

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.01.016

滑油密封兼容性对航空发动机的影响分析

Influence of Oil Seal Compatibility on Aero-Engine

严国鑫¹ 皮 骏² / YAN Guoxin PI Jun

(1. 深圳市润贝化工有限公司, 广东深圳 518108; 2. 中国民航大学 中欧航空工程师学院, 天津 300300)

(1. Shenzhen Lubair Aviation Co., Ltd., Shenzhen 518108, China;

2. Sino-European Institute of Aviation Engineer, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

摘 要:

为了探明不同级别的 II 型合成滑油密封兼容性对航空发动机的影响, 通过对 MIL-PRF-23699 和 SAE-AS-5780 规范的解读, 发现高温油在密封兼容性上的缺陷。将航空发动机橡胶类密封件浸泡在不同滑油中的实验说明了高温油中的密封件在超过 120 °C, 1 800 h 后更容易产生膨胀和降解现象。CFM56-5B/-7B 3 号轴承前封严脱胶故障的分析表明, PTFE 的脱落和发动机使用的高温油有关系, PTFE 的脱落可导致发动机受到污染和大量漏滑油。

关键词: 航空发动机; 航空滑油; 密封兼容性; 高温油; 漏油; CFM56; PTFE

中图分类号: V233.4

文献标识码: A

[**Abstract**] In order to clarify the effects of different levels of Type II synthetic oil seal compatibility on aero-engines, the defects of High Thermal Stability Grade (HTS) in oil seal compatibility were found through the interpretation of the MIL-PRF-23699 and SAE-AS-5780. The experiment of soaking the aero-engine rubber seal in different oils indicates that the seal in the High Thermal Stability Grade is more likely to cause expansion and degradation at temperatures in excess of 120 degrees Celsius and 1 800 hours. The analysis of CFM56-5B/-7B NO. 3 bearing forward seal PTFE disbond fault shows that PTFE disbond is related to the HTS oil, and it leads to engine pollution and oil leakage.

[**Keywords**] aero-engine; aviation lubricant; seal compatibility; high thermal stability grade; oil leakage; CFM56; PTFE

0 引言

航空发动机的密封件具有防止漏油、缓冲减振的作用, 是保护发动机结构受损和阻止滑油泄漏的重要部件, 若密封件受到滑油的腐蚀和膨胀将会使密封失效, 导致发动机受到污染和漏油, 影响了发动机的维护和使用寿命。

随着航空燃气涡轮风扇发动机的可靠性越来越

越高, 发动机拆换间隔平均时间 (Mean Time Between Removal, 简称 MTBR) 可达 10 000 h ~ 15 000 h, 最长的在翼时间为 CFM56-7B 创造的 50 000 h。随着推重比的增大, 发动机的排气温度 EGT 也在增大, 超过 1 000 °C 的 EGT 影响了滑油系统的温度。发动机滑油系统温度的增加和 MTBR 的增长对发动机密封部件提出了更高的长时间抗高温要求, 对滑油也提出了更强的密封兼容性要求。

1 航空滑油性能

1963 年,美国海军制定了第一版成型滑油标准 MIL-L-23699。为了弥补标准油-STD (Standard Grade) 在 JT8D 发动机高温区域积碳和氧化问题的不足,在 1997 年,美海军将滑油标准升级为 MIL-PRF-23699F,添加了新滑油分类高温油-HTS (High Thermal Stability Grade),以解决发动机高温区域滑油积碳和氧化问题。2000 年,美国汽车工程协会在 MIL-PRF-23699F 标准之上,制定了更为严格的 SAE-AS-5780 标准,加入了高性能油-HPC (High Performance Class) 的分类。航空滑油分类详见表 1。

表 1 航空滑油分类

	I 型合成油		II 型合成油
标准	MIL-L-7808	MIL-L-23699	SAE-AS-5780
首版发布年份	1951 年	1963 年	2000 年
基础油成分	双脂	多元醇脂	多元醇脂
粘度等级	3mm ² /s	5mm ² /s	5mm ² /s
		标准油 STD	标准油 SPC
性能分类		高温油 HTS	高性能油 HPC
		防腐油 CI(军用)	

一般,滑油性能指标分为密封件兼容性、氧化稳定性、沉淀物控制、低温流动性、气相炼焦和抗磨损性能,标准油-STD/SPC、高温油-HTS、高性能油-HPC 三种滑油性能差异如图 1 所示。

从图 1 可知,标准油在密封兼容性、抗磨损性能和低温流动性上优于高温油,而高温油在沉淀物控制、气相炼焦和氧化稳定性方面比标准油更佳,高性能油是 SAE-AS-5780 划分的最新滑油分类,各项性能均衡,是未来航空发动机应用的方向。

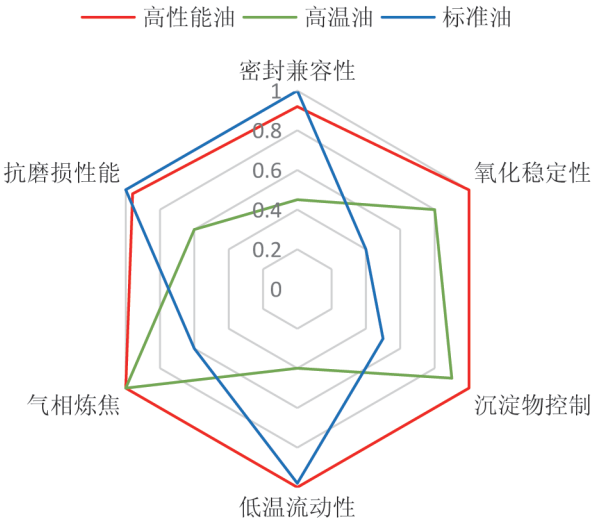
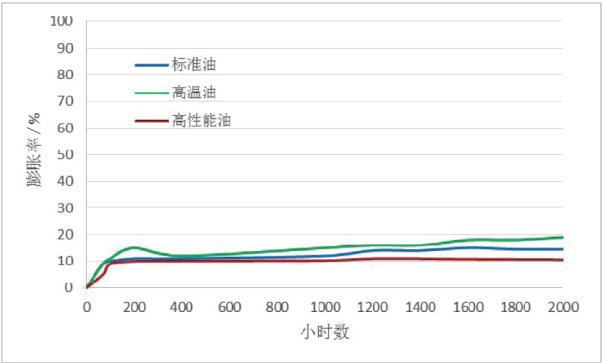
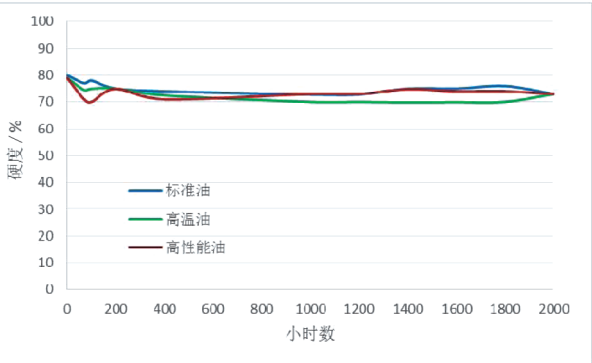


图 1 滑油性能差异

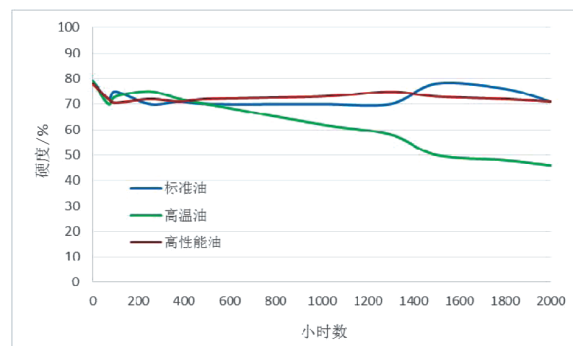
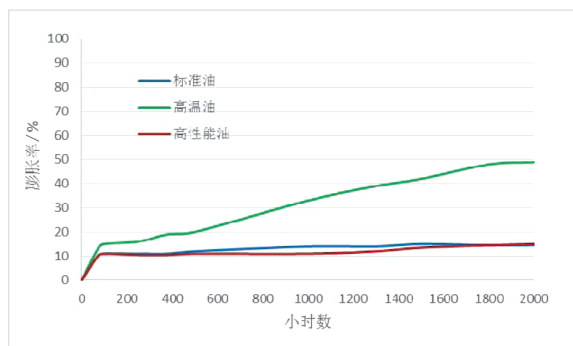
2013 年,美国汽车工程协会又出版了 SAE-AS-5780B,加入了长时间弹性体相容性测试,即将航空滑油长时间下滑油对航空发动机内的密封件的腐蚀提出了更高的要求,来符合未来航空发动机更佳的可靠性和在翼寿命。

2 密封兼容性分析

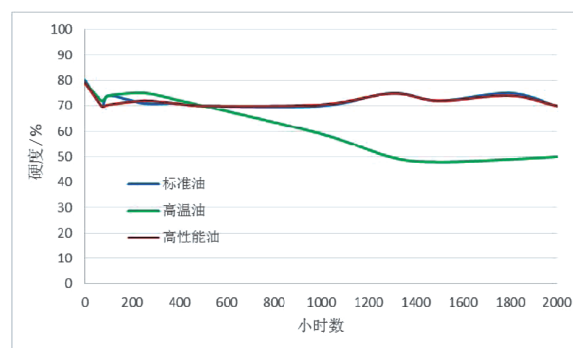
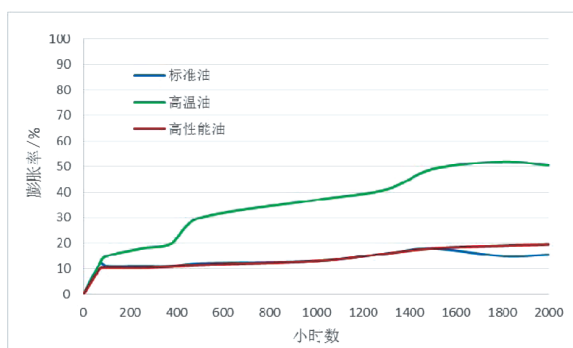
将航空发动机密封件 Viton A 浸泡在标准油、高温油和高性能油中,设置不同温度,得到的结果如图 2 所示。当温度为 100 °C,可模拟发动机低温区域,三种润滑油中的 Viton A 无太大差别;当温度为 120 °C,高温油下的密封件在 200 h 以后出现过度膨胀和软化现象;当温度继续升至 140 °C,且在超过1 800 h 以后,高温油下的密封件不仅过度膨胀,还出现硬度回落现象,说明密封件出现降解;当升至 160 °C,高温油下的密封件出现溶解现象,硬度为零,密封件完全失效。



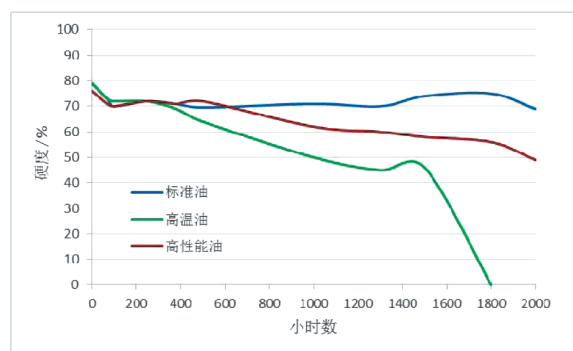
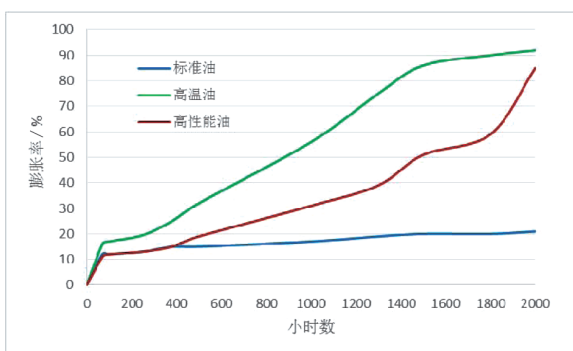
a) 100 °C 膨胀和硬度对比



b) 120 °C 膨胀和硬度对比



c) 140 °C 膨胀和硬度对比



d) 160 °C 膨胀和硬度对比

图2 不同滑油下的密封材料的兼容性对比

3 CFM56-5B/-7B 故障实例

3.1 故障背景

CFM56-5B/-7B 发动机因高滑油消耗率,共发生了数十起非计划拆除、空停事件,事件的原因是发动机大量漏滑油,且在滤网中发现了3号轴承前封严内的碎片。

CFM56 轴承腔采用篦齿空气封严形式^[1],从高压压气机引出的增压空气给轴承腔冷却的同时还起到滑油封严作用^[2],防止滑油泄漏,如图3所示。

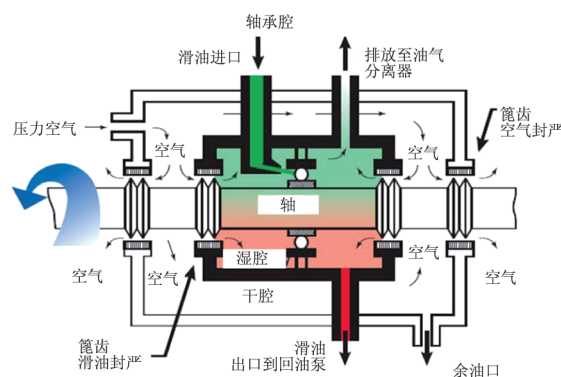


图3 CFM56 轴承分布结构

3.2 故障机理

3 号轴承座前封严内含有一种特氟龙材料 (PTFE)^[3], 当 PTFE 的粘结胶被滑油腐蚀产生碎片甚至脱落, 脱落后碎片进入前集油槽, 导致前集油槽的空气压力升高, 空气回流至 1 号前封严和 3 号后封严齿间隙, 篦齿封严失效, 最终导致前集油槽大量漏油。篦齿封严漏油原理如图 4 所示。

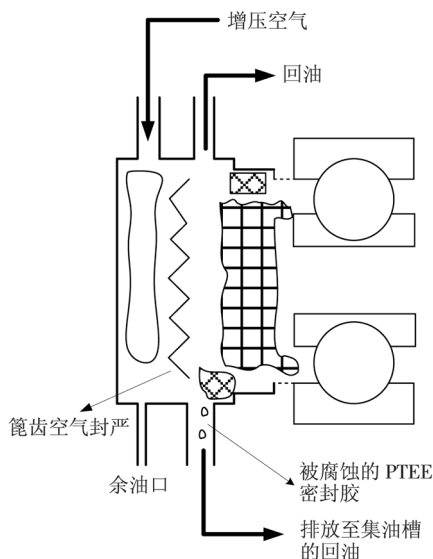


图 4 篦齿封严失效漏油原理

3.3 故障分析

某航空公司 CFM56 发动机 3 号轴承前封严脱落的 PTFE 实物如图 5 所示, 从图中可以看出, PTFE 已脱离轴承结构。图 6 为 CFM 发动机 12 个月滑油平均消耗曲线, 红线为故障发动机滑油消耗曲线, 蓝线为正常滑油消耗曲线, 发生此故障后, 平均油耗增至 0.4 UKqt/h, 必须进场换发处理。经 GE 统计, 使用高温油的 CFM56-5B/-7B 发动机发生此故障的循环数低至 6 000^[4], 而使用标准油的 CFM56-5B/-7B 发动机发生此故障的循环数远高于 6 000。

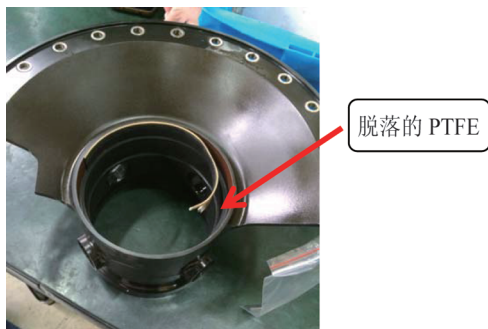


图 5 3 号轴承前封严 PTFE 脱落

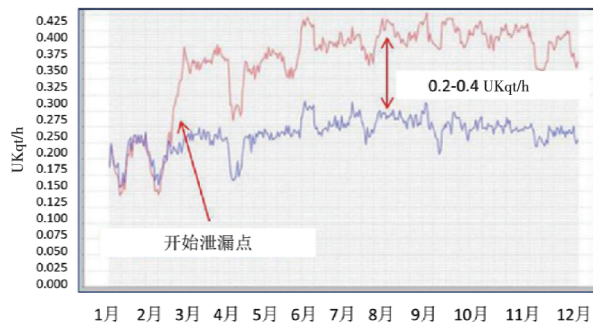


图 6 平均滑油消耗量变化曲线

从前述知, 对于特定的粘结胶和橡胶弹性体, 高温油加快腐蚀是导致此 CFM56 发动机 3 号轴承前封严脱胶的重要原因之一。

4 结论

本文通过对 II 型合成滑油标准及实验、CFM56-5B/-7B 发动机 3 号轴承前封严脱胶故障的分析, 得到了以下一些结论:

1) II 型合成滑油划分的标准油在密封兼容性、低温流动性和抗磨损性能上比高温油好, 高温油在抗积碳、气相炼焦和抗氧化性上比标准油要出色, 高性能油各项性能均衡, 总体性能比标准油和高温油都要优秀。

2) 航空发动机密封件的滑油测试中, 密封件在高温油中在超过 120 °C、1 800 h 后出现过度膨胀和软化, 说明了标准油和高性能油在密封兼容性上优于高温油。

3) CFM56-5B/-7B 发动机的 3 号轴承前封严内的 PTFE 脱落跟发动机使用的高温油有关系。

参考文献:

- [1] 刘长福, 邓明. 航空发动机结构分析[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 232-284.
- [2] 许春生. 燃气涡轮发动机[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006: 109-110.
- [3] FAA. Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant, Volume 2[M]. Aviation Supplies & Academics, 2012.
- [4] CFM. CFM56-5B/-7B-No. 3 forward stationary seal PTFE disbond [R]. US and French: CFM International, 2016.

作者简介

严国鑫 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 航空发动机润滑油; E-mail: yanguoxin89@foxmail.com

皮骏 男, 博士, 副教授。主要研究方向: 航空发动机振动和流体机械; E-mail: jpi@cauc.edu.cn