

文章编号: 1000-8055(2003)05-0681-05

CFM 56-3发动机3号轴承后油气封严装置 分离故障的监控方法

黄 粤¹, 韦桂兰¹, 张有铿², 赵继勇²

(1 中国南方航空公司机务工程部, 广东 广州 510405;

2 广州飞机维修工程有限公司, 广东 广州 510405)

摘要: 不含石棉的粘合剂的性能衰退造成了多台 CFM 56-3发动机3号轴承后静子止油气封严装置分离, 南方航空公司的经验表明该故障的早期经常伴有滑油耗量上升和磁堵中出现棕褐色的非金属物等现象, 因此加强这方面监控可以有效控制该故障的发展。本文对该故障的机理及相关改装情况也进行了相应介绍。

关键词: 航空、航天推进系统; 航空发动机; 轴承; 封严; 分离; 粘合剂; 滑油耗量; 磁堵

中图分类号: V 232

文献标识码: A

A New Method for Controlling CFM 56-3 No 3 Aft Air/Oil Seals Separation

HUANG Yue¹, WEI Gui-lan¹, ZHANG You-Keng², ZHAO Ji-yong²

(1 China southern Airlines, Guangzhou 510405, China;

2 Guangzhou Aircraft Maintenance Engineering Company Ltd, Guangzhou 510405, China)

Abstract Many CFM 56-3 No. 3 aft air/oil seals were found to be separated due to the performance deterioration of Non-Asbestos Adhesive. The experience of China Southern Airlines shows that accompanying the onset of separation, it can often be observed, the oil consumption increases and brown non-metal chips emerge. These phenomena prompted the authors to initiate a way to control the separation by monitoring oil consumption and Magnetic Detectors. Meanwhile, the mechanics of the seal separation and relative modification information are also introduced in the paper.

Key words: aerospace propulsion system; aero-engine; bearing; seal; separation; adhesive; oil consumption; magnetic detector

1 前 言

CFM 56-3发动机是波音 737-300/400/500 飞机的动力装置, 截至2001年5月, 全世界共有4452台 CFM 56-3发动机仍在用, 用户多达154家。该型发动机的可靠性好, 使用寿命长, 深受用户的欢迎^[1]。但从1996年8月至2001年4月以来, 共计有

118台发动机发生3号轴承后静子油气封严装置分离的故障, 并造成6次空中停车和3次中断起飞。研究表明, 粘合剂失效是造成该故障的直接原因, 发动机厂家为此先后发布了3个通告进行改装。南方航空公司拥有国内最多的波音 737-300/500型飞机(共计有39架), 由于主要基地地处高温潮湿的南方沿海地区, 因此受该故障的影响特别大, 四年

收稿日期: 2002- 11- 21; 修订日期: 2003- 02- 23

作者简介: 黄粤(1970-), 男, 广东兴宁人, 中国南方航空公司机务工程部工程师, 硕士, 主要从事发动机状态监控研究

来,先后发现11台发动机该处发生分离,在1998年9月和2000年12月,先后进行了两次大规模的改装工作。

由于该故障发生突然,并且对发动机的损伤较大,因此,研究故障征兆,提早发现该故障对于航空公司而言是一项重要课题。通过分析南航机队的案例可以发现:多数情况下,故障开始发生时都有一定的先兆,例如滑油耗量开始上升,回油系统磁堵中出现不常见的非金属物质(封严装置的耐磨材料)等。根据故障征兆特点制定相应的监控方案可以有效地控制故障的发生,本文将从故障发生的机理及如何加以控制等方面做详细的叙述。

2 故障机理

2.1 封严装置结构

3号轴承后静止油气封严装置(以下简称为封严)位于风扇框架的下方,由内锥和外锥组成,其中内锥通过12个螺栓固定在风扇框架上,而外锥通过3处粘合面与内锥粘在一起,同时,在内锥12个螺栓孔和一个加工工艺槽周围也涂有粘合剂。在内锥表面上还有两个工艺孔,在内锥和外锥的颈部表面粘有耐磨材料,与轴承篦齿封严一起对滑油进行密封。具体的封严装置结构见图1。

2.2 三种粘合剂的性能差异

在厂家的早期设计方案上,封严的内锥与外锥无机械连接,仅依靠粘合剂粘合在一起,因此粘合剂的性能非常重要,当它失效时,内锥与外锥将发生分离故障。使用在封严装置的粘合剂牌号主要有3类:最早期的封严装置型号是G01型,采用的粘合剂是MB328,该粘合剂可靠性极高,因此该型号的封严也极少出现分离故障。但由于MB328含有石棉成份,不符合美国环保条例,因

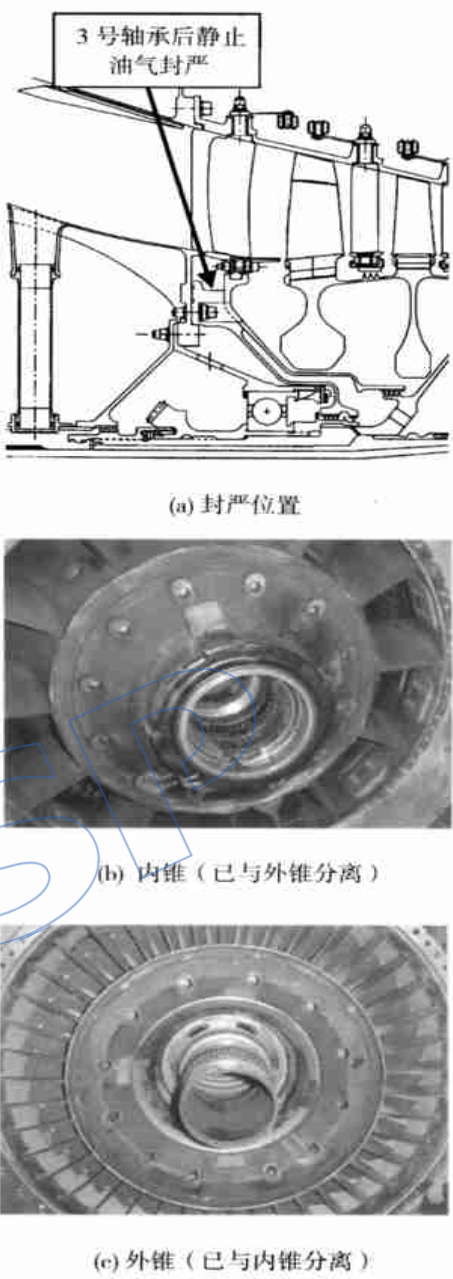


图1 3号轴承后静止油气封严结构
Fig 1 The structure of No. 3 aft air/oil seal

表1 3种主要粘合剂使用和性能状况(截至2001年4月)

Table 1 Application and performance of three kinds of adhesives (As of April, 2001)

粘合剂	石棉成分	用于封严	使用年份	使用数量	分离数目	Weibul 分析: 10% 故障门限值	
						寒冷地区	高温地区
MB328	含	G01	1984~ 1993	~ 3000台	3	—	—
EA 9689	不含	G03	1993~ 1995	512台+ 205个备件	> 93	12800循环	8800循环
FM 350	不含	G03	1995~ 2000	358台+ 462个备件	> 11	14000循环	8000循环

此从1993年开始, 厂家先后在新出厂的发动机上用了两种不含石棉成份的粘合剂 EA 9689 和 FM 350 替换 MB 328, 所对应的封严被称为 G03 型封严装置。实践表明: 不含石棉的粘合剂可靠性比原粘合剂大大降低, 这也正是近年来, 封严装置分离故障发生非常频繁的主要原因, 统计结果还表明, 在高温潮湿的地区使用时, 粘合剂的失效速度大大加快, 以 FM 350 粘合剂为例, 根据 Weibull 分析方法, 寒冷地区的 10% 故障门限值是发动机使用达 14000 循环时, 而在高温地区只有 8000 循环, 见表 1。

2.3 封严装置分离

当粘合剂失效时, 首先在加工槽和 12 个螺栓孔的周围出现分离现象, 继而在粘合面上出现脱胶, 最后内外锥完全分离, 分离后的外锥脱开, 可以向后移动, 滑油通过内锥表面的回油腔进入气路系统, 造成客舱滑油味, 见图 2。脱开的外锥与后面的高速旋转的高压压气机 1~2 级鼓盘相碰,

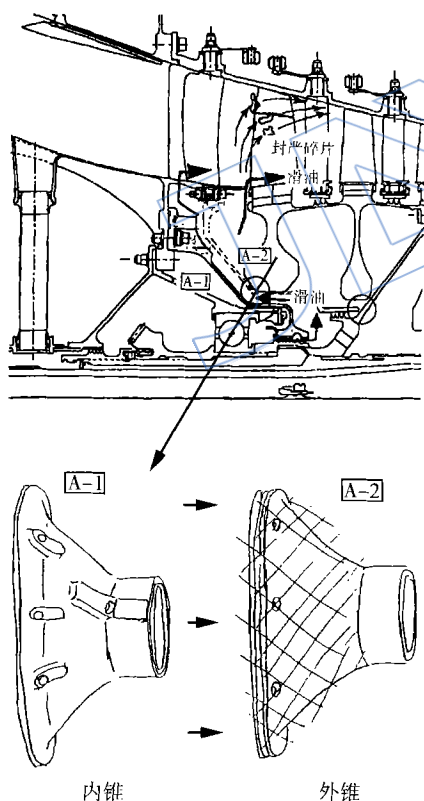


图2 封严分离示意图

Fig. 2 The separation of aft air/oil seal

造成鼓盘磨损报废, 进一步相磨后, 外锥破损成块状, 一方面进入气路系统, 打坏压气机静子和转子叶片; 另一方面, 飞出的碎片有可能击穿内锥表面, 造成 3 号轴承封严完全失效, 滑油漏光, 导致空

中停车。

3 故障征兆及监控方法

3.1 故障征兆的研究

如前面所述, 客舱出现油气味是最重要的故障征兆, 厂家资料及国内多数航空公司的经验显示: 大部分发动机是通过客舱油气味的现象发现封严分离的, 部分发动机还出现了高压转子振动突然加大的现象。但是, 当客舱出现滑油味时, 发动机的封严往往已严重分离, 发动机内部损伤情况相当严重, 甚至造成了空中停车, 因此, 寻找其他方法更早期地发现该故障是非常必要的。

1998 年 8 月, 在南方航空公司 (以下简称“南航”) 机队中, 一台发动机滑油耗量曾大幅度上升 (参见图 3), 虽经反复试车检查, 但未发现有外部渗漏点, 因此, 该发被拆下修理, 结果在分解时发现封严已开始分离。该次事件是否与封严分离有联系呢? 为了证明这一点, 南航对机队中另外两台类似问题的发动机进行了相关部位的孔探检查, 结果发现两台发动机的封严也是刚刚开始分离。因此, 南航决定: 对于滑油耗量突然上升而试车未发现外漏点的发动机必须孔探检查封严。自 1997 年以来, 在南航发生的 11 起封严分离的故障中, 有 5 起出现明显的滑油耗量上升, 1 起滑油耗量偏高, 显示了两者之间有较强的关联性。

此外, 在南航机队中, 多台封严分离的发动机磁堵探测器中出现了棕褐色的非金属物, 磁堵探测器所能检测的颗粒均大于 100 微米以上^[2], 经分析这些物质都是封严与轴承密封处的耐磨材料, 其实物样式见图 4。正常情况下, 只有使用时间非常长的发动机在磁堵探测器中才会大量出现该物质, 而封严分离的发动机出现该物质的比例明显偏高, 例如在南航机队自 1997 年以来, 中磁堵探测器共发现该物质 7 次, 其中 5 次后来确认封严已分离, 这显示了两者之间的关联性。因此, 南航决定: 磁堵探测器, 尤其是中磁堵探测器出现大量棕褐非金属物质时, 必须对封严进行孔探检查。

由于南航采取了上述监控方法, 同时定期普查机队, 并积极完成厂家建议改装, 因此多次在封严分离的早期发现故障, 未造成的发动机内部严重损伤。与其他机队相比, 南航仅出现 1 次客舱滑油味征兆, 未出现高压转子振动大的现象, 这些都是由于南航封严分离较早造成的, 详见表 2。

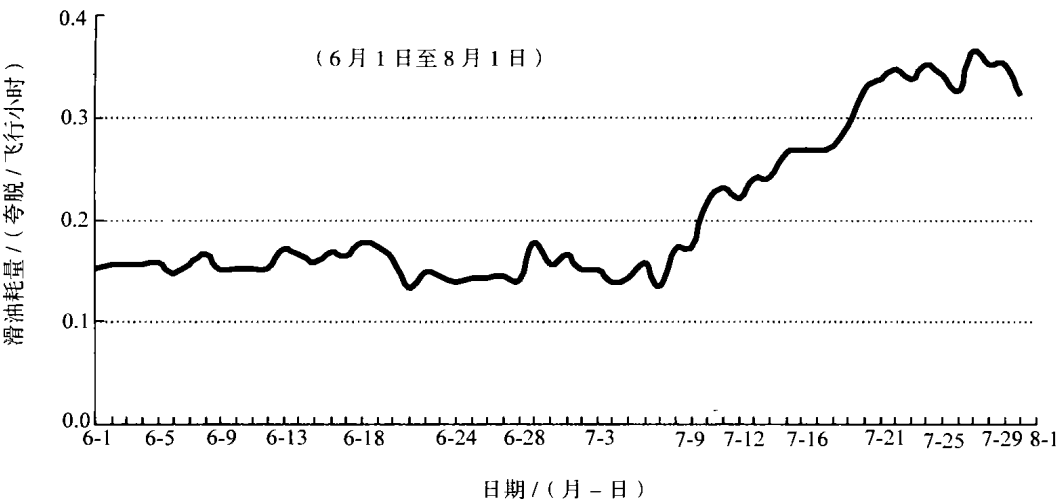


图3某封严分离的发动机的滑油消耗量变化曲线

Fig 3 The oil consumption trend of a seperated engine

表2 南航机队发动机封严分离情况 (截至2002年6月)

Table 2 The Summary of the Engine Seperation in China Southern Airline (As of June, 2002)

序号	分 离 发现途径	使用 小时数	使用 循环数	故障征兆			
				油气味	振动	滑油趋势	磁 堵
AAAA	客舱油气味	10399	6672	有	正常	正常	中磁堵多次发现棕色非金属物
BBBB	滑油耗量、磁堵	11731	9494	无	正常	明显上升	中磁堵发现大量棕色非金属物
CCCC	滑油耗量	11887	9860	无	正常	明显上升	正常
DDDD	滑油耗量、磁堵	12067	9289	无	正常	明显上升	中磁堵发现少量棕色非金属物
EEEE	滑油耗量、磁堵	11923	7930	无	正常	偏高	中磁堵发现6块棕褐色物质
FFFF	磁堵	17274	12025	无	正常	正常	前磁堵发现少量棕色非金属物
GGGG	普查中发现	17424	11896	无	正常	稍微上升	前磁堵发现有棕红色非金属物
HHHH	普查中发现	17424	11896	无	正常	明显上升	中磁堵发现少量棕褐色非金属物; 前磁堵也发现少量非金属物
IIII	普查中发现	18175	12282	无	正常	明显上升	正常
JJJJ	改装时发现	16598	11809	无	正常	正常	正常
KKKK	改装时发现	15195	11492	无	正常	正常	正常

3 2 征兆的产生原因

根据封严装置的结构和特性, 我们分析产生上述征兆的原因主要有以下几点:

(1) 某些封严装置内锥的耐磨封严材料在使用一段时间后会局部脱落, 这样滑油从3号轴承中流出, 并充满在内外锥之间的空腔内, 由于内外锥粘合在一起, 滑油不会流出, 所以此时的滑油耗量不会明显变化, 而磁堵检查中会发现棕褐色的非金属材料(主要是中磁堵)。另外, 该空腔内还充满

从两个工艺孔渗入的大量油气。如果3号轴承封严装置发生分离, 则空腔内的油气和滑油就有了出口, 高压压气机中高速流动的气体将滑油和油气抽入气路中(参见图2), 因此可以发现滑油耗量有较明显的上升, 驾驶舱或客舱出现滑油异味。

(2) 由于不同牌号、批号的粘合剂在不同条件下使用时性能差异非常大, 而耐磨材料所用的粘合剂与内外锥体所用的粘合剂是一样的, 由于两者的使用条件又一致, 因此内外锥分离的发动

机耐磨材料脱落往往也比较严重,南航在对机队发动机改装中的实际情况也证明了这一点。因此,

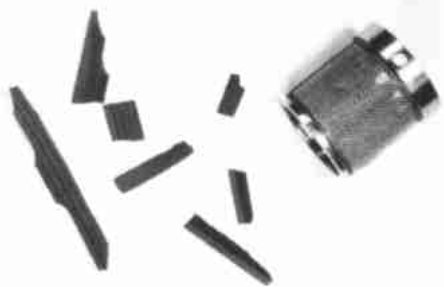


图4 三号轴承前、后静止油气封严中使用的耐磨材料

Fig 4 Forward or aftward No. 3 air/oil seal material

在磁堵中出现棕褐色的耐磨材料从另一方面也反映了粘合剂的性能下降,必须引起我们对内外锥封严装置分离情况的警惕,及时制定相关的检查方案。

3.3 监控方案

南航的实践证明,采用以下监控方法可以有效地控制该故障:

(1) 开展滑油耗量监控工作,及时发现异常变化^[3,4];同时,在定检中,仔细检查磁堵状况,注意收集非正常物质,尤其是棕褐色的非金属物,可以发现多数封严装置分离的早期征兆。

(2) 如果在驾驶舱或客舱出现有滑油异味,必须立即对3号轴承封严装置进行孔探仪检查。

(3) 孔探仪检查是最直接发现分离的手段,鉴于有时候故障的征兆并不明显,因此对未经改装的发动机,尤其是 G03型封严装置进行定期孔探检查十分必要。

3.4 改装方案

为了解决封严分离的故障,厂家从1997年8月至1999年11月,连续公布了三个改装服务通

告,其中在 SB 72-920通告中,重新设计了封严,使用了带凸台的螺栓固定内外锥,消除了内外锥发生分离的可能性^[5]。因此,建议航空公司在发动机返厂送修时执行此服务通告,对于还未执行改装的通告发动机在使用中按照第3.3节介绍的方法严密监控。

4 结 论

(1) 粘合剂的失效是导致3号轴承后静止油气封严装置分离的根本原因。

(2) 滑油耗量增大和磁堵中出现红褐色非金属物是封严出现分离的早期常见征兆。因此加强滑油耗量监控和磁堵检查对提早发现故障非常重要。

(3) 孔探仪检查是直接发现该故障的重要手段,应根据机队情况制定定期检查方案。

(4) 服务通告 SB 72-920从设计上避免了封严发生分离的可能性,建议发动机在返厂修理时执行该通告。

参考文献

- [1] 候志兴. 世界航空发动机手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1987.
- [2] 航空发动机设计手册总编委会. 航空发动机设计手册第12分册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.
- [3] 黄粤. 滑油耗量的监控方法及应注意的问题[J]. 适航与维修, 2002, (6): 27- 28.
- [4] 黄粤, 韦桂兰, 高朝阳. 以状态分析结果为依据加强发动机的管理[A]. 建德: 航空学会第一届航空发动机可靠性学术会议论文集[C]. 中国航空学会动力分会可靠性委员会, 2000: 155- 160.
- [5] 黄粤, 韦桂兰, 张有铨, 等. CFM 56- 3发动机3号轴承封严分离故障的原理及控制方法[A]. 昆明: 航空维修工程专业委员会二〇〇二年年会论文集[C]. 中国航空学会航空维修工程专业分会, 2002: 109- 1141.