

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.016

波音 737NG 飞机反推排故与维护

Troubleshooting and Maintenance of Thrust Reverser for 737NG Aircraft

雷 伟 / LEI Wei

(厦门航空有限公司, 厦门 361006)

(Xiamen Airlines Company Ltd., Xiamen 361006, China)

摘 要:

主要以波音 737NG 飞机为例,利用飞机维护手册(AMM)和故障隔离手册(FIM)清晰阐述了波音 737NG 飞机反推控制原理,结合反推系统常见故障现象及可能的故障原因,创新运用故障树理论,建立起一套针对不同故障现象的快速甄别、判断、排除方法。该文对民航维修人员掌握反推系统原理、准确判断故障、保障飞机顺利运行具有重要意义;同时,有助于民用飞机设计、制造以及维修方案的制定。

关键词: 反推;故障分析;故障树分析

中图分类号: V241.07

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] Using aircraft maintenance manual (AMM) and fault isolation manual (FIM), this paper clearly illustrates the system principle of thrust reverser as an example of 737NG aircraft. Combining common fault phenomena and possible causes of faults in thrust reverser system, the fault tree theory is used to establish a set of rapid identification, judgment and elimination methods for different fault phenomena. It will help civil aviation maintenance personnel to master the principle of thrust reverser, accurately determine faults, and ensure the aircraft operating normally. At the same time, it will contribute to aircraft design, manufacturing, and maintenance plan formulation.

[Keywords] thrust reverser; fault analysis; fault tree analysis

0 引言

现代民用飞机体积大、重量大,随着飞行速度的增加,其着陆滑跑速度也相应增大,滑跑距离相应延长。现代飞机机轮刹车十分有效,但在潮湿、结冰或被雪覆盖的跑道上,这种特性可能因飞机轮胎和跑道间的摩擦力损失而降低。因此,现代民机上多使用反推装置,在着陆和中断起飞过程中可产生附加制动力,能迅速减低飞机速度,缩短滑跑距离,保证飞机安全^[1]。

1 波音 737NG 飞机反推工作原理

反推装置控制发动机风扇排气流的方向,使其向前产生反推力。在飞机着陆或中断起飞过程中,反推能缩短滑跑距离帮助飞机减速。每套反推装置分为左右两半,每一半均有一个可以向后移动产生

反推力的整流罩。每个整流罩靠三个液压作动筒作动,同步轴控制三个作动筒同步运动。

反推控制系统控制液压压力和电信号来伸出和收上反推装置。图 1 是反推系统原理图。反推控制系统使用 28 V 直流电源和反推手柄来控制。当飞机离地高度低于 3 m 时,反推才能放出。飞机高度信号由 FCC (Flight Control Computer, 简称 FCC, 飞行控制计算机) 和一个无线电高度表作动的继电器提供,空地电门提供空地逻辑。火警电门处于放下位时,反推系统才可以供电。反推手柄作动电门提供电信号给反推控制活门组件,控制活门组件提供液压压力到反推作动筒用于反推收放操作。反推同步锁能防止在没有放出信号的情况下液压作动器意外作动放出。EAU (Engine Accessory Control, 发动机附件控制盒) 主要用于控制反推装置的收上工作,具有反推收上操作所必须的电路逻辑,同时也利

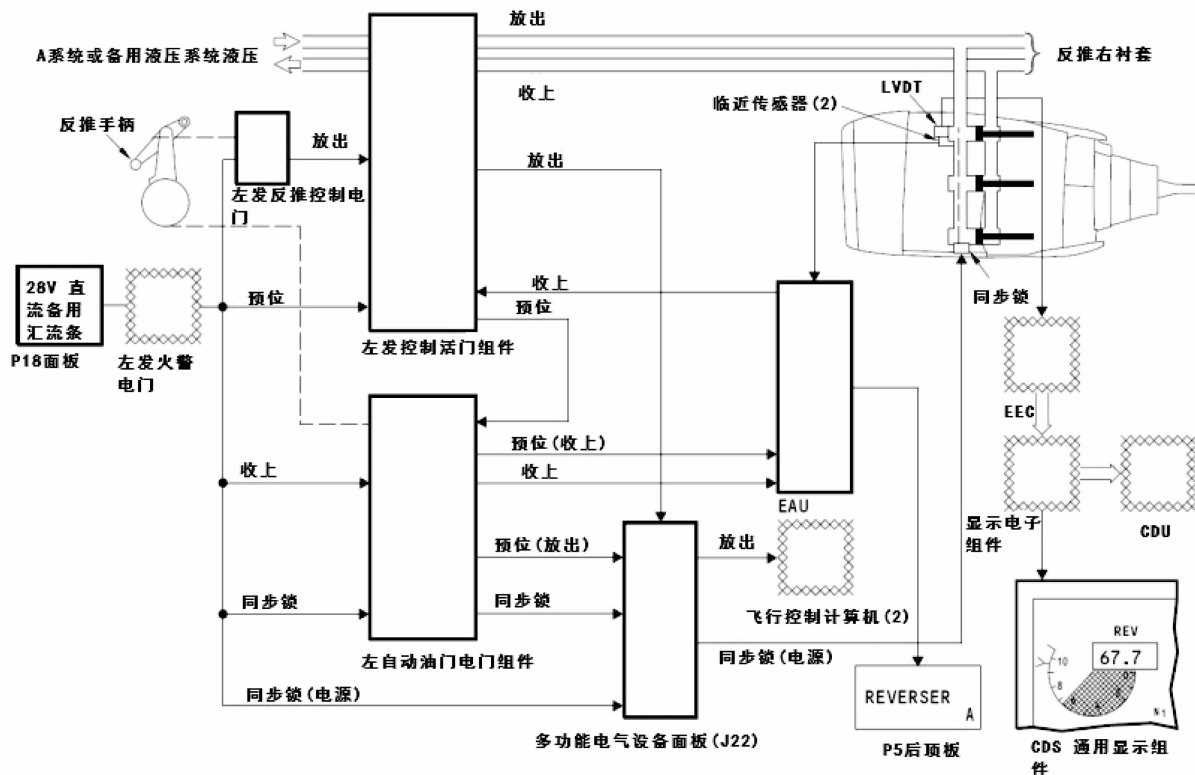


图1 反推系统图

用临近传感器的电信号来进行反推自动收上的逻辑操作。反推指示系统在驾驶舱提供以下信息:CDS (Common Display System,通用显示系统)显示“REV”信息,该信息指示反推装置移动整流罩位置;后 P5 面板上 REVERSER 反推灯由 EUA 控制,灯亮表示反推存在故障;利用 CDU (Control Display Unit,控制显示组件)对反推 LVDT (Linear Variable Differential Transformer,线性可变位移传感器)进行故障隔离,CDU 可以查看反推 LVDT 实时数据和故障代码^[2]。

1.1 反推放出

如图2所示,反推放出过程如下:当拉反推手柄至放出位置时,会产生如下主要动作:(1)反推控制电门移至放出位;(2)自动油门组件架上的电门移至放出位;(3)反推同步锁继电器通电;(4)反推同步锁开锁;(5)0.1 s 后反推顺序继电器通电;(6)预位线圈和放出线圈得电;(7)反推控制活门组件将液压通往反推作动筒来放出反推。

1.2 反推收上

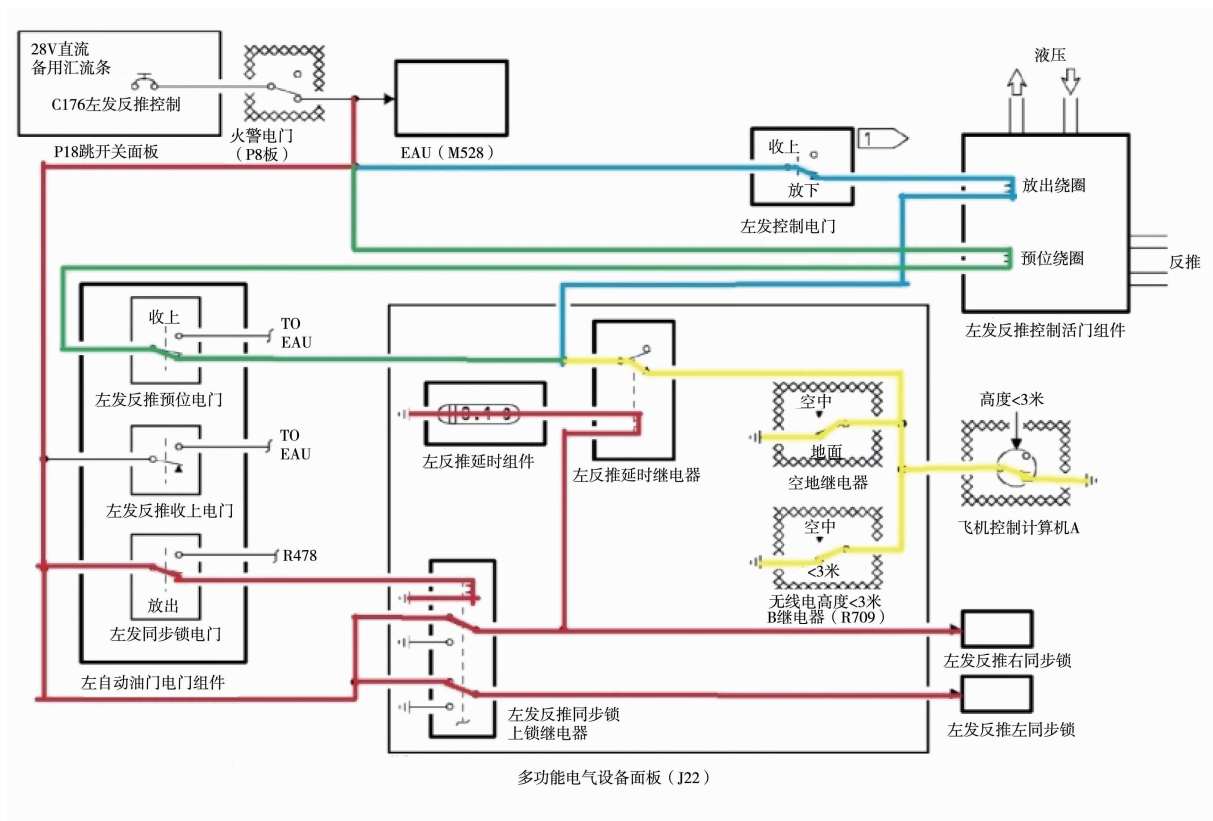
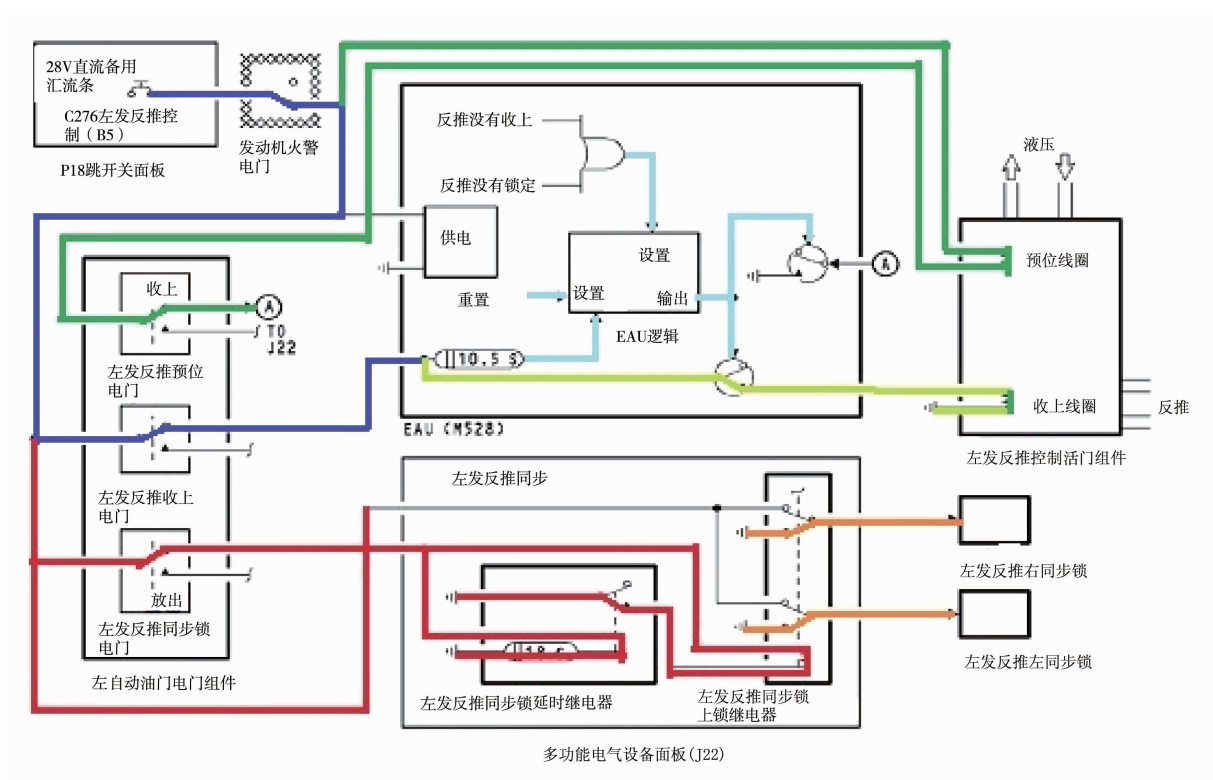
如图3所示,反推收上过程如下:当压下反推手柄至收上位置时,会产生如下主要动作:(1)自动油门组件架上的电门移至收上位;(2)通过收上电门,

收上反推的电信号通往 EUA;(3)收上电磁线圈通电;(4)放出电磁线圈断电;(5)EUA 导通,预位电磁线圈经过 EUA 接地;(6)反推控制活门组件将液压通往作动筒收上反推整流罩;(7)10.5 s 后,预位电磁线圈和收上电磁线圈断电;(8)18 s 后同步锁上锁。在反推收上过程中,如果 10.5 s 后任一反推未收上或未锁好,EUA 逻辑电路会启动自动收上反推功能,收上线圈和预位线圈保持通电,于是作动筒继续通液压使反推整流罩收上。

2 故障树分析

反推指示系统使用“REVERSER”灯来表示反推控制系统部件失效。航线日常工作中经常出现机组报告反推灯亮的故障,为提高航班正点率,防止故障重复发生,需要一套思路清晰的快速排故策略。

故障树分析(Fault Tree Analysis,简称 FTA),是一种图形演绎方法,它是用一种特殊的倒立树状逻辑因果关系图,清晰地说明系统是怎样失效的。将系统的故障与组成系统各部件的故障有机联系在一起,可以找出系统的全部可能失效状态。故障树的顶端,叫顶事件。以顶事件为出发点,向下逐级分解

图 2 反推放出控制^[3]图3 反推收上控制^[3]

导致顶事件发生的故障原因,采用逻辑门符号和事件符号表示事件之间的逻辑关系,构成因果关系图。建立故障树模型,能清晰地看出导致故障发生的原因和事件之间的传播过程^[4]。EAU 控制 REVERSER 灯,该灯亮时,EAU 面板上相应故障灯也会点亮,可以通过 EAU 上的故障指示灯初步确定故障原因。为便于建立故障树,将 REVERSER 灯亮作为顶事

件,结合 EAU 上出现的故障代码,借助以往的排故经验和 FIM 手册列出可能的故障部件作为中间事件,也叫故障事件。维修工作中,航线可更换件(Line Replaceable Unit,简称 LRU)作为中间事件,出现故障直接换件,拆下的故障 LRU 送修给附件维修人员进一步检测分解处理,LRU 子部件作为底事件^[5]。这样就建立了故障树模型,如图 4 和表 1 所示。

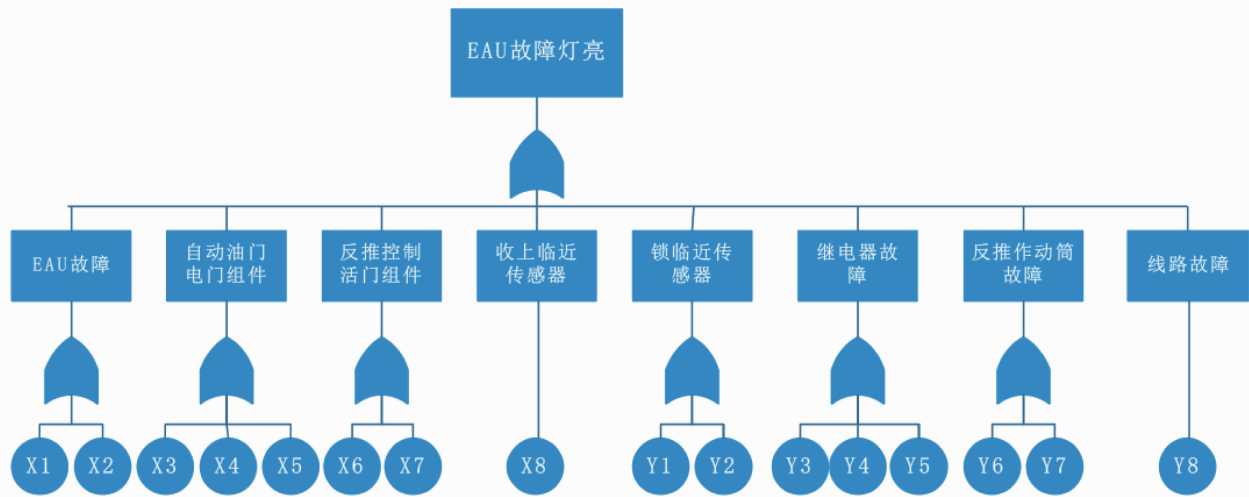


图 4 反推故障树模型

表 1 故障树底事件

代号	故障名称	代号	故障名称
X1	EAU 内部逻辑故障	Y1	人工开锁手柄断裂
X2	EAU 连接插针损坏	Y2	传感器靶标间隙问题
X3	S4 电门故障	Y3	同步锁上锁继电器
X4	S5 电门故障	Y4	同步锁延时继电器
X5	S6 电门故障	Y5	同步锁电门故障
X6	DCV 传感器故障	Y6	作动筒漏油
X7	HIV 传感器故障	Y7	作动筒卡滞
X8	传感器靶标间隙问题	Y8	线路磨损、开路

2.1 EAU 故障

EAU 是反推控制系统的核心部件。如图 5 所示:EAU 面板上 BITE (Built-in Test Equipment, 简称 BITE) 功能可以对反推系统故障进行隔离,也控制 P5 板的 REVERSER 灯。EAU 出现故障,可能是 EAU 内部控制逻辑电路故障;也可能是不规范拆装 EAU 导致 EAU 连接插针损坏引起的。EAU FAULT 灯亮表示 EAU 本身存在内部故障。为减少排故时间,验证 EAU 好坏可通过串件方式确认。以往拆换经验表明,EAU 本身可靠性较高,出现故障的概率极低。EAU 属于静电敏感元器件,拆装 EAU 应严

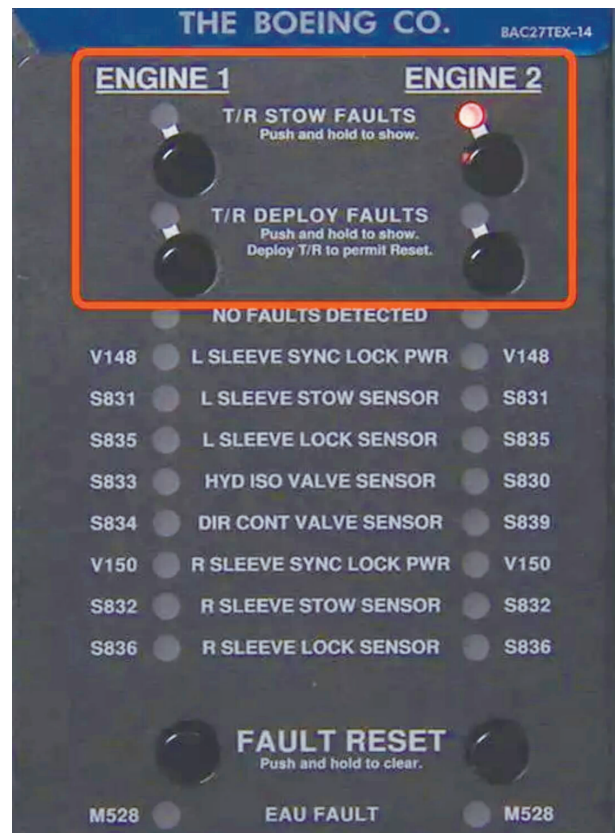


图 5 EAU

格按手册规范施工,避免人为原因造成损坏。

2.2 自动油门电门组件故障

自动油门电门组件内部有三个电门参与反推控制电路,分别是反推预位电门(S5)、反推收上电门(S6)和反推同步锁电门(S4)。当操作反推手柄时,手柄通过控制连杆驱动自动油门电门组件内的凸轮,凸轮的转动将定位这三个电门用于反推控制。排故经验表明:出现问题最多的S4、S5、S6微动电门容易受污染而出现间歇性故障。自动油门电门组件位于前设备舱内,周围环境差,许多部件需要润滑,特别是钢索,难免经常受到油脂污染。由于电门是靠触点联接控制通断,空气中粉尘也会附着在触点上,这些都会影响触点导通性。FIM手册给出电门接触电阻不大于 $2\ \Omega$,若电阻过大,通过反推控制活门组件内电磁阀的电流偏低,导致滑阀不能正常作动到指令位置。反推同步锁解锁/上锁由S4电门控制,S4电门故障一般会造成EAU上出现V148和V150故障代码。反推控制活门组件内预位电磁线圈由S5电门控制,S5电门故障会造成DCV/HIV(Directional Control Value,简称DCV;Hydraulic Isolation Value,简称HIV)活门位置和所命令的位置不一致,一般EAU出现S833和S834故障灯亮。根据波音文件737NG-FTD-78-05001,件号254A1150-7/8/9/10的电门组件由于开放式的外型设计容易受到污染和腐蚀,导致电门接触不好,为了提高电门组件可靠性,波音将件号升级为254A1150-11/12全封闭式设计的新构型,但实际使用中该构型容易触发错误的故障信号,从而导致反推故障灯点亮。2009年4月,波音再次推出两款新构型电门组件,件号为254A1150-13/14(线号2874之后的飞机上交付使用),采用了尺寸更大的镀金触点,改善低电流下的自清洁能力^[6-7]。从实际运行效果来看,电门可靠性仍需进一步改善。经验表明:当出现REVERSER反推灯亮而EAU上无故障代码的重复性故障现象时,自动油门电门组件需要优先验证好坏。

2.3 反推控制活门组件故障

反推控制活门组件控制通往液压作动筒的液压作动反推收上或放下,其中含有三个电磁阀(ARM预位、DEPLOY放出、STOW收上)控制的滑阀,另外还有两个滑阀(HIV液压隔离活门、DCV方向控制活门),这五个滑阀中除了DCV外均为带有复位弹簧的滑阀,HIV、DCV有位置传感器用来监控滑阀位

置是否和指令位置一致。当三个电磁阀控制的滑阀由于控制信号失效不能到达正确位置、HIV/DCV活门失效、位置反馈元件失效、液压异常中断等均有可能导致反推灯点亮。根据波音FTD-78-06001,反推控制活门存在潮湿气体进入可能,使电路绝缘性变差(包括3个电磁阀),造成反推控制活门内的隔离活门传感器或方向控制活门传感器故障,EAU上出现S833或S834故障代码。经验表明反推控制活门组件可靠性相对较高。当EAU上出现S833或S834故障代码时,线路问题、电门故障、EAU故障等也会导致REVERSER灯亮。例如:B-XXXX机组报告着陆收反推后REVERSER灯常亮,航后EAU BITE测试显示T/R STOW FAULT-S833 HYD ISO VALVE SENSOR灯亮。怀疑反推控制活门组件故障,更换该组件后,故障依旧存在;最后测量线路证实S4电门开路,更换完自动油门电门组件后,测试正常故障消失^[8]。

2.4 收上临近传感器故障

反推收上临近传感器给EAU提供反推收上/未收上电信号。每一个收上临近传感器有两个输出端,一端感受收上位置,另一端感受未收上位置。反推放出时,靶标临近传感器,给EAU放出信号;反推收上时,靶标远离传感器,给EAU传递收上信号。当传感器探测到反推状态与所指令状态不一致时,EAU上S831左衬套收上传感器或S832右衬套收上传感器故障灯亮。反推收放测试中,观察靶标与传感器状态(临近/远离),视情纠正或更换。

2.5 锁临近传感器故障

发动机每侧的锁作动筒上装有衬套锁传感器,衬套锁传感器靶标安装在反推人工开锁手柄上。当人工开锁手柄接近传感器时,锁作动筒开锁反推放出。在反推收上液压作动筒上锁后,人工开锁手柄远离传感器。手册对传感器至靶标间隙、手柄在锁定位时靶标至传感器中心有严格的规定,超出范围会导致传感器无法接受正确的整流罩位置信息,从而点亮EAU上故障灯和驾驶舱头顶板REVERSER反推故障灯。人工开锁手柄经常会因为处在高振动区域而出现靶标间隙超标,容易因疲劳而出现手柄断裂、花键轴损伤的问题,这样会丢失开锁信号,反推放出后EAU会记录下该故障并将点亮REVERSER灯。针对该情况,波音FTD-78-03002对人工开锁手柄进行了技术升级,在耐疲劳寿命上做了改进,手柄可靠性更高,新型人工开锁手柄相对更换次数

较少。由于靶标是铆接在手柄上的,更换手柄时都要重新铆接靶标,手册对靶标位置尺寸有严格要求,否则信号出错故障频繁。EAU 自检显示左衬套锁传感器 S835 或右衬套锁传感器 S836 故障代码时,往往在更换反推开锁手柄或调整衬套锁传感器与靶标之间的间隙后故障消失。

2.6 继电器故障

在反推正常放出过程中,反推同步锁电门 S4 处于 DEPLOY 位,同步锁上锁继电器开锁线圈接地,开关触点接通,同步锁得电解锁;收反推时,同步锁电门 S4 处于 STOW 位,反推同步锁延时继电器 18 s 后激励,同步锁上锁线圈接地,同步锁断电上锁。若这两个继电器故障时,EAU 上出现 V148 左衬套同步锁电源或 V150 右衬套同步锁电源故障代码。此外,A/T(Autothrottle,自动油门)电门组件上凸轮故障、S4 电门、线路问题也会导致同步锁不能正常上锁或解锁,也会导致 V148 或 V150 故障代码出现。

2.7 反推作动筒故障

反推液压作动筒常见故障有油液渗漏和作动筒内部卡滞,造成反推不能收放到指令位置。油液渗漏会导致作动筒内液压压力不够,作动筒不能正常伸缩,可按 MEL(Minimum Equipment List,最低设备清单)保留或更换相应部件;对于反推正常无法收上且人工方式也无法收上的故障现象,需拆下液压作动筒检查是否有机械卡滞或损伤的情况。

2.8 线路问题

在正常更换可疑故障部件后,反推故障仍未消除,可考虑线路问题。线路问题相对隐蔽性强,不容易排除,只能分段隔离查找缺陷。目视检查传感器电插头、线束是否有外部损伤,测量线路确定电阻是否正常,必要时晃动部件周围线束防止虚连接。线束检查正常情况下,应根据 EAU 上故障代码隔离相应 LRU 部件。

3 维护注意事项

3.1 EAU 自检程序

当出现 REVERSER 反推灯亮时,应先执行 EAU 自检程序,记录下具体故障代码再清除。EAU 记录的故障代码是最近 5 次收放循环发生的故障,自检时会同时显示。若没有执行自检程序,而直接清除故障信息,会出现故障代码丢失造成排故困难。

3.2 机组反推操作

机组反推操作不当,也会造成反推灯点亮。正常

收放反推时,反推手柄应避免放在反推慢车位和收上位之间。根据波音文件 Flight Operation TB 99-3,反推操作超过一定时间(3 s)会造成反推放出后无法收回,并且触发 REVERSER 灯亮或 ENGINE CONTROL 灯亮。

3.3 地面维护

维修中出现地面维护使用液压放出反推后,需要断开液压执行维护工作时,EAU 上会出现 HYD ISO VALVE SENSOR 故障代码,同时 REVERSER 灯也会点亮。这种指示对于反推系统而言是正常的。这是因为反推在放出位断开液压后,液压隔离活门在弹簧力作用下处于关闭状态,隔离活门传感器感受到活门在关闭位置而反推手柄在放出位的不一致情况,造成 DEPLOY 位故障。维护结束后需要在 EAU 上复位故障。

4 结论

波音 737NG 反推灯亮是目前机队普遍存在的一个缺陷,反推灯亮造成航班延误的情况时有发生。对反推故障进行排除时,需要熟练掌握反推工作原理,结合 FIM 排故手册和排故经验,分析相关部件可靠性高低,优先考虑故障概率高的部件进行故障隔离。平时维护工作中关注厂家部件升级信息,尽可能采用升级过的新件,降低故障的概率。

参考文献:

- [1] 蒋陵平. 燃气涡轮发动机[M]. 北京:清华大学出版社, 2016:186.
- [2] The Boeing Company. 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual[M]. [S.l.]:The Boeing Company, 2008.
- [3] The Boeing Company. 737-600/700/800/900 Fault Isolation Manual[M]. [S.l.]:The Boeing Company, 2008.
- [4] 宋保维. 系统可靠性设计与分析[M]. 西安:西北工业大学出版社,2008,112-113.
- [5] 申浩. 波音 737NG 反推故障诊断专家系统研究[D]. 上海:上海交通大学,2012: 26-27.
- [6] 张坤锋. 737NG 反推灯亮故障浅析[J]. 价值工程, 2013,29(41):47-48.
- [7] 张卫华,王龙. B737NG 飞机反推系统故障分析[J]. 西安航空学院学报,2013,31(5):28-29.
- [8] 王厚国. 某波音 737-800 飞机反推故障排故分析[J]. 广东科技,2011,20(20):74-75.

作者简介

雷 伟 男,硕士,工程师。主要研究方向:可靠性分析、适航与维修技术。E-mail: 750338123@qq.com