

基于 FTA、FMEA 制定飞机燃油 ALI 方法

Methods of Establishing Aircraft Fuel ALIs Based on FTA&FMEA

中国民航大学航空工程学院 贾宝惠 杜宜东 高 蕾

[摘要] 运用四元素评估标准确定“不安全状态”，使用蒙特卡罗模型解决了可燃性暴露时间问题。在确定维修间隔时，使用 FTA、FMEA 进行安全评估，找出与“不安全状态”有关的失效模式，进而进行可靠度分配和维修间隔的计算。

关键词： 燃油 ALI 四元素评估标准 蒙特卡罗模型 FTA FMEA

[ABSTRACT] “Unsafe condition” is determined with four-element evaluation criteria, and the problem of flammability exposure time is settled with Monte-Carlo method. When determining the service intervals, FTA, FMEA are used to develop safety assessment and find fault modes relating to “unsafe condition”, then calculation of reliability degree distribution and service intervals is achieved.

Keywords: Fuel ALI Four-element evaluation criteria Monte Carlo method FTA FMEA

燃油箱爆炸长久以来一直是威胁飞机安全的重要隐患。自 1960 年以来共有 18 架飞机因为燃油箱爆炸而损坏或坠毁。1996 年 7 月 17 日，环球航空 TWA800 号班机起飞后不久在纽约长岛上空附近爆炸，造成机上人员全部罹难。这起事故促使 FAA 迅速做出行动，以

确保燃油箱的安全。由此，燃油系统 ALI(适航限制项目)应运而生。

1 燃油 ALI 的要求

燃油 ALI 是为了防止燃油箱内部由于潜在的失效、变更、修理或维护措施引起的潜在点火源，因为点火源与可燃性燃油蒸汽结合，将会造成燃油箱爆炸并进一步导致飞机失事。飞机的燃油 ALI 是针对飞机燃油箱系统的安全性设立的，其要求和寿命限制 / 监控零部件要求、结构适航限制条款，以及系统 CMR（审定维修要求）一起，组成了飞机的 ALS（适航限制部分）。

燃油 ALI 是系统安全性分析的结果，这些分析表明系统存在与 SFAR 88（燃油箱系统故障容限评估要求）中所定义的由于系统构型改变、修理或维修差错所导致的“不安全状态”有关的失效状态。若不按照相关法规采取特定的工作或操作，这些失效模式将导致不可接受的着火风险，从而导致飞机产生严重故障。图 1 为 SFAR 88 的执行流程。

1.1 不安全状态的评估准则

经过安全评估识别了的项目将用表 1 所述的四元素法“不安全状态”评估准则来决定是否需要发布适航指令。表 1 所述准则要求不论燃油箱可燃性暴露时间如何，被识别的不安全状态都需要一个纠正措施（例如

表1 四元素法“不安全状态”评估标准

SFAR 88 不安全状态确定标准			
	元素 4: 可燃性暴露时间		
	(1) 高可燃性暴露时间油箱 大于 7%	(2) 高可燃性暴露时间油箱通过惰化或其他措施降低为低可燃性暴露时间油箱	(3) 低可燃性暴露时间油箱
元素 1: 评估单点故障	不安全状态: 可预知的单点故障危及飞行安全 要求措施: 所有识别的单点故障必须出台纠正措施(例如 AD)		
元素 2: 评估故障组合	不安全状态: 任何不符合 AC25.981-1 里的关于 § § 25.981(a) 或 (b) 和 25.901 的规范 要求措施: 任何不符合以上所述规章的结果都必须发布纠正措施(例如 AD)	不安全状态: 已知的故障组合危及飞行安全 要求措施: 所有已知的故障组合必须发布纠正措施(例如 AD)	
元素 3: 评估维修经验	不安全状态: 存在以下方面的故障(1)燃油箱能量消失 / 产生点火源, 或(2)危及燃油箱安全防护设施 要求措施: 所有故障必须采取纠正措施		

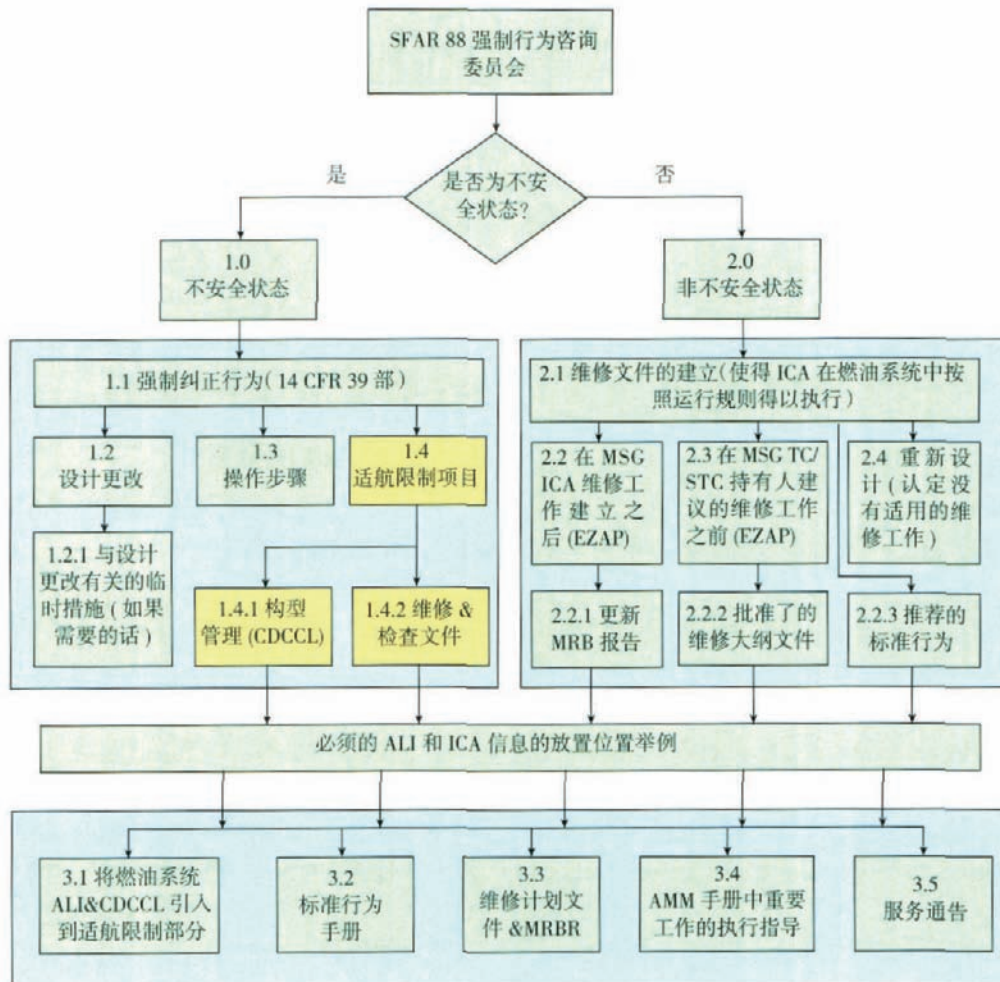


图1 SFAR 88执行流程
Fig.1 Implementation flow of SFAR 88

穿过导管的电弧之类的单点故障)。在评估某些故障组合的纠正措施时,这些准则考虑了可燃性暴露时间。

1.2 燃油箱可燃性暴露时间分析

可燃性暴露时间的确定过程如下。

步骤1:通过检查和定量设计来评定燃油箱是否具有低可燃性暴露时间的特征。如果答案是肯定的,那么燃油箱是一个低可燃性暴露时间油箱;如果是否定的,进行步骤2。

步骤2:该燃油箱是否能满足低可燃性暴露时间的简化的量化标准。如果答案是肯定的,那么燃油箱是一个低可燃性暴露时间油箱;如果是否定的,进行步骤3。

步骤3:该油箱用蒙特卡罗分析和地面燃油温度限制能否满足低可燃性暴露时间标准。如果答案是肯定的,那么燃油箱是一个低可燃性暴露时间油箱,如果是否定的,那么燃油箱是一个高可燃性暴露时间油箱。

1.3 蒙特卡罗模型

蒙特卡罗模型是FAA开发的计算机模型,它是用来确定飞机燃油箱可燃性的对比分析工具。该模型对大量

航班已知分布中的某些不确定变量应用蒙特卡罗统计方法生成可燃性数据,利用用户提供的输入数据对每个航班进行迭代计算,得出各自的可燃性暴露时间。对足够多的航班进行可燃性暴露时间计算,可以得出可靠的统计学可燃性暴露数据。这些计算将被用户应用在任一飞机燃油箱上,而不管它是否使用了可燃性降低方法。

在收集飞机燃油箱数据的基础上,燃油系统将开展飞机燃油箱可燃性蒙特卡罗分析,以确定燃油箱是低可燃性暴露时间还是高可燃性暴露时间。

1.4 燃油ALI分类

燃油ALI分为两大类:(1)维修/检查任务,主要包括如何减少飞机燃油箱系统的点火源以及如何降低油箱环境的可燃性。(2)关键设计构型控制限制(CDCCL),对有关燃油系统构型的一种限制,防止在改装、修理或维修活动中,产生点火风险。

2 燃油ALI制定流程

SFAR 88的第二节要求大型运输类飞机型号合格

证和补充型号合格证持有人进行燃油系统的安全评估,安全评估的目的是确定可能导致燃油系统点火源事故的设计特征。如果该设计不满足上述条款的要求,就要进行相应的设计更改。

2.1 系统安全评估

系统安全评估的分析过程如下:

(1)首先对所研究的机型进行燃油系统描述,介绍所研究飞机的燃油系统组成以及各组成部分和各个部件的功用。

(2)对所研究的飞机燃油系统进行FHA(功能风险分析),找出能导致灾难性或危险性后果的故障模式,作为FTA(故障树分析)的顶事件。

(3)根据FHA分析出来的顶事件建造故障树。运用FTA、FMEA(故障模式及其影响分析)对飞机燃油系统进行详细的安全评估。

(4)根据上述的四元素法找出符合准则中所述的单点故障和故障组合,判断它们是否会导致危险性或灾难性点火源的发生,从而确定是否为燃油ALI的候选项目。

2.2 维修间隔的计算

确定燃油ALI的候选项目后,对这些项目进行FT(故障树)定量计算,给出每个故障的爆发间隔,以便在规定的时间内进行检查来防止故障的发生。

在此按照AC25-19给出系统对各个部件的安全要求,不同危险程度对应不同的故障概率。根据AC25-19安全要求列表中的要求,可以按照故障的危险等级,给出部件要求的故障率,再除以部件实际发生的故障率就可以得到故障的爆发时间,也就是维修检查的间隔时间。

根据已进行的FMEA对故障危险等级的分析,结合AC25-19系统安全要求中对故障概率的分析,我们可以定义出故障树顶事件的故障概率要求。可靠度分配方法有很多种,例如平均分配法、权值分配法等,这项工作一般在产品设计时进行。在这里为了说明系统是如何分配可靠度的,利用AGREE分配法对各部分进行可靠度分配。具体分配方法为:

$$P_i = \frac{1}{W_i} [1 - (1 - P)^{n_i/N}] ,$$

$$R_{e,i} = 1 - W_i P_i .$$

其中, P_i 为第*i*个分系统的失效概率; P 为系统总的失效概率; n_i 为第*i*个分系统所包含的元器件数量; N 为系统总的元器件数量; W_i 为重要度因子, $0 < W_i \leq 1$; n_i/N 为第*i*个分系统的复杂性因子。

通过分配的可靠性要求,计算各个故障的维修间隔,从而确定了候选燃油ALI的维修间隔。

2.3 确定燃油ALI

完成燃油ALI候选项目后,提交给CMCC(审定维修协调委员会)来进行进一步的评审和讨论,根据评审意见形成正式的燃油ALI,并送至适航当局进行审批。燃油ALI最终以MRB报告附录的形式公布。

3 结束语

本文简要叙述了燃油ALI的内容和要求,并给出了制定燃油系统ALI的流程。鉴于我国目前正在开展大型运输类飞机的研制工作,笔者希望本文能对我国大型运输类飞机的适航审定工作有所帮助。

参考文献

- [1] FAA. Policy statement on process for developing SFAR 88-related instructions for maintenance and inspection of fuel tank systems. U.S. Department of Transportation, 2004: 5.21.
- [2] FAA. AC 25.981-2 Fuel tank flammability minimization. U.S. Department of Transportation, 2001: 04.18.
- [3] FAA. AC 25.1309-1A system design and analysis. U.S. Department of Transportation, 1988: 6.21.

(责编 小颖)

(上接第68页)

3 结束语

(1)通过采用有限元软件对钛合金六角头螺栓的头部成形过程进行模拟,得到成形过程中的工件温度变化、材料流动情况、应力应变分布变化情况、模具受力情况,具体了解了六角头螺栓的头部变形行为。

(2)对成形过程中可能出现的缺陷——折叠和裂纹进行了预测,通过改进预成形模具的形状尺寸,可以防止折叠的产生。

(3)六角头螺栓头部采用模具成形时,需要根据螺栓长度和头部尺寸精确下料,并精确计算模具行程,这种成形工艺对加工设备提出了较高的精度要求。

参考文献

- [1] 周勇,傅蔡安.基于DEFORM-3D的微型螺钉冷成形过程有限元分析.机械设计与制造,2008(3):109-111.
- [2] 孙曙宇,傅健,谢彬.锻造成形有限元数值模拟技术.现代制造工程,2008(5):49-51.
- [3] User's Manual, DEFORM 3D.
- [4] 吕成,张立文.TC4钛合金锻造过程三维热力耦合有限元模拟.锻压技术,2007(2):28-31.
- [5] 何涛,王宝雨,胡正寰.Inconel718合金楔横轧成形热力耦合模拟.塑性工程学报,2008(7):157-159.

(责编 小颖)