热起动时会因转子、静子碰磨产生异常振动。

热起动时振动异常表现为,当航空发动机热起动至慢车后,时间在200~300s之间,振动出现峰值;如果慢车停留一段时间,转子热弯曲会完全消除,转子叶片和机匣间隙也会恢复正常,随后振动峰值可自动回落至正常水平(时域图见图2)。对于热弯曲和转静子碰磨造成的热起动过程中的振动异常,因其会自动恢复所以不会对后续状态造成影响。

可在起动前增加一次冷运转使转子的上下表面、转子和机匣之间的膨胀程度趋于均匀的办法来解决热起动时的振动异常。

4.2 转速稳定后振动值继续上升

低状态上推至高状态振动值突升, N_2 状态稳定后,振动长时间持续维持在较高值而不下降甚至缓慢上升(时域图见图3)。

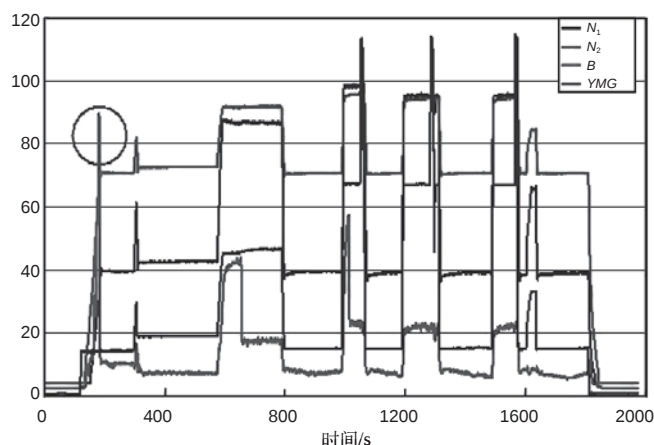


图2 转子热弯曲产生的振动时域图

Fig.2 Vibration time domain chart of rotor thermal bending

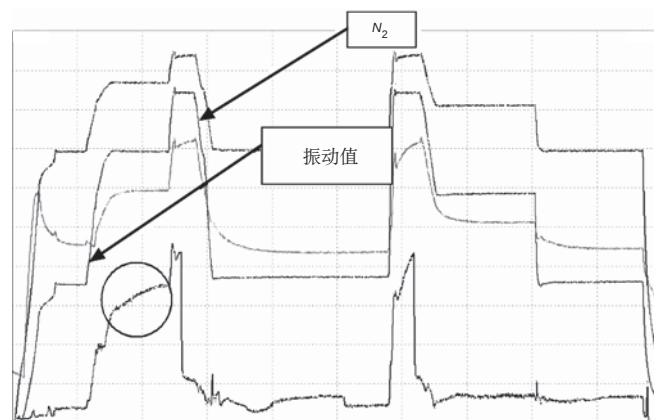


图3 低状态上推至高状态时产生振动时域图

Fig.3 Vibration time domain chart during rotation rate increasing

振动信号分析表明,此时航空发动机工作正常。造成上述现象的直接原因是航空发动机转子、静子间隙不协调引起的碰磨。如果发生碰磨的部位属于转子叶尖与机匣涂层或基体(较硬,不容易磨掉),则引起持续振动超限。

通常这种振动异常问题只在某一转速段出现,如有可能可采取有意识避免在这一转速停留的办法解决。

4.3 转速稳定后振动瞬间下降至正常水平

(1) 航空发动机起动后,首次由低状态上推至高状态振动值突然升高, N_2 状态稳定后,振动瞬间或维持很短时间(通常1~3s)下降至正常水平(时域图见图4)。

(2) 航空发动机热透后在慢车运行1min以上,上推至高状态振动值突升, N_2 状态稳定后,振动瞬间或维持很短时间下降至正常水平(时域图见图5)。

(3) 航空发动机热透后,下拉至慢车停留很短时间,再由低状态上推至高状态振动值突升,短时间停留后,瞬间下降至

正常水平(时域图见图6)。

振动信号分析和排故实践证实,造成上述现象的直接原因是发动机转静子间隙不协调引起的碰磨。如碰磨发生的部位属于转子叶尖与机匣蜂窝(较软,容易磨掉),则引起短时振动超限后突降的现象。

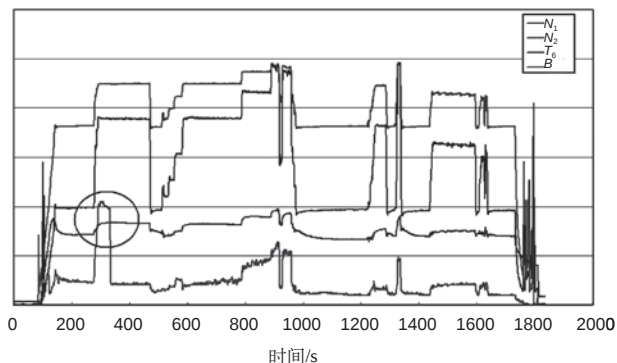


图4 首次状态上推振动时域图

Fig.4 Vibration time domain chart when throttle lever pushed at first time

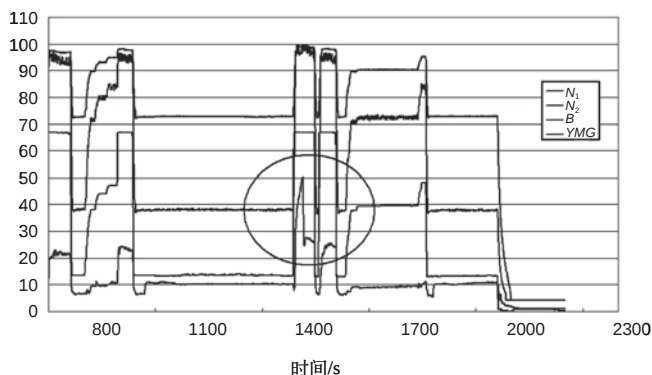


图5 暖机后再次上推振动时域图

Fig.5 Vibration time domain chart when pushing again after warming up

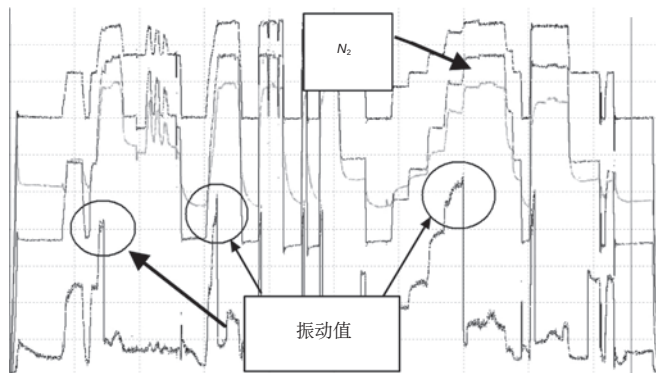


图6 下拉后再次上推振动时域图

Fig.6 Vibration time domain chart when pushing again after throttle lever

由于上述三种振动异常持续时间短,综合控制器不会发出“CO”语音降转提示,并且不会对航空发动机产生损伤,所以可以正常使用。

4.4 状态变化过程引起的振动变化

在航空发动机进行状态急剧变化操作时(如遭遇加速),在状态变化过程引起的振动变化,并出现异常(时域图见图7)。此时,除振动值外,航空发动机的其他参数,如转速、温度、可调叶片角度等均随油门变化而变化,符合航空发动机的控制规律。

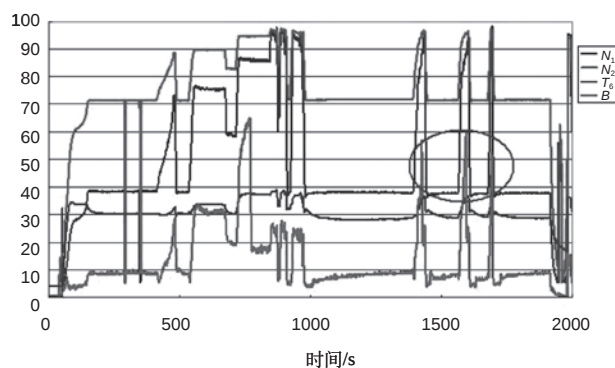


图7 状态变化振动时域图

Fig.7 Vibration time domain chart during state changing

这种振动的发生主要有两种原因:

- (1) 状态变化引起转静子碰磨;
- (2) 转速变化引起的振动响应的变化。

对于出现这种振动问题的航空发动机需要进行综合分析检查后方可决定是否继续使用。

5 振动异常发动机不返厂条件

目前,对于航空发动机在外场使用过程中出现振动异常现象,必须满足以下条件,方可决定发动机不返厂继续使用。

(1) 出现振动异常的航空发动机,除振动值数据外,其他参数必须正常,符合航空发动机特性规律;滑油光谱分析数据、流道检查结果以及油滤、磁塞等部件检查结果必须正常。

(2) 对于因热弯曲和首次上推时所产生的振动异常情况,振动峰值持续时间小于3s;对于转速稳定后的振动异常情况,振动值数值不得超过限制值3mm/s。

(3) 状态变化过程中的振动异常问题,原因相对复杂,需进行综合分析后视情决定能否继续使用。

6 结论

转子、静子碰磨是造成航空发动机在外场使用中出现整机振动异常问题的主要原因,受当前设计、生产水平限制,暂时

不能彻底解决。本文归纳总结了几种典型振动问题的表现形式,分析了其产生的具体原因,并提出了处理振动问题的工作流程和分析检查项目,以此为指导开展工作可减少因出现振动问题而产生的发动机停用和返厂。

AST

参考文献

- [1] 李宏伟,李明.某型航空发动机常见振动故障分析[J].新技术新工艺,2011(12):88-91.
LI Hongwei,LI Ming. The common vibrating analysis for the aero-engine[J]. New Technology & New Process,2011(12):88-91.(in Chinese)
- [2] 杨玲,王克明,张琼.某型发动机整机振动分析[J].沈阳航空工业学院学报,2008,25(5):9-11.
YANG Ling, WANG Keming, ZHANG Qiong. Vibration analysis of turbo-fan aero-engine[J].Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering,2008,25(5):9-14.(in Chinese)
- [3] 赵琳,马建仓,程存虎.某型航空发动机转子振动信号盲分离[J].机械设计与制造,2008,10(10):163-165.
ZHAO Lin,MA JianCang,CHENG Cunhu. Blind signal separation of aero-engine rotor vibration signal[J].Machinery Design & Manufacture.2008,10(10):163-165.(in Chinese)
- [4] 陈晓,马建仓.基于Mel倒谱的某型飞机发动机振动故障的模

式识别[J].计算机测量与控制,2012,20(8):2028-2030.

CHEN Xiao, Ma Jiancang. Study on vibration fault of an aircraft engine pattern recognition based on Mel-cepstrum[J]. Computer Measurement & Control,2012,20(8): 2028-2030.(in Chinese)

- [5] 费成巍,白广忱.改进FSVM在发动机振动故障融合分析中的应用[J].振动与冲击,2012,31(15):171-174.
FEI Chengwei,BAI Guangchen. Application of improved FSVM fault fusion analysis for aero-engine whole-body vibration[J]. JOURNAL OF VIBRATION AND SHOCK,2012,31(15):171-174. (in Chinese)
- [6] 可成河,巩孟祥,宋文兴.某型发动机整机振动故障诊断分析[J].航空发动机,2007,33(1):24-26.
KE Chenghe,GONG Mengxiang,SONG Wenxing. Fault diagnosis analysis of aero-engine vibration[J]. Aero-engine, 2007,33(1):24-26.(in Chinese)

作者简介

邓午立(1972~) 男,工学学士,高级工程师。主要研究方向:航空发动机外场技术保障。

Tel: 024-24281862

E-mail: 13002427009@163.com

Research and Analysis of in-field Vibration Problem for Aero-engine

DENG Wuli*, WANG Juan

AVIC Shenyang Aero-engine Research Institute, Shenyang 110015, China

Abstract: In view of the vibration problems of one aero-engine used in the field, according to on-site physical inspection and flight data interpretation and comparison decomposition results of aero-engine after returning factory, the manifestations and causes of several typical vibration problems were summarized and concluded. The result shows that, the rub of the rotor and stator on different parts is the main factors causing abnormal aero-engine vibration. The context of analysis and inspection work was confirmed after the abnormal vibration, and the standard work processes were drawn up, and the conditions met not to return factory for aero-engine after occurring vibration problems were put out. According to the vibration value beyond the prescribed degree, structure damage or not and other parameters of the aero-engine performance, the aero-engine occurred vibration problems was determined to continue service or not.

Key Words: aero-engine; in-field vibration; check process; abnormal vibration

Received: 2013-11-05; Revised: 2013-11-30; Accepted: 2013-12-26

* Corresponding author. Tel.: 024-24281862 E-mail: 13002427009@163.com