

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.04.020

# 运输类飞机适航标准第 25.975 条(a)(7)项 要求及符合性验证研究

## Study of the Requirements and Compliance Verification of § 25.975(a)(7)

毛文懿 李 涛 / MAO Wenyi LI Tao

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

### 摘 要:

经第 25-143 号修正案新增的第 25.975 条(a)(7)项要求防止燃油箱外部的火焰经由通气系统进入燃油箱而导致燃油箱爆炸的风险。通过对第 25.975 条(a)(7)项的修订背景、相应咨询通告 AC25.975-1 的研究分析,明确了燃油箱通气火焰抑制器性能标准,采用火焰抑制器作为符合手段的符合性验证思路,符合性验证关注点,为运输类飞机燃油系统的设计和符合性验证提供参考。

**关键词:** 25.975(a)(7); 适航; 火焰抑制器; 符合性方法

**中图分类号:** V221+.91

**文献标识码:** A

[Abstract] § 25.975(a)(7) at Amendment 25-143 requires to prevent fuel tank explosions that caused by propagation of flames from outside the tank through the fuel tank vents. Based on the review and study on the background of regulation amending and the contains in advisory circular AC25.975-1, this paper definitudes the minimum standard for flame arrestor, the means of compliance for using flame arrestors as a means, and the concerns should be considered in verification. The research can provide guidance for design and verification on the fuel system for transport category airplane.

[Keywords] 25.975(a)(7); airworthiness; flame arrestor; method of compliance(MOC)

## 0 引言

在 FAA 发布第 25-143 号修正案前,《运输类飞机适航标准》中包含有大量关于燃油箱点燃防护相关的要求,譬如:第 25.981 条要求防止在燃油箱或燃油箱系统内形成点火源,并且防止燃油箱的易燃性暴露时间超过许可值;第 25.954 条要求燃油系统的设计和布置,能阻止因闪电闪击而点燃系统内的燃油蒸气等。这些条款并未关注因外部点火源引起的火焰经由通气系统进入燃油箱的风险。2016 年 6 月 24 日,美国联邦航空局 (FAA) 发布了第 25-143 号修正案,增加第 25.975 条(a)(7)项,以解决飞机外部着火的火焰经

由燃油箱通气系统传播进入燃油箱,而导致燃油箱爆炸的问题<sup>[1]</sup>。

## 1 规章修订概述

通过对世界范围类的运输类飞机事故(包括从 1964 年开始出现的,坠撞后的燃油箱爆炸事故)历史的回顾,特殊航空着火和爆炸减轻(SAFER)咨询委员会在 1980 年出版的报告中给出如下结论:按现有技术,可以减小坠撞后燃油箱爆炸的可能性。SAFER 咨询委员会确认:如果飞机的燃油箱通气系统安装有火焰抑制器或通气/防溢油箱灭火系统,则四起因坠撞着火引起的燃油箱爆炸可以被避免。此外,该委员会还评估了解决燃油箱爆炸问题的方

法,譬如燃油箱惰化、安装燃油箱通气火焰抑制器、引入通气/防溢油箱灭火系统等,并确认安装燃油箱通气火焰抑制器是当时最可行的方法。该方法已在许多现役飞机上用于延迟地面着火的传播及之后的爆炸,为乘客和机组的安全撤离提供了额外的时间<sup>[2]</sup>。

基于 SAFER 咨询委员会的报告,FAA 在 1995 年 2 月 2 日发布了 NPRM “Fuel System Vent Fire Protection”(60 FR 6632),提议更改《运输类飞机适航标准》,要求新的运输类飞机型号设计具有 5 分钟的燃油箱通气防火能力;并对相关的运营规章进行更改,以要求对现有运输类飞机机队进行改装。FAA 收到的与该 NPRM 相关的评论包括:对所提议的 5 分钟标准及改装要求的经济性分析的准确性的质疑,并建议 FAA 制定额外的指南(如 AC),以提供鉴定火焰抑制器满足所提议要求的符合性方法。基于相应的评论意见,FAA 从部件供应商处获得了额外的费用信息,起草了符合性验证的 AC 初稿。

2001 年,FAA 向航空规章制定咨询委员会(ARAC)分派任务,以评估最终的规章草案和 AC 草案,包括 FAA 对公众评论意见的处置建议。2002 年,基于分派给 ARAC 的任务,FAA 发布通告,撤回了于 1995 年发布的 NPRM。但由于工业资源和 FAA 规章制定优先活动等原因,ARAC 未能开展相关工作。FAA 在 2004 年再次撤回了分派给 ARAC 的任务。

自 2005 年起,FAA 基于 14CFR21.21 关于不安全设计特征的判定的要求,针对特定的审定项目,通过问题纪要,要求进行新的型号合格审定的飞机设计采用火焰抑制器。

2014 年 8 月 15 日,FAA 发布了新的 NPRM “Fuel System Vent Fire Protection”(79 FR 48098),并于 2016 年 6 月 24 日,正式发布第 25-143 号修正案,修订第 25.975 条以要求:当燃油箱通气口连续地暴露在火焰中时,燃油箱通气系统能至少在 2 分 30 秒内,阻止因燃油箱外的火焰经由燃油箱通气系统传播到燃油箱蒸气空间而导致爆炸。与此同时,FAA 还对 121 部、129 部中相关运营类要求进行修订<sup>[1],[3]</sup>。

## 2 适航条款要求及解析

### 2.1 适航条款要求

经第 25-143 号修正案修订的 14 CFR Parts 25

中第 25.975 条(a)(7)项要求如下<sup>[4]</sup>:

§ 25.975 Fuel tank vents and carburetor vapor vents.

(a) \* \* \*

(7) Each fuel tank vent system must prevent explosions, for a minimum of 2 minutes and 30 seconds, caused by propagation of flames from outside the tank through the fuel tank vents into fuel tank vapor spaces when any fuel tank vent is continuously exposed to flame.

目前,在中国民用航空局(CAAC)发布的 CCAR25 部的最新有效版本(CCAR-25-R4)和欧洲航空安全局(EASA)发布的 CS25 部的最新有效版本( Amendment 18)中均暂未包含类似要求。

### 2.2 适航条款要求解析

第 25.975 条(a)(7)项的意图是阻止因外部点火源点燃蒸气空间包含的燃油蒸气,或经燃油箱通气出口从蒸气空间排出的燃油蒸气而导致燃油箱爆炸<sup>[2]</sup>。根据修正案 25-143“Fuel Tank Vent Fire Protection”,对条款中的相关术语解释如下:燃油箱通气系统是使燃油蒸气从飞机燃油箱通向外界大气的系统;燃油箱通气系统确保燃油箱内的空气和燃油压力始终处于结构限制范围内。火焰传播是指火焰在可燃环境中从燃烧开始的位置向外蔓延。蒸气空间是指可包含燃油蒸气的飞机燃油系统和燃油箱通气系统的任何部分<sup>[1]</sup>。

燃油箱通气系统外部潜在的点火源通常包括:地面操纵设备;由于加油喷溅导致的燃油着火;可生存坠撞着陆后(且燃油箱和通气系统仍是完好的)的地面着火,如:发动机与飞机分离导致的燃油或滑油喷溅,飞机燃油箱损坏导致的燃油泄漏等导致的着火。

适航条款要求的最低性能标准(2 分 30 秒)是基于现有技术水平、实用性的平衡。第 25.803 条“应急撤离”要求最大乘座量的成员能在 90 秒钟内从飞机撤离至地面。其假定的前提是最少数量的可用出口,所有乘客没有受伤且乘客生理上具有离开飞机的能力。但经验表明,在事故后的情形通常并非如此。因此,需要额外的时间用于乘客逃生和应急处置。第 25.856 条“隔热/隔音材料”的(b)款规定必须满足 25 部附录 F 第 VII 部分抗火焰穿透试验要求的至少耐受 4 分钟;此外,火焰烧穿机身蒙

皮的时间为1分钟。然而,满足5分钟标准的火焰抑制器将显著地重于、大于满足2分30秒标准的火焰抑制器;且为了满足加油时的通气性能要求,需更改燃油系统通气管路,这带来了额外的经济影响。因此,基于对火焰抑制器性能及其服役经验,火焰抑制器性能验证的火焰维持试验方法的保守性评估,FAA认为将火焰抑制器的性能标准定义为2分30秒是合适的,可提供满意的乘客逃生安全标准。

### 3 使用火焰抑制器的符合性验证思路

根据AC25.975-1“Fuel Vent Fire Protection”,

可以通过火焰抑制器、燃油箱惰化、闭式通气系统、通气/防溢油箱灭火系统等多种方式来表明对第25.975条(a)(7)项要求的符合性;然而,燃油箱通气火焰抑制器是当前最可行的方法。当使用火焰抑制器作为符合2分30秒的性能标准的方式时,需基于在燃油箱通气出口附近出现火焰时,预期出现的最严酷状态下,对火焰抑制器性能进行评估。在表明符合性时,需进行两类试验:通气蒸气流静止条件下的火焰传播试验和连续蒸气流条件下的火焰保持试验。相应的试验装置示意图见图1<sup>[2]</sup>。

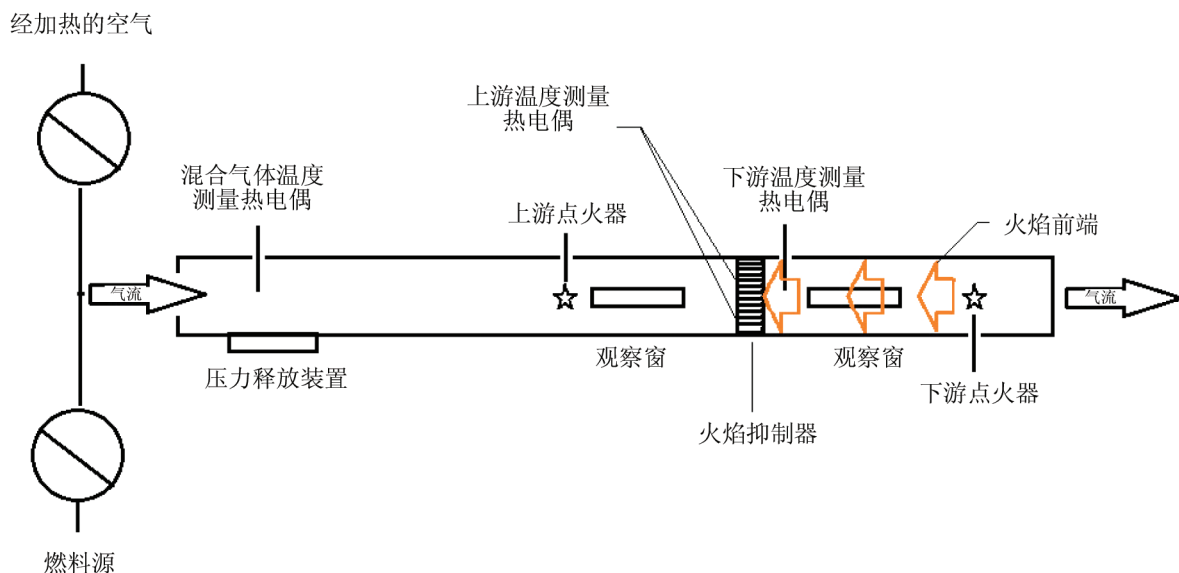


图1 火焰抑制器性能验证试验装置示意图

#### 3.1 火焰传播试验

本试验的意图是:验证在静止状态,燃油/空气混合比为理论配比的 $1.15 \pm 0.05$ 倍时,火焰抑制器组件的火焰抑制性能。试验时,通过对下游点火器的激励,点燃火焰抑制器组件下游的混合气体;通过观察窗观察以证实火焰不会穿透火焰抑制器。此外,需通过对上游点火器的激励,并观察上游混合物的点燃情况,以证实上游的混合物是可燃的。该试验需要至少重复5次。

#### 3.2 火焰保持试验

本试验的意图是:验证在可燃蒸气从通气管路连续排出时,出现在燃油箱通气出口的火焰将不会传播到燃油箱内。配置燃油/空气混合比为理论配比的1.15倍;调整气体流速以实现气流流出火焰

抑制器组件的速度为 $0.75\text{ft/s} (+0.25, -0\text{ft/s})$ ;然后,点燃火焰抑制器下游的气体;通过观察窗观察,确定火焰前端的位置;调整气体混合物流速,使火焰前端接触到火焰抑制器的下游表面,这可保证在火焰抑制器表面产生最大的热流。试验过程中可燃气体混合物的流速需维持为常量,且需维持恰当的油气比。若能满足2分30秒的最小火焰保持时间,并验证了位于燃油箱内的安装部分的温度低于所制定的最大允许表面温度,则试验通过。

此外,在完成火焰抑制器的验证试验后,需仔细检查火焰抑制器结构的完整性。若因试验导致火焰抑制器组件结构完整性失效,进而导致火焰穿透火焰抑制器,则火焰抑制器试验失败。试验过程中,如果火焰抑制器的安装可阻止火焰传播,则火

焰抑制器部件损坏也是可接受的,但必须明确火焰抑制器在遭受火焰后的维修要求为修理或替换火焰抑制器。

## 4 符合性验证关注点

### 4.1 使用火焰抑制器表明符合性的验证关注点

火焰抑制器的性能受到其安装效果的影响,不同的安装可能导致如火焰前端速度、表面温度等关键参数的变化。在表明符合性时,申请人应计及安装的影响。申请人通常应选择完整的、表明了对装机产品制造符合性的火焰抑制器(包括上游和下游的管路)进行试验。

在开展验证试验时,火焰抑制器在固定装置上的方位也是关键参数。例如,在地面着火冲击火焰抑制器表面时,向下安装的火焰抑制器的火焰保持能力,相对于水平安装的火焰抑制器的火焰保持能力而言更短。

用于评估火焰抑制器有效性的关键状态出现在火焰前端接触到火焰抑制器表面时,这可导致火焰抑制器被加热。当火焰抑制器被加热,火焰抑制器吸收能量的能力会降低,进而导致其不能熄灭火焰,火焰穿过火焰抑制器而导致回火。

火焰穿透火焰抑制器还可能是由于热表面点燃可燃蒸气而导致的。将处于火焰抑制器内侧的组件表面(包括管路和接头)加热到高于可燃蒸气混合物的自燃温度(AIT)的时间,是确定火焰抑制器组件有效性的限制因素。而热表面的表面区域和形态、热源周围的流场,是确定点火源是否出现的关键因素。

火焰抑制器上游表面中心点的温度应低于 700 °F (371.1 °C);对于煤油燃料,如 JET A,受影响表面的最大允许表面温度为 400 °F (204.4 °C);在申请人能证实制定更高温度限制合理的情况下,也可制定更高的表面温度限制。对于通过分析要求建立限制的任何部件,申请人应监控和记录部件的表面温度,表明表面温度仍低于所制定的限制。

### 4.2 其它考虑

在飞机燃油通气系统内安装火焰抑制器可能影响燃油箱的通气系统性能。在设计火焰抑制器的安装时,申请人应考虑在加油系统失效状态下,火焰抑制器组件安装所导致的限流及流阻增加等因素的影响。

此外,还需考虑如结冰和闪电等环境条件的影

响。由闪电引起的通气出口附近的燃油蒸气点燃会导致高速的压力波,其可能穿过火焰抑制器;使火焰抑制器没有足够的时间进行热交换,以熄灭火焰前端。因此,满足 AC25.975-1 所定义标准的火焰抑制器,可能不足以防止燃油箱通气口附近的闪电电击所引起的着火的传播。

当采用燃油箱惰化、闭式通气系统、通气/防溢油箱灭火系统等方式来表明对第 25.975 条(a)(7)项要求的符合性时,需验证:在所有的运行条件(如:滑行、起飞、着陆、加油等)及坠撞后的着火场景,采用的设计能至少在 2 分 30 秒内阻止外部火焰经由通气系统导致的燃油箱爆炸。如:满足第 25.981 条要求的惰化系统在加油操作或惰化系统不工作时通常允许燃油箱是可燃的;闭式的通气系统可能在故障或坠撞后着火场景下不能正常工作;灭火系统通常由传感器作动,且释放灭火剂只能在很短的一段时间内生效。申请人应关注这些状态,以确保系统始终满足第 25.975 条(a)(7)项的要求。

## 5 结论

本文研究了第 25 - 143 号修正案制定的背景,研究了条款和咨询通告 AC25.975 - 1 的相关要求;梳理了燃油箱通气火焰抑制器性能判定标准和采用火焰抑制器作为符合性方法的符合性验证思路、符合性验证关注点。可为运输类飞机燃油通气火焰抑制器的设计和验证提供参考。

### 参考文献:

- [1] FAA. Amendment 25 - 143: Fuel Tank Vent Fire Protection [R]. 2016 - 6 - 24.
- [2] FAA. AC25.975 - 1, Fuel Vent Fire Protection [Z]. 2016 - 6 - 24.
- [3] FAA. Notice No. 14 - 07: Fuel Tank Vent Fire Protection [R]. 2014 - 8 - 15.
- [4] FAA. 14 CFR25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes (Amdt. No. 25 - 143) [S]. 2016 - 6 - 24.

### 作者简介

毛文懿 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:运输类飞机动力装置、燃油系统适航符合性验证工作;E-mail:maowenyi@comac.cc

李涛 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:运输类飞机动力装置、APU 油系统适航符合性验证工作;E-mail:litao@comac.cc