

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

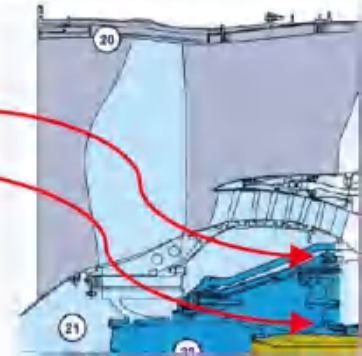


图 1：LRD 部件

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

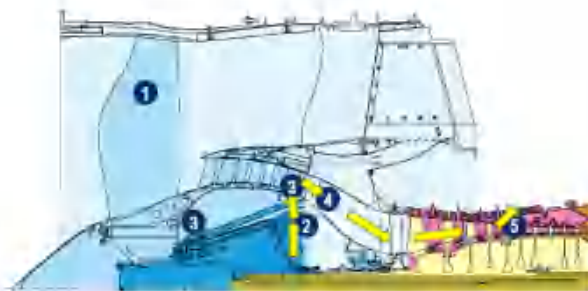


图 2：油气/烟雾流通通道

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。

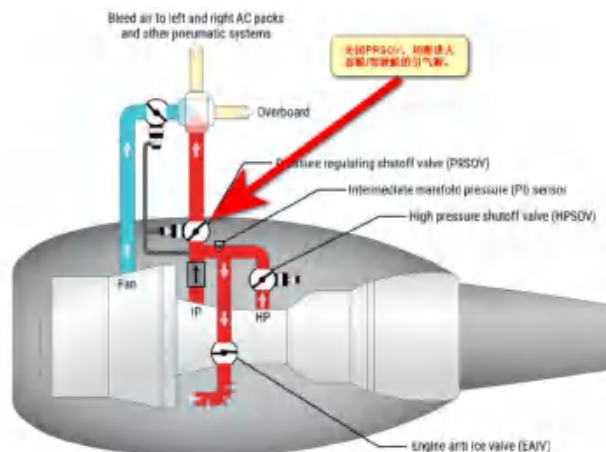


图 3：引气系统示图

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）。

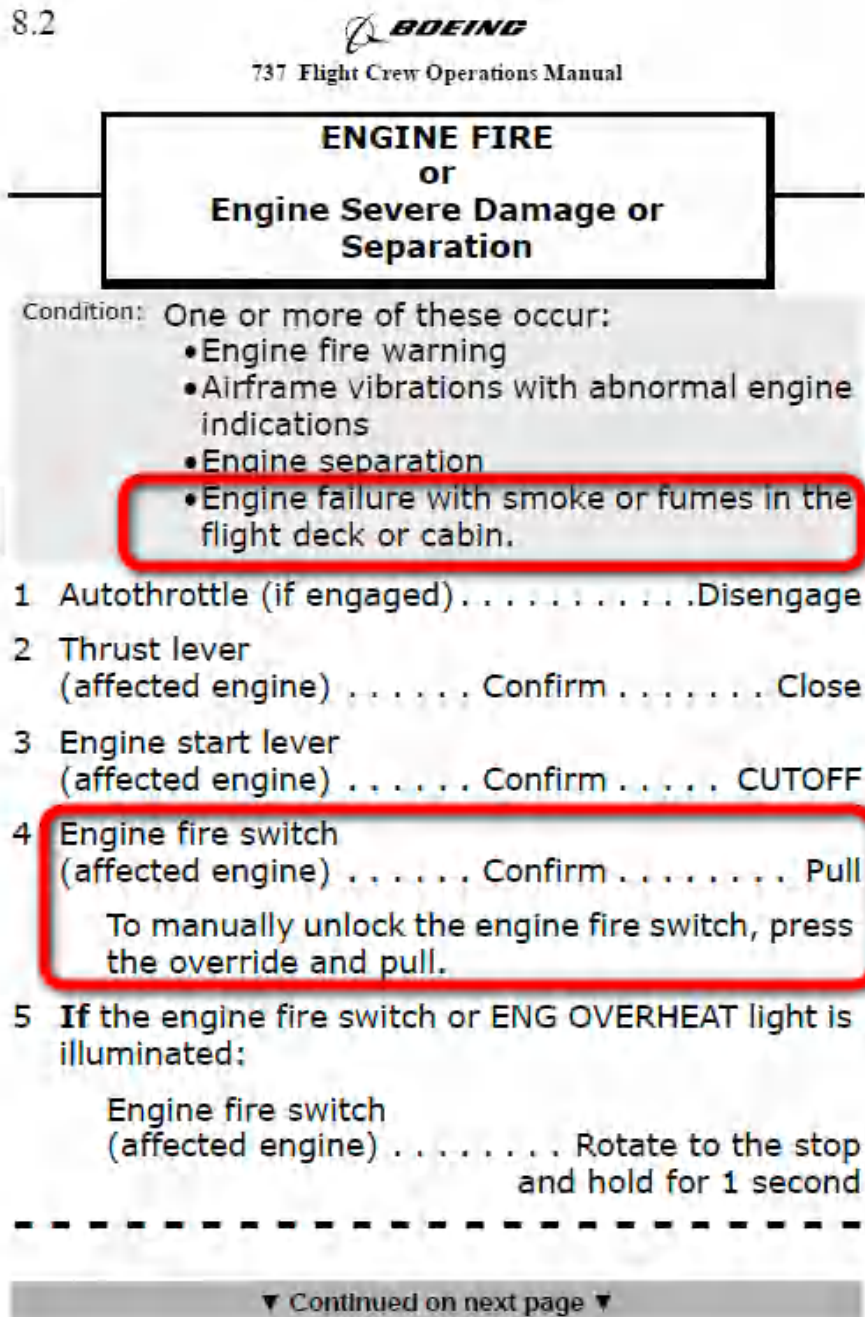


图 4：QRH 项目 8.2

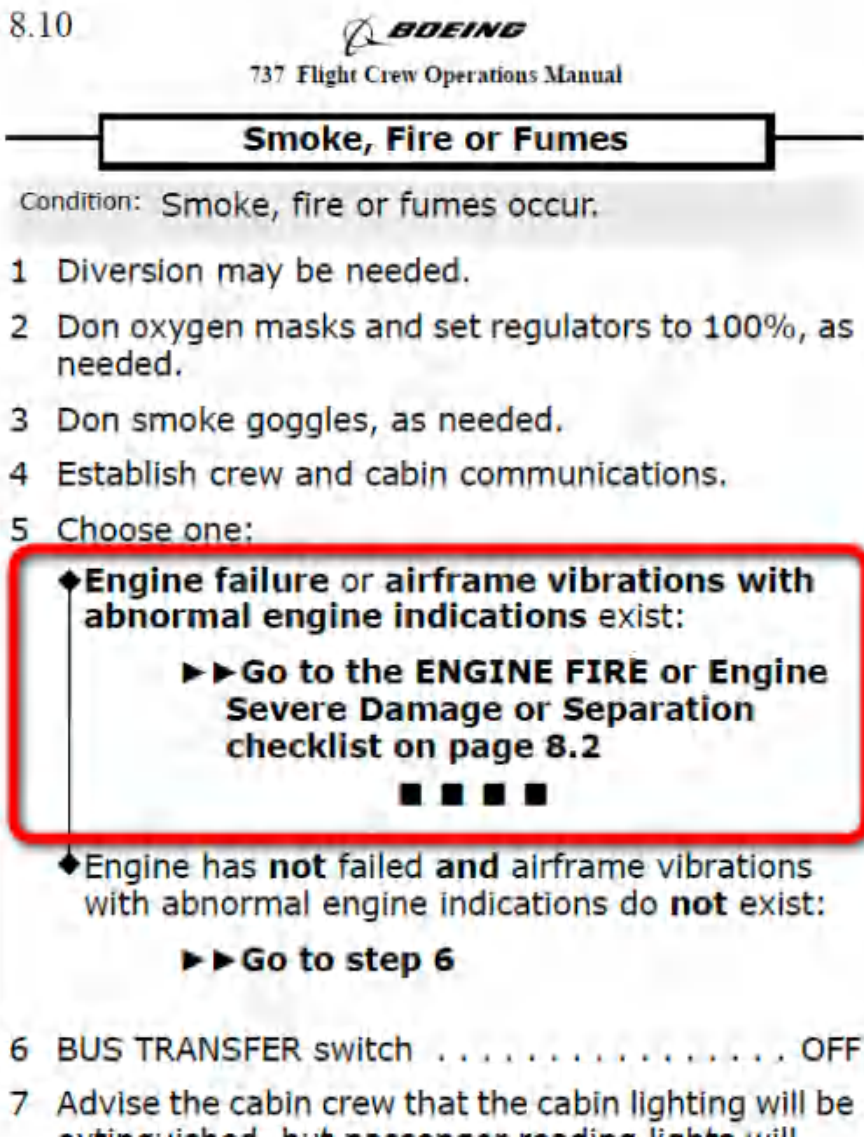


图 5: QRH 项目 8.10

- 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。