

标题： 关于 CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂问题的分析报告 R2

一. 问题概述

CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂导致空停。

二. 已发生事件汇总

1、世界机队发生多起 76 片构型的高压涡轮叶片断裂导致的空停事件, 2023 年 4 季度到 2024 年 3 季度共有 12 起事件 (不包括高风险的世界特定机队)。主要发生在 7B 发动机。

事件日期	发动机机型	高压涡轮叶片件号	自新循环
2023-10-15	5B4/3	2403M91P02	17438
2023-12-08	7B26E	2403M91P03	14395
2024-02-04	7B26E	2403M91P02	17057
2024-03-13	5B4/3	2403M91P03	18029
2024-03-23	7B26E	2403M91P02	18293
2024-04-10	7B26E	2403M91P03	14923
2024-05-02	5B6/3	2403M91P02	18031
2024-05-13	7B24E	2403M91P03	17492
2024-06-19	7B26E	2403M91P02	16089
2024-07-02	7B26E	2403M91P02	15376
2024-08-27	5B4/3	2403M91P02	18925
2024-09-24	7B26E	2403M91P03	16689

2、国内机队从 2022 年到 2025 年已有 7 起高压涡轮叶片榫头小颈裂纹导致的空停事件 (全球已发生 85 起)。

事件日期	发动机机型	发动机系列号	高压涡轮叶片件号	自新循环
2022-12-01	CFM56-7B	962508	2403M91P02	17045
2023-05-03	CFM56-7BE	862141	2403M91P03	11963
2024-04-10	CFM56-7BE	658239	2403M91P03	14923
2024-09-24	CFM56-7BE	658561	2403M91P03	16689
2025-06-08	CFM56-7B24E	862270	2403M91P03	13254
2025-06-15	CFM56-7B26E	658253	2403M91P03	16227
2025-06-28	CFM56-7B24E	661979	2403M91P03	13676

三. 可靠性数据

1. 厂家调查结果为 76 片构型的高压涡轮叶片的低周疲劳寿命对应力的变化非常敏感，叶片自身的偏差和发动机运行差异会影响叶片实际受力状态，造成小颈裂纹的萌生和扩展时间上存在差异。

2. 厂家基于全球 CFM56-5B 和 CFM56-7B 发动机由于高压涡轮叶片造成的发动机空停事件的数据分析划分出特定机队，并针对这些特定机队发布服务通告来减少高压涡轮叶片的使用时间。

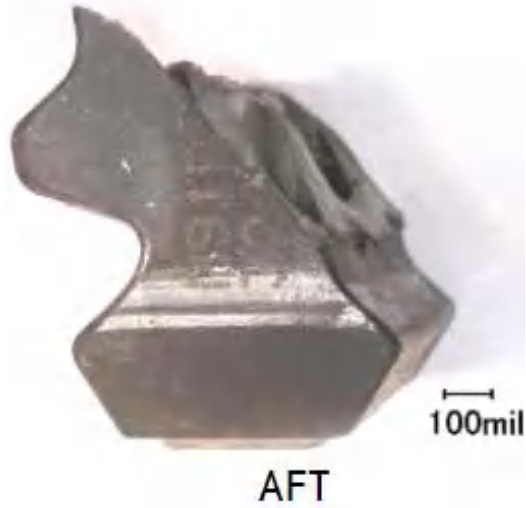
3. 2022 年以来，世界和国内机队因件号为 2403M91P03 的高压涡轮叶片失效导致发动机空停等运行事件数量明显增多，该件号高压涡轮叶片失效时的使用时间明显小于其他件号（如 2403M91P02）的叶片。

四. 工程分析

1、 高压涡轮叶片榫头小颈裂纹萌生于叶片背面，属于低周疲劳裂纹，高温与高负载是低周裂纹的萌生的主要促成因素：少数情况下小颈裂纹向上扩展导致叶片快速断裂飞出；大部分情况下小颈裂纹向下扩展不会直接导致事件，但进一步将加剧上压力面应力集中产生裂纹失效。



榫头小颈裂纹向上扩展



裂纹向上扩展叶片直接断裂飞出



榫头小颈裂纹向下扩展



向下扩展后上压力面应力集中断裂

2. 南航 658561 的高压涡轮叶片榫头断裂



658561 断裂高压涡轮叶片进厂状态



658561 断裂高压涡轮叶片的断口形貌

五. 厂家措施

- 1、厂家于 2019 年 10 月发布 SB72-0918R6 (CFM56-7B)，对于中国区运行过的高压涡轮叶片，建议客户在高压涡轮叶片 2403M91P02 构型使用到 17500 循环前更换，2403M91P03 构型使用到 20000 循环前更换。
- 2、厂家于 2021 年 5 月发布 SB72-1072 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，对于特定航司运行过的高压涡轮叶片建议减少使用时间。
- 3、厂家于 2023 年 4 月发布 SB72-1082 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对全球 2403M91P02 和 2403M91P03 构型叶片用户，建议在高压涡轮叶片使用到 17900 循环前更换。
- 4、厂家于 2023 年 10 月发布 SB72-1083 (CFM56-7B) 引入提升了耐久性的高压涡轮叶片 2403M91P06。
- 5、厂家于 2024 年 7 月发布 SB72-1087 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对特定航司机队(非中国区),建议 2026 年 1 月 31 日前更换受影响的高压涡轮叶片 2403M91P03。
- 6、厂家于 2025 年 4 月修订 SB72-1082 为 R1 版，进一步缩减 2403M91P03 构型叶片使用时间至 17200 循环。

六. 航司措施

- 1、关注高压涡轮叶片 2403M91P03，根据厂家 SB 建议时限进行更换。
- 2、部分航司在厂家建议基础上进一步缩减了时限，一些公司为 16000 循环，一些为 15000 循环左右。但缩减时限后带来成本大幅提升，且存在缺备发或叶片情况。
- 3、统计 76 片构型高压涡轮叶片进厂的裂纹检查情况。
- 4、部分航司针对 2403M91 构型叶片分别建立了裂纹风险评估模型。
- 5、部分航司还针对装有件号 2403M91P03 大于 15000 循环或件号 2403M91P02 大于 16000 循环高压涡轮叶片的发动机，制定了航班运行管控措施（如限飞航段小于 1 小时的航线、严格管控慢车冷却时间、尽量使用减推力起飞等）。

七. 结论和建议

- 1、建立发动机起飞减推使用工作程序。
- 2、严格执行飞机启动后的暖车和落地后的冷车操作，确保足够的暖车和冷却时间，冷车至少不低于 3 分钟。
- 3、针对双发均安装有 2403M91P02/03 构型 HPT 叶片的飞机，且双发历史使用履历基本

2025 年 6 月 29 日 编写：MTU 任炎炎 修订：厦航周颖 审核：民航发动机专项工作组

一致的情况，在发动机循环数达到 14500 循环后应尽快安排串发，实现单架飞机双发的差异性运行和梯次管理，确保关键发动机的可靠性。

4、建议各航司将件号为 2403M91P03 的 HPT 叶片软时限控制在不超过 16000 循环(含)。如超过 16000 循环，则需一机一策，确保监控有效。对于高循环发动机，应细化控制，尤其是短跑道、高原等机场运行。

5、所有航司即日起向飞标司反馈 2025 年 1 月 1 日起的该型号 HPT 叶片进厂检查数据，飞标司督促工作机制优化监控方案与拆换时限。

6、建议航司持续探索开发 CFM56-7B 发动机 HPT 叶片裂纹有效监控方法和预测算法模型，利用算法模型对 HPT 叶片的历史运行数据进行回溯，分析找出高风险发动机，并采取相关管控措施。无条件开发的航司通过合适渠道获取使用，同时鼓励航司间分享 HPT 叶片运行使用数据。

7、建议局方敦促 OEM 尽快解决高压涡轮叶片备件供应短缺问题，缓解国内 CFM56-7B 发动机高压涡轮叶片需求紧张局面，降低国内 CFM56-7B 机队的运行风险。

标题： 关于 CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂问题的分析报告 R3

一. 问题概述

CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂导致空停。

二. 已发生事件汇总

1、世界机队发生多起 76 片构型的高压涡轮叶片断裂导致的空停事件, 2023 年 4 季度到 2024 年 3 季度共有 12 起事件 (不包括高风险的世界特定机队)。主要发生在 7B 发动机。

事件日期	发动机机型	高压涡轮叶片件号	自新循环
2023-10-15	5B4/3	2403M91P02	17438
2023-12-08	7B26E	2403M91P03	14395
2024-02-04	7B26E	2403M91P02	17057
2024-03-13	5B4/3	2403M91P03	18029
2024-03-23	7B26E	2403M91P02	18293
2024-04-10	7B26E	2403M91P03	14923
2024-05-02	5B6/3	2403M91P02	18031
2024-05-13	7B24E	2403M91P03	17492
2024-06-19	7B26E	2403M91P02	16089
2024-07-02	7B26E	2403M91P02	15376
2024-08-27	5B4/3	2403M91P02	18925
2024-09-24	7B26E	2403M91P03	16689

2、国内机队从 2022 年到 2025 年已有 7 起高压涡轮叶片榫头小颈裂纹导致的空停事件 (全球已发生 85 起)。

事件日期	发动机机型	发动机系列号	高压涡轮叶片件号	自新循环
2022-12-01	CFM56-7B	962508	2403M91P02	17045
2023-05-03	CFM56-7BE	862141	2403M91P03	11963
2024-04-10	CFM56-7BE	658239	2403M91P03	14923
2024-09-24	CFM56-7BE	658561	2403M91P03	16689
2025-06-08	CFM56-7B24E	862270	2403M91P03	13254
2025-06-15	CFM56-7B26E	658253	2403M91P03	16227
2025-06-28	CFM56-7B24E	661979	2403M91P03	13676

三. 可靠性数据

1. 厂家调查结果为 76 片构型的高压涡轮叶片的低周疲劳寿命对应力的变化非常敏感，叶片自身的偏差和发动机运行差异会影响叶片实际受力状态，造成小颈裂纹的萌生和扩展时间上存在差异。

2. 厂家基于全球 CFM56-5B 和 CFM56-7B 发动机由于高压涡轮叶片造成的发动机空停事件的数据分析划分出特定机队，并针对这些特定机队发布服务通告来减少高压涡轮叶片的使用时间。

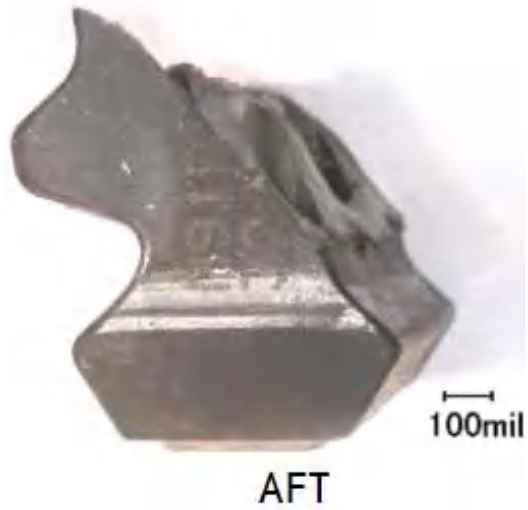
3. 2022 年以来，世界和国内机队因件号为 2403M91P03 的高压涡轮叶片失效导致发动机空停等运行事件数量明显增多，该件号高压涡轮叶片失效时的使用时间明显小于其他件号（如 2403M91P02）的叶片。

四. 工程分析

1、 高压涡轮叶片榫头小颈裂纹萌生于叶片背面，属于低周疲劳裂纹，高温与高负载是低周裂纹的萌生的主要促成因素：少数情况下小颈裂纹向上扩展导致叶片快速断裂飞出；大部分情况下小颈裂纹向下扩展不会直接导致事件，但进一步将加剧上压力面应力集中产生裂纹失效。



榫头小颈裂纹向上扩展



裂纹向上扩展叶片直接断裂飞出



榫头小颈裂纹向下扩展



向下扩展后上压力面应力集中断裂

2. 南航 658561 的高压涡轮叶片榫头断裂



658561 断裂高压涡轮叶片进厂状态



658561 断裂高压涡轮叶片的断口形貌

五. 厂家措施

- 1、厂家于 2019 年 10 月发布 SB72-0918R6 (CFM56-7B)，对于中国区运行过的高压涡轮叶片，建议客户在高压涡轮叶片 2403M91P02 构型使用到 17500 循环前更换，2403M91P03 构型使用到 20000 循环前更换。
- 2、厂家于 2021 年 5 月发布 SB72-1072 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，对于特定航司运行过的高压涡轮叶片建议减少使用时间。
- 3、厂家于 2023 年 4 月发布 SB72-1082 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对全球 2403M91P02 和 2403M91P03 构型叶片用户，建议在高压涡轮叶片使用到 17900 循环前更换。
- 4、厂家于 2023 年 10 月发布 SB72-1083 (CFM56-7B) 引入提升了耐久性的高压涡轮叶片 2403M91P06。
- 5、厂家于 2024 年 7 月发布 SB72-1087 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对特定航司机队(非中国区), 建议 2026 年 1 月 31 日前更换受影响的高压涡轮叶片 2403M91P03。
- 6、厂家于 2025 年 4 月修订 SB72-1082 为 R1 版，进一步缩减 2403M91P03 构型叶片使用时间至 17200 循环。

六. 航司措施

- 1、关注高压涡轮叶片 2403M91P03，根据厂家 SB 建议时限进行更换。
- 2、部分航司在厂家建议基础上进一步缩减了时限，一些公司为 16000 循环，一些为 15000 循环左右。但缩减时限后带来成本大幅提升，且存在缺备发或叶片情况。
- 3、统计 76 片构型高压涡轮叶片进厂的裂纹检查情况。
- 4、部分航司针对 2403M91 构型叶片分别建立了裂纹风险评估模型。
- 5、部分航司还针对装有件号 2403M91P03 大于 15000 循环或件号 2403M91P02 大于 16000 循环高压涡轮叶片的发动机，制定了航班运行管控措施（如限飞航段小于 1 小时的航线、严格管控慢车冷却时间、尽量使用减推力起飞等）。

七. 结论和建议

- 1、建立发动机起飞减推力使用工作程序。
- 2、严格执行飞机启动后的暖车和落地后的冷车操作，确保足够的暖车和冷车时间，冷车至少不低于 4 分钟。
- 3、针对双发均安装有 2403M91P02/03 构型 HPT 叶片的飞机，且双发历史使用履历基本

2025 年 7 月 1 日 编写：MTU 任炎炎 修订：厦航周颖 审核：民航发动机专项工作组

一致的情况，在发动机循环数达到 14500 循环后应尽快安排串发，实现单架飞机双发的差异性运行和梯次管理，确保关键发动机的可靠性。

4、各航司件号为 2403M91P03 的 HPT 叶片硬时限不能超过 16000 循环，件号为 2403M91P02 的 HPT 叶片硬时限不超过 17500 循环。

5、建议各航司将件号为 2403M91P03 的 HPT 叶片软时限控制在不超过 14500 循环(含)。如超过 14500 循环，则需一机一策，细化控制，尤其是短跑道、高原等机场运行，以及不能执行飞行训练，需制定机组重点关注清单等。对于 14500 循环以上的发动机，需在 3 日内完成数据清洗和整理，由南航发动机监控系统进行风险评测。对于确定为高风险的叶片，应停止使用。如无特殊原因，在 7 月 11 日前未完成评测的，则不能超过 14500 循环使用。

6、在完成上述第一阶段评测工作后，开始第二阶段评测，对 13000 循环以上叶片进行安全评测。

7、所有航司即日起向飞标司反馈 2025 年 1 月 1 日起的该型号 HPT 叶片进厂检查数据及前期已有的检查数据，飞标司督促工作机制发有监控能力的单位进行研究，持续优化监控方案与拆换时限。

8、前期民航工程中心已整理出 QAR 数据格式及标准，各公司对照提出修订意见，之后各航空公司按标准格式进行数据统计。

9、建议航司持续探索开发 CFM56-7B 发动机 HPT 叶片裂纹有效监控方法和预测算法模型，利用算法模型对 HPT 叶片的历史运行数据进行回溯，分析找出高风险发动机，并采取相关管控措施。无条件开发的航司通过合适渠道获取使用，同时鼓励航司间分享 HPT 叶片运行使用数据。

10、建议局方敦促 OEM 尽快解决高压涡轮叶片备件供应短缺问题，缓解国内 CFM56-7B 发动机高压涡轮叶片需求紧张局面，降低国内 CFM56-7B 机队的运行风险。

11、建议局方敦促 OEM 尽可能提供相关制造及叶片损伤数据。

标题： 关于 CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂问题的分析报告 R4

一. 问题概述

CFM56-7B 发动机 76 片构型高压涡轮叶片断裂导致空停。

二. 已发生事件汇总

1、世界机队发生多起 76 片构型的高压涡轮叶片断裂导致的空停事件, 2023 年 4 季度到 2024 年 3 季度共有 12 起事件 (不包括高风险的世界特定机队)。主要发生在 7B 发动机。

事件日期	发动机机型	高压涡轮叶片件号	自新循环
2023-10-15	5B4/3	2403M91P02	17438
2023-12-08	7B26E	2403M91P03	14395
2024-02-04	7B26E	2403M91P02	17057
2024-03-13	5B4/3	2403M91P03	18029
2024-03-23	7B26E	2403M91P02	18293
2024-04-10	7B26E	2403M91P03	14923
2024-05-02	5B6/3	2403M91P02	18031
2024-05-13	7B24E	2403M91P03	17492
2024-06-19	7B26E	2403M91P02	16089
2024-07-02	7B26E	2403M91P02	15376
2024-08-27	5B4/3	2403M91P02	18925
2024-09-24	7B26E	2403M91P03	16689

2、国内机队从 2022 年到 2025 年已有 7 起高压涡轮叶片榫头小颈裂纹导致的空停事件 (全球已发生 85 起)。

事件日期	发动机机型	发动机系列号	高压涡轮叶片件号	自新循环
2022-12-01	CFM56-7B	962508	2403M91P02	17045
2023-05-03	CFM56-7BE	862141	2403M91P03	11963
2024-04-10	CFM56-7BE	658239	2403M91P03	14923
2024-09-24	CFM56-7BE	658561	2403M91P03	16689
2025-06-08	CFM56-7B24E	862270	2403M91P03	13254
2025-06-15	CFM56-7B26E	658253	2403M91P03	16227
2025-06-28	CFM56-7B24E	661979	2403M91P03	13676

三. 可靠性数据

1. 厂家调查结果为 76 片构型的高压涡轮叶片的低周疲劳寿命对应力的变化非常敏感，叶片自身的偏差和发动机运行差异会影响叶片实际受力状态，造成小颈裂纹的萌生和扩展时间上存在差异。

2. 厂家基于全球 CFM56-5B 和 CFM56-7B 发动机由于高压涡轮叶片造成的发动机空停事件的数据分析划分出特定机队，并针对这些特定机队发布服务通告来减少高压涡轮叶片的使用时间。

3. 2022 年以来，世界和国内机队因件号为 2403M91P03 的高压涡轮叶片失效导致发动机空停等运行事件数量明显增多，该件号高压涡轮叶片失效时的使用时间明显小于其他件号（如 2403M91P02）的叶片。

四. 工程分析

1、 高压涡轮叶片榫头小颈裂纹萌生于叶片背面，属于低周疲劳裂纹，高温与高负载是低周裂纹的萌生的主要促成因素：少数情况下小颈裂纹向上扩展导致叶片快速断裂飞出；大部分情况下小颈裂纹向下扩展不会直接导致事件，但进一步将加剧上压力面应力集中产生裂纹失效。



榫头小颈裂纹向上扩展



裂纹向上扩展叶片直接断裂飞出



榫头小颈裂纹向下扩展



向下扩展后上压力面应力集中断裂

2. 南航 658561 的高压涡轮叶片榫头断裂



658561 断裂高压涡轮叶片进厂状态



658561 断裂高压涡轮叶片的断口形貌

五. 厂家措施

- 1、厂家于 2019 年 10 月发布 SB72-0918R6 (CFM56-7B)，对于中国区运行过的高压涡轮叶片，建议客户在高压涡轮叶片 2403M91P02 构型使用到 17500 循环前更换，2403M91P03 构型使用到 20000 循环前更换。
- 2、厂家于 2021 年 5 月发布 SB72-1072 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，对于特定航司运行过的高压涡轮叶片建议减少使用时间。
- 3、厂家于 2023 年 4 月发布 SB72-1082 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对全球 2403M91P02 和 2403M91P03 构型叶片用户，建议在高压涡轮叶片使用到 17900 循环前更换。
- 4、厂家于 2023 年 10 月发布 SB72-1083 (CFM56-7B) 引入提升了耐久性的高压涡轮叶片 2403M91P06。
- 5、厂家于 2024 年 7 月发布 SB72-1087 (CFM56-7B) 高压涡轮叶片管理，针对特定航司机队(非中国区),建议 2026 年 1 月 31 日前更换受影响的高压涡轮叶片 2403M91P03。
- 6、厂家于 2025 年 4 月修订 SB72-1082 为 R1 版，进一步缩减 2403M91P03 构型叶片使用时间至 17200 循环。

六. 航司措施

- 1、关注高压涡轮叶片 2403M91P03，根据厂家 SB 建议时限进行更换。
- 2、部分航司在厂家建议基础上进一步缩减了时限，一些公司为 16000 循环，一些为 15000 循环左右。但缩减时限后带来成本大幅提升，且存在缺备发或叶片情况。
- 3、统计 76 片构型高压涡轮叶片进厂的裂纹检查情况。
- 4、部分航司针对 2403M91 构型叶片分别建立了裂纹风险评估模型。
- 5、部分航司还针对装有件号 2403M91P03 大于 15000 循环或件号 2403M91P02 大于 16000 循环高压涡轮叶片的发动机，制定了航班运行管控措施（如限飞航段小于 1 小时的航线、严格管控慢车冷却时间、尽量使用减推力起飞等）。

七. 结论和建议

- 1、建立发动机起飞减推力使用工作程序。
- 2、严格执行飞机启动后的暖车和落地后的冷车操作，确保足够的暖车和冷车时间，冷车至少不低于 3 分钟。
- 3、针对双发均安装有 2403M91P02/03 构型 HPT 叶片的飞机，且双发历史使用履历基本

2025 年 7 月 7 日 编写：MTU 任炎炎 修订：厦航周颖 审核：民航发动机专项工作组

一致的情况，在发动机循环数达到 14500 循环后应尽快安排串发，实现单架飞机双发的差异性运行和梯次管理，确保关键发动机的可靠性。

4、各航司将件号为 2403M91P03 的 HPT 叶片软时限控制在不超过 14500 循环（含）。如超过 14500 循环，则需：

(1) 一机一策，细化控制，尤其是短跑道、高原等机场运行，且不能执行飞行训练、延伸跨水运行等工作。

(2) 加强机组提示并针对性制定机组重点关注清单。

(3) 进行风险评估。对于明确确定为高风险的叶片，应停止使用。

(4) 对于 14500 循环以上的发动机，各公司按 3%的比例返厂进行叶片检查，并将进厂检查数据反馈飞标司。

5、对于 11000 循环以上的发动机，在 500 循环以内开展一次相关区域孔探检查。

6、所有航司即日起向飞标司反馈 2025 年 1 月 1 日起的该型号 HPT 叶片进厂检查数据及前期已有的检查数据，飞标司督促工作机制发有监控能力的单位进行研究，持续优化监控方案与拆换时限。

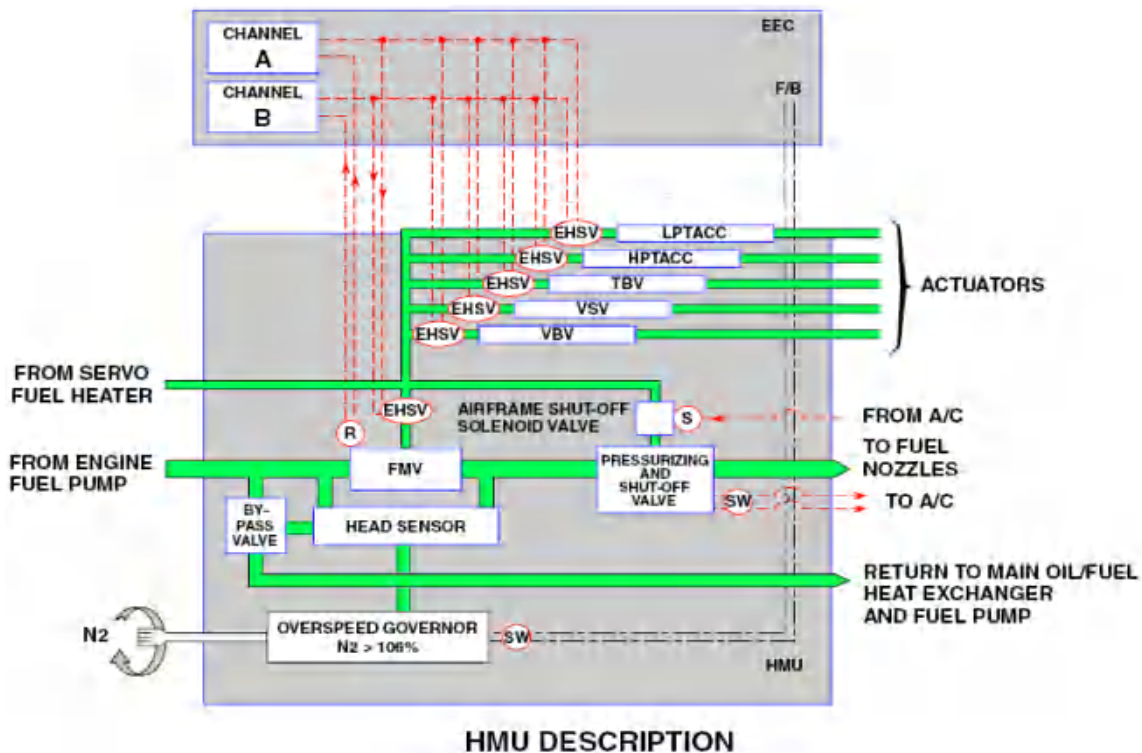
7、前期民航工程中心已整理出 QAR 数据格式及标准，各公司对照提出修订意见，之后各航空公司按标准格式进行数据统计。

8、建议航司持续探索开发 CFM56-7B 发动机 HPT 叶片裂纹有效监控方法和预测算法模型，利用算法模型对 HPT 叶片的历史运行数据进行回溯，分析找出高风险发动机，并采取相关管控措施。无条件开发的航司通过合适渠道获取使用，同时鼓励航司间分享 HPT 叶片运行使用数据。

9、建议局方敦促 OEM 尽快解决高压涡轮叶片备件供应短缺问题，缓解国内 CFM56-7B 发动机高压涡轮叶片需求紧张局面，降低国内 CFM56-7B 机队的运行风险。

10、建议局方敦促 OEM 尽可能提供相关制造及叶片损伤数据。

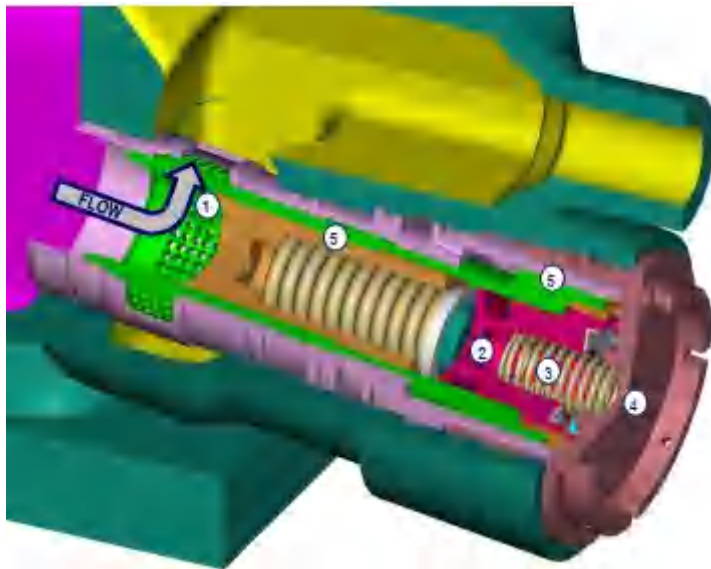
标题:	关于 CFM56-7B 发动机 HMU 失效问题的分析报告
一. 问题概述	
<p>CFM56-7B 发动机的 HMU 由于内部旁通活门、燃油计量活门或控制燃油计量活门的电液伺服活门卡滞,可能造成无足够燃油供应或超计划供油且对油门杆无响应,最终导致发动机空中关车。</p>	
二. 已发生事件汇总	
<p>2022 年国内 737NG 机队共发生两起 HMU 相关的空停事件:</p> <p>(1) 2022 年 12 月 30 日, 发动机型号: CFM56-7B26E, ETSN/ECSN: 19298/10342</p> <p>飞机下降阶段 2 发自动停车, 单发备降。初步判断 HMU 内部的 FMV EHSV 故障导致 FMV 空中非指令关闭, 造成 2 发自动停车。</p> <p>(2) 2022 年 08 月 12 日, 发动机型号: CFM56-7B26E, ETSN/ECSN: 27667/10999</p> <p>飞机在执行试飞过程中, 2 发 N1 和 N2 转速超限, 机组关闭 2 发, 单发安全落地。经修理厂检测证实为 HMU 的 FMV EHSV 故障导致燃油控制失效, 最终导致发动机 N1 超限。</p>	
三. 可靠性数据	
<p>2018 年-2022 年期间, CFM56-7B 世界机队范围内共有 16 起 HMU 原因导致的发动机空中停车事件, 其中国内机队 3 起。</p>	
四. 工程分析	
<p>1、系统原理</p> <p>HMU-液压机械组件, 接收来自 EEC 的指令, 实现以下主要功能:</p> <p>(1) 为发动机的相关作动器提供伺服燃油压力 (HPTACC, LPTACC, TBV, VSV, VBV, FMV)</p> <p>(2) 为燃烧室提供计量后的燃油。</p> <p>FMV-燃油计量活门, 根据 EEC 的指令, 通过调节活门的开度, 控制供向燃烧室的燃油流量大小。</p> <p>HMU 工作原理图如下:</p>	



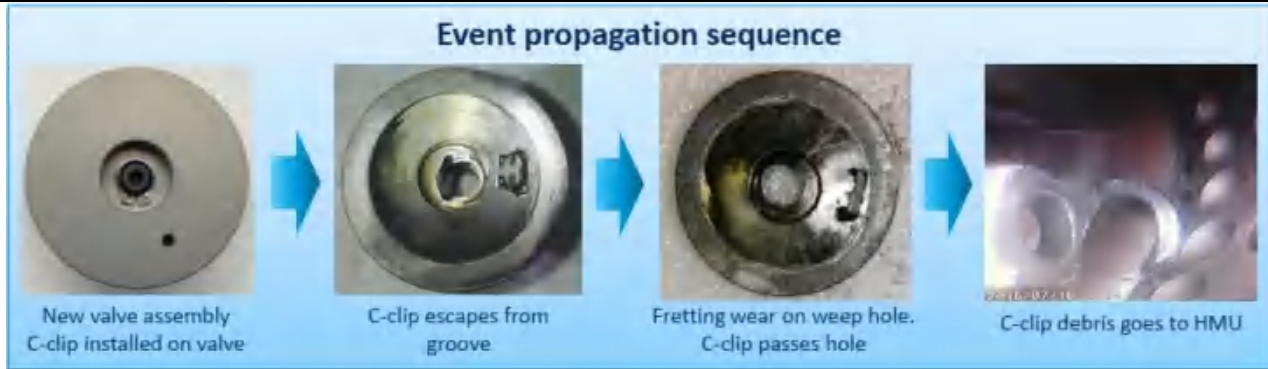
2、故障原因分析

(1) 原因一：HMU 内的旁通活门 (BPV) 因弹簧旋转产生的碎屑导致卡阻

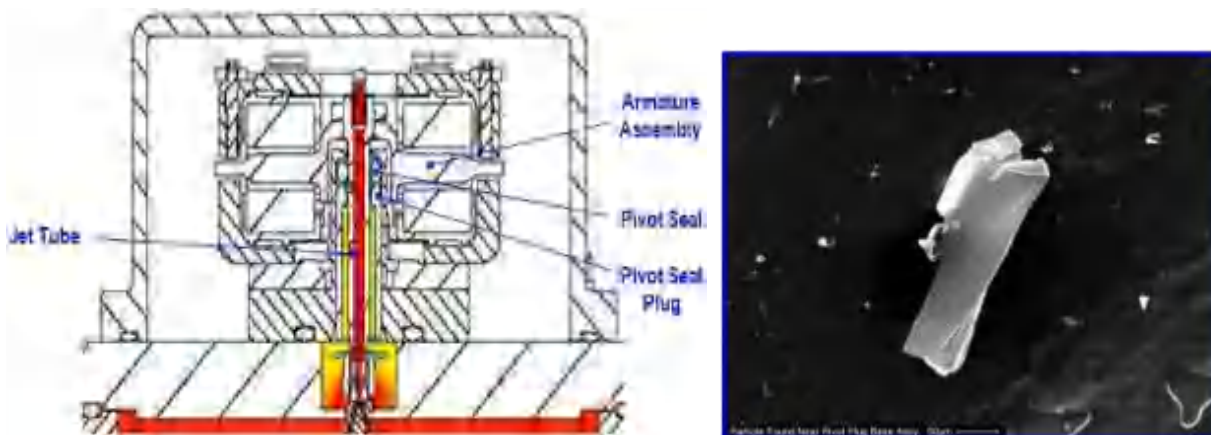
旁通活门内的弹簧持续旋转产生的细微磨损颗粒流入配合间隙, 如果过度磨损会造成旁通活门卡阻, 使燃油供应对油门杆无响应。



(2) 原因二：燃油泵的 C 型卡环碎片进入 HMU 内, 导致旁通活门 (BPV) 卡阻。



原因三：异物进入 HMU 内，导致燃油计量活门 (FMV)、HPSOV 卡阻或 FMV 的 EHSV 卡阻



五. 厂家措施

- 1、CFM 已发布服务通告 CFM56-7B S/B 73-0193/194，提供了对 HMU 旁通活门的改进方案：使用机加工弹簧替换了原来的螺旋弹簧，消除了螺旋弹簧的残余应力问题和焊缝问题。
- 2、CFM 已发布服务通告 CFM56-7B S/B 73-0221/225，提供了对燃油泵旁通活门卡环的改进方案：使用弹性挡圈保持环替换 C 形卡环。
- 3、Honeywell 已对 EHSV 的制造流程实施改进，对先导封严凹陷处隔离，以避免锡焊及锡焊后清洁时引入潜在的内部污染；完成对 Rocky Mount EHSV 产品线清洁房的扩大（降低 FOD 风险）；在 EHSV 制造及大修中将银焊改为镍焊。

六. 航司措施

- 1、结合 HMU 送修执行旁通活门改装 CFM56-7B S/B 73-0193/194。
- 2、结合燃油泵送修执行旁通活门保持环改装 CFM56-7B S/B 73-0221/225。

七. 结论和建议

民航发动机专项工作组

- 1、建议 CFM 和 Honeywell 尽快完成 2022 年国内 2 起空停事件中 FMV 的 EHSV 故障原因的调查，如涉及 EHSV 的制造和修理工艺，厂家应立即采取整改和预防措施。
- 2、建议航司参考 Honeywell SIL D200502000231，制定 HMU 的翻修软时限。
- 3、建议航司更换 HMU 后，额外增加高功率试车进行渗漏检查。

标题:

关于 CFM56-7B 发动机附件齿轮箱相关问题的分析报告

一. 问题概述

CFM56-7B 发动机运行过程中附件齿轮箱 (Accessory Gearbox, 简称 AGB) 内部部件损伤引起滑油系统污染, 导致滑油滤旁通灯亮或其它发动机参数异常, 严重的可能导致发动机空中停车。

2024 年 8 月, 国内 1 台 CFM56-7B 发动机空中滑油滤旁通灯点亮, 导致发动机空停。地面检查发现 AGB 3 号线 (驱动 EEC 发电机) 滚棒轴承外轨道的固定螺栓与起动机驱动盘发生严重磨损。

二. 已发生事件汇总

2015-2024 十年间, 全球范围内 AGB 原因导致的 CFM56-7B 发动机空停事件共 34 起, 每年事件数量和具体原因分布如下:



图 1. AGB 导致的空停事件统计 (数据来自 CFM 会议材料)

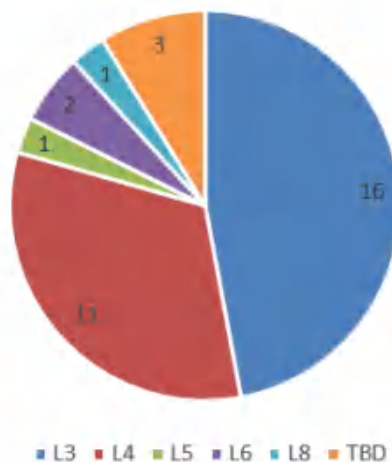


图 2. AGB 导致的空停事件-按线号统计

三. 可靠性数据

2015 年-2024 年期间，CFM56-7B 世界机队范围内 AGB 导致的空停事件共 34 起，最新空停率为 0.09 次/百万发动机小时，随着 AGB 4 号线改装 SB72-0564 和 3 号线改装 SB72-0879 的执行，AGB 空停率趋于稳定。

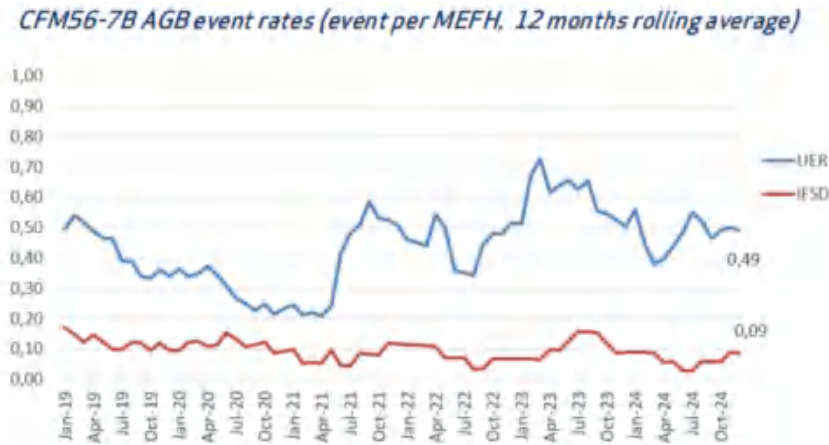


图 3. AGB 导致的空停和发动机非计划拆换 (摘自 2025 年 4 月 CFM 年会资料)

四. 工程分析

1. 系统原理

CFM56-7B 发动机 AGB 将发动机高压转子的机械能传递给附件 (3 号线驱动 EEC 发电机、6 号线驱动燃油泵、8 号线驱动 IDG、10 号线驱动液压泵、11 号线驱动润滑组件)，同时起动机通过 5 号线驱动高压转子、4 号线可人工转动高压转子，如图 4 所示。AGB 内部包含大量齿轮和轴承等转动部件，这些部件通过发动机滑油润滑和冷却。润滑冷却过 AGB 的滑油通过润滑组件中的回油泵抽吸至回油系统。

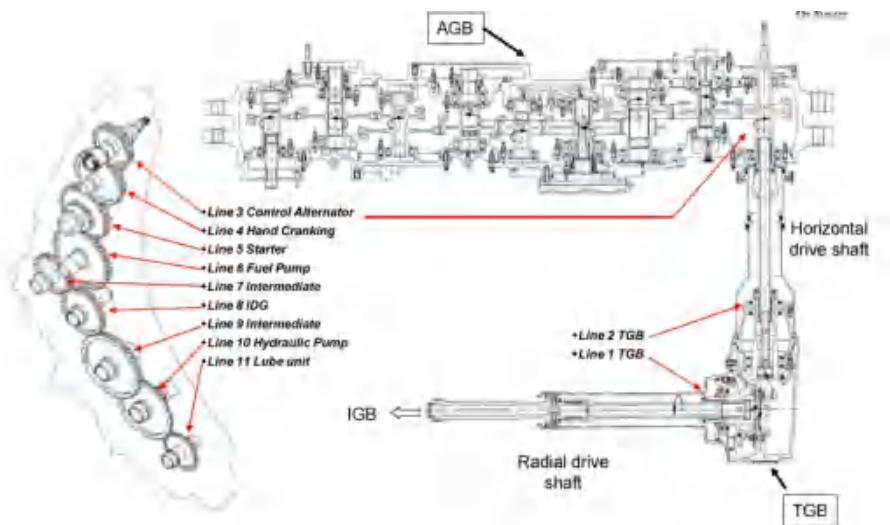


图 4. AGB 内部线号分布

2. 故障分析

由图 1 和图 2 可看出，AGB 导致的空停事件主要问题发生在 3 号线和 4 号线：4 号线主要问题表现为 N2 手摇驱动盖安装不当导致发动机后续运行过程中滑油渗漏，滑油渗漏导致低滑油量/低滑油压力关车；3 号线主要问题是 47 齿轮轴的滚棒轴承外轨道的螺柱因为高温和高振动导致螺柱松动，和 AGB 壳体发生磨损产生大量铝质碎屑，金属屑堵塞回油滤导致油滤旁通灯亮关车。

2009 年发动机厂家 CFM 发布 4 号线改装 SB72-0564（图 5），在该处增加碳封严的设计以减少滑油渗漏，AGB 件号升级至 340-046-508-0。随着改装的执行，2020 年起未再发生该类型的空停事件，该问题已基本得到解决。

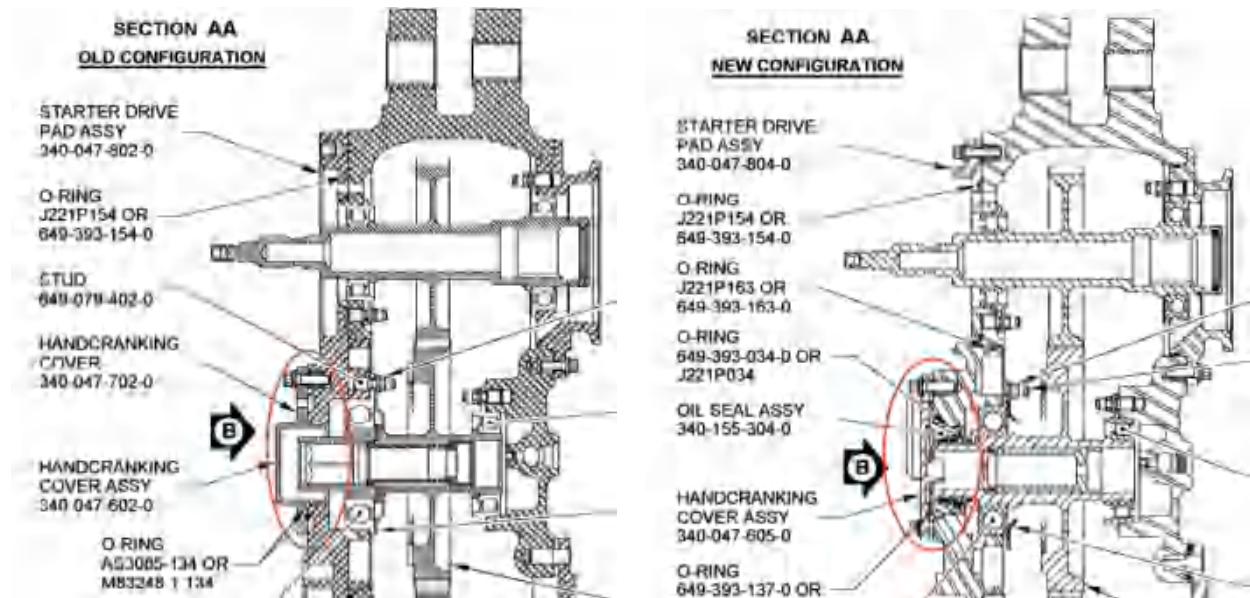


图 5. 4 号线改装 SB72-0564 示意图

2012 年发动机厂家 CFM 发布 3 号线改装 SB72-0879（图 6），将 47 齿轮轴的滚棒轴承外轨道的固定形式，由螺柱+螺套+螺帽固定在 AGB 壳体上改成由螺栓+螺套固定到起动机驱动盘上，以增强该处连接强度，AGB 件号升级至 340-046-509-0。目前在 3 号线位置上，件号为 340-046-509-0 的最新构型 AGB 发生 2 起空停事件（分别为前述 2024 年 8 月空停事件和 2018 年 1 起空停事件），其他均为 340-046-508-0 及之前旧构型。全球 14000 多台 CFM56-7B 发动机中已有 12800 台执行了改装 SB72-0879。

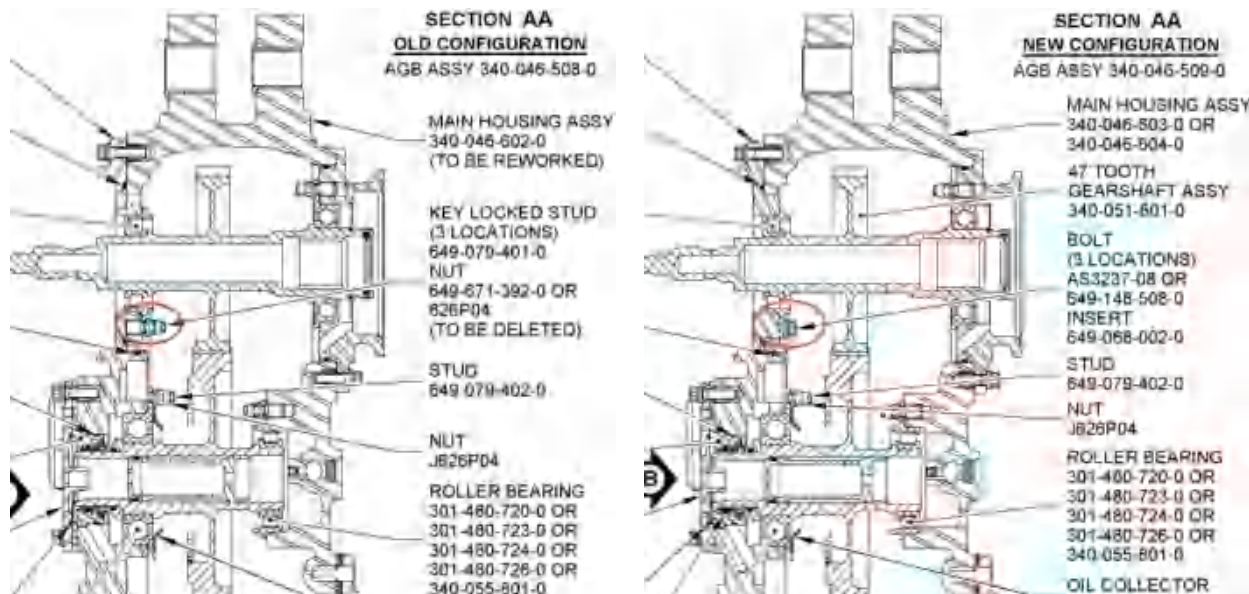


图 6.3 号线改装 SB72-0879 示意图

3. 2024 年 8 月空停事件调查

基本信息：发动机件号 CFM56-7B26，TSN=44376，CSN=23918，TSO=7309，CSO=4224，2020 年因更换寿命件送修；

AGB 件号 340-046-509-0，TSN=44376，CSN=23918，上次随发动机送修执行改装 SB72-0879，改装后使用 7309FH/4224FC；

EEC 发电机转子件号 85465-2，TSN=44376，CSN=23918，无修理历史；

EEC 发电机静子件号 87006-9，TSN=12505，CSN=7130，TSR=7315，CSR=4229。

故障现象：空中滑油滤旁通灯点亮，机组收油门后灯未熄灭，机组关车。

排查发现：EEC 自测有故障代码 73-21271，EEC 发电机输送到 EEC 的电压超出范围；

AGB/TGB 磁堵含有大量磁性碎屑（图 7），检测含有部分 M50 轴承材料；

拆下 EEC 发电机，发现发电机转子和静子磨损严重（图 8），安装区域含有大量金属屑（图 9），检测发现碎屑成分和磁堵类似；

拆下滑油回油滤和供油滤，检测发现含有大量铝质碎屑（图 10）。

AGB 送修：AGB 送修分解发现 3 号线 47 齿轮轴滚棒轴承外轨道固定螺栓和螺套从起动机驱动盘处脱出，起动机驱动盘螺栓安装处磨损严重（图 12），滚棒磨损明显，其他部件无明显损伤。

厂家调查：发动机厂家 CFM 对 AGB 的 3 号线部件进行了失效分析并于 2025 年 5 月作出了调查报告。调查认为 47 齿轮轴滚棒轴承外轨道与起动机驱动盘之间微小

位移，导致轴承固定螺栓和螺套的振动，振动导致螺栓螺套和起动机驱动盘之间的磨损，直到螺栓带着螺套从起动机驱动盘处脱出，磨损产生的金属屑在回油滤堆积导致滑油滤旁通灯亮从而造成本次空停事件。从调查报告结果看，本次新构型 AGB 3 号线失效模式与旧构型 AGB 基本相同，但根据现有检测手段暂无法确定失效根本原因，本次调查关闭，但 CFMI 提到会继续关注 AGB 的技术问题，以确定导致该失效模式的关键因素（单一或复合）。



图 7. AGB/TGB 磁堵碎屑



图 8. EEC 发电机转子和静子磨损



图 9. EEC 发电机安装区域金属屑



图 10. 滑油回油滤金属屑



图 11. 47 齿滚棒轴承外轨道固定螺栓和螺套脱出、起动机驱动盘磨损



图 12.47 齿滚棒轴承磨损

五. 厂家措施

- 1、针对 4 号线 N2 手摇驱动盖漏油问题，发布改装 SB72-0564（2009）增加碳封严的设计，AGB 件号升级至 340-046-508-0。
- 2、针对 3 号线滚棒轴承外轨道的螺柱松动磨损问题，发布 3 号线改装 SB72-0879（2012），将 47 齿轮轴的滚棒轴承外轨道的固定形式，由螺柱+螺套+螺帽固定在 AGB 壳体上改成由螺栓+螺套固定到起动机驱动盘上，以增强该处连接强度，AGB 件号升级至 340-046-509-0。
- 3、针对 EEC 发电机发布服务通告 SB73-0134（2017），以降低 EEC 发电机转子静子工作温度和重量。

六. 航司措施

- 1、按照 CAD2020-MULT-97 要求，禁装老构型 AGB(件号 340-046-503-0、340-046-504-0、340-046-505-0)。
- 2、对于件号 340-046-508-0 的 AGB 送修时或随发动机进厂时，执行改装 SB72-0879。
- 3、在翼将旧构型 EEC 发电机更换成 SB73-0134 介绍的新构型。

七. 结论和建议

- 1、随着改装 SB72-0564 的执行，4 号线 N2 手摇驱动盖漏油问题已基本得到解决。
- 2、2012 年以来已有 12800 台 AGB 执行 3 号线改装 SB72-0879 升级成 340-046-509-0，仅发生两起 3 号线问题导致的空停事件，概率较低。CFM 发布的 2024 年 8 月国内 AGB（件号 340-046-509-0）导致空停事件调查报告，目前尚无法确定根本原因，没有提供建议措施。
- 3、建议航司随部件送修或随发动机送修时执行改装 SB72-0879。
- 4、建议航司关注机队 EEC 发电机构型，可考虑在翼将旧构型 EEC 发电机更换成

SB73-0134 介绍的新构型，以减小 3 号线负荷。（各航司自定）

5、建议航司当检查 AGB/TGB 磁堵或滑油滤发现铝屑时，除了执行手册中步骤拆下 EEC 发电机外，建议用孔探仪从冷却孔伸入 AGB 内腔检查 3 号线滚棒轴承外轨道固定螺柱/螺栓的磨损情况。（各航司自定）

6、建议航司评估针对 340-046-509-0 之前构型的 AGB 安装基座螺栓状态及松动迹象采取一次性孔探检查的措施。注：2011 年 CFM WTT in Budapest 材料里提到孔探不是有效手段发现此缺陷。（各航司自定）

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

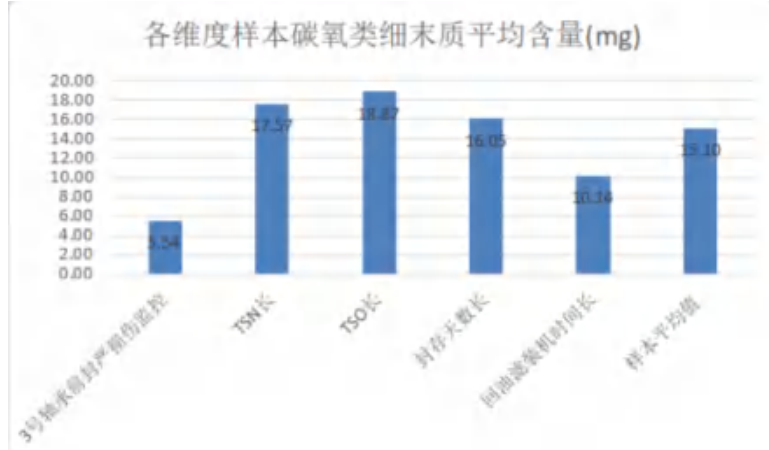


图 1、各维度样本回油滤内碳氧类细末的平均含量统计

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）。

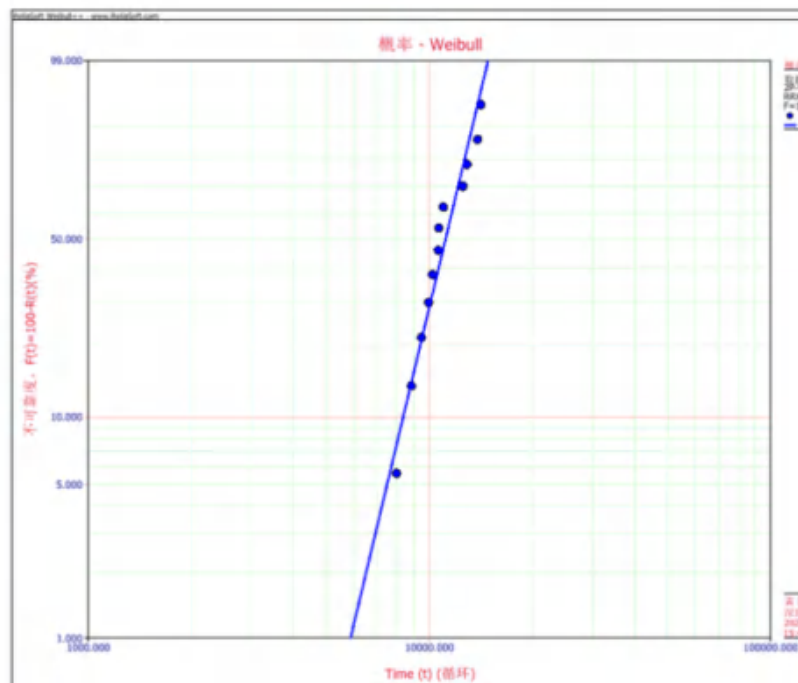


图 2、滑油滤旁通灯亮事件或故障发动机时间分布



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。

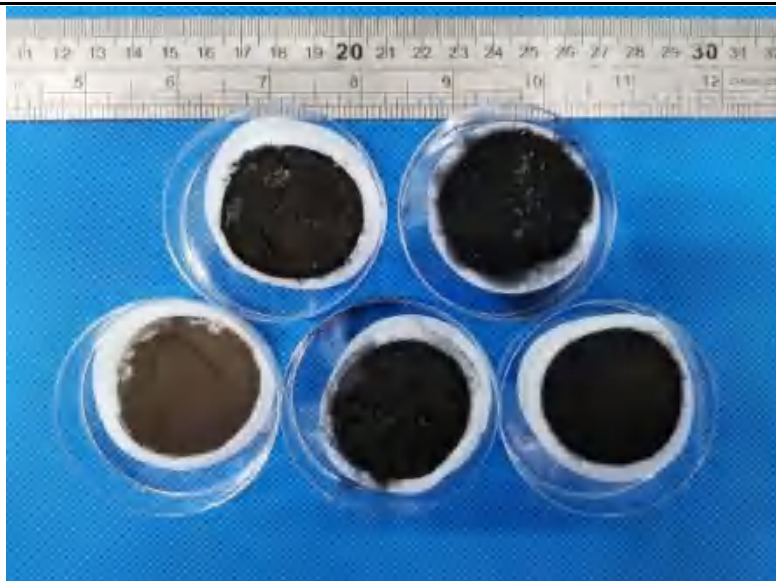


图 4、问题发动机的回油滤上收集到的碳氧类细末

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)。

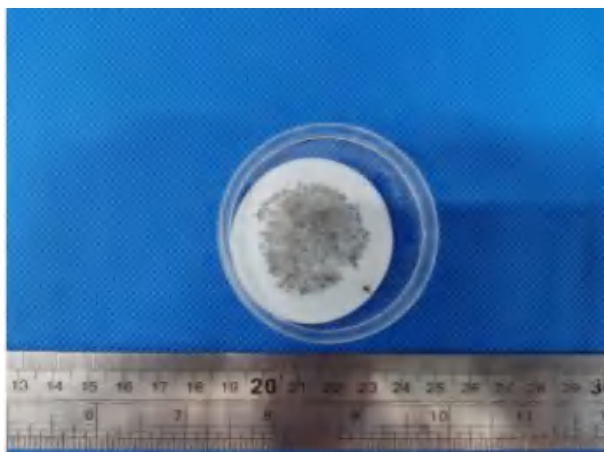


图 5、正常发动机回油滤上收集到的碳氧类细末

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。

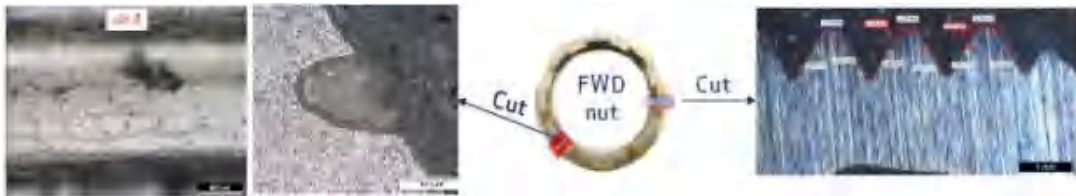


图 10、CVT 支撑螺母螺纹的点状腐蚀、材料丢失

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:

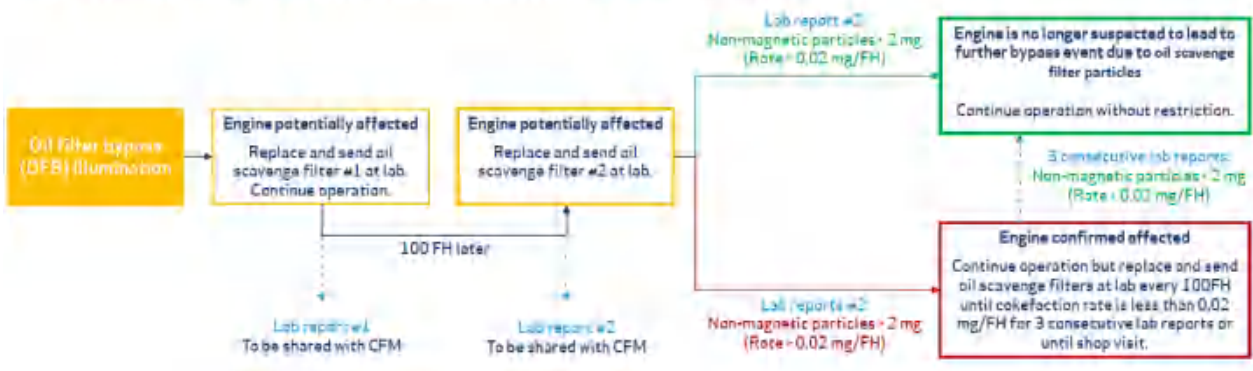


图 11、油滤的实验室分析和结焦率计算

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

标题:	关于 CFM56-7B 发动机滑油滤压差电门虚假警告的分析报告
------------	--

一. 问题概述

长期以来, CFM56-7B 发动机的滑油滤压差电门 OFDPS 由于设计可靠性不高, 导致间歇性虚假旁通警告, 滑油滤旁通灯在地面亮造成航班延误, 在飞行中按照机组操作手册如果收油门灯不灭需要关车, 导致空中停车事件。

二. 已发生事件汇总

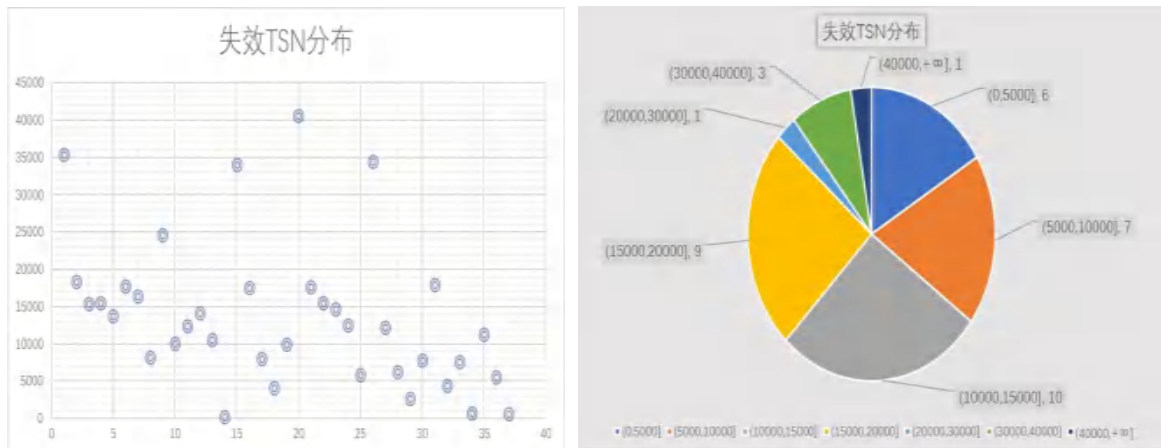
国内 737NG 机队发生过 1 起滑油滤电门虚假旁通警告导致的空停事件。

2018 年 6 月, 某航 737NG 飞机空中右发滑油旁通灯点亮, 收油门后灯未灭, 机组关车, 落地后检查滑油滤干净, 真实情况未堵塞和旁通, 线束和 EEC 正常, MCDU 上读取电门处于第三种状态, 即电门游离在中间位置, 重装电门指示正常。后续 OEM 调查未发现电门故障, 调查无结论。

其他空中旁通灯亮的案例, 数量大约 3-5 起, 机组按 FOCM 手册收回油门后灯灭, 返航或者备降, 相关航司将电门送到 OEM 要求调查, OEM 调查无果。

三. 可靠性数据

根据收集到的数据统计 (主要为地面), 电门失效无时间规律, 分布离散, 具体如下:

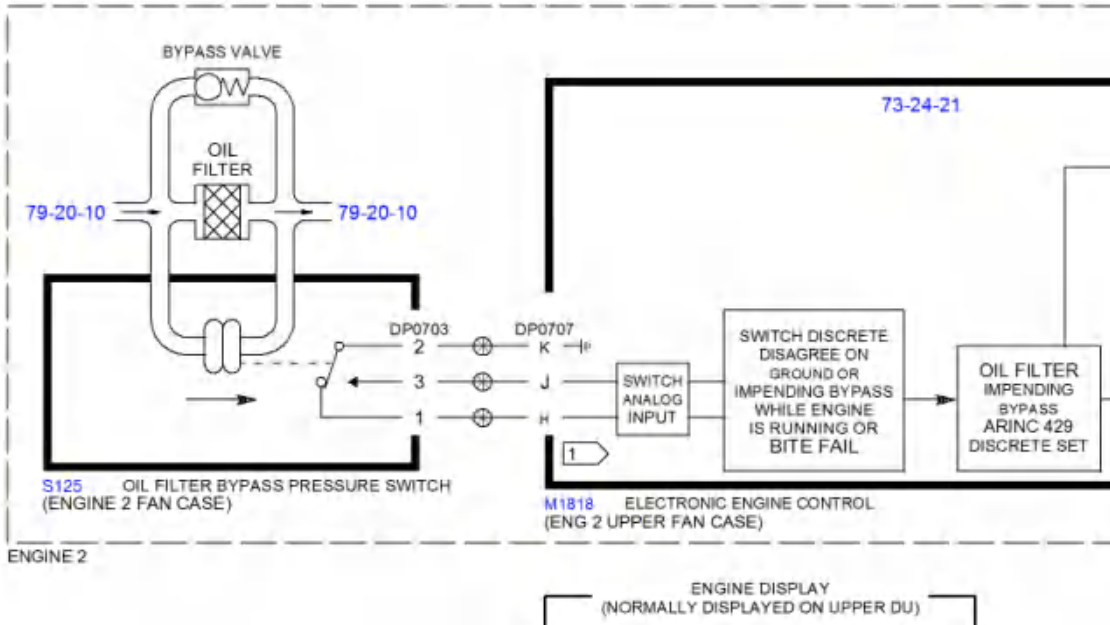
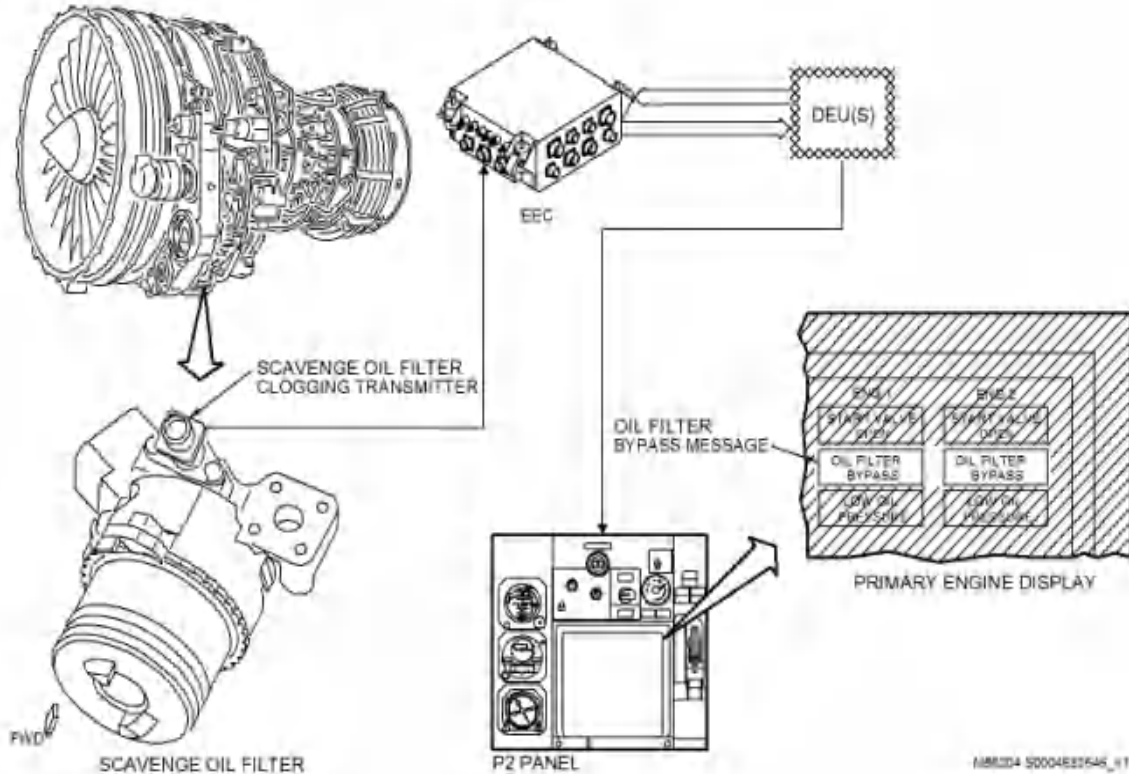


四. 工程分析

1、系统原理

滑油滤旁通警告系统在 DU 上显示回油滤状况信息, 滑油滤旁通指示系统有一个回油滤堵塞电门。回油滤堵塞电门监控回油滤进口和出口之间的滑油压力差, 正常回油滤未堵塞的

情况下，上下游无压力差，电门 PIN 1-2 接通，当油滤堵塞时上下游压力增大，电门 PIN 2-3 闭合。电门发送一个电信号至 EEC，EEC 把这个信号发送至 DEU。油滤堵塞时，DU 显示滑油滤旁通 (OIL FILTER BYPASS) 信息：

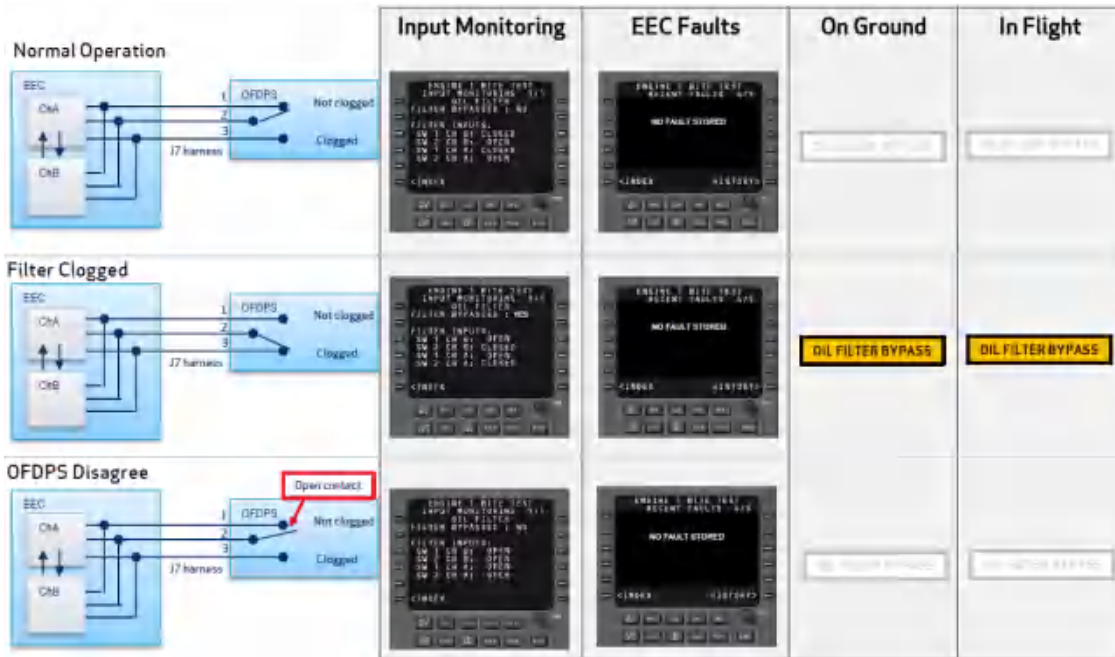


触发逻辑：

第一种状态：电门处于正常位置，旁通灯熄灭，无故障信息。

第二种状态：电门处于堵塞位置，旁通灯点亮。

第三种状态：电门游离在中间位置，旁通灯熄灭，无故障信息。



2、电门失效分析

(1) 电门原理：

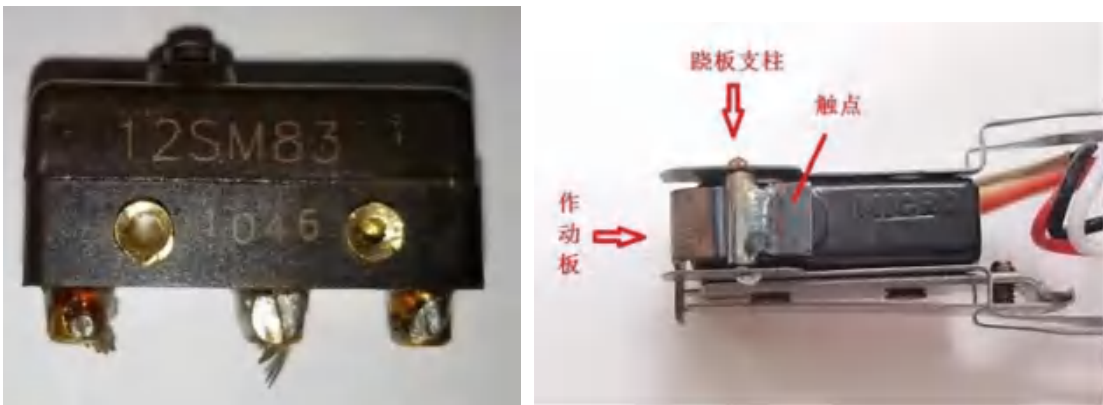
电门组件分为上下两个部分，上段为微动电门驱动部分，电路都在这一段，与油路区通过金属腔体完全隔离开。下段为油路驱动部分，有两个口与上下游滑油路相连、以及永磁体部分。





经过经验和分解研究发现，滑油滤旁通电门组件可靠性差的根本原因在于微动电门，该微动电门电门使用的为 HONEYWELL 常用的 12SM83 电门，和用在其他位置的工业件电门没有区别。微动电门工作主要是通过以下部件来实现功能：

电门有一个类似于跷跷板的结构随永磁铁作动，正常情况下永磁铁临近，作动板被吸住后压住电门开关，进而导致内分叉板下压，PIN 1-2 可靠接触处于常闭状态。当滑油滤电门上下游压力过大导致永磁铁远离作动板，作动板对电门开关无法有效按压，分叉板 2 向上翘起与触点 3 接触，PIN 2-3 通路给出堵塞信号。



为了更好的说明结构原理，人为翘起作动板，使其产生了形变，扩大行程量，更直观的模拟出了作动原理。

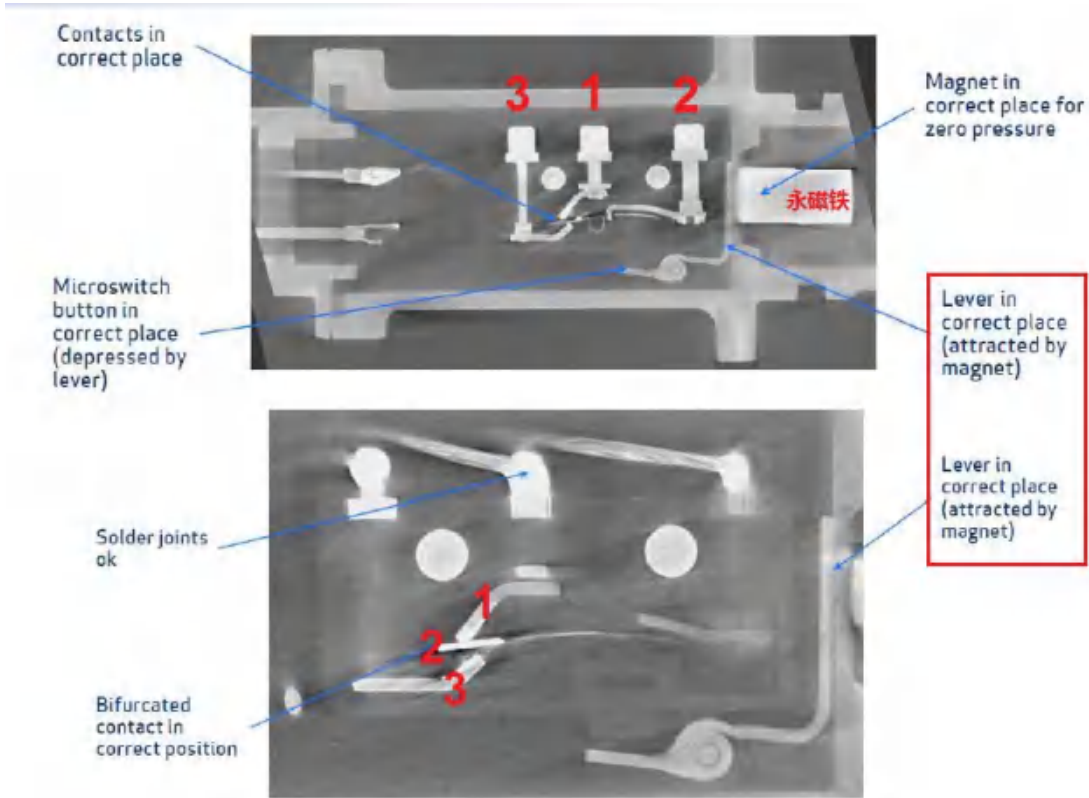
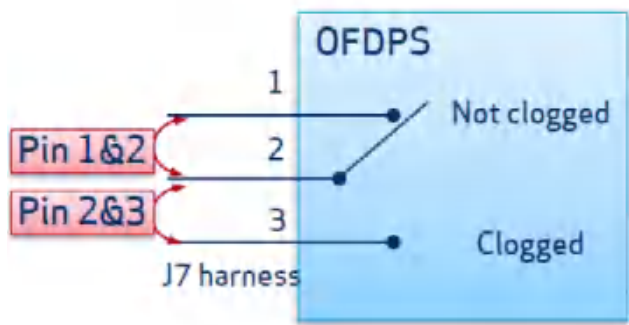




PIN 2-1 接通, 电门正常位



PIN 2-3 接通, 电门堵塞位



(2) 失效分析:

在非旁通情况下, 分叉板 2 与 1 触点是否压实, 决定了电门的状态好坏。

- a. 分叉板 2 与触点 1 和 3 之间的行程非常小, 微小变动可带来电门位置的变化。
- b. 电门制造过程中产生的杂质污染或者接触不良, 会导致电门位置的变化。
- c. 分叉板 2 长期处于形变受压的状态, 老化和性能衰退。
- d. 永磁铁磁性减弱有可能导致电门状态变化。

五. 厂家措施

1、CFM 发布服务通告 CFM56-7B S/B 79-0037, 将永磁铁磁性增强, 电门件号从 QA07656ISS1 升级到 QA07656ISS2, 但是 CFM 数据显示可靠性没有提升, 国内航司反应 ISS2 电门故障情况依旧, 并无有效改善。

- 2、CFM 认为 OFDPS 导致空停的数量和概率极低, 没有必要对电门进行分析和改进提升。
- 3、CFM 不建议航司采取主动更换措施。

六. 航司措施

- 1、暂无航司采取主动执行 SB 的措施。
- 2、暂无航司采取主动软时限更换的措施。
- 3、部分航司航后在 MCDU 上读取该电门位置, 如不正常则主动更换电门。

七. 结论和建议

7B 发动机 OFDPS 虚假警告的主要原因在于 OEM 将此工业级别大批量生产的微动电门使用在发动机滑油关键系统上, 之前计划改进设计后不明原因取消对零空停工作非常不利。

- 1、要求 OEM 对电门重新设计提升。
- 2、建议 OEM 在关键系统上避免使用此种工业化设计、大批量生产的微动电门。
- 3、讨论制定统一的管控措施。

标题:	关于 CFM56-7B 发动机起动机相关问题的分析报告
------------	------------------------------------

一. 问题概述

CFM56-7B 发动机起动机的滑油系统,通过 AGB 安装座上的滑油孔与发动机的滑油系统相通。当发动机在运行过程中起动机内部发生严重损伤或起动机紧固件断裂,起动机滑油渗漏会引起发动机滑油渗漏,最终导致发动机空中停车。

二. 已发生事件汇总

2022 年 737NG 世界机队共发生三起起动机相关的空停事件:其中一起原因是起动机卡箍断裂(未改装),其余两起的根本原因还在调查中。

另 2021 年-2022 年期间,国内 737NG 机队发生多起起动机原因导致的发动机空中滑油渗漏或地面滑油渗漏。

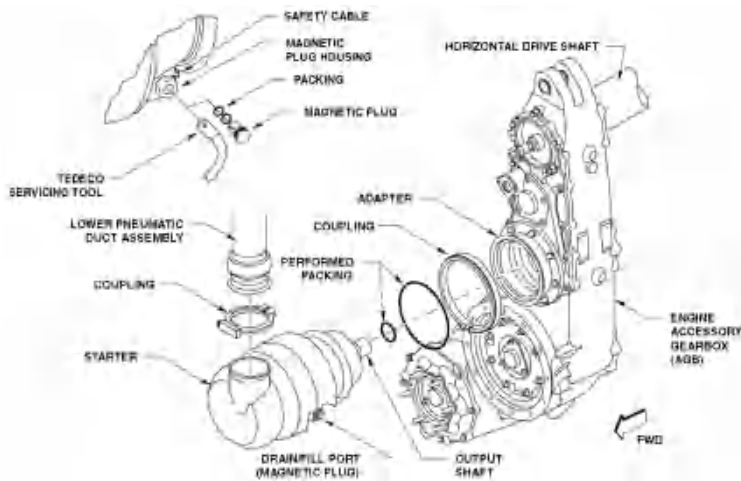
三. 可靠性数据

2018 年-2022 年期间,CFM56-7B 世界机队范围内共有 12 次起动机原因导致的发动机空中停车事件,其中国内机队 1 起。

四. 工程分析

1、系统原理

起动机为发动机起动或冷转程序转动发动机,起动机将引气压力变为机械能。起动机输出轴转动 AGB,AGB 通过轴和齿轮转动发动机 N2 转子。

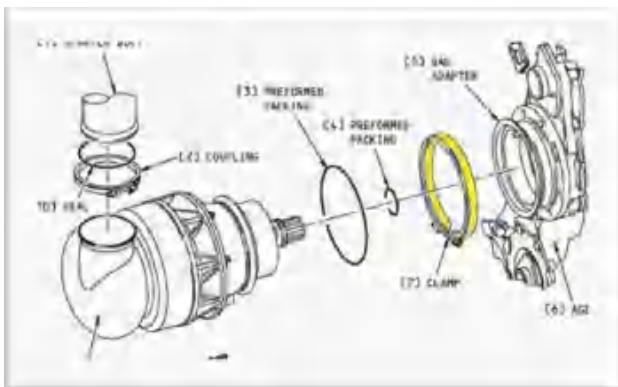


2、故障原因分析

(1) 原因一:起动机 V 型卡箍断裂

起动机 V 型卡箍连接起动机和齿轮箱快速安装环,旧型卡箍是焊接的,可能因高循环疲

劳或安装时的过大力矩导致焊接处裂纹而断裂，卡箍失效导致发动机滑油从起动机处漏出。

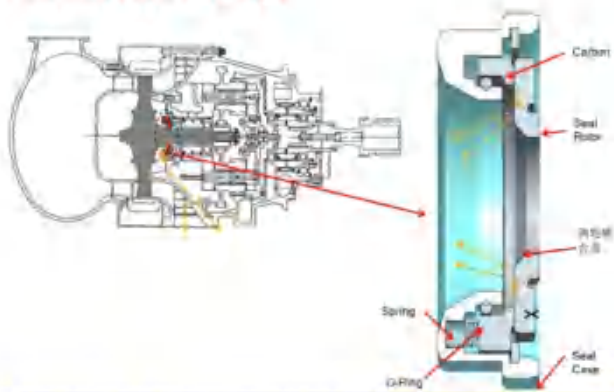


(2) 原因二：起动机壳体 (housing) 螺栓全部或大部分断裂，导致发动机滑油从起动机处漏出。



(3) 原因三：起动机内部发生严重损伤或其他因素导致碳封严重损坏，发动机滑油从起动机处漏出。

Turbine Seal Leakage



During a start, Oil leaks across seal and into ATS exhaust stream



五. 厂家措施

1、CFM 已发布服务通告 CFM56-7B S/B 80-0016，介绍新的起动机卡箍，改进可靠性和维护性。新型卡箍取消了焊接点，采用整体铸造而成，可以提高安装时力矩过载和焊点高周疲劳裂纹的安全裕度。

2、CFM 已发布服务通告 CFM56-7B S/B 80-0018，新的壳体螺栓提高了材料强度和疲劳性能，以降低运行中螺栓失效的风险。

六. 航司措施

- 1、执行起动机卡箍改装 CFM56-7B S/B 80-0016。
- 2、结合起动机送修执行壳体螺栓改装 CFM56-7B S/B 80-0018。

七. 结论和建议

- 1、建议 CFM 定期分享起动机径向轴承改装服务通告的研发进度。
- 2、建议 Honeywell 向航司提供起动机涡轮叶片孔探检查的损伤标准。
- 3、建议航司定期检查起动机涡轮叶片前、后缘、壳体螺栓状况及漏油迹象。
- 4、建议航司评估起动机相关维修方案项目的执行间隔。

标题:	关于 CFM56-7B 发动机燃油滤脱胶的分析报告
------------	----------------------------------

一. 问题概述

发动机燃油滤的滤芯生产过程中误形成的点胶脱落, 堵塞 HMU 内 FMV 出口窗导致发动机空中或地面停车。

二. 已发生事件汇总

1、发动机燃油滤的滤芯生产过程中误形成的点胶脱落, 已导致 CFM56-7B 发动机机队发生一起空中停车、两起地面停车事件, 其中两起事件如下:

事件日期	事件概述
2020-11-07	<p>飞机进近收油门时, 左发 N1、N2、EGT 不随油门指令变化, 随后出现 ENG 1 FAIL 信息, 机组人工关闭左发。</p> <p>送修 HMU, 分解发现 HMU 内的 FMV 出口窗处存在外来物 (图 1), 在 HMU 内其他位置也发现有外来物, 如 HPSOV 底座上。</p> <p style="text-align: center;">HMU PN 1853M56P16 TSN/CSN 6565FH/3232FC</p>
2022-05-19	<p>飞机落地脱离跑道后, 出现 ENG 1 FAIL 信息, N1 下降, 左发动机自动关车。</p> <p>送修 HMU, 分解发现 HMU 内的 FMV 出口窗处存在外来物 (图 2), 在 HMU 内其他位置也发现有外来物, 如 HPSOV 底座上。</p> <p style="text-align: center;">HMU PN 1853M56P16 TSN/CSN 20392FH/10150FC</p>



图 1、HMU 内的 FMV 出口窗处存在外来物

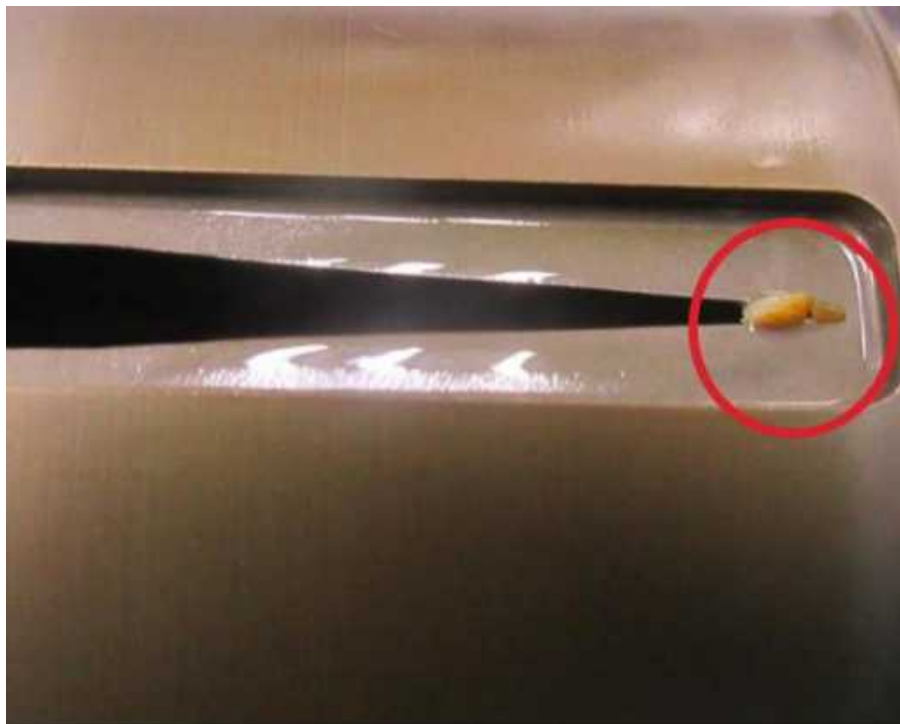


图 2、HMU 内的 FMV 出口窗处存在外来物

三. 可靠性数据

根据 CFM 的调查，发生上述事件的 HMU 内的外来物，来自于件号为 CA01962B 的发动机

燃油滤芯生产过程中残留的点胶脱落。

目前暂无数据证明点胶脱落与燃油滤的装机时间有关联。

四. 工程分析

由于 HMU 内的 FMV 出口窗处存在外来物，导致在慢车状态下（或油门角度小的情况下）燃油流量供应不足，N2 转速降低至稳定转速以下，出现 ENG FAIL 警告信息，发动机自动关车或机组按 FCOM 指令关车，见图 4。

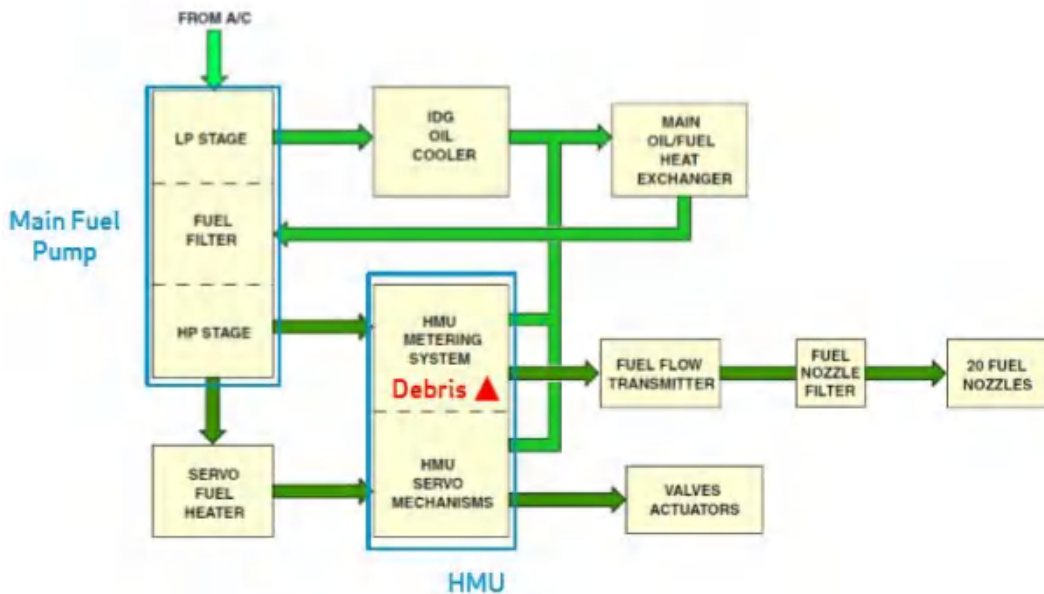


图 3 CFM56-7B 发动机燃油系统原理图

CFM 对燃油滤的设计、生产和运输展开了深入调查，最终确定 HMU 内 FMV 窗口或其他位置的堵塞物来源于燃油滤中的粘合胶。在粘结油滤滤芯和盖板（见图 4）时，若未恰当处置，从注胶设备中单独滴落在端盖上的点状（droplet）粘合胶，有可能在燃油滤装机后脱落，随燃油流动，进入 HMU，导致 HMU 内的 FMV 窗口或其他地方出现堵塞，进而诱发 HMU 供油不足，引起发动机关车。



图 4、燃油滤及密封胶

CFM 调查发现，产生燃油滤芯盖上的点状（droplet）粘合胶的情况，可能是因为部分生产线人员能力不足，同时对检查标准不熟悉以及检查不到位（见图 5），无法分辨溢出（overflow）和点状（droplet）的区别，从而判断为 overflow 而未做清洁。



图 5、油滤芯盖上的溢出（overflow）和点状（droplet）

五. 厂家措施

- 1、在 2021 年 3 月以后，厂家改进了燃油滤的生产工艺和检查标准。

六. 航司措施

- 1、发布技术通告，禁止安装、采购生产日期在 2021 年 3 月（含）之前的件号为 CA01962B 的燃油滤。
- 2、发布 E0，更换已装机的受影响批次的燃油滤。

七. 结论和建议

- 1、建议禁止安装、采购生产日期在 2021 年 3 月（含）之前的件号为 CA01962B 的燃油滤。
- 2、尽快更换已装机的受影响批次的燃油滤。

标题： 关于 LEAP-1B 发动机 B 收油池滑油泄漏相关问题的分析报告

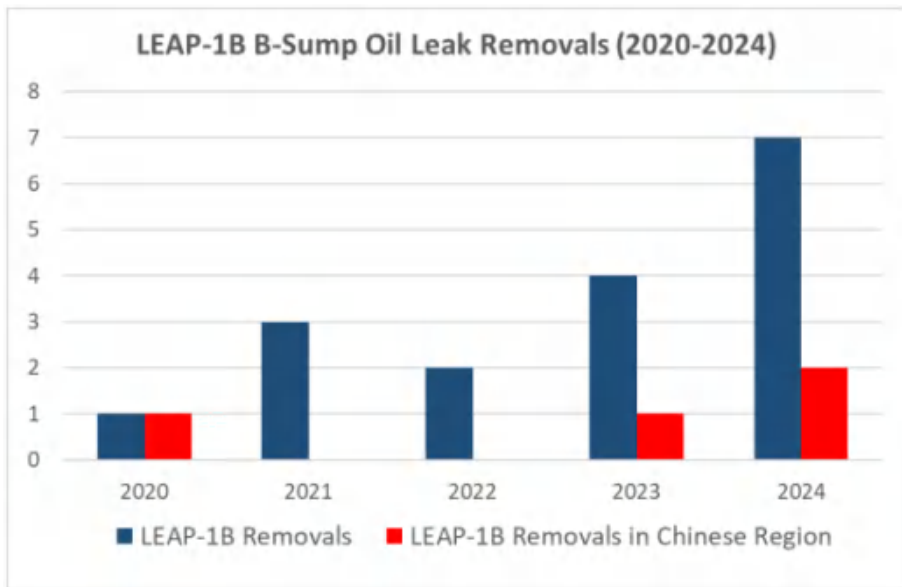
一. 问题概述

LEAP-1B 发动机随着使用时间增加收油池密封圈及碳封严老化，发动机运行时滑油从余油口泄漏。该滑油泄漏会导致滑耗上升，严重时导致低滑油量告警，影响飞行安全；为管控该漏油问题，厂家要求每 150 循环进行高功率试车，对运行造成较大负担；该问题仅能通过发动机返厂修理纠正，会产生非计划换发，干扰航司正常运行。

二. 已发生事件汇总

暂无。

三. 可靠性数据



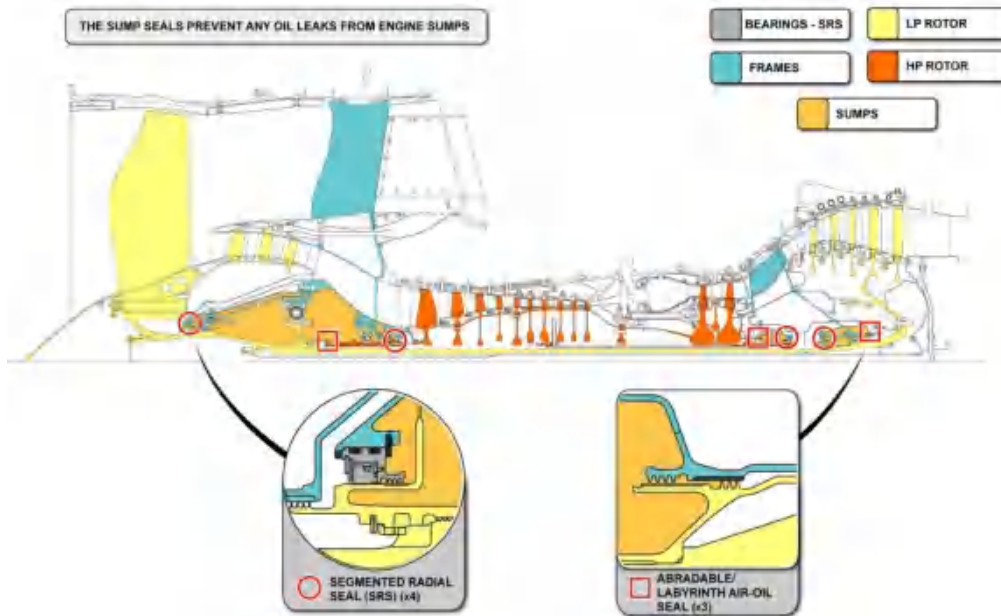
拆下 ESN	下发年份	TSN	CSN	航司	滑油品类	在翼管控	发动机机队 (台)
602XXX	2023	1490	808	A 航	2197	1 台	48+
602XXX	2024	6269	2936	B 航	MJ2	5 台	50+
602XXX	2024	4687	2274				
N/A				C 航	MJ2	6 台	64+
N/A				D 航	MJ2	4 台	40+
N/A				E 航	MJ2	2 台	24+
N/A				F 航	MJ2	0 台	36+

由于 MAX 停飞原因，目前国内 LEAP-1B 机队循环数相对较低，仅 4 台因 B SUMP 漏油导致发动机拆下返厂。参考世界机队数据，LEAP-1B 运行平均 3500 循环后 B 收油池滑油渗漏达到手册要求换发水平。随着 LEAP-1B 发动机运行时间不断增加，B SUMP 漏油导致的 UER 数量呈逐步上升趋势，2024 年非计划换发数量达到顶峰。

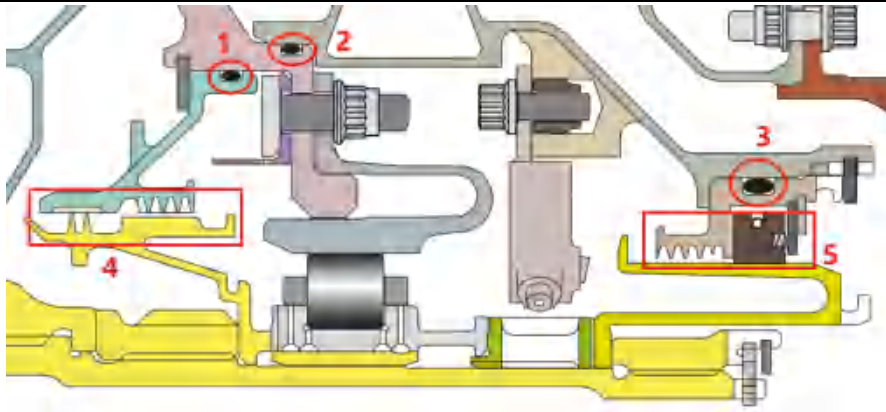
四. 工程分析

1、系统原理

LEAP-1B 发动机有 A、B、C 三个收油池，设计用于防止滑油泄漏，其中 B 收油池确保润滑 4 号轴承的滑油不泄露。其采用不通气的干收油池设计，前段采用篦齿封严密封，后段使用碳封严密封（见图一）。整个 B 收油池由 3 个封严密封圈（见图二 1、2、3 位置）与 2 道动封严实现密封（见图二 4、5 位置）。其中动封严部分通过增压器出口引气与内部滑油泵的抽吸的负压形成的压差来保障的密封效果。这种设计的收油池封严形式使滑油消耗率相比 CFM 系列的通气式双篦齿封严降低了 50%。



图一 LEAP-1B 收油池设计



图二 LEAP-1B 收油池密封形式

滑油突破收油池的密封后会被收油池的外部结构收集形成余油，最后从余油口排出。发动机慢车时由于增压器出口压力低，滑油更容易发生滑油泄漏，随着发动机功率上升，增压器出口压力提高，滑油渗漏现象会停止。

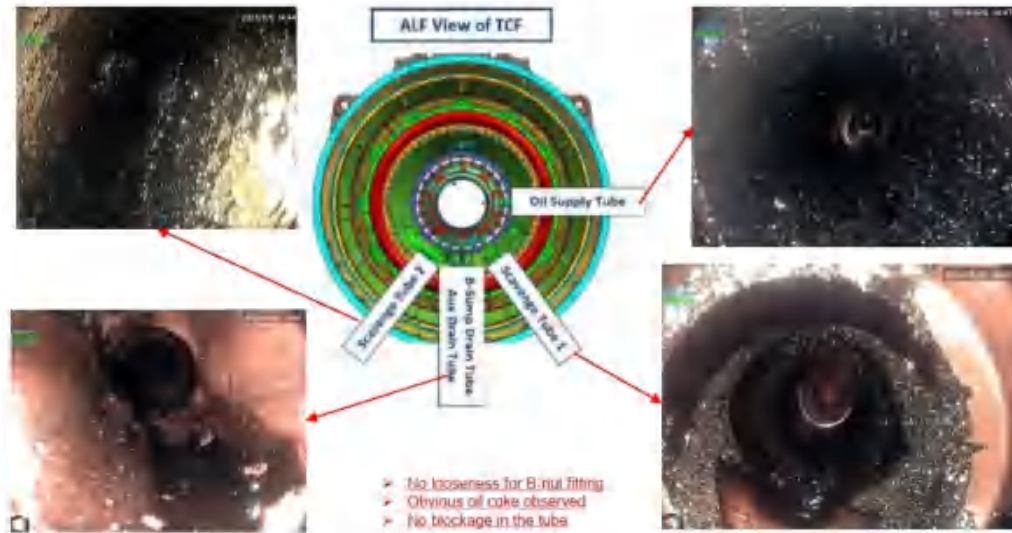
2、故障原因分析

3 个收油池中 B 收油池位于最靠近高温区域，高温会导致密封圈材料老化失去弹性降低密封效果；同时高温也会导致收油池内的滑油发粘、结焦，加速碳封严磨损，导致滑油从碳封严处渗漏。存在缺陷的发动机在慢车时会从 B 收油池的余油口有滑油滴落，趋势监控能发现发动机滑油消耗上升。

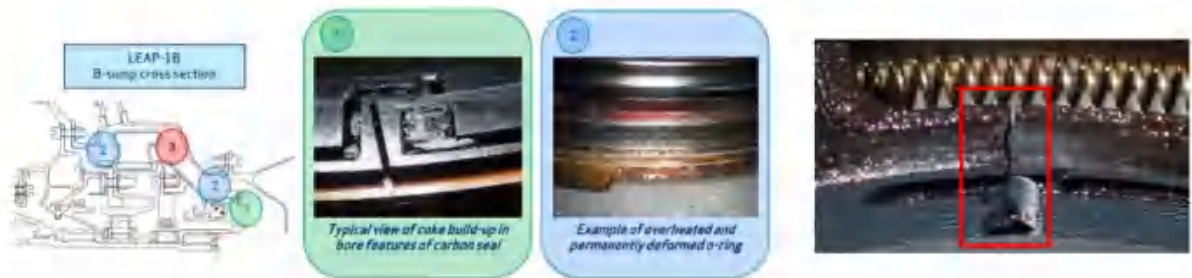
车间分解的发动机观察发现收油池下游部分结焦明显，封圈有融化失去弹性迹象，碳封严的密封面发现裂纹，篦齿封严处未发现明显损伤。实际使用数据表明，该损伤造成的漏油表现在滑油消耗上是渐变的，目前无因此原因造成的滑耗突变和安全事件记录。

鉴于该问题频发及厂家数据积累，修订了 AMM 标准，规定 B+C+AUX SUMP 总渗漏率大于 27 滴/分（80 毫升/小时），且小于 180 滴/分（540 毫升/小时）时，发动机仍视为可用，但需要每 150 循环进行高功率试车确认，这一要求给维修带来了较大负担。

造成密封件性能退化的根本原因是 B 收油池的高温环境造成了滑油积碳。4 号轴承碳封严上的积碳影响了其回弹性能，从而降低了其密封性。厂家反馈这种密封性能需要密切且频繁地监控（通过慢车和高功率运行测试），因为滑耗与密封件状态之间没有直接的关联。同时，也需要频繁监控排油管道中的焦化演变情况，以确保不会出现堵塞。故此当前能够允许的最大重复检查间隔为 150 循环。



图三 LEAP-1B 发动机收油槽滑油管内部积碳情况



图四 LEAP-1B 收油池 B 失去弹性的封圈与碳封开裂纹



图五 LEAP-1B 收油池 B 区域积碳与油迹

五. 厂家措施
<ul style="list-style-type: none">1、放宽 AMM 标准，减少因 B 收油池漏滑油造成非计划换发。2、改进碳封严与封圈设计，计划 25 年 1 季度完成。
六. 航司措施
<ul style="list-style-type: none">1、滑油耗量趋势监控。2、每 150 循环进行高功率试车确认渗漏在手册标准内，检查清理积碳。3、单独管控对滑耗偏高的发动机，确保长航段滑油量足够。
七. 结论和建议
<ul style="list-style-type: none">1、建议局方推动厂家尽快改善设计方案，在 SB 发布后帮助航司尽快完成升级。2、建议局方推动厂家进一步放宽重复检查要求，减轻航司频繁高功率试车负担。

标题： 关于 LEAP-1B 发动机 OPT 虚假指示问题的分析报告

一. 问题概述

滑油压力温度传感器 (OPT Sensor) 因生产存在焊接与接线工艺偏差问题, 可能导致间歇性开路或绝缘电阻故障, 致使传输信号发生波动。当两通道滑油压力不一致时, EEC 会自动采集保守值当作真实值显示在驾驶舱, 造成低滑油压力灯亮, 进而存在引发空停事件的风险。

二. 已发生事件汇总

2024 年, LEAP-1B 世界机队共发生 3 起因 OPT 虚假指示故障导致的空停事件, 具体信息如下:

日期	发动机件号	ETSN	ECSN	主要警告和故障信息
2024-04-25	LEAP-1B27	3779	1341	LOW OIL PRESSURE ALARM
2024-04-28	LEAP-1B27	4616	1543	1. OIL PRESS INDICATION AMBER 2. OIL PRESS INDICATION RED 3. 79-41833 ENG OIL PRESSURE SENSOR IS OUT OF RANGE, ENGINE 2-CHANNEL-A 4. 79-41824 ENG OIL PRESSURE SENSOR CHANNEL-A AND B SIGNALS DO NOT AGREE
2024-07-11	LEAP-1B27	10370	3628	1. OIL PRESS INDICATION AMBER 2. OIL PRESS INDICATION RED 3. 79-41831 ENGINE OIL PRESSURE SENSOR IS OUT OF RANGE, ENGINE-1 CHANNEL-A 4. 79-41800 ENGINE OIL PRESSURE IS BELOW THE AMBER LIMIT, ENGINE 1-CHANNEL-A&B 5. 79-41810 ENGINE OIL PRESSURE IS BELOW THE REDLINE LIMIT, ENGINE 1-CHANNEL-A&B

以上空停事件中, 均触发了低滑油压力灯亮, 其中事件 2 和 3 触发了单通道的滑油压力超限信息, 事件详情如下:

事件 2: 2024 年 4 月 28 日, 一架 B737MAX 飞机在爬升阶段, 机组反映右发低滑油压力灯亮, 滑油压力指示 10PSI, 约 5-6 秒后恢复正常, 期间发动机其他参数正常, 继续执行航班。巡航阶段机组再次观察到右发低滑油压力灯亮, 同时滑油压力波动, 关闭右发, 飞机备

降。落地后检查发动机无渗漏，OPT 外观正常，插头安装正常，EEC 处插头安装正常，检查导线束正常，滑油箱油量显示正常。按 TSM 测量 OPT A 通道插钉间阻值超标，判断 OPT 内部有断路故障。更换新 OPT 后，试车正常。

事件 3：2024 年 7 月 11 日，一架 B737MAX 巡航时，机组发现有左发滑油压力传感器状态信息，并伴随琥珀色和红色低滑油压力指示警告。机组指令关车左发，成功备降。落地后检查磁堵滤网正常，发动机无外漏，滑油箱油量正常。有 79-41831/7941800/ 79-41810 故障历史，分别指向左发 EEC A 通道滑油压力超限、左发 EEC 双通道滑油压力低于琥珀色限制、左发 EEC 双通道滑油压力低于红线值。更换新 OPT 后，试车正常。

三. 可靠性数据

1. 2024 年，LEAP-1B 世界机队发生 5 起滑油压力波动或低滑油压力指示问题导致的重大事件，均为其中 3 起空停。

2. 5 起事件 OPT 均为旧构型（件号：PT9902-261-40077），使用时间从 100FH 至 12000FH 不等。

四. 工程分析

1、系统原理

滑油压力温度传感器(OPT Sensor) 通过法兰安装在附件齿轮箱(AGB)正面，油压传感器部分是一个应变片式压力传感器。传感器测量供油泵和 AGB 内部压力之间的压差。电压信号输出发送到相关的 EEC 通道。EEC 将信号转换为 ARINC 429 信号并发送至显示处理计算机(DPC)，DPC 将滑油压力(EOP)显示在发动机指示显示器上。

滑油压力温度传感器每个压力测量元件通过一个单独的连接器与一个 EEC 通道连接。EEC 两通道之间存在跨信道数据链路(CCDL)，通过 CCDL 从外部交换数据。

根据厂家描述：“当两通道滑油压力不一致时，EEC 会自动采集保守值当作真实值显示在驾驶舱。”

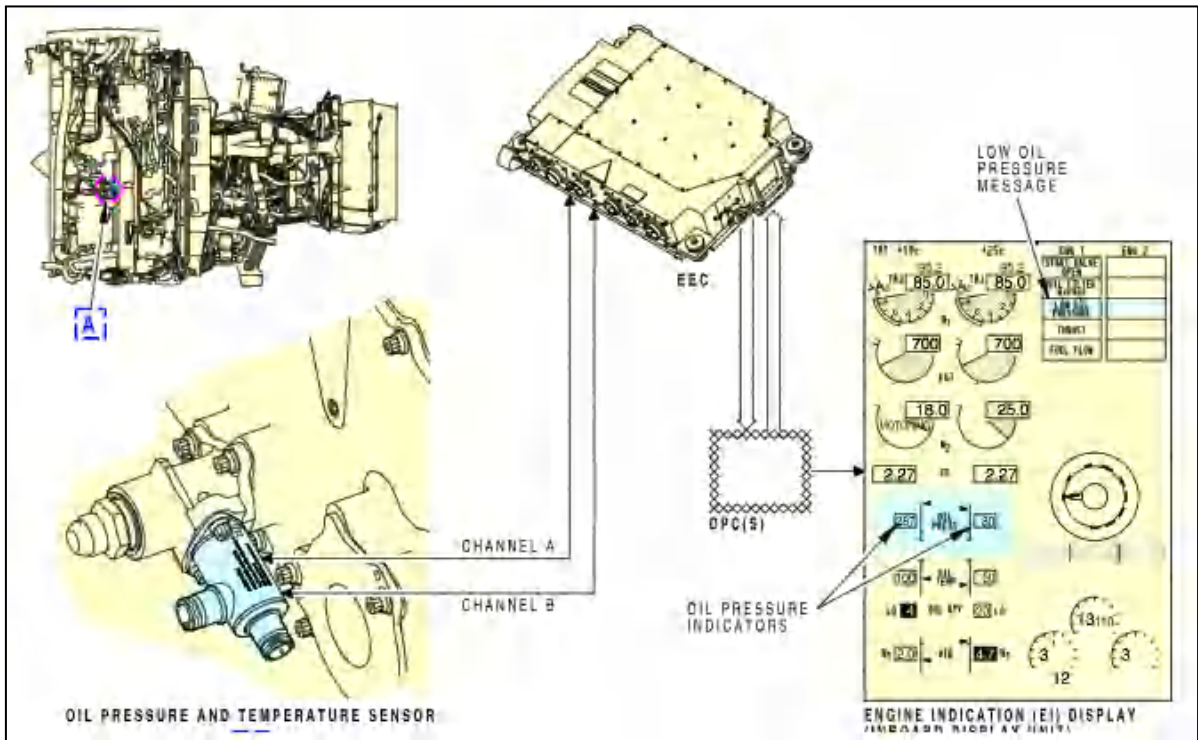


图 1、LEAP-1B OPT 及指示系统

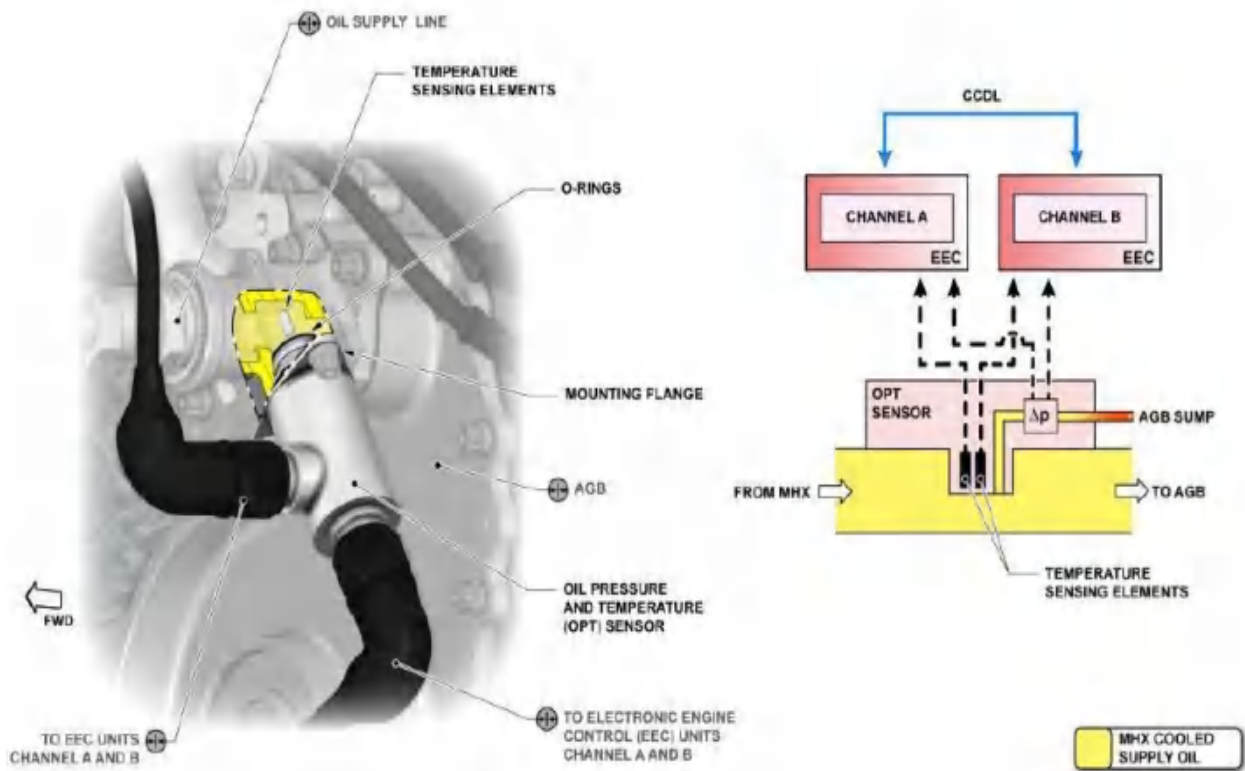


图 2、LEAP-1B OPT 系统工作原理

2、故障原因分析

根据厂家的调查，2019年12月之前生产的OPT，由于焊接与接线工艺偏差问题，在OPT内部电路板处的导线焊接不够牢固。在发动机运行产生的疲劳应力下，可能发生导线虚焊或断连情况，最终导致间歇性开路或绝缘电阻故障，输出一个快速抖动的虚假指示值，如图6。

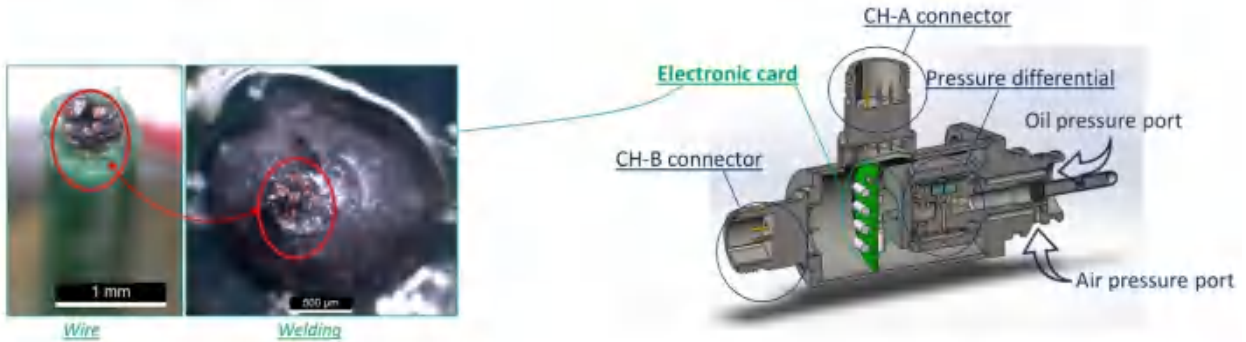
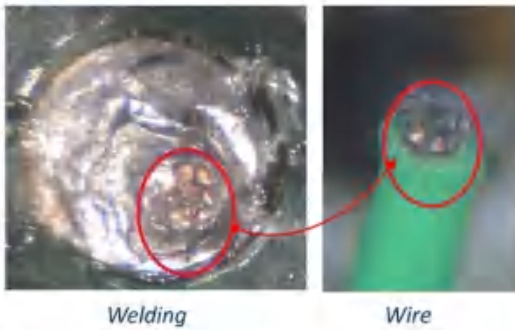


图3、旧构型OPT内部电路板焊接工艺偏差导致导线断连

2019 findings:



2024 findings:

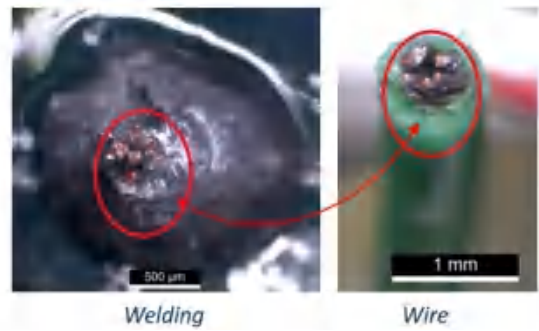


图4、2019年厂家发现与2024年失效情况类似

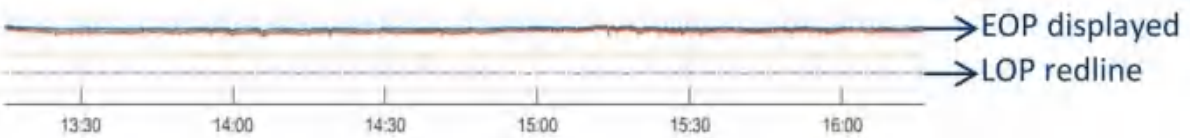


图5、正常情况下的EOP与LOP

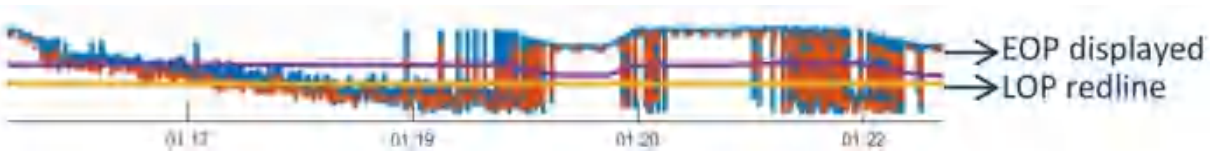


图6、虚假指示的EOP与LOP

根据LEAP-1B当前版本EEC判断逻辑：如果A/B通道的滑油压力值不一致，且双通道值均在有效范围内，将采取其中较低值。若输出的虚假滑油压力值低于低滑油压力琥珀色值或红线值，会触发驾驶舱低滑油压力警告。事发的几次空停，均为此种情况

综上所述，因旧构型的 OPT 存在制造工艺偏差，导致内部线路虚焊、断连，是 OPT 虚假指示故障导致空停的主要原因。LEAP-1B 现行的 EEC 软件逻辑，无法有效识别 EEC 单通道故障、输出虚假指示信号，是此类事件的次要原因。此外，737MAX 的 QRH 中，对于低滑油压力情况，没有判断是否为指示故障的步骤，直接要求关车，也滑油压力虚假指示导致空停的因素之一。

五. 厂家措施

- 1、2019 年，厂家在发现旧构型 OPT(件号：PT9902-261-40077)的制造工艺偏差，之后已改善了导线焊接工艺，但未更新部件件号；
- 2、2022 年，厂家发布 SB79-0014，推出了新构型的 OPT(件号：PT9902-261-40100)，提高了 OPT 温度感应组件的可靠性，新件号已使用改进后的生产工艺。
- 3、新版本 EEC 软件 V8.1，将改善对滑油压力采样值的判断逻辑，如发现双通道不一致且可能存在虚假值时，会输出较高值。

六. 航司措施

- 1、排查 LEAP-1B 机队中旧构型 OPT 生产批次与使用情况，视需提前更换为新构型（视情安排）。
- 2、增加对 LEAP-1B 滑油压力故障代码的监控（视情安排）。
- 3、增加对 OPT 选择状态值 SST 的监控（视情安排）。

七. 结论和建议

- 1、LEAP-1B 发动机的滑油压力传感器 OPT 存在生产制造工艺偏差与 EEC 判断逻辑不足等软硬件两方面缺陷。建议局方收集并分享各航司对 OPT 的管控经验；
- 2、建议局方督促厂家尽早发布新版 EEC 软件，优化虚假滑油压力值的判断逻辑；
- 3、建议局方更多的推动空地交流活动，加强飞行人员对 737MAX 发动机低滑油压力指示故障的熟悉程度，促进优化机组判断流程，强化此类情景下的空地交流意识。

标题:	关于 737MAX LEAP-1B 液力泵失效导致 IFSD 的技术分析报告
------------	---

一. 问题概述

波音 737MAX 飞机（装载 CFM LEAP-1B 发动机）的 EDP 液力泵因存在可靠性差的问题，在世界多次发生 EDP 液力泵过热失效，液力油进入滑油系统，导致滑油滤旁通灯亮，机组执行检查单后关停发动机的空停事件。

二. 已发生事件汇总

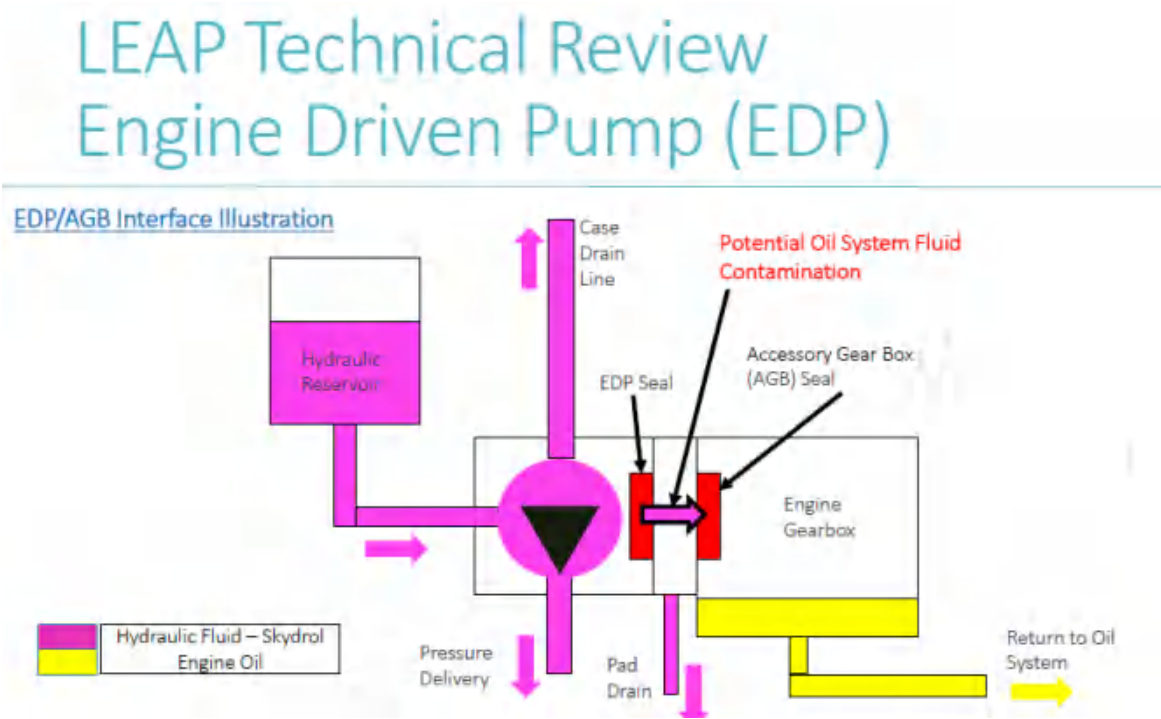
2021 年至今，LEAP-1B 世界机队发生多起 EDP 原因导致的空停（及 EDP 同样故障未引发 CNR 或者地面停车）。
 飞机巡航阶段机组看到液力油低压灯亮，接着滑油滤旁通灯亮，机组执行检查单后关停发动机。地面检查发现液力油进入滑油系统。

三. 可靠性数据

国内机队未发生该问题。

四. 工程分析

故障原因分析
 液力泵与齿轮箱间有 2 道封严。当液力泵过热导致封严失效后，余油口不足以排掉大量涌出的液力油，高压液力油顶开位于齿轮箱一侧的封严，流入齿轮箱中。



厂家分析认为是由于液力泵过热导致封严失效。液力泵过热的根本原因还在调查中。

五. 厂家措施
厂家计划推出改装增大 EDP 余油管径，以及时排放渗漏的液压油。
六. 航司措施
<ol style="list-style-type: none">1. 此事件涉及 EATON 厂家 EDP P/N 849589，核查机队的装机情况。2. 禁装 EATON 厂家 EDP P/N 849589。
七. 结论和建议
<ol style="list-style-type: none">1、建议运营 737MAX 的航司继续关注波音及 EATON 调查进展及改进措施。

标题:	关于 LEAP 系列发动机减载装置技术分析报告
一. 问题概述	
<p>LEAP 系列发动机引入了减载装置 (LRD) 设计, 其工作原理是当风扇叶片飞出或受损严重时, 风扇转子产生的动不平衡载荷会导致 1/2 号轴承支撑结构上的 LRD 装置 (安全螺栓及安全销) 脱开, 即触发 LRD 功能。此时前轴承支撑结构间将松动出现缝隙, 而风扇转子将自寻新的旋转中心。偏心转子上的风扇叶片将与机匣上的防磨带或填充物相磨来减速, 从而减少传递给上述支撑结构的载荷, 避免进一步损伤发动机及吊挂结构。</p> <p>由于 LRD 装置为纯机械部件, 当 LRD 功能触发时无专门指向 LRD 的驾驶舱效应或故障信息, 但此时发动机 A 油池中油气将通过 LRD 装置产生的缝隙迅速泄漏到内涵气流通道, 进而通过发动机引气系统到达飞机空调系统从而造成大量机舱烟雾。</p>	
二. 已发生事件汇总	
<p>全球 B737MAX 机队在 2023 年发生两起因鸟击导致机舱出现滑油烟雾的事件, 发动机进厂分解调查确认发动机触发了减载装置 (Load Reduction Device) 功能。</p> <p>1) 2023 年 3 月 5 日美西南航空一架 B737MAX 飞机遭受鸟击, 其中一台发动机空停, 经鉴定确认该鸟类为雄性红头美洲鹫 (体重范围: 2.7-4.4 磅/1.2-2.0 公斤), 无法判定是否吞食了多只鸟类。</p> <p>2) 2023 年 12 月 20 日美西南航空一架 B737MAX 飞机遭受鸟击, 其中一台发动机空停, 经鉴定确认击中该发动机的鸟是一只雌性白头海雕 (体重约 14 磅/约 6.4 公斤)。</p>	
三. 可靠性数据	
<p>1、据 CFM 公司统计, 截至 2024 年 10 月份, LEAP-1A/B/C 发动机自投入运营 (EIS) 以来已累计运行超过 5300 万飞行小时, 期间 CFM 公司接到 800 余次鸟击事件报告, 其中 LEAP-1B 机队报告两起触发 LRD 功能事件, LEAP-1A/1C 机队未报告触发 LRD 功能事件。</p>	
四. 工程分析	
<p>1、风扇转子产生的动不平衡载荷会导致 1/2 号轴承支撑结构上的 LRD 部件 (如下图 1 所示安全螺栓及安全销) 脱开, 即触发 LRD 功能。此时 1/2 号轴承支撑结构间将松动出现缝隙, 风扇转子将自寻新的旋转中心, 偏心转子上的风扇叶片将与机匣上的防磨带或填充物相磨来减速, 从而减少传递给上述支撑结构的载荷, 避免进一步损伤发动机及吊挂结构。</p>	

LEAP incorporates two LRD components:

- Fuse bolts on the #1/#2 Bearing support
- Fuse pins on the #2 Bearing pedestal

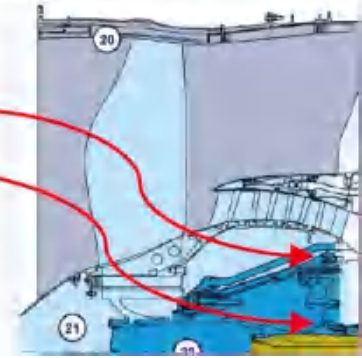


图 1：LRD 部件

2、由于 LRD 装置为纯机械部件，当 LRD 功能触发时无专门指向 LRD 的驾驶舱效应或故障信息，但此时发动机 A 油池中油气将通过 LRD 装置产生的缝隙迅速泄漏到内涵气流通道（如下图 2），进而通过发动机引气系统到达飞机空调系统从而造成大量机舱烟雾。

LRD activation scenario:

- 1 Fan Blade Out (FBO) or significant Fan rotor damage due to severe foreign object ingestion
- 2 Fuse bolts fractured
- 3 Gap between aft flange of #1/#2 Bearing Support and Fan Frame opens
- 4 Oil leak from A-sump in primary flowpath
- 5 Oil ingestion through bleeds
- 6 Engine shutdown

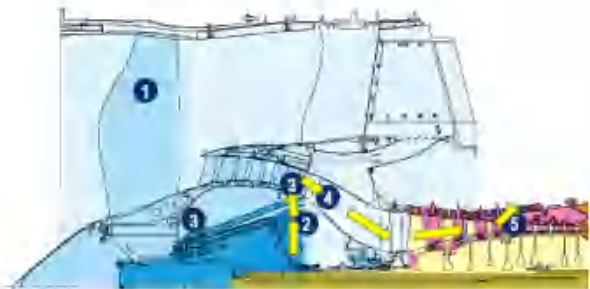


图 2：油气/烟雾流通通道

3、LRD 功能触发后，需要及时关闭对应发动机 PRSOV（如下图 3）以切断引气，防止过量烟雾进入机舱。

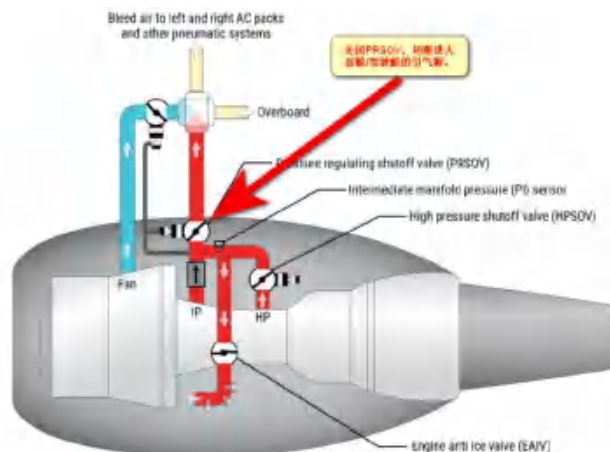


图 3：引气系统示图

五. 厂家措施

1、波音已于 2024 年修订 FCOM 增加减载装置系统原理的说明，修订 QRH 项目 8.2 “发动机火警或发动机严重损坏或脱离”，在说明部分增加“发动机失效，同时驾驶舱或客舱有烟雾或异味”内容（如下图 4）；修订 QRH 项目 8.10 “烟、火或异味”，增加执行项目 8.2 的选项（如下图 5）。

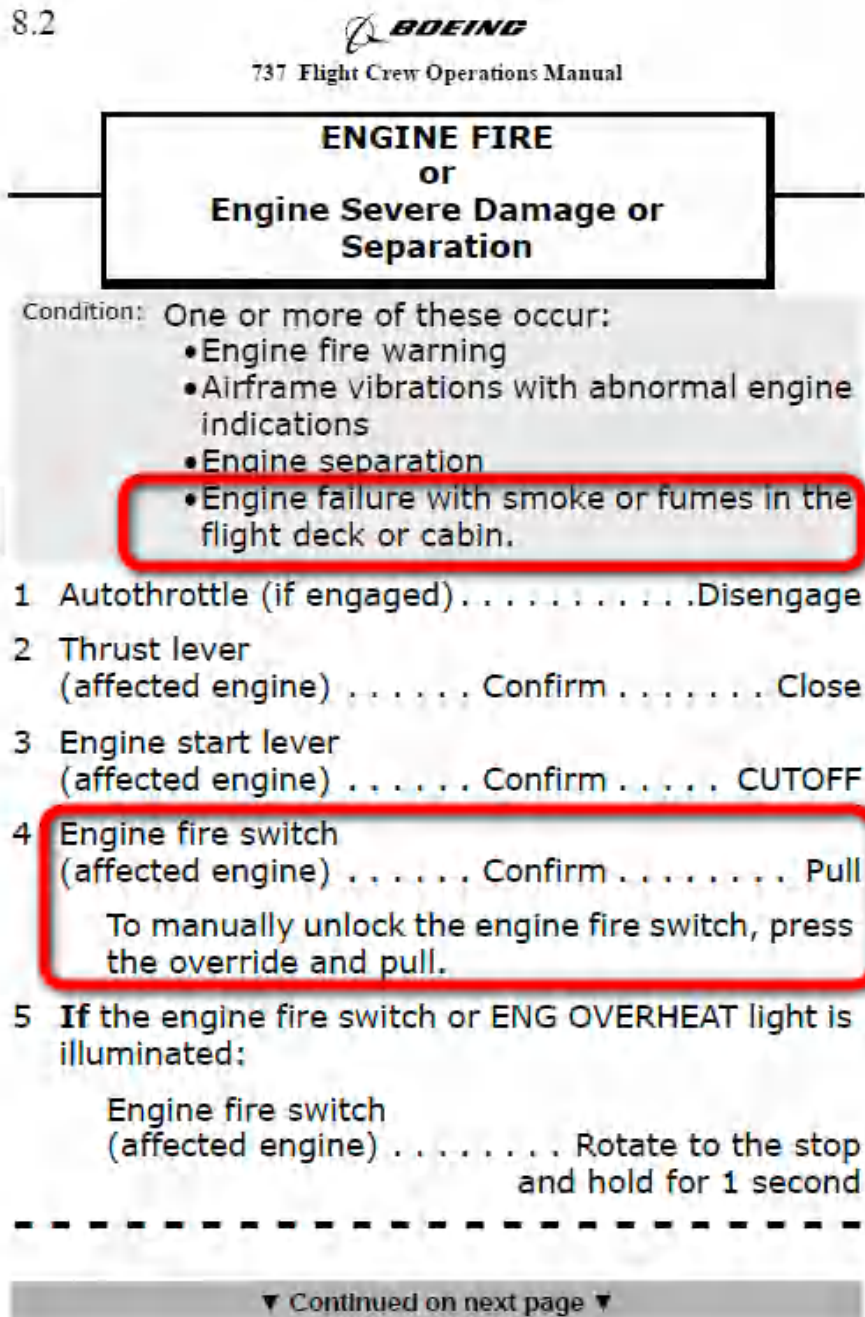


图 4：QRH 项目 8.2

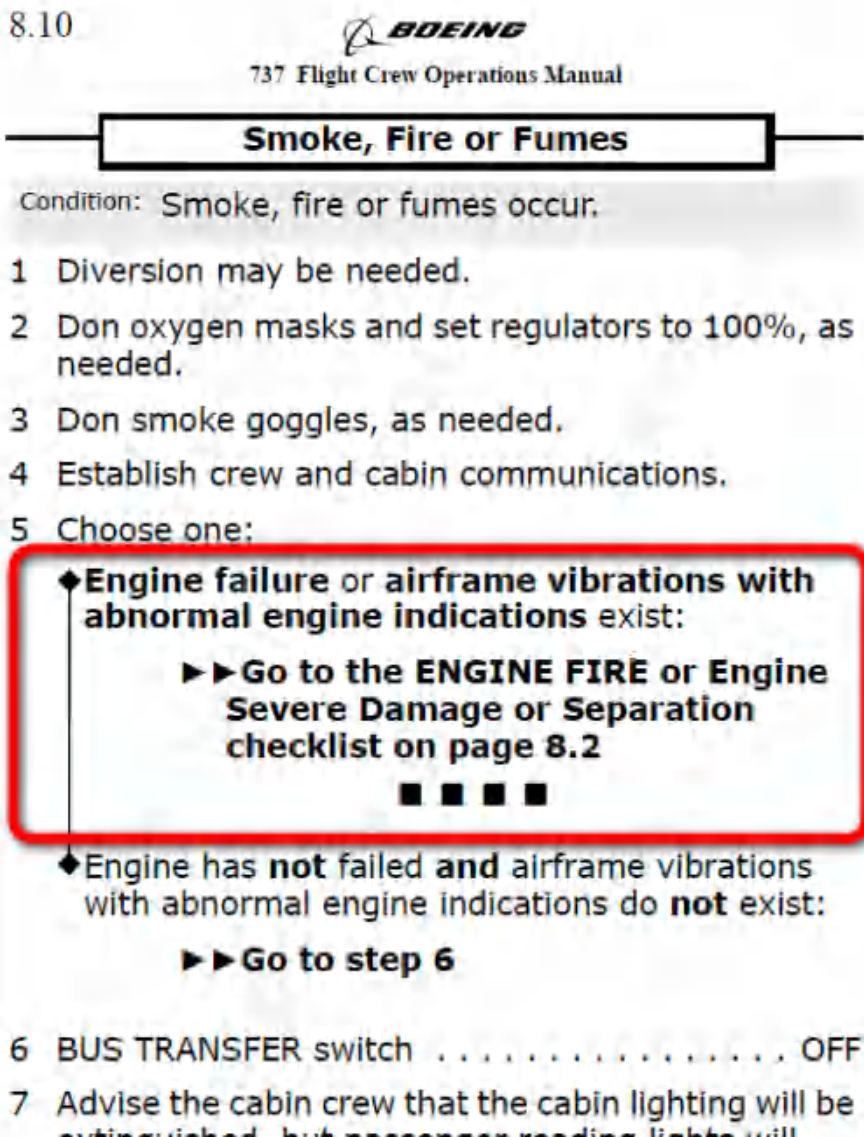


图 5: QRH 项目 8.10

- 2、商飞已于 2025 年 7 月发布运行通告 OB-25-001-R00，提示当座舱出现烟雾且伴随发动机 N1 不可控下降或琥珀色 VIB 图标时，按压发动机火警开关，以确保关闭对应侧发动机 PRSOV。
- 3、CFM 计划升级 EEC 软件，当探测到 LRD 触发时自动关闭对应发动机 PRSOV 以减少进入机舱的烟雾，LEAP-1B 型号 EEC 软件计划 2026 年 1 季度发布，LEAP-1A/1C 型号软件待进一步评估后确定。

六. 航司措施

- 1、更新 B737MAX 机型 FCOM 及 QRH 程序。
- 2、依据运行通告 OB-25-001-R00 更新 C919 机型 FCOM 及 QRH 程序。

3、组织空地交流，提醒机组了解 LEAP 系列发动机 LRD 系统原理及最新操作要求。

七. 结论和建议

发动机厂家为了减轻发动机重量及避免严重 FOD/风扇转子不平衡对发动机结构/吊挂造成损伤设计了减载装置 (LRD)。目前 LEAP 系列发动机 LRD 功能触发时无专门指向 LRD 的驾驶舱效应或故障信息，但触发 LRD 功能可能造成机舱大量烟雾的情况。

建议航司：

1、对于运营 LEAP-1B 及 LEAP-1C 机队的航司：

- 1) 确认已更新 FCOM 及 QRH。
- 2) 组织空地交流，提醒机组了解 LRD 功能及最新操作要求。
- 3) 跟踪 CFM 公司 EEC 软件发布进度，及时完成包含自动探测 LRD 触发并关闭 PRSOV 功能的新版 EEC 软件加载工作。

2、对于运营 LEAP-1A 机队的航司：

- 1) 组织空地交流，向机组介绍 LRD 功能及提醒针对可能出现的机舱烟雾问题做好应急预案。
- 2) 跟踪 CFM 公司 EEC 软件评估情况及发布进度。

建议局方：

- 1、督促空客公司尽快完成装 LEAP-1A 发动机飞机风险评估，并相应修订飞行操作程序。
- 2、督促 CFM 公司尽快发布各型号新版 EEC 软件。

标题:	关于 LEAP 系列发动机主滑油滤端盖相关问题的分析报告
一. 问题概述	
<p>LEAP 系列发动机主滑油滤安装于润滑组件上, 为发动机滑油供油回路过滤杂质, 提供干净的滑油至发动机各轴承腔。当滑油滤螺套脱出导致端盖与油滤壳体之间出现间隙时, 滑油会大量渗漏, 发动机空中触发滑油低压警告, 最终导致发动机空中停车。LEAP-1A/B/C 三款发动机该部件结构类似。</p>	
二. 已发生事件汇总	
<p>世界机队共发生 10 起主滑油滤端盖相关的空停事件, 以下为部分空停案例细节:</p> <p>事件一: 2022 年 03 月 6 日, 国外一架 A320 在起飞阶段, ECAM 出现 “ENG 1 OIL LO PR” 警告信息, 随后 “ENG 1 SHUT DOWN”, 左发滑油量指示为 0。机组决定返航, 顺利落地。飞机落地后打印超差报文显示该发滑油压力低于 12PSI 有 28 秒 (按 AMM 需换发)。地面检查发现风扇包皮内大量油迹, 润滑组件上的主滑油滤盖安装螺套从壳体松脱。</p> <p>事件二: 2022 年 08 月 07 日, 国外一架 A320 起飞后 ECAM 出现 “ENG 2 OIL LO PR” 警告信息, 机组人工关车, 飞机顺利返航。飞机落地后打印超差报文显示该发滑油压力低于 12PSI 有 32 秒 (按 AMM 需换发)。地面检查发现滑油滤端盖附近有油迹, 端盖翘起没有贴近结合面。</p> <p>事件三: 2023 年 01 月 11 日, 国外一架 A320 在起飞爬升阶段右发出现 “ENG 2 OIL LO PR” 警告信息, 滑油量持续降低, 机组人工关车, 飞机顺利返航。飞机落地后打印超差报文显示该发滑油压力低于 12PSI 有 98 秒 (按 AMM 需换发)。地面检查发现滑油滤端盖附近有油迹, 端盖翘起没有贴近结合面。</p>	
三. 可靠性数据	
<p>2022 年-2024 年期间, LEAP 发动机世界机队范围内共有 10 起主滑油滤端盖原因导致的发动机空中停车事件, 其中 LEAP-1B 机队发生 1 起, LEAP-1A 机队发生 9 起 (含国内 2 起)。</p>	
四. 工程分析	
<p>1、系统原理</p> <p>LEAP 发动机主滑油滤是滑油系统供油油滤, 润滑组件的供油增压泵从滑油箱抽出滑油并加压, 进入油滤过滤后流入单向活门。</p>	

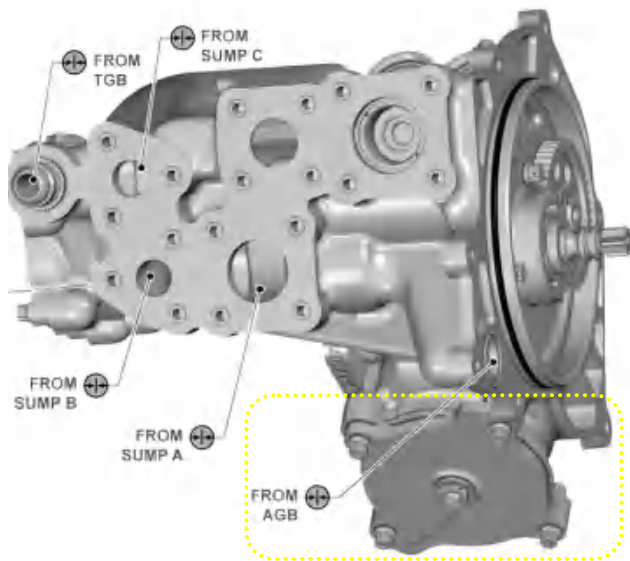


图 1 LEAP 发动机主滑油滤位于润滑组件上

主滑油滤端盖通过四根螺栓固定于润滑组件壳体上，分别有两个通孔使用长螺栓安装及两个盲孔使用短螺栓安装。

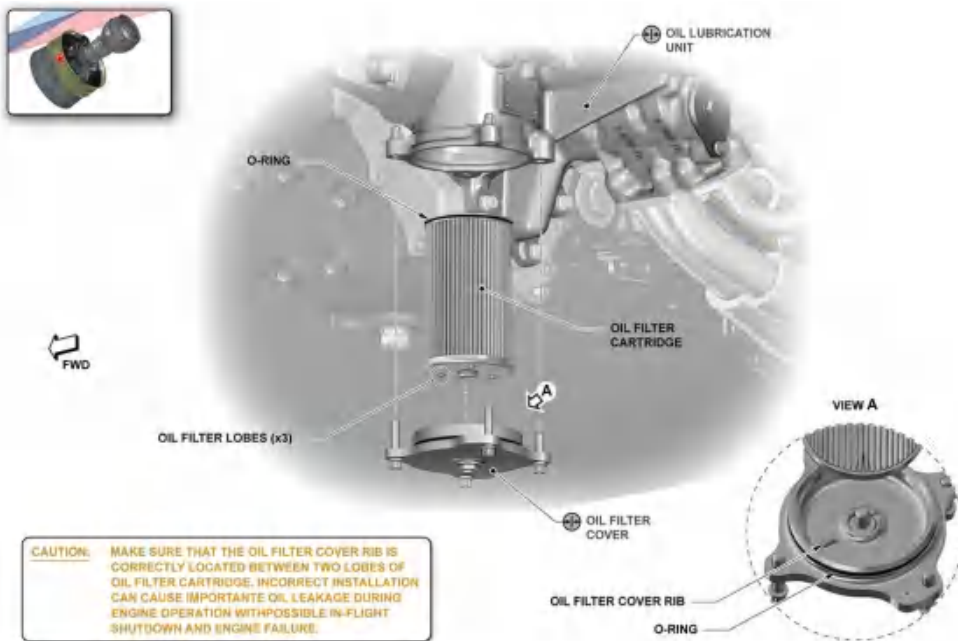


图 2 LEAP 发动机主滑油滤端盖

2、故障原因分析

厂家调查认为主滑油滤端盖的固定螺栓钢丝螺套可能在上一次安装时出现了过力矩情况，导致端盖松脱，进而引发滑油渗漏。



图 3 LEAP 发动机主滑油滤端盖松脱产生间隙

五. 厂家措施

1、厂家 CFMI 更新了拆装主滑油滤的手册（如 LEAP-1A AMM 79-21-05-000/400-803-A），在拆下手册中增加拆下端盖时检查壳体螺套状态的检查要求。

2、厂家 CFMI 后续计划更改滑油滤端盖设计，LEAP-1A 计划于 25 年初颁布 SB，LEAP-1B 计划于 2025 年中发布 SB，LEAP-1C 计划于 25 年底颁布 SB。

六. 航司措施

该工作风险较高，提醒工作者，在拆装主滑油滤时，严格按手册施工，必要时专人专干：

- 1) 确认丝套在位、无松动及卡阻。
- 2) 确认不同长度螺栓的安装位置及力矩正确。
- 3) 滑油滤安装后，检查端盖安装情况，禁止滑油滤端盖与润滑组件之间存在间隙。
- 4) 周期性详细目视检查。
- 5) 保留工作影像记录（视情安排）。

七. 结论和建议

1、推动厂家 CFMI 尽快引进新型滑油滤端盖，避免螺套容易脱出造成漏油。

2、建议厂家 CFMI 提供一定数量的备件，在新构型滑油滤端盖推出后帮助航司尽快完成改装。