

运输类飞机燃油系统点火源 防护相关适航限制研究

Airworthiness Limitation Study of Fuel System's Ignition Source Prevention for Transport Category Airplane

毛文懿 李 涛 贾 洪 / Mao Wenyi Li Tao Jia Hong

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

燃油箱爆炸对航空安全构成持续不断的严重威胁。通过对运输类飞机燃油系统点火源防护的适航限制相关条款要求、咨询通告的分析、研究,梳理了燃油系统点火源防护相关适航限制的制定流程、考虑;并对典型机型的燃油系统点火源防护相关适航限制进行了分析。可为运输类飞机燃油系统点火源防护相关适航限制的制定提供参考。

关键词:CCAR25.981(d);燃油系统;适航限制;点火源防护

中图分类号:V228.1

文献标识码:A

[Abstract] Fuel tank explosions have been a constant serious threat with aviation safety. Based on the analysis and study of the requirements of regulation and advisory circular which are about the airworthiness limitation for transport category airplane fuel system's ignition source prevention, this paper has given the flow chart on how to establish the airworthiness limitation. The paper also analyzes the airworthiness limitation for an typical transport airplane fuel system's ignition source prevention. The research can provide guidance for establishing the airworthiness limitation for transport category airplane fuel system's ignition source prevention.

[Key words] CCAR25.981(d);fuel system;airworthiness limitation;ignition source prevention

0 引言

多年来,燃油箱爆炸对航空安全构成持续不断的严重威胁。从1960年起,已有十多架飞机由于燃油箱爆炸而损坏或损毁。调查研究发现:在大多数情况下,着火或爆炸与设计方法、维修措施或燃油系统的不当改型有关;还有一些事故是由于雷击而引起的。1996年7月17日,一架具有25年机龄的波音747-100系列飞机,从纽约肯尼迪国际机场起飞后发生空中解体,导致230人丧生。经事故调查确认是因未知的点火源而导致中央翼燃油箱爆炸。^[1]

2001年5月,FAA发布FAR25部第25-102修

正案《运输类飞机燃油箱系统设计评审,降低可燃性,以及维护和检查要求》,以及FAR21部特别适航条例SFAR88《燃油箱系统故障容差评定要求》,要求型号合格证和补充型号合格证的持有人/申请人对在役飞机和新设计飞机进行深入评估,查明所有可能的点火源,并制定点火源防护相关的适航限制类维护、检查和关键设计构型控制限制(CDCCL);此外,初步提出了对燃油箱可燃环境控制的要求。2008年7月,FAA发布FAR25部第25-125号修正案《降低运输类飞机燃油箱可燃性》,强化对燃油箱可燃环境的控制,明确提出了具体的量化指标;并扩展适航限制要求以防止燃油箱可燃暴露时间超标等。^[1-5]本文主要对运输类飞机燃油系统点火源

防护相关适航限制进行研究。

1 条款要求及解析

1.1 条款要求

CCAR25-R4 第 25.981 条燃油箱点燃防护要求等效于经第 25-125 修正案修订后的 FAR25 部第 25.981 条。CCAR25.981(d) 要求^[6]：

必须建立必要的关键设计构型控制限制(CDCCL)检查或其它程序,以防止:依照本条(a)的燃油箱系统内形成点火源;油箱可燃性暴露时间超过本条(b)的允许值;以及按照本条(a)或(c)采用的任何措施的性能和可靠性的降低。这些 CDCCL、检查和程序必须纳入第 25.1529 条所要求的持续适航文件的适航限制部分。飞机上可预见的维修行为、修理或改装会危及关键设计构型控制限制的区域,必须设置识别这些关键设计特征的可视化措施(如用导线的颜色编码识别隔离限制)。这些可视化措施也必须被认定为 CDCCL。

此外,在 CCAR/FAR25 部附录 H 中第 H25.4 条(a)款也要求在持续适航文件的适航限制部分必须规定:燃油箱系统依据第 25.981 条获批准的每一强制性的更换时间、检查时间间隔、有关的检查程序以及所有关键设计构型控制限制。

1.2 条款要求解析

燃油系统包括处于燃油箱结构或燃油箱系统内的任何部件,及那些连接、穿透或位于燃油箱内的任何其它飞机结构或系统部件。燃油箱结构包括组成燃油箱的结构部件,包括蒙皮、维护口盖、接头、桁、肋、梁和相关的紧固件、支架、涂层、密封剂。燃油箱系统包括那些连接、穿透或位于燃油箱内的导管、部件、导线^[7]。

为确保不会在维护、修理或更换中无意间违反燃油系统原始型号设计的完整性,需要制定关键设计构型控制限制(CDCCL),以及如何保护 CDCCL 的指南。如果任何维修程序不能合适地处理,或者没有使用合适的部件或材料,将会导致危害飞机安全运行的失效、故障或缺陷。

为确保点火源防护特征的可靠性,需要考虑老化、磨损和腐蚀等的影响。对于在飞机的整个寿命内预期会降级的点火源防护特征,需要制定必要的检查和程序,以防止在燃油系统内形成点火源。

对于哪些设计特征需要有可视化措施,可参考

如下示例进行理解:燃油量指示系统(FQIS)导线的设计或布置,可选择将 FQIS 导线与大功率导线隔离,或选择在 FQIS 导线上安装瞬变抑制装置。如果在 FQIS 导线上安装瞬变抑制装置,则不需将导线与其它大功率电源线隔离视为 CDCCL,也不必进行可视化标识。如 FQIS 导线与大功率导线隔离属于 CDCCL,则要求设置可视化标识。对于这种情况的一种可接受符合方法是沿该导线按规定间隔安装色标带^[3]。

2 点火源防护相关适航限制的制定

2.1 点火源防护相关适航限制制定流程

为满足第 25.981 条燃油箱点燃防护的要求,参考 FAA 相关咨询通告、政策备忘录中给出了符合性验证考虑等,结合型号研制经验,总结出制定燃油系统点火源防护适航限制的流程如图 1 所示。

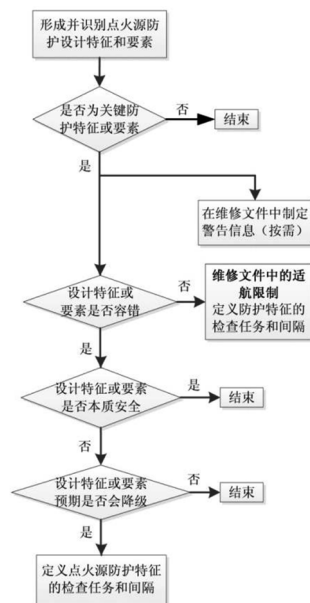


图 1 点火源防护相关适航限制制定流程

2.2 维持 CDCCL 的相关指南

为了维持依据第 25.981 条所制定的关键设计构型控制限制(CDCCL),需要制定如何保护 CDCCL 的指南。制定相关指南的示例包括^[4]：

(1)维修人员更换具有 CDCCL 的燃油系统部件。假如燃油泵缺少电搭接线会破坏点火源防护设计特征,进而可能导致不安全的状态。典型的保持 CDCCL 的方式是:任何时候,当维修人员更换燃油泵或进行影响到电搭接线的任何维修时,确保在燃油泵上重新安装电搭接线。只有正确的安装电

搭接线(包括确认搭接完整性),才能阻止不安全的状态。因此,保持 CDCCL 的指南是:要求提供信息以确保合适的安装电搭接线,而不是安装或重新安装整个燃油泵。

(2)燃油系统的特定构型被定义为对防止产生不安全状态所必需的。假如隔离 FQIS 的外部导线对确保防止不安全的能量进入燃油箱是决定性的。保持 CDCCL 的指南是:确保 FQIS 导线与其它导线隔离。

(3)在出现某些特定故障时,燃油系统的特定特征会产生不安全状态。如在燃油泵的修理或翻修时,燃油泵内的某些关键点火源防护特征没有被安装或未按照部件修理手册(CMM)进行翻修。保持 CDCCL 的指南是:确保燃油泵的关键点火源防护特征将会按照 CMM 或其他经局方批准的程序进行适当的修理。

为了确保维修人员知晓需要考虑的 CDCCL,需要在某些文件中插入交叉引用,来保持 CDCCL。如上述(1)条提到的情形,设计批准持有人应该在飞机修理手册(AMM)中对具有关键设计特征的组件或部件任务标识“警告”或“注意”;如上述(2)条提到的情形,设计批准持有人应该在标准实施手册(如 SWPM)中包含相关信息;如上述(3)条提到的情形,设计批准持有人应该制定适当的部件修理手册(CMM)。此外,设计批准持有人应确保在 CMM 和 AMM 中插入部件按 CDCCL 控制的声明。

2.3 与 CDCCL 相关的限制

对 CDCCL 的限制为^[4]:

(1) CDCCL 中列出的零部件的点火源的防护特征,必须与取证构型保持一致;

(2) CDCCL 中列出的零部件的点火源的防护特征的修理和翻修,必须按照设计批准的营运人维护手册或局方批准的标准进行;

(3) CDCCL 中列出的零部件的点火源的防护特征的任何更改,均被认为是重要的更改,须经局方批准;

(4)当部件的点火源防护特征被确定后,任何测试设备和对其进行维修的工具必须按照 CMM 或局方批准的维修标准进行。

2.4 周期性维修、检查或翻修

对于确定需要周期性维修、检查或翻修的任何燃油系统部件,以维持系统完整性或维持排除灾难

性燃油箱点燃事故的防护特征,必须在持续适航文件(ICA)的限制部分定义和包括。需要周期性维修、检查或翻修的示例包括^[3]:

(1)燃油管路接头密封/O型圈的老化;

(2)泵衬套、轴承和密封的磨损;

(3)存在潜在失效模式的燃油泵保护特征;

(4)存在潜在失效模式的瞬态抑制/能量限制设备;

(5)电线的屏蔽、接地;

(6)可能需要检查和测量以确保合适的接地的部件接地和导线;

(7)燃油箱维护面板/口盖密封泄漏、电阻检查;

(8)燃油泵连接器的腐蚀、磨损;

(9)燃油泵电源线路结构、密封的完整性。

此外,为确保燃油系统适航限制与其它相关文件的协调一致性,在制定维修和检查指南时,需要对相关内容进行确认;持续适航文件中与所建议维修和检查指南类似的内容、地面操作程序、MMEL 和相关的维修/运行程序、飞行手册中的机组操作程序等。

3 典型机型适航限制项目分析

为了更好地理解燃油箱点燃防护相关适航限制的要求,通过对已按照 SFAR88《燃油箱系统故障容差评定要求》的追溯要求,制定适航限制的典型机型波音 757 飞机的维修计划文件进行分析,可以获得如下相关信息:波音 757 飞机的燃油箱系统适航限制(AWL)包括适航限制指南(ALI)和关键设计构型控制限制(CDCCL)。其中,适航限制指南(ALI)定义了必须执行的燃油箱点火源防护相关的检查任务,以维持飞机运行寿命内的设计安全水平。对波音 757 飞机点火源防护相关适航限制的总结如表 1 所示^[8]。

4 总结

本文研究了条款 25.981 与燃油箱点火源防护相关的持续适航要求、相关咨询通告的要求;梳理了制定燃油箱系统适航限制的流程、考虑;并对典型机型的燃油系统点火源防护相关适航限制进行了分析。可为运输类飞机燃油系统点火源防护相关适航限制的制定提供参考。

表 1 波音 757 飞机点火源防护相关适航限制总结

序号	适航限制	对应系统	CDCCL	ALI	关注点
1	中央翼油箱上壁板外部导线	电气线路互联系统(EWIS)	是	是	导线在中央翼油箱上壁板形成电弧;关注卡箍损坏、线缆磨损等
2	油箱外部 FQIS 导线	燃油 EWIS	是	是	导线上可能的闪电感应电压、EMI 感应电压、热短路(Hot short)电压可能进入燃油箱;对于闪电:关注屏蔽和接地;对于电磁干扰(EMI)、热短路(Hot short);关注导线类型、隔离等
3	油箱内部 FQIS 导线	燃油 EWIS	是	否	油箱内线缆的维修错误,可能产生电弧间隙;关注导线布置间隔、导线安装
4	FQIS 处理器单元	燃油	是	否	FQIS 处理器单元是保持 FQIS 系统本质安全的关键,可能的维修错误会导致防护特征失效;关注 FQIS 处理器单元的防护特征的维持
5	油箱内 FQIS 硬件(如密度计等)	燃油	是	否	油箱内硬件的维修错误,可能产生电弧间隙;关注 FQIS 硬件的防护特征的维持
6	进入油箱的液压管路、从油箱引出的发动机供油管路	液压燃油	是	否	管路与油箱壁板之间因闪电、静电导致电火花;关注管路与壁板间的密封/隔离,相应的电搭接完整性
7	穿透油箱的部件	燃油	是	否	电气失效电流或被闪电击中时,不足够的电搭接导致电弧或火花进入油箱;不得增加或更改穿透油箱的部件
8	直流电动泵、交流电动泵的维修	燃油	是	否	燃油泵维修错误,导致点火源防护特征失效;关注点火源防护特征的维持
9	直流电动泵的电搭接	燃油	是	否	可能的失效电流从燃油泵盖经结构进入燃油箱;关注直流电动泵搭接线的搭接电阻
10	燃油切断阀作动器	燃油	是	是	可能的电弧或细丝加热进入油箱;关注切断阀体与油箱结构的电搭接、密封
11	燃油箱维护口盖、通气口盖	结构燃油	是	否	口盖被闪击或通过机翼蒙皮传递的电流导致在维护口盖与油箱结构间出现电弧或火花;关注电搭接通路的维持
12	接地故障中断继电器(GFI)或断路器的重置	燃油	是	否	燃油泵与泵壳间,燃油箱外可燃液体泄漏区燃油泵线缆与结构间可能出现电弧或火花;重置断开的 GFI 或断路器前需确认故障已隔离
13	GFI	燃油	否	是	GFI 的潜在失效导致大的电流进入油箱;关注 GFI 功能完整性
14	燃油泵自动切断功能	燃油	否	是	燃油泵的干转可能导致在燃油泵入口产生某些导致点火源的失效;关注自动切断功能,预防潜在故障
15	热短路保护器(HSP)	燃油	是	否	线缆与线缆热短路电压通过中央翼油箱燃油密度计线缆进入燃油箱;确保 HSP 正确安装
16	阀作动器的安装	燃油	是	是	闪电或电气故障电流时,在金属接地结构接口可能出现的电弧或火花进入燃油箱;关注电搭接、密封
17	阀作动器的维修/更换	燃油	是	否	作动器输出轴上的电隔离器用于断开输出轴与马达内部电路和接地结构;更换阀作动器时,需试验室试验确认电气隔离特征的完整性
18	泵上电失效保护	燃油	否	是	泵的干转可能导致在燃油泵入口产生某些产生点火源,上电失效保护系统被安装和设计成用于防止因单一故障而保持燃油泵上电;关注泵上电失效保护系统有效性

参考文献:

- [1] FAA. Amendment 25-102: transport airplane fuel tank system design review, flammability reduction, and maintenance and inspection requirements[Z]. 2001-5.
- [2] FAA. Amendment 25-125: Reduction of Fuel Tank Flammability in Transport Category Airplanes [Z]. 2008-7.
- [3] FAA. AC 25.981-1C, Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines[Z]. 2008-9.
- [4] FAA. SFAR No. 88. Fuel Tank System Fault Tolerance E-

valuation Requirements[S]. 2002-12.

- [5] 丁朱寅. SFAR88 适航限制项目与持续适航文件制定方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2012 增刊:57-60.
- [6] 中国民用飞机航空局. CCAR-25-R4 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [7] FAA. Notice NO. 14-09 Transport Airplane Fuel Tank and System Lightning Protection [Z]. 2014-12.
- [8] Boeing. Boeing 757 Maintenance Planning Data[Z]. 2009-5.

(上接第 44 页)

(2) 完成自然结冰条件下短舱防冰系统试飞后, 再进行连续最大自然结冰条件下 45min 待机的性能操稳试飞;

(3) 试验过程中若发动机振动值超过限值则必须密切关注, 对于非试验发动机当振动值超过限值时需执行脱冰程序;

(4) 试飞机组熟悉发动机空起程序, 熟悉单发操作以及单发着陆程序;

(5) 加装摄像头, 对发动机前段区域进行监控, 结合视频, 参加试飞的相关人员应加强对于自然结冰试飞过程中发动机参数异常的判断能力;

(6) 在结冰区域飞行时, APU 发电机处于接通状态, 作为主发动机的应急备份电源;

(7) 试飞中发动机若出现异常, 航后应按规定进行孔探检查。

3) 防止 APU 故障或损坏

(1) 脱离结冰区, 爬升或下降到非结冰区域;

(2) 如果 APU EGT 超限, 手动关闭 APU;

(3) 如果 APU 滑油温度超限, 手动关闭 APU。

4) 防止冰雹或雷电导致的损坏

(1) 飞机距雷暴区至少保持 20n mile;

(2) 气象雷达正常工作, 确保飞机不在黄色或红色区域工作;

(3) ATC 监控, 避免飞机在可能的雷暴区域工作。

5) 防止结冰引起飞机襟缝翼故障和结构损伤

(1) 停止试飞动作, 通过监控视频或上机人员观察判断飞机襟缝翼位置;

(2) 执行脱冰程序。

6) 其它

(1) 自然结冰试飞机场净空条件良好, 通讯、导

航设备、备降场设备齐全;

(2) 加强飞行前检查并完成地面除冰, 严禁飞机带霜、雪起飞;

(3) 在进入结冰云区后, 试飞机组调出防冰系统简图页, 实时观察确保系统工作正常, 飞行员要密切注意结冰告警信号, 确保按要求打开防冰系统;

(4) 在进入结冰云区后, 要求机组根据目视结冰标尺判断飞机结冰情况, 从而决定是否需要立即脱离。

4.3 应急处置程序

飞机满足规定的结冰厚度后, 或者出现异常情况时, 应尽快离开结冰区。

5 结论

本文针对民用飞机防冰系统试飞, 明确了系统试飞要求和目的, 提出了防冰系统测试改装要求、干空气条件及自然结冰条件试飞方法。针对自然结冰条件试飞, 提出了结冰气象参数有效性判据, 以及自然结冰试飞风险评估。为防冰系统干空气及自然结冰试飞提供了指导。

参考文献:

- [1] AC20-73A, Aircraft ICE Protection[S] 2006, 08, 16.
- [2] 中国民用航空局. CCAR-25-R4 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空总局, 2009.
- [3] 霍西恒, 王大伟, 李革萍, 等. 某型客机机翼防冰系统性能验证研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2013, 4: 13-16.
- [4] 裘燮纲, 韩凤华. 飞机防冰系统(第一版)[M]. 北京: 航空专业教材编审组, 1985.
- [5] 霍西恒, 王大伟, 李革萍, 等. 民机防冰系统自然结冰试飞技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014, 1: 15-29.