

某型涡轴发动机鼓风机漏油故障分析

陈江明, 郑益民, 段辉, 贾锐

(中国航空发动机集团 湖南动力机械研究所, 湖南 株洲 412002)

摘要: 针对某型涡轴发动机科研阶段地面台架出厂试验中出现的鼓风机漏油故障, 采用故障树法, 根据该型发动机结构特点, 详细分析了故障的可能原因, 建立了漏油故障树, 通过分解检查和设计复查对底事件进行排查, 确定了鼓风机漏油的原因, 并进行了试验验证, 排除了故障, 对该型发动机故障排除具有参考价值。

关键词: 航空发动机; 鼓风机漏油; 故障分析

中图分类号: V23 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-5276(2020)06-0076-03

Fault Analysis of Oil Leakage of Air Blower for Turboshaft Engine

CHEN Jiangming, ZHENG Yimin, DUAN Hui, JIA Rui

(Aecc Hunan Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: For the air blower oil leakage of turboshaft engine appearing during research phase, the fault causes are analyzed in detail with fault tree method based on the structure features of the engine. Then a fault tree of oil leakage is established. The bottom events are checked by overhauling and design review, and the cause of the oil leakage is diagnosed. It is proved that the fault is removed through the verification test. It gives a reference to the trouble removal of oil leakage of the engine.

Keywords: turboshaft engine; oil leakage of air blower; fault analysis

0 引言

某型涡轴发动机在科研阶段地面台架出厂试验时, 鼓风机存在滑油泄漏故障。本文采用故障树法^[1-2], 通过分析、排查和试验验证, 查明了故障原因。

1 故障描述

发动机试验过程中, 地慢状态下, 鼓风机出口有滑油漏出; 空慢状态下, 鼓风机出口有油雾喷出, 发动机状态越高, 喷出油雾越多; 试车过程中滑油压力和滑油温度等参数均正常。

停车后, 对地面台架和发动机进行了初步检查。目视检查地面台架和发动机外观, 发现除在鼓风机出口有滑油挂滴且鼓风机出口下方台架上有小摊油迹外, 其余部位均未发现可疑油迹; 使用孔探仪检查鼓风机及其上游的流路, 发现前机匣与涡流机匣下方流道接合缝有滑油挂滴, 鼓风机及其上游的流路和滑油挂滴位置见图 1, 主机匣和涡壳流道底部有少量积油, 其余部位均未发现油迹。

由初步检查结果可知, 鼓风机漏油是由前机匣与涡流机匣下方流道接合缝漏油引起的。为保证发动机顺利交付, 需进一步开展故障分析^[3-9]。

2 故障分析和排查

2.1 故障树建立

前机匣与涡流机匣下方流道接合缝的内侧是由前机

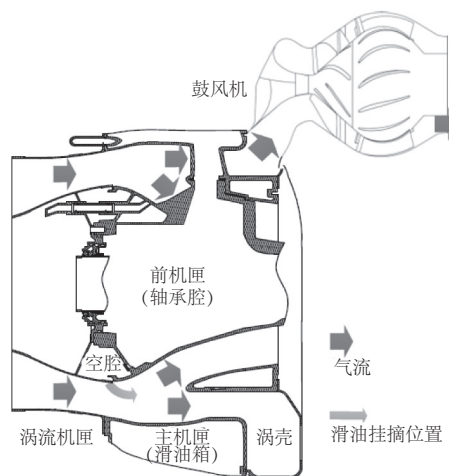


图 1 鼓风机及其上游流路和滑油挂滴位置图

匣前端和涡流机匣后端构成的空腔。前机匣前端大端面安装输出轴组件, 输出轴组件由输出轴机匣、输出轴、石墨封严盒和轴承等组成。前机匣内腔作为轴承腔, 其中输出轴机匣与前机匣之间由胶圈密封, 石墨封严盒与输出轴之间由石墨密封, 与输出轴机匣之间由胶圈密封。前机匣前端下方设置应急油箱放油口, 由胶圈密封。前机匣轴承腔供、回路从前端引出, 与涡流机匣内部油路通过连接导管相连, 包括一根供油导管和两根回油导管, 由胶圈密封。以上相关结构^[10-12]见图 1、图 2。

分析认为, 前机匣与涡流机匣下方流道接合缝漏油原因可能是:

1) 前机匣大端面密封失效。可能是输出轴机匣密封失效和石墨封严盒密封失效导致的, 分别标识为底事件 X1、X2。

2) 前机匣应急油箱放油口密封失效。标识为底事件 X3。

3) 前机匣与涡流机匣之间连接导管密封失效。失效的原因可能是连接导管胶圈损坏, 密封相关尺寸超差, 包括连接导管胶圈尺寸超差、连接导管胶圈安装处尺寸超差和连接导管两端安装孔位置度超差, 连接导管密封设计不合理, 这些失效事件分别标识为底事件 X4-X8。

4) 零组件缺陷。前机匣滑油管路壁、轴承腔壁或涡流机匣滑油管路壁如有缺陷, 试车过程将引起滑油泄漏, 分别标识为底事件 X9、X10。

将上述事件以故障树符号连接, 得到前机匣与涡流机匣下方流道接合缝漏油故障树, 见图 3, 共存在 10 种导致漏油的因素。

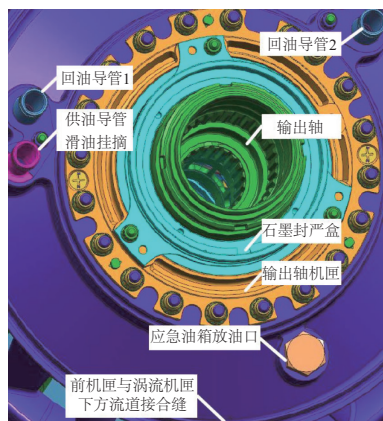
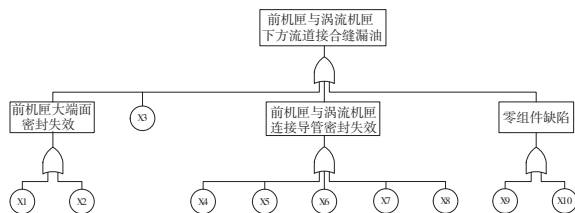


图2 前机匣前端结构示意图



X1—输出轴机匣密封失效; X2—石墨封严盒密封失效; X3—前机匣应急油箱放油口密封失效; X4—前机匣与涡流机匣之间连接导管胶圈损坏; X5—前机匣与涡流机匣之间连接导管胶圈尺寸超差; X6—前机匣与涡流机匣之间连接导管胶圈安装处尺寸超差; X7—前机匣与涡流机匣之间连接导管两端安装孔位置度超差; X8—前机匣与涡流机匣之间连接导管密封设计不合理; X9—前机匣滑油管路壁或轴承腔壁缺陷; X10—涡流机匣滑油管路壁缺陷。

图3 前机匣与涡流机匣下方流道接合缝漏油故障树

2.2 排查工作和分析

对发动机下台进行了分解检查^[13]。分下涡流机匣、前机匣与涡流机匣下方流道接合缝内侧的凹槽有少量积油。前机匣大端面无油迹, 分下输出轴组件、输出轴机匣和石墨密封盒上的密封完好, 可以排除底事件 X1、X2。前机匣应急油箱放油口无油迹, 可以排除底事件 X3。前机匣与涡流机匣之间供油导管上有油迹、两根回油导管上无油迹, 说明供油导管相关底事件不能排除。供油导管胶圈完好, 胶圈尺寸未超差, 导管两端安装孔位置度未超差, 可以排除底事件 X4、X5 和 X7; 供油导管胶圈槽公称直径超差, 即供油导管底事件

X6 存在故障。对前机匣和涡流机匣进行单件密封性检查, 均正常, 可以排除零组件缺陷的可能, 即底事件 X9、X10。

为了进一步确定供油导管出现油迹的原因, 对供油管道的密封设计进行了复查。供油管道的密封结构见图 4, 设计尺寸参数(图 5 和表 1) 满足 HB/Z 4 要求。胶圈压缩率 Y 由下式计算:

$$Y = \left(1 - \frac{h}{b}\right) \times 100\%$$

$$\text{其中: } h = \frac{D_D - D_1}{2}; b = d \times \sqrt{\frac{1.35}{a} - 0.35}; a = \frac{D_1 + d}{D + d}.$$

考虑配合孔、胶圈槽和胶圈的制造公差, 计算胶圈压缩率为 11.5%~21.8%, 满足标准要求(固定密封胶圈压缩率 > 11%), 因此可以排除底事件 X8。

根据以上分析排查, 只有供油导管底事件 X6 存在故障。由供油导管密封结构的实测尺寸参数(表 1) 计算, 胶圈压缩率为 8.9%, 小于标准要求 11%, 即前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超差导致胶圈压缩率不足。

根据分析排查结果, 将前机匣与涡流机匣之间供油导管更换为合格件, 发动机原样复装, 进行试验验证。试验过程发动机工作正常, 未出现漏油现象, 说明鼓风机漏油故障是由前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超差引起的。

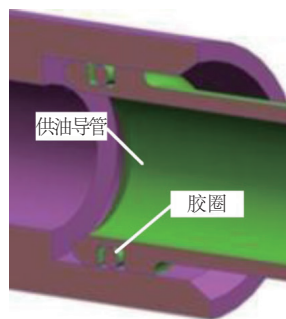


图4 前机匣与涡流机匣之间供油导管安装图

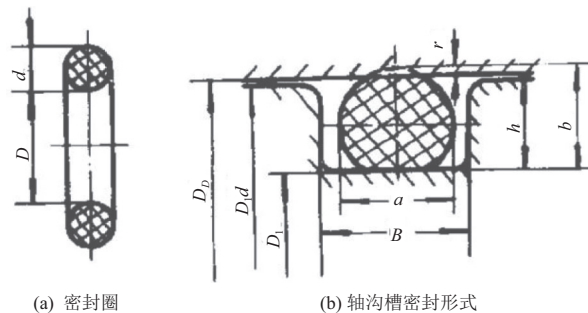


图5 密封圈安装后的变形情况

表1 供油导管密封结构参数

参数	设计值	实测值	备注
配合孔公称直径 D_D / mm	$14^{+0.02}_{-0.03}$	14.02	
胶圈槽公称直径 D_1 / mm	$11.1^{0}_{-0.027}$	10.95	超差
胶圈公称内径 D / mm	10.82 ± 0.15	10.68	
胶圈截面直径 d / mm	1.78 ± 0.08	1.71	
压缩率 Y / %	11.5~21.8	8.9	超差

2.3 故障机理

前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超差,导致胶圈压缩率不足,密封不严。试车过程中,由于滑油油路内部压力增大(0.138 MPa ~ 0.7 MPa),滑油从供油导管接合处渗漏,在前机匣与涡流机匣下方流道接合缝内侧的凹槽累积,积满后经接合缝进入鼓风机流路,被鼓风机抽吸从出口排出。

当发动机状态升高时,油路内部压力增大,滑油泄漏量随之增大,故在试车过程中,发动机状态越高,鼓风机出口喷出的油雾越多。

3 结语

本文针对某型涡轴发动机鼓风机漏油故障,详细分析了故障原因,进行了排查、验证,查明了鼓风机漏油故障原因是前机匣与涡流机匣之间供油导管胶圈槽公称直径超差。对该型发动机滑油泄漏故障的排除具有参考价值,也为该型发动机研制积累了经验。

参考文献:

- [1] 周海京, 遇今. 故障模式、影响及危害性分析与故障树分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [2] 史定华, 王松瑞. 故障树分析技术方法和理论[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1993.
- [3] 张棕. 航空发动机滑油系统常见故障分析[J]. 中国新技术新

产品, 2019(3): 31-32.

- [4] 杨家旺, 姜会庆, 周琳. 航空发动机滑油供油系统建模及应用[J]. 工业技术创新, 2019(3): 80-85.
- [5] 黄震, 付卫芳. 航空发动机机匣结合面漏油故障研究[J]. 机械工程师, 2019(5): 176-177.
- [6] 章楠, 薛鋒. 某型航空发动机滑油渗漏故障浅析[J]. 航空维修与工程, 2015(10): 62-64.
- [7] 屈衍静, 曹丽, 娜荣旭, 等. 某航空发动机滑油位异常下降故障分析[J]. 航空发动机, 2018(1): 27-31.
- [8] 夏海波, 俞振华, 米康营, 等. 一起因轴承机匣与中支点不密封导致发动机滑油消耗量偏大故障分析[J]. 航空维修与工程, 2018(12): 93-94.
- [9] 陈农田, 马婷, 王杰, 等. 模糊故障树分析法在航空发动机滑油渗漏分析中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2016(6): 64-67.
- [10] 中国航空动力机械研究所. 某型涡轴发动机培训手册[M]. [S.I; S.n]: 2018.
- [11] 林基恕. 航空燃气涡轮发动机机械系统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2005.
- [12] 秦大同, 谢里阳. 现代机械设计手册: 润滑与密封设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [13] 杨家旺. 某型涡轴发动机 A 轴承腔漏油故障分析研究[J]. 南华动力, 2016(2): 1-4.

收稿日期: 2020-06-15

(上接第 75 页)

铆钉的质量分数检测结果见表 2, 可见其符合标准规定 SWRCH10A 钢材要求^[8]。

表 2 质量分数直读光谱分析结果 单位: %

SWRCH10A	C	Si	Mn	S	P	Al
	0.08~0.13	≤0.10	0.30~0.60	≤0.035	≤0.030	≥0.02
铆钉	0.091	0.051	0.42	0.006	0.013	0.05

从铆钉断口宏观形貌检测结果判定铆钉为过载起裂后剪切扩展失效。综合以上检测结果, 结合该试件的工艺及使用工况分析后可知, 断裂铆钉源区无明显夹杂, 材质化学元素正常, 显微组织和显微硬度达标。1#铆钉在传动片往复作用下剪切拉拔从侧端面起裂, 向内部扩展, 最终在中心附近拉拔分离, 随着 1#断裂后, 2#被快速剪切发生横向断裂。结合断口微观扫描形态, 铆钉断裂诱因可考虑工作中铆钉在传动片作用下, 局部受异常剪切载荷应力集中, 从而导致加载力超出本身承载能力冲切起裂, 进而拉拔扭转扩展失效。

3 结语

通过对液压变矩器铆钉失效情形的检测分析, 铆钉断

裂是由局部区域受异常剪切载荷应力集中超出铆钉的承载能力导致冲切起裂, 工作时裂纹进一步扩展导致的。本文通过分析此次铆钉断裂的案例, 为液压变矩器的设计和加工工艺提供参考价值; 为改善液压变矩器的性能和带来更多的经济和社会价值提供借鉴意义。

参考文献:

- [1] 惠旭龙, 牟让科, 白春玉, 等. 铆钉元件纯剪切失效特性研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(27): 146-151.
- [2] 邓成江, 何晓聪, 邢保英, 等. 基于试验的自冲铆接头失效机理分析[J]. 热加工工艺, 2013, 42(17): 220-223.
- [3] 解江, 白春玉, 舒挽, 等. 航空铆钉动态加载失效实验[J]. 爆炸与冲击, 2017, 37(5): 879-886.
- [4] 何惜港, 梁英, 宋海涛, 等. 轴承保持架铆钉失效分析[J]. 轴承, 2012(10): 37-39.
- [5] GB/T 13298—2015 金属显微组织检验方法[S].
- [6] GB6394—2002 金属平均晶粒度测定方法[S].
- [7] GB/T 4340.1—2009 金属维氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法[S].
- [8] Q-BQB 517—2009 冷镦钢盘条[S].

收稿日期: 2019-09-02