

标题：

关于 CFM56-7B 发动机滑油回油滤真实旁通的分析报告 R1

## 一. 问题概述

CFM56-7B 发动机低压轴与中央通气管（以下简称 LPT-CVT）之间的空腔存在积碳、油泥，引起滑油回油滤堵塞，滑油滤旁通灯点亮，导致发动机指令空停或返航事件。

另外，由于在 LPT-CVT 之间的空腔堆积积碳、油泥，导致一些发动机出现当天第一个航班 N1 轴高振动的故障。

2024 年 11 月，一台 CFM56-7B 发动机发生了低滑油量、低滑油压力的故障，导致发动机非计划更换。故障原因是该空腔内积碳脱落，大量的碳颗粒堵塞在前集油槽磁堵滤网，回油泵不能抽吸滑油回到发动机滑油箱，大量的滑油囤积在前集油槽内。根据 CFM 相关案例记录，这是首起 LPT-CVT 之间的空腔积碳导致的低滑油量、低滑油压力的故障。

## 二. 已发生事件汇总

- 1、从 2020 年起，CFM56-7B 机队已发生多起由于 LPT-CVT 之间的空腔存在积碳、油泥，引起滑油滤旁通灯点亮，导致发动机指令空中停车或返航、滑回事件。据 CFM 统计，自 2023 年以来，因为滑油滤旁通灯点亮故障，国内已发生 2 起指令空停、2 起返航、多起滑回事件。全球范围内，共发生 15 起滑油滤旁通灯点亮故障，导致了 10 起指令空中停车、4 起返航、1 起中断起飞，另外大约有 10 台发动机未有事件报告，但在进厂修理时发现 LPT-CVT 之间的空腔存在积碳、油泥。

表 1、国内重要事件汇总

事件日期	事件性质	TSN/CSN	TSLV/CSLV	回油滤内细末质量
2020-06-29	滑回	19190/9928	NA	1123.29 毫克（第一次） 573.26 毫克（第二次）
2020-10-23	滑回	19827/10213	NA	290.32 毫克（第一次） 1560.39 毫克（第二次）
2023-01-26	返航	24190/12533	10750/5375(3号轴承前封严更换)	884.84 毫克
2023-02-03	返航	21492/10648	NA	90 毫克
2023-02-19	滑回	22735/13834	NA	489.29 毫克
2023-02-20	空中停车	19813/10974	NA	511 毫克
2023-04-27	NA	24409/12876	10799/5521	293 毫克
2023-05-21	滑回	23581/14235	NA	69.31 毫克

2025 年 1 月 14 日 编写：CFMI 分组 深航徐可

审核：民航发动机专项工作组

2024-4-9	滑回	20759/9531	NA	1284.57 毫克
2024-4-19	滑回	20649/10723	NA	726.9 毫克
2024-4-27	滑回	46500/24962	19000/11000	未检测
2024-10-02	空中停车	22733/12022	NA	424 毫克

2、除了上述滑油滤旁通灯点亮导致的重要事件外，由于 LPT-CVT 之间的空腔存在大量的积碳或油泥，也引起多起首班 N1 轴高振动的故障、N1 轴在车间做平衡时出现重心不稳定的情况。2024 年 11 月，发生首起该空腔内积碳脱落，堆积在前集油槽磁堵滤网上，堵塞了前集油槽的回油通路，导致发动机低滑油量、低滑油压力警告的故障。

表 2、其他事件汇总

事件性质	TSN/GSN	TSLV/GSLV
N1 轴高振动	14253/8005	NA
N1 轴高振动	14406/8855	NA
N1 轴高振动	21660/10601	NA
N1 轴重心平衡不稳定	19187/9468	NA
低滑油量、低滑油压力	27305/13933	10773/5524

### 三. 可靠性数据

1、为探寻 CFM56-7B 发动机机队回油滤旁通规律，某使用高温滑油的航司通过以下维度，抽样了公司 CFM56-7B 发动机机队四分之一的回油滤，送实验室检测回油滤中细末的含量，各维度样本回油滤内细末的平均含量统计如图 1。

- 1) 3 号轴承前封严损伤监控
- 2) TSN 长
- 3) TSO 长
- 4) 发动机封存时间
- 5) 回油滤装机时间长

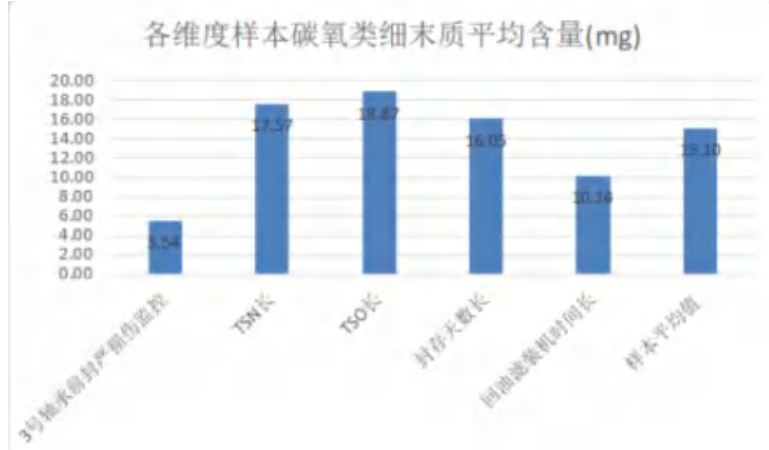


图 1、各维度样本回油滤内碳氧类细末的平均含量统计

抽样检测发现细末含量最高（99.61 毫克）的回油滤来自封存时间较长的发动机，但这台发动机 TSN 和 TSO 也较长。

抽样统计发现回油滤内细末的含量与 TSN 和 TSO 有正相关的关系，其次是跟封存时间也存在正相关的关系。

- 2、从表 1 和表 2 可以看出，事件或故障多发生在发动机自新 8,000FC 至 14,000FC 之间，基本上分布在 10,000FC 附近（图 2），根据韦布尔计算，在 95%的可靠度前提下，自新 7,495FC 的发动机可能会出现回油滤旁通灯亮或 N1 轴高振动问题（图 3）。

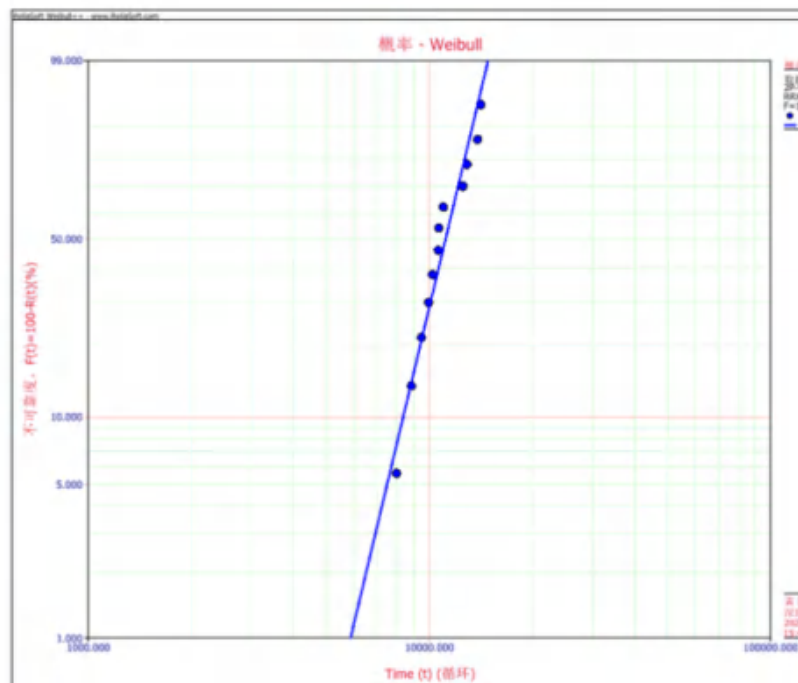


图 2、滑油滤旁通灯亮事件或故障发动机时间分布



图 3、95%可靠度情况下，滑油滤旁通灯亮事件或故障发生时机

3、从表 1 中看出，滑油滤旁通灯亮跟回油滤内细末质量有强关联，但是多少毫克将导致旁通灯点亮，数据比较离散，最少的为 69.31 毫克，最多的为 1560.39 毫克。

4、2023 年 8 月 14 日，飞标司颁发了维修警示信息《CFM56-7B 发动机中央通气管积碳》(MAI-2023-008)，建议各使用高温滑油的航司：

1) 对于使用时间大于 10,000FH 的发动机，结合下次 A 检拆下回油滤，进行碳氧类细末检测，并视情采取如下措施：

(1) 若细末质量小于 60mg, 后续按每 7,500FH 正常检查间隔拆下检测；

(2) 若细末质量大于 60mg, 应立即进行滑油系统清洗，并以 100FH 间隔对回油滤进行拆下检测，直到连续两次检测结果小于 30mg, 方可恢复至上述正常间隔。

2) 对于已经发生回油滤碳氧类细末导致滑油滤旁通灯亮的发动机，需立即进行滑油系统清洗和送检回油滤，并以 100FH 间隔对回油滤进行拆下检测，视细末情况或变化趋势考虑换发。

#### 四. 工程分析

1、在事件或故障后的排故时，目视检查发动机回油滤和供油滤均干净无污染迹象，但将回油滤和供油滤送实验室检测，在油滤中发现有数量较多的碳氧类细末（见图 4），质量从 69mg 到 1560mg。

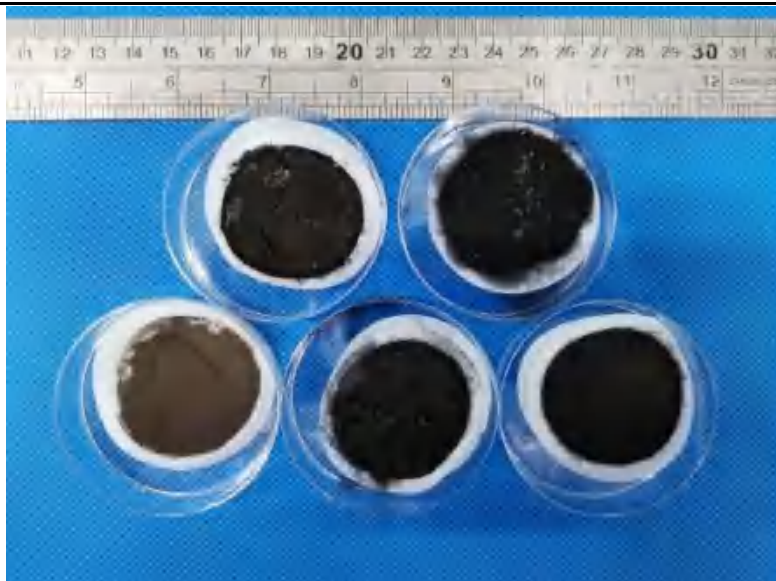


图 4、问题发动机的回油滤上收集到的碳氧类细末

作为对比，通常正常发动机经过一个 C 检(7,500FH)回油滤中的碳氧类细末质量通常低于 30mg (见图 5)。

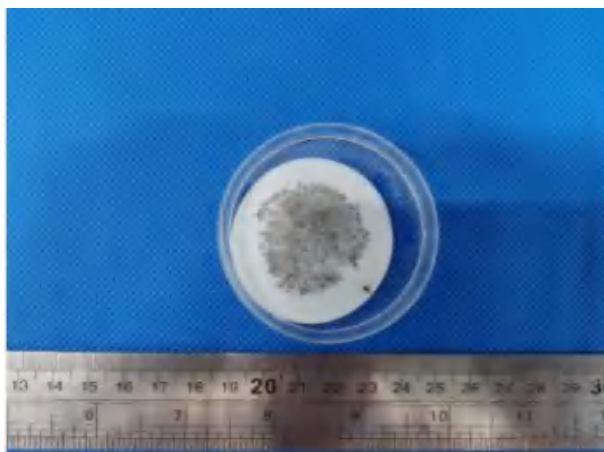


图 5、正常发动机回油滤上收集到的碳氧类细末

2、发动机进厂分解发现在 LPT-CVT 之间的腔内聚积了大量的积碳、油泥(见图 6、图 7、图 8)，CVT 上的封圈出现不同程度的破损、丢失，支撑卡环也有变形(见图 9)或移位的情况。



图 6、LPT 轴前段



图 7、LPT 轴后段



图 8、CVT 上的滑油积碳



图 9、支撑卡环变形

### 3、积碳、油泥产生的原因初步分析：

CVT 上的封圈老化、破损，导致前或后集油槽的滑油进入 CVT 与 LPT 轴之间的腔体，随着发动机的运转，在核心机区域高温烘烤下形成积碳、油泥，可能会产生以下 3 种结果：

- 1) 积碳、油泥通过前集油槽进入滑油系统，在回油滤处逐步积累到一定数量后，导致回油滤进、出口压差增大，作动滑油滤压差电门，点亮滑油滤旁通灯。
- 2) 腔体内的积碳、油泥大量堆积，可能导致 N1 轴不平衡而出现低压轴高振动故障。
- 3) 积碳颗粒进入前集油槽，其中尺寸较大的颗粒因不能流过前集油槽磁堵滤网而堆积在滤网上，堵塞前集油槽回油泵进口，回油泵不能抽吸前集油槽内的滑油，大量滑油囤积在前集油槽内，导致滑油箱低滑油量，并引起低滑油压力或高滑油温度警告。

注：结果 1)、3) 均可导致发动机非正常关车。

## 五. 厂家措施

根据 CFM 最新资料 (2024 年 10 月)：

- 1、出现滑油滤真实旁通的发动机使用时间在 10,000CSN 至 15,000CSN；
- 2、受影响的发动机在 2006 年至 2016 年之间出厂。
- 3、与封存时间、滑行方式和运行环境无关联。
- 4、事件发动机的分布：

- ◇ 两种构型 CVT 构型都有：
  - ✓ SB 72-0921 之前的，占 42%
  - ✓ SB 72-0921 之后的，占 58%
- ◇ CVT 封圈构型：
  - ✓ Viton E 封圈（SB72-0873/72-0999）的，占 86%
  - ✓ FFKM 封圈的，占 14%
- ◇ 使用的滑油类型：
  - ✓ ET02197 的，占 86%
  - ✓ MJO 2 的，占 14%

综合来看，使用 ET02197 滑油和 CVT 封圈是 Viton E（SB72-0873/72-0999 之前）的发动机，更容易导致封圈破损。

CFM 建议执行 SB72-0873/72-0999，更换 Viton E 封圈。

在进厂分解 CVT 与 LPT 轴之间腔内存在大量油泥的发动机时，发现所有前部 CVT 支撑螺母的头两圈螺纹呈现点状腐蚀、材料丢失的情况（见图 10），说明前部螺母的自锁功能出现下降。

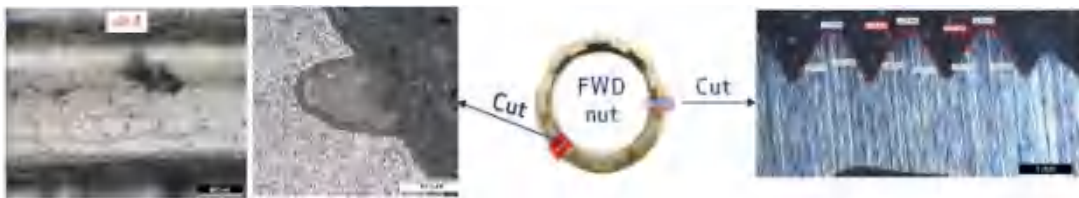


图 10、CVT 支撑螺母螺纹的点状腐蚀、材料丢失

针对 CVT 与 LPT 轴之间腔内存在大量油泥，CFM 认为的根本原因是：

- ◇ CVT 支撑螺母螺纹上点蚀与制造流程的变异性有关：
  - ✓ 生产过程中的多个步骤都有可能点蚀
  - ✓ 仅较严重的点蚀才可能导致前部 CVT 支撑螺母失去锁紧功能
- ◇ 多种因素的作用导致油滤堵塞：
  - ✓ 前部 CVT 支撑螺母银镀层严重点蚀
  - ✓ 使用 ET02197 和 Viton E 封圈，易使封圈性能下降

CFM 已加强螺母生产流程管理，确保出厂的螺母完全没有点蚀。

同时，CFM 建立行动计划，通过以下 4 项措施来解决此问题：

- 1) 作为预防措施，对于使用 ET02197 的用户在发动机送修时更换 Viton E 密封圈；
- 2) 作为预防措施，开发分析工具，在首次旁通灯亮事件前，可以探测到受影响的发动机；
  - ✓ 已开发出未成熟的 V1.0 版
- 3) 在地面或空中出现旁通灯亮的故障时，细化判断真实旁通故障的排故建议，提供灵活性措施，使发动机在送修前的运行中，降低旁通事件的发生情况；
  - ✓ 改进 FIM task 817 第二步骤，即增加油滤的实验室分析和结焦率计算，以替代油滤的目视检查，获得真实的积碳水平。见下图 11。

Introduction of lab analysis and cokefaction rate in FIM task 817:

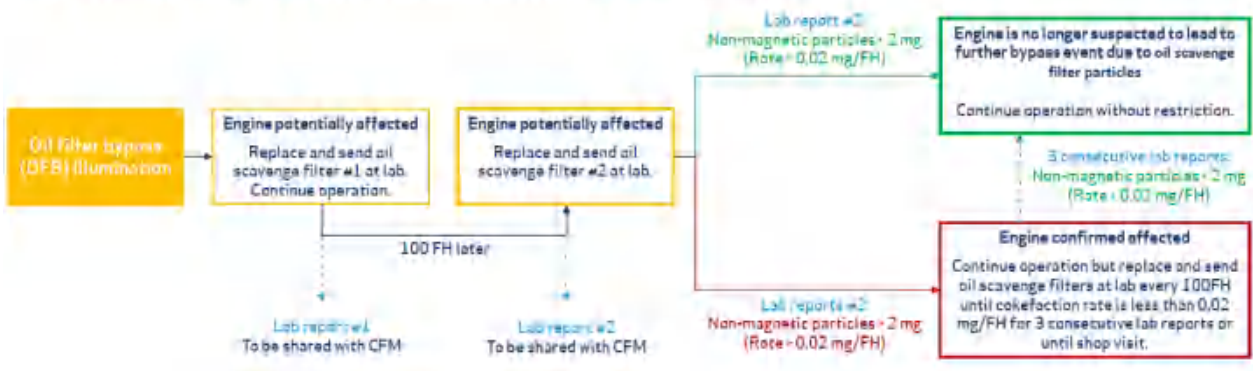


图 11、油滤的实验室分析和结焦率计算

CFM 建议，在发动机送修前，持续更换回油滤和监控油滤内杂质的数量，并与 CFM 分享油滤杂质质量数据。

- 4) 在发动机送修时，提供最小的工作范围，使发动机尽快投入运行。

## 六. 航司措施

- 1、自新或自大修后 10,000FC 以上的发动机，在每次有机会更换回油滤时，送检回油滤，根据回油滤内非磁性物质的质量，如大于 30mg，每 100FH（如果远大于 30 mg，则缩短至 50FH 或更短）更换并送检回油滤，直至连续 3 次小于 10mg 或积累率小于 0.02mg/FH，则恢复至 MP 正常间隔；同时将机队中回油滤内非磁性物质积累率超 0.02mg/FH 的发动机加入重点监控清单，按积累程度，以合适的时间间隔制定后续油滤检测频次。

- 2、出现滑油滤旁通灯点亮的故障后严格按 FIM 进行排故，同时送检回油滤，根据回油滤内非磁性物质量和变化速率，评估执行下一次回油滤的更换工作，或其他排故工作。
- 3、按照维修警示信息《CFM56-7B 发动机中央通气管积碳》(MAI-2023-008) 要求，执行相应的检查工作。

**七. 结论和建议**

建议航司：

- 1、出现回油滤旁通灯亮故障时，按 FIM 执行排故工作。
- 2、针对使用 ET02197 的航司，根据航司各自的运行经验送检回油滤，并根据回油滤内非磁性物质的质量变化率调整油滤更换间隔。
- 3、针对使用 ET02197 的航司，自新或自大修后 10,000FC 以上的发动机，在发动机送修时执行 SB72-0873/72-0999。
- 4、针对使用 ET02197 的航司，建立 CFM56-7B 机队回油滤送检报告统计表（见表 3，供参考），以识别机队存在 CVT-LPT 轴空腔内非正常积碳、油泥的风险。

表 3 回油滤送检情况统计表

送检日期	检测报告编号	飞机	装机位置	发动机序号	TSN	CSN	TSLSV	TSLSV	油滤装机使用时间 (FH)	非磁性杂质质量	磁性杂质质量	非磁性杂质质量增速