

Analysis of Common Engine Faults and Main Bearing Fault Monitoring Technology

Chen Feng

Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd., Beijing, 100621, China

Abstract

It is inevitable that the aircraft engine will fail in the process of operation. It is an important link to maintain the normal operation of the aircraft engine to quickly understand the cause of the failure, carry out maintenance and master the aircraft engine fault monitoring technology. This paper first discusses the necessity of aircraft engine fault monitoring, common fault types and common monitoring technology, and selects main bearing fault as a special case, and then analyzes the causes of aircraft engine main bearing failure, so as to put forward a set of easy to realize engine main bearing fault monitoring methods, timely detection of engine main bearing fault, reduce the occurrence of flight accidents.

Keywords

aircraft; an engine; main bearing; monitoring technique

发动机常见故障及主轴承故障监测技术分析

冯晨

北京飞机维修工程有限公司, 中国·北京 100621

摘要

飞行器发动机在使用中出现故障是不可避免的, 因此, 及时发现故障原因并进行检修, 熟练掌握飞行器发动机的故障监测技术, 是保证飞行器发动机正常运转的关键。论文首先探讨了飞行器发动机故障监测的必要性, 常见故障类型和常用诊断方法, 并选取主轴承故障作为特殊状况, 进而分析飞行器发动机主轴承失效的原因, 从而提出一套易于实现的发动机主轴承故障监测方法, 及时发现发动机主轴承故障, 减少飞行事故发生。

关键词

飞行器; 发动机; 主轴承; 监测技术

1 引言

航空事业的发展, 与国家的国防战略紧密相连, 在某种意义上, 更是关系到成千上万旅客的生命安全, 也是国家的重要力量和威望。在航空领域上, 发动机是飞行器的心脏, 而飞行器发动机则有两大功能, 一是检测飞行器发动机的状态, 二是故障监测。在飞行器常见的故障中, 发动机主轴承失效引发的故障在飞行器发动机重大故障中占有较高比例。如果能在空中事故前及时发现发动机主轴承存在的重大故障隐患, 并采取相应措施将故障排除在引发二次损伤及重大结构损坏前, 就能大大减小飞行器空中飞行的风险, 降低事故率。

另外, 飞行器发动机的故障监控技术, 能够在最短的时间内找到发动机的问题所在, 从而判断出故障的严重性, 这种高效能的故障诊断和监控技术, 可以让飞行安全得到很

大的保障。同时, 也能有效地降低出现故障所需的人力、物力、财力, 使飞行系统的停机时间缩短, 使飞行器的使用效率大为提高。飞行器发动机故障监控技术的研究, 是确保飞行器驾驶员安全、保障旅客生命安全的重要手段。因此, 对飞行器发动机的故障检测技术进行深入地探讨, 对国家和人民都有重要的意义^[1]。

2 飞行器发动机常见故障以及常用诊断方法

2.1 飞行器发动机常见故障

飞行器发动机故障通常是由性能故障、结构抗压能力受损、附件故障和系统数据故障等多种原因引起的。通过对飞行器发动机的调查, 发现飞行器发动机的故障主要有: 15%~25%的发动机性能故障, 65%~80%的结构压力失效, 以及设备的故障和系统数据的故障。

发动机的故障主要是叶片断裂、涡旋轮断裂、轴承失效等, 这是因为发动机的材质经久耐用, 无法承受外部的压力和载荷, 从而导致发动机出现故障。结构抗压性能失效的主要原因是由于长期不维修而引起的抗压系统老化、风雨侵

【作者简介】冯晨(1983-), 男, 中国山东青州人, 本科, 助理工程师, 从事飞行器动力工程研究。

蚀等原因造成了耐压系统的隐性失效；附件和系统资料的失效，包括工作系统瘫痪，附件传送机构失效。由于材料的不稳定，这些问题大多是由材料本身的不稳定引起的。因此，必须从新的概念、新的技术和新的材料入手，迅速发现问题并尽快得到解决。了解燃气轮机在地面和弹用内燃机上的应用情况，对研究飞行器发动机常见的故障类型具有重要意义。

2.2 飞行器发动机故障的常用诊断方法

2.2.1 发动机模型故障诊断方法

发动机在组装之前，都会对发动机进行性能检测，虽然尺寸不同，但结构、性能、工作原理、组装方式都是一模一样的，所以，通过发动机模型，可以迅速地发现问题，修复发动机。同时，它也被称作“理论知识诊断”。与表面简单的诊断相比，该方法具有更高的精度和深度。这种教学模式既能解决理论知识层面上的问题，也能有效地解决实际操作中的“瓶颈”。

2.2.2 信号处理故障诊断方法

在发动机故障诊断中，信号处理技术是最早被采用的一种方法。信号分析方法着重于从时间、频率、幅值、时频值等方面对故障进行分析。信号处理的故障诊断方法有波峰系数法、相关分析法、信号同步分析法、峰值频谱法、脉络分析法、自回归分析法、小波分析法、参数分析法等，在所有的故障诊断中，信号同步分析是基本的先决条件。

2.2.3 物理化学故障诊断方法

所谓的物理化学诊断，就是根据飞行器上的各种物理、化学现象，对其进行诊断。这种方法主要是运用了物理现象中的振电磁波、声现象、光原理、热学原理、射线、电学等，并运用化学现象中的各种化学反应，对飞行器发动机的运动特性进行观测和测试。这个方法看起来很快，但是它只能对一部分的故障进行检测^[2]。

3 飞行器发动机主轴承故障原因及监测技术

3.1 飞行器发动机主轴承故障主要原因

3.1.1 轴承自身缺陷

在高温、高速、重载等恶劣环境下工作的发动机主轴承，若其本身材料或结构上的缺陷，会使其在恶劣的工作环境中出现故障。在轴承制造和发动机组装过程中，若轴承的工作表面意外损坏，会在使用中造成破坏面积增大。

3.1.2 转子轴系质心偏离

由于发动机转子零件加工装配造成轴系质量中心与轴承理论轴心的偏差、转子轴系不平衡的离心力对转子支承的轴承进行了激励，从而导致了主轴轴承的振动和噪音。此外，发动机转子轴系因其非绝对刚性，在受到外力作用时会发生一定的挠度，同时，在发动机流道中存在不均匀的热应力，也会造成轴系的弯曲，从而造成转子的质心与轴系理论中心的偏差，从而造成不平衡的离心力激发转子的主轴承，

从而造成振动与噪音。

3.1.3 重载的影响

发动机的主轴承，不仅要承受较大的径向负荷，而且还要承担来自发动机其他零件的轴向负荷。在大负载机动下，发动机转子的转速越快，对主轴承产生的冲击负荷越大，游隙越大，产生的振动越大。过量的负荷和震动会影响滚动体、滚道和支架的工作表面的材料性能，从而产生塑性变形、裂纹和疲劳剥落等破坏。在发动机启动时，当转速达到转子临界速度的整数倍时，就会产生谐振，使振动迅速增大，超过此值，就会使振动降低。转子对主轴承产生的强烈振动激励作用，还会引起工作面材料的塑性变形、裂纹、疲劳剥离等破坏。

3.1.4 摩擦副划伤

若安装时发动机主轴承不清洁，在高速转动时，由于轴承与滚道、支架之间存在的硬固体粒子会由于相对移动而切割并刮伤了轴承部件的工作表面，从而在受损的工作面上产生凹痕，从而产生新的杂质，从而加速磨损。大直径的硬粒子在润滑油中也会对轴承表面造成损害。由于轴承间隙的存在，滚动件由于拖曳力不够而出现打滑现象，当出现滑动摩擦时，将对轴承滚道、保持架和滚动体的工作面造成磨损。由于受力而造成的明显的凹陷或凸起，会使滚动体的运动受到影响，从而引起震动，而重复的碰撞会使滚动体表面的材料疲劳程度加重，从而造成新的损伤。

3.2 飞行器发动机主轴承故障监测技术

3.2.1 油液监测法

① 监测机理。

润滑油与“血液”一样，是机械活动的零件。一方面，在两个运动部件的表面上，润滑油在两个运动部件的表面上摩擦副之间产生液体油膜，减少了摩擦副的接触面，减少了摩擦副的摩擦因数，减少了摩擦副的磨损。另一方面，润滑油在摩擦副中与摩擦副进行热交换，使摩擦副的表面温度下降，从而避免了由于热能的积累而导致摩擦副表面机械性能下降，或由于交变热应力而产生裂纹、塑性变形、剥落等，从而加快了机械零件的磨损。

② 主要技术。

原子光谱分析技术：能更精确地测量出发动机主轴承润滑油中的颗粒，一般为 15 μm 以下的较小固体磨粒。铁谱分析技术：主要用于对润滑油中 10 μm 以上的磨粒进行形态、大小、成分等定性和定量分析，确定机件摩擦副的磨损情况及磨粒来源。磁塞分析技术：飞行器发动机主轴承的润滑油回油管路上设置磁性螺塞或磁性传感器，吸附润滑油中的铁质磨粒；肉眼可直观观察润滑油中大磨粒（一般大于 100 μm ）含量的变化情况，及时发现摩擦副的异常磨损，另外，通过测量这些磨粒的化学成分可以确定异常磨损部位。在线探测磨粒监测技术：飞行器发动机主轴承失效时会产生大量的磨粒若在发动机主轴承附近回油管路上设置磨粒探

测传感器,可以及时将磨粒转换为电信号,并输出报警信号。

3.2.2 轴承间隙变化监测法

若发动机主轴承滚动体、滚道面受到严重破坏,滚道和滚动体的周向产生凹陷或隆起,会造成轴承内、外环的间隙。由于直接测量轴承间隙的变化非常不方便,因此可以间接地测定转子与支座垂直的涡轮盘或压气机盘的垂直度的变化,或通过与其某个固定点的圆盘的周向跳跃量来判断轴承间隙的变化趋势。轴承间隙变化监测方法具有成本低、易于实现、精度高等特点;但其不足之处在于,仅限于飞行器发动机的地面停车状态,运行时精度不高,无法实现对飞行器进行实时监测。

3.2.3 转子惯性运转阻力监测法

转动轴心相同、转动惯量相同的两个转动物体,在相同的阻力下,惯性转动到停止的时间相同。当发动机停转后,转子在一定速度下进行惯性转动,所承受的外界阻力是一样的,在同样的速度下,转子的惯性转动达到静止的时间应当是一样的。若发动机主轴承受损,轴承在运行过程中的摩擦力增加,转子的一部分惯性动能就会被转换成失效的轴承热能,从而使转子的惯性运行时间变短。在飞机上安装了一种能够实时监测发动机在每一次停机状态下的惯性运行时间的仪器,能够及时地发现发动机运行时间的异常变化,并能及时地发现发动机主轴承存在的故障,从而防止故障带到空中。转子惯性运行阻力监测方法具有实施简单、造价低廉、可以手工计数等优点,但仅限于对发动机每一次停机进行监测,无法对其进行实时监测。

3.2.4 噪声分析监测法

飞行器发动机在运行时,由于多种激励源的共同作用,飞行器发动机会发出特殊的振动,并发出强烈的噪声。但是,由于发动机工作过程中的气流、燃烧等声压级比较高,产生的背景噪音会遮蔽发动机主轴承自身所产生的相对低声压级,很难将有用的信息与强背景噪声分开。若能有效地消除噪声对转子系统的干扰,并将其分离出来,则可在主轴承噪声中找到异常的频率噪声信号或异常的声压等级变异。通过在发动机机匣、整流罩等容易到达的位置,通过接触式的声学探测器,通过在发动机机匣、整流罩等处对轴承旋转产生的噪音进行检测。当发动机处于非工作状态时,采用恒速马达,分别带动发动机各个转子均匀转速、低速转动,并对其进行了噪声测试。由于转子转速平稳、低速时,转子叶片所引起的空气动力噪声很小,而轴系质量的偏心、热变形、轴承座间隙、与机匣的摩擦等都可以忽略不计。将实测的噪音频谱与所计算或查询到的发动机各主轴承的噪音特性频率进行比较,若发现异常或声压级异常,则说明发动机轴承有问题。采用噪声分析方法可以消除飞机引擎运行时其他干扰因素对试验结果的干扰,降低其他影响,降低白噪声,提

高故障检测率,降低虚警概率。但是,这种方法有一个缺陷,即在飞行中很难对其进行实时监测。

3.2.5 振动监测法

在同一工作状态下,各主轴承的振动与噪音都有某种特殊的频率,在特定的运行状态下,它会产生特定的振动频谱。当某个频率发生了很大的振动或压力级时,就可以判断出这个频率相关的轴承部件有问题。在一个相对稳定的振动结构中,如果有一种或几种新的频率分量,则说明该轴承的工作状况已发生变化。飞行器发动机的构造特征一般将加速度或速度振动感应器安装在发动机适当位置以获取振动位移、速度或加速度的讯号,并采用 Fourier 变换、时频分析、小波变换、多频谱技术、高阶矩阵等 5 种方法对所获取的数据进行了预处理。在各种飞行器上,通常把发动机的振动警报视为更高级的警报处理。为了减少虚警概率,需要对地震预警判据进行迭代、验证。振动分析方法广泛应用于飞行器发动机轴承监测,具有便于空中实时自动监测和报警的优点。但其不足之处在于飞行时的振动会受到多个因素的影响,且其告警准则要求大量的重复,且虚警概率较高^[9]。

4 结语

目前,飞行器发动机监测技术已经发展到了数学、物理、化学、电子、网络、人工智能等多个领域。研究表明,飞行器发动机故障监测技术是一项很有潜力的技术。而在以往的研究中,通常使用单一或少量复合监测手段进行发动机轴承监测,由于多种因素综合影响,使故障漏报率和虚警率较高。而通过系统运用上述各种监测方法,能够互相补充、佐证,降低故障漏报率和虚警率,较准确地发现飞行器发动机主轴承存在的故障隐患,减小飞行器在空中发生事故的概 率,但其不足之处是工作量更大、成本较高^[4]。

在未来的飞行器发动机监测技术上,他们会把最新的技术和最新的研究成果,运用到飞行器发动机的故障监测技术上,使飞行器的发动机性能得到进一步的改善,既可以保障飞行器的飞行安全,又可以增加经济效益^[5]。

参考文献

- [1] 李立英.飞行器发动机带气体流动阻力承载结构设计[J].石化技术,2022,29(6):103-104+258.
- [2] 李绍江,曹放华,周正宇.飞行器发动机滑油磨粒在线监测技术[J].中国科技信息,2022(4):38-40.
- [3] 王海霞,李凯勇.基于遥测参数建模的无人飞行器发动机故障诊断[J].计算机测量与控制,2019,27(10):13-17.
- [4] 居新星.变旋翼转速飞行器与发动机系统建模与控制研究[D].南京:南京航空航天大学,2018.
- [5] 王文虎,韩冰.亚轨道飞行器发动机故障下配平能力分析[J].航空学报,2016,37(12):3646-3656.