

航空用空气涡轮起动机典型故障诊断分析

蒋聪,刘冕,熊欣,李皓冉

(中国航空工业集团有限公司 金城南京机电液压工程研究中心,江苏 南京 210006)

摘要:通过收集科研与生产一线大量的样本数据,统计并归纳出空气涡轮起动机在使用中的几种常见故障现象,针对输出轴断裂、涡轮失稳碰擦和内部异常磨损这3种典型故障原因,剖析其形成机理和危害,采用故障树分析法开展定性分析和研究,为后续建立故障诊断系统积累样本。

关键词:空气涡轮起动机;可靠性;典型故障;故障诊断

中图分类号:V233.6⁺11 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)05-0203-03

Typical Fault Diagnosis of Aviation Air Turbine Starter

JIANG Cong, LIU Mian, XIONG Xin, LI Haoran

(Nanjing Mechanical and Hydraulic Engineering Research Center, Aviation Industry Corporation of China, Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: With the enormous samples collected from research and production lines, the statistical induction of common faults occurring in the application of air turbine starter was conducted, among which the mechanical causes and damages of three typical faults such as output shaft fracture, turbine instability rub and abnormal internal wear were studied and analyzed by the method of fault tree analysis, which accumulates the samples for the subsequent establishment of fault diagnosis system.

Keywords: air turbine starter; reliability; typical fault; fault diagnosis

0 引言

随着国内航空发动机技术成熟,越来越多的军用发动机逐步采用空气涡轮起动机来替代燃气涡轮起动机。空气涡轮起动机的可靠性也越来越受到重视,研究其故障诊断意义重大,不仅可以对起动机的故障状态、故障部位及原因作出及时且准确的判断,还可以预防起动机潜在故障的发生,不仅降低了维修成本,也保证了飞机的出勤率。

目前,在航空用空气涡轮起动机故障诊断中,我国起步较晚,且尚未有一套完善的故障诊断体系,同时使用的方法功能单一,诊断准确率较低^[1]。因此建立用于军民两用航空用空气涡轮起动机故障诊断的专家系统,使普通维修人员也可以获得专家级的经验知识,以实现高效排故,是十分必要的。

1 故障诊断方法

本文以某型航空用空气涡轮起动机为研究对象,采用故障树分析法与基于规则的诊断专家系统相结合的方法^[2],根据维修专家的经验 and 维修一线数据建立起动机故障树,开展定性分析和研究,且重点集中在故障树的建立和故障树的定性分析^[3],为后续建立故障诊断系统积累样本。

2 结构与工作原理

某型空气涡轮起动机是目前国内体积最小、质量最轻、涡轮转速最高的单级涡轮起动机。正常工作时,一定压力和温度的压缩气体由进气壳体进入起动机,起动机利用压缩气体膨胀作功,通过单级涡轮获得轴功率,经减速机构和离合器传递功率,最终由输出轴输出转矩和转速,带动发动机起动。

3 典型故障诊断

3.1 故障统计

结合科研与维修一线数据,针对某型空气涡轮起动机近10年的故障开展统计分类,见表1。

表1 故障统计表

序号	故障现象	故障原因	故障数量
1	发动机起动失败	输出轴断裂	8
2	排气通道火花	涡轮失稳碰擦	6
3	滑油发黑且消耗量大	内部异常磨损	8
4	转速信号异常	信号导线破损	1
5	超越旋转无法脱开	离合器失效	1
6	起动机破裂	涡轮叶片断裂	1

从表 1 可以发现导致该型起动机故障的主要原因是输出轴断裂、涡轮失稳碰擦和内部异常磨损 3 种情况^[4]。下文将针对这几种情况开展故障树的建立和定性分析。

3.2 输出轴断裂诊断

输出轴是起动机与发动机附件机匣之间最重要的传扭部件,是决定发动机能否正常点火启动的关键部件之一。近年来随着大量的配装,输出轴断裂故障也成为航空用起动机故障诊断的重点。输出轴断裂通常有两种原因,需要通过断口形貌来判断是瞬时过载断裂(图 1)或是材料疲劳断裂(图 2)。在确定断口形貌后,再结合飞行参数曲线即可判断故障原因是冲击转矩过大还是材料承扭能力不足。

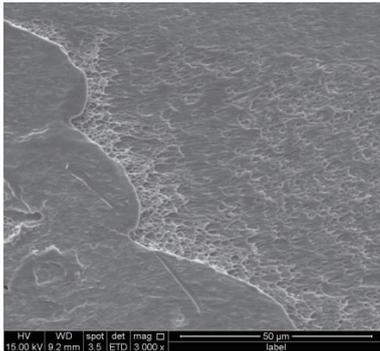


图 1 过载韧窝形貌

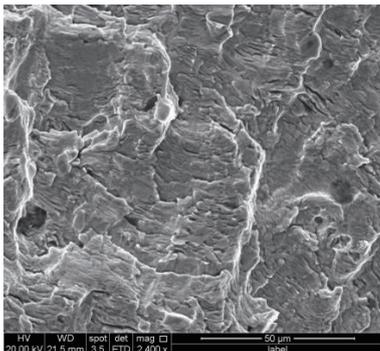


图 2 疲劳断裂形貌

航空旋转类部件上普遍存在冲击转矩,瞬时冲击转矩过大是导致空气涡轮起动机输出轴断裂最常见原因之一,同时过大的冲击转矩也将导致齿轮断裂和离合器磨损等影响产品安全性的问题发生,在产品设计中冲击转矩的形成和预防也越来越受到重视^[5]。

过大的瞬时冲击转矩来自于进气压力超调、起动系统传动链齿侧间隙、发动机转动惯量等参数的随机性综合作用。往往单一因素导致的冲击转矩无法达到足够的断轴量值,但综合因素是可以达到的^[6]。输出轴在以上因素作用下发生的断裂属于保护起动机和发动机免受继发破坏性质的主动断轴,断裂位置在输出轴设置的最薄弱位置。

根据以上的分析可以归纳出此类输出轴断裂故障诊断故障树,如图 3 所示。

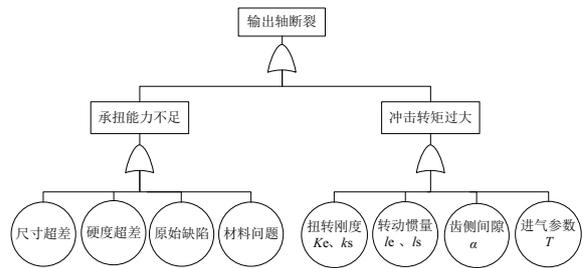


图 3 输出轴断裂诊断故障树

3.3 涡轮失稳碰擦诊断

空气涡轮起动机振动异常外在的直接表象就是涡轮失稳碰擦,而导致整个系统失稳最主要的振动源就是减速传动机构。目前国内外空气涡轮起动机的减速传动机构一般采用两种形式,一种是类似图 4 的偏置型简单二级齿轮,另一种是类似图 5 的行星齿轮。

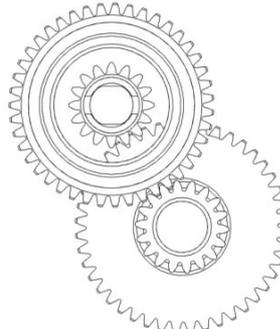


图 4 偏置二级齿轮

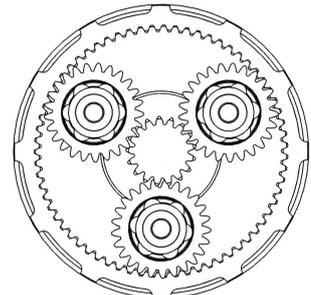


图 5 行星齿轮

偏置二级齿轮减速机构结构简单,质量轻,但在低转速条件下振动性能较差,而在高转速条件下,采用行星齿轮系的减速传动机构对系统的振动特性有较高的要求,一旦该两种减速机构零件的结构和制造精度存在偏差,都将会引发整个涡轮动力系统失稳,继而将导致涡轮叶片与外机匣严重的碰擦(图 6 和图 7),产生火花和卡滞^[7]。



图 6 涡轮叶尖碰擦痕迹



图 7 外机匣碰擦痕迹

因此作为预判涡轮转子发生碰擦的技术措施之一,在多型空气涡轮起动机调试过程中均采用了 M+P 振动测量系统,并且通过判断振动谱线(图 8)中的幅值点来寻找异常振动源。



图 8 某型起动机振动谱线(时域-加速度)

根据设计及维修经验可知,转子组件轴系刚度、转子动不平衡量超大、约束部件中轴线偏差、支承轴承径向游隙过大和齿轮减速系统啮合异常等因素均会导致整个系统的失稳,据此编制此类故障的故障树,如图 9 所示。

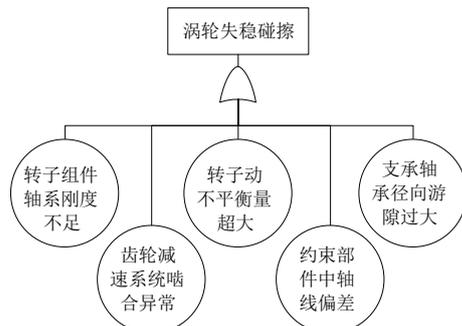


图 9 涡轮失稳碰擦故障树

3.4 内部异常磨损

空气涡轮起动机通常有两种润滑方式:独立润滑和共享润滑。独立润滑由于便于发现独立 LRU 内部润滑条件、易于查找问题根源且不会污染其余部件而被广泛应用^[8]。但独立润滑由于受内部空间限制,滑油量通常较少,因此特别需要加强对滑油颜色、杂质和消耗量的检查。

若检查发现滑油颜色发黑或消耗量大,则需要及时检查起动机内部是否发生异常磨损,因为滑油异常通常是严重故障发生的先兆,这是一个不易察觉且逐渐积累量变的过程,能最直观表征这一问题的就是进行滑油杂质分析^[9]。

根据某型空气涡轮起动机的检查维修经验及滑油分析结果来判断,导致异常磨损的主要原因一般有 3 种:动密封石墨磨损、齿轮齿面磨损和离合器模块及其配合面磨

损。根据以上的分析可以归纳出故障诊断故障树,如图 10 所示。

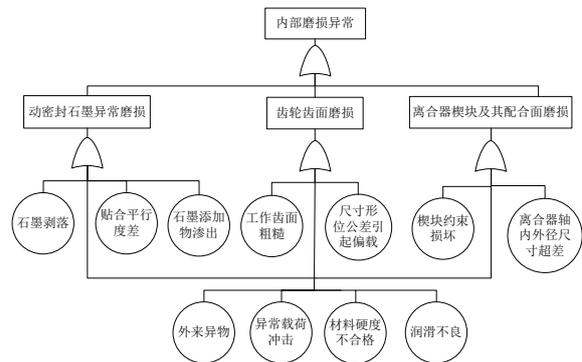


图 10 内部异常磨损故障树

4 结语

本文以某型航空用空气涡轮起动机为对象,通过收集其科研与生产一线大量的样本数据,统计并归纳出其在使用中的几种常见故障现象,针对输出轴断裂、涡轮失稳碰擦和内部异常磨损 3 种典型故障原因,剖析其形成机理和危害,并采用故障树分析法开展定性分析和研究,为后续建立故障诊断系统积累样本。

参考文献:

- [1] 王英,沙云东. 航空发动机故障诊断技术综述[J]. 沈阳航空工业学院学报,2007,24(2):11-14.
- [2] 李岩,范书义. 基于故障树的诊断知识库设计[J]. 兵工自动化,2006,25(3):13-14.
- [3] 陈江明,郑益民,段辉,等. 某型涡轴发动机机鼓风机漏油故障分析[J]. 机械制造与自动化,2020,49(6):76-78.
- [4] 王淑红. 空气起动机故障模式、影响及危害性分析[J]. 航空维修与工程,2017(2):80-82.
- [5] 王文阁,鹿云,刘再生,等. 降低传动系统冲击载荷的一种有效方法[J]. 汽车技术,2013(2):4-8.
- [6] 刘恩福,吕希敏,张贻恭. 积累式冲击扭矩测试仪研制[J]. 大连理工大学学报,1999(1):90-94.
- [7] 缪红. 飞机附件监控的可靠性管理[J]. 航空维修与工程,2003(3):46-47.
- [8] 于焕光,张秋翔,蔡纪宁,等. 机械密封动态特性研究进展[J]. 石油化工设备,2012,41(5):44-48.
- [9] 刘娟娟. 锥齿轮齿面剥落失效的原因分析[J]. 科技创新与应用,2016(15):142.

收稿日期:2021-01-11