B737NG APU滑油压力低自动关车故障分析与排故

刘剑 徐扬

深圳航空有限责任公司西安分公司，中国·陕西 西安 710000

摘要：某型737NG飞机APU（构型131-9B）在短期内多次出现自动关车，过站依据MEL 49-01办理C类保留，航后按故障指向反复更换燃油控制组件（FCU）仍不能根治。本文结合6月28日、7月02日、7月03日三起排故经历，依据FIM 49-90 TASK 803与49章APU滑油系统原理，分析滑油压力低保护关车（维护代码49-91007）的成因，指出故障根源在于润滑组件与FCU之间的花键传动轴及轴套存在机械损伤，造成滑油供油不足与FCU轴多次断裂；进而提出在更换FCU或润滑组件时必须同步检查相连花键轴与轴套的技术措施，以避免重复换件。

关键词：B737NG；APU；滑油压力低；自动关车；FCU

Analysis and Troubleshooting of APU Low Oil Pressure Auto-Shutdown on the B737NG Aircraft

Liu Jian, Xu Yang

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Xi'an Branch, China Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: A B737NG APU (configuration 131-9B) suffered repeated automatic shutdowns within a short period; at transit stations the APU was deferred under MEL 49-01 (Category C), and after-flight troubleshooting repeatedly replaced the Fuel Control Unit (FCU) as indicated by the fault, yet the fault could not be eliminated. Based on three troubleshooting cases on June 28, July 2 and July 3, and on FIM 49-90 TASK 803 together with the principles of the ATA 49 APU lubrication system, this paper analyzes the cause of the low-oil-pressure protective shutdown (maintenance code 49-91007) and points out that the root cause lies in the mechanical damage of the splined drive shaft and coupling between the lube module and the FCU, which causes insufficient oil supply and repeated fracture of the FCU shaft; it further proposes that the connected splined shaft and coupling must be inspected simultaneously when replacing the FCU or the lube module, so as to avoid repeated component replacement.

Keywords: B737NG; APU; Low oil pressure; Auto-shutdown; FCU

0 引言

APU是737NG飞机地面与空中供电、供气的重要保障。该机队所选用的Allied Signal 131-9(B)型APU为单轴恒速燃气涡轮，其正常工作的前提是滑油系统持续提供合格的压力与流量，对轴承、齿轮箱和启动发电机进行润滑与冷却。一旦滑油压力低，电子控制组件（ECU）将触发保护性关车，直接影响过站与航班运行。近期该型APU在短期内连续发生自动关车，过站受时间限制按MEL 49-01办理保留放行，航后多次更换FCU后故障仍反复出现；直到将排故方向由FCU转向润滑组件，更换润滑组件后故障才彻底消除。这一过程暴露出一个典型问题：只更换故障指向的LRU，却未发现其背后的机械传动损伤，必然导致重复换件。本文结合上述三起排故实例，从49章APU滑油系统与FCU传动原理出发，对滑油压力低关车进行原理分析，并给出避免重复换件的排故要点。由于全机仅装一台APU，其不可用会直接削弱地面与空中保障能力，反复换件还推高航材消耗与停场成本，因此找准根因、避免重复换件尤为必要[1,3]。

1 APU滑油系统与FCU/润滑组件传动原理

APU滑油系统（49-90）用于润滑并冷却APU轴承、齿轮箱与启动发电机，并借助引射器（eductor）带动空气流过滑油冷却器以控制油温。附件齿轮箱将动力section的高速扭矩经减速后驱动各附件，滑油系统的核心部件——润滑组件（Lube Module）即安装在APU齿轮箱前端，内部集成增压泵与回油泵元件，由齿轮箱伸出的一根轴驱动，其压力调节/释压活门将滑油压力维持在60～74 psi。滑油经增压泵加压后送往轴承与齿轮箱，回油泵将油抽回，经滑油冷却器与温度控制活门调节温度后循环；滑油滤带旁通活门，在滤芯堵塞或低温时于50～70 psi旁通，防止断油[3]。

燃油控制组件（FCU）通过 V 型卡箍安装在润滑组件前端，由润滑组件驱动；润滑组件伸出的一根轴同时驱动 FCU 内部的高压燃油泵。换言之，从 APU 齿轮箱到润滑组件、再到 FCU，前端构成了一条共用的花键传动链：齿轮箱轴驱动润滑组件内的滑油泵，润滑组件轴再驱动 FCU。FCU 内部包括进口滤、高压燃油泵、泵释压活门、压差调节活门与力矩马达计量活门等，正是润滑组件轴驱动的那根高压泵输入轴，在 7.02 的修理中被发现存在断裂损伤。各传动接口均通过花键轴与轴套（splined shaft and coupling）传递扭矩。这一结构关系是后续分析重复换件的关键——FCU 与润滑组件并非相互独立的 LRU，而是共用同一套前端花键传动的关联部件。APU 滑油系统原理如图 1 所示[3]。滑油经滑油泵增压后润滑各齿轮与轴承，回油经滑油冷却器与温度控制阀调节后循环；燃油控制组件（FCU）由润滑组件驱动并接入滑油系统，二者共用前端花键传动。

2 故障现象与排故经过

短期内三起排故经历如表 1 所示，过站均因时间原因按 MEL 49-01 办理 C 类保留（无 M 项、无 O 项），航后则分别指向 FCU 与润滑组件实施换件[2]。

从表 1 可见，6 月 28 日与 7 月 02 日两次排故均直接更换 FCU，工程反馈在两个月内累计更换 3 个 FCU，且修理时发现 FCU 传动轴存在断裂损伤；而 7 月 03 日在航前再次出现自动关车、历史代码指向 49-91007 后，航后改为更换润滑组件，故障方才彻底消除。更换 FCU 只能短期恢复，更换润滑组件才能根治，说明真正的故障并不在 FCU 本体，而在其与润滑组件共用的传动接口[1,4]。

表1 三起APU自动关车重复性故障排故经过

日期	故障现象	过站处置（保留）	航后排故及依据
6月28日	APU自动关车	MEL 49-01 C类保留（无M、无O）	确认FCU故障，AMM 49-31-11换FCU，测试正常撤保留
7月02日	二次出现APU自动关车工程反馈：APU故障近两月累计更换3个FCU；修理发现FCU传动轴断裂损伤	时间原因继续按MEL 49-01保留运行	AMM 49-31-11换FCU，检查测试正常
7月03日	三次APU自动关车，历史代码49-91007	MEL 49-01 C类保留、开DD单（无M、无O），APU不可用并贴不工作标牌	AMM 49-91-11换润滑组件，测试正常撤DD单，后续正常。

3 故障代码与原理分析

维护代码 49-91007 对应“OIL PRESSURE SHUTDOWN LOW OIL PRESSURE（滑油压力低关车）”。按 FIM 49-

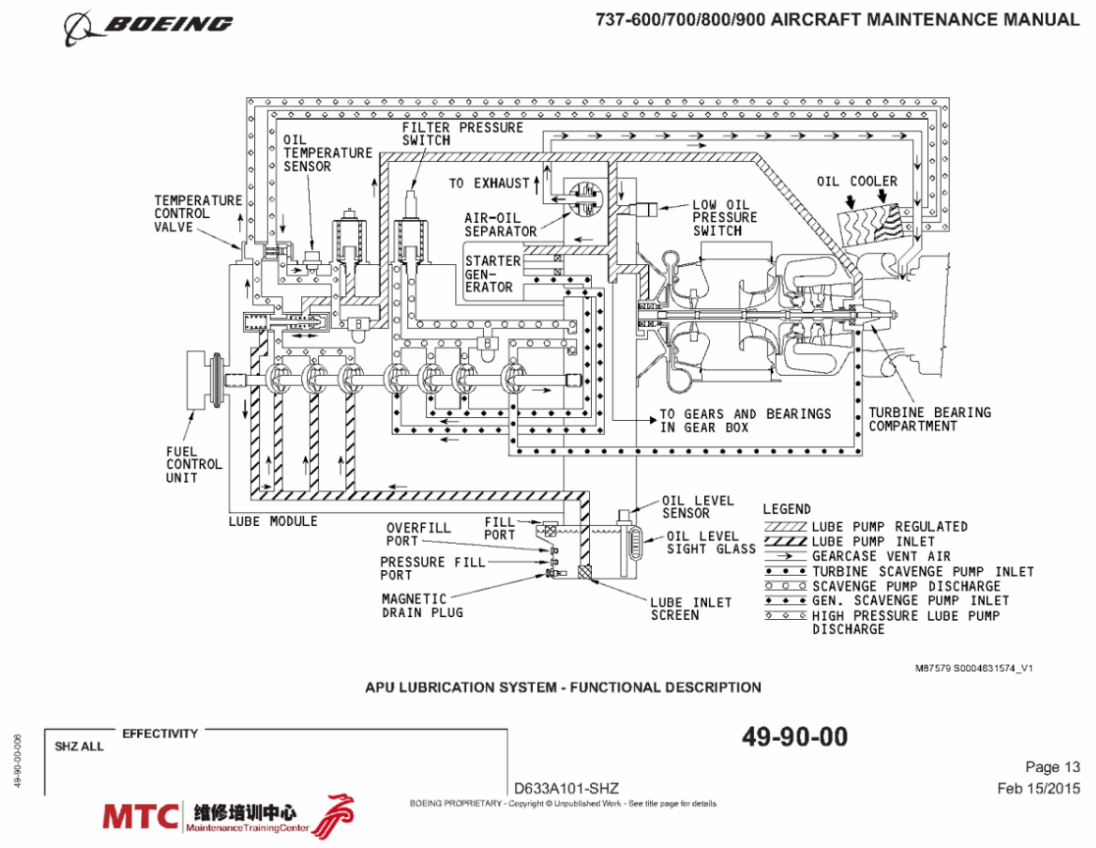


图1 APU滑油系统原理图（引自AMM 49-90-00）

90 TASK 803，该保护性关车在 APU 转速超过 95% 且 ECU 持续 sensed 低滑油压力达 20 秒后触发，前顶板 P5 的 APU LOW OIL PRESSURE（低滑油压力）灯点亮；初始评估须执行 APU BITE（49-60 TASK 801）读取故障历史[1]。

FIM 列出的可能原因包括：滑油量低、磁性放油堵头出现银色或大量金属屑、低滑油压力电门（YAAT008）、润滑组件、滑油滤元件、滑油管渗漏或损伤、滑油冷却器渗漏或损伤、ECU（M1709）以及 APU 本体。隔离程序依序检查滑油油量、磁性放油堵头、润滑组件 / 滑油滤 / 低滑油压力电门、滑油管、滑油冷却器，最后更换 ECU 或 APU。可见润滑组件与滑油供给链路正是该代码的首要隔离方向[1]。

结合传动原理可进一步定位根因：6 月 28 日与 7 月 02 日反复更换 FCU 只是在处置表象。7 月 02 日工程反馈修理中发现 FCU 传动轴断裂，证明前端花键传动链已存在机械损伤。由于 FCU 由润滑组件经花键轴驱动、润滑组件滑油泵又由齿轮箱轴驱动，一旦齿轮箱至润滑组件、或润滑组件至 FCU 的花键轴与轴套发生磨损、松动或断裂，会同时造成两方面后果：一是润滑组件内滑油泵得不到正常驱动，滑油压力建立不足，触发低滑油压力保护关车（49-91007）；二是同一传动损伤直接折断 FCU 轴，使刚换上的 FCU 再次失效。7 月 3 日航后改换润滑组件（其本体集成传动轴、密封盘与泵驱动接口）后故障根除，恰好印证了损伤位于润滑组件与 FCU 之间的花键传动接口这一判断。这也解释了为何 6 月 28 日与 7 月 02 日单纯更换 FCU 能短期恢复：新 FCU 装上时尚可借已损伤的界面勉强驱动，运行一段时间后损伤界面（或旧界面带入的异常扭矩）将其轴折断，故障便再次出现；而 7 月 3 日更换的润滑组件本体集成了传动轴、密封盘与泵驱动接口，等于连同该损伤界面一并换新，故能彻底根除。此外，FIM 将磁性放油堵头的银色金属屑列为可能原因，正提示齿轮箱 / 轴承磨损的碎屑会随滑油进入该传动界面加速损伤，换件时亦应重点检查[1,3]。

4 排故要点与防重复换件措施

过站阶段：APU 自动关车且存有 49-91007 时，应先执行 APU BITE（49-60 TASK 801）读取故障历史页与当前状态页，必要时结合相关代码 49-91227、49-94226 综合判断，确认关车性质；若受时间限制需放行，按 MEL 49-01 办理 C 类保留（修复期限除发现之日外 10 个连续日历日，无 M 项、无 O 项），在 APU 主电门处贴“不工作”标牌并填写 DD 单，明确 APU 不可用[1-2]。

航后阶段：应严格按 FIM 49-90 TASK 803 的隔离步骤逐项排查——检查滑油油量、磁性放油堵头有无金属屑、更换或测试润滑组件 / 滑油滤 / 低滑油压力电门、检查滑油管与滑油冷却器渗漏，最后再考虑 ECU 与 APU 本体，避免跳跃式直接更换 FCU[1]。

防止重复换件的关键措施：在依据 AMM 49-31-11 更换 FCU、或依据 AMM 49-91-11 更换润滑组件时，必须同步检查两者之间的花键传动轴与轴套（以及齿轮箱至润滑组件的传动轴）是否存在断裂、磨损、松动或旷量；若发现损伤，应随 LRU 一同更换花键轴 / 轴套或相应传动接口，否则新件仍由已损伤的界面驱动，必将在短期内再次失效，重演连续更换 FCU 的局面。检查时应对传动轴做目视与手感检查，确认花键无崩齿、轴套无裂纹、配合无轴向旷量，并按手册力矩要求装复 V 型卡箍与传动连接。同时检查磁性放油堵头是否出现银色金属屑，以判断齿轮箱与轴承是否伴随磨损。只有既更换故障 LRU、又修复其传动根因，才能从源头消除该类重复性故障[3-4]。

5 结语

APU 滑油压力低自动关车（49-91007）的根因往往不在被代码直接指向的 FCU，而在 FCU 与润滑组件共用的花键传动轴与轴套的机械损伤——它既使滑油供油不足触发保护关车，又反复折断 FCU 轴。过站按 MEL 49-01 办理 C 类保留可保航班运行，但航后排故必须遵循 FIM 49-90 TASK 803 系统隔离，并在更换 FCU 或润滑组件时一并检查并修复相连的花键传动接口，方能避免重复换件，真正恢复 APU 的可靠运行。

参考文献：

[1] Boeing. 737NG Fault Isolation Manual, ATA 49-90: Oil Pressure Shutdown Low Oil Pressure (FIM 49-90 TASK 803).

[2] 波音 737NG 飞机最低设备清单和外形缺损清单（第 29 版）. 49-01 辅助动力装置.

[3] Boeing. 737NG Aircraft Maintenance Manual, ATA 49: APU Lubrication System (49-90-00), APU Fuel System — Fuel Control Unit (49-30-00).

[4] Boeing. 737NG Aircraft Maintenance Manual, ATA 49-31-11 (Fuel Control Unit Removal/Installation) and 49-91-11 (Lube Module Removal/Installation).

作者简介：刘剑（1996.06-），男，汉族，陕西咸阳人，本科，助理工程师，研究方向：从事飞机维修研究。