

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.02.016

客/货两用飞机货舱烟雾探测试验方法研究

刘志远*

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 对于客/货两用飞机货舱烟雾探测系统,国内尚未开展过其功能验证试验,缺乏相应的试验标准。为了对某型客/货两用飞机货舱烟雾探测系统进行考核,借鉴民用运输类飞机常用的烟雾探测试验方法开展研发试验,结果表明试验方法并不适用。为重新制定试验方法,分析了不同种类烟雾发生器的特点,给出了烟雾发生器的选择建议。根据该型机货舱烟雾探测系统特点,提出了新的烟雾量确定方法及发烟位置选择方法。基于该型机的使用环境,确定了试验条件,形成了最终试验方案,完成了对该型机货舱烟雾探测系统的考核。该试验方法可为后续客/货两用飞机货舱烟雾探测系统考核试验提供参考。

关键词: 客/货两用飞机货舱;烟雾探测系统;烟雾量大小;发烟位置

中图分类号: V223⁺.2

文献标识码: A

OSID:



0 引言

客/货两用飞机一般是为了适应航空公司的需要,提高运输机的利用率,在客运非高峰期将旅客机经改装用于货运业务的飞机^[1]。如在波音 727-320QC、波音 737-200C/QC 飞机上增加了客货两用型快速转换设备,可实现客型和货型快速转换。中国民用航空规章第 25 部《运输类飞机适航标准》(CCAR-25-R4)第 25.857 条规定除 A 级货舱以外, B 级、C 级、E 级货舱均应有经批准的、独立的烟雾探测或火警探测器系统,可在驾驶员或飞行工程师工作位置处给出警告^[2]。对于客/货两用飞机货舱,CCAR-25 部中并没有给出其属于何种货舱等级,按其功能及大小与 E 类货舱相接近。因此,当载货时烟雾探测系统应同 E 级货舱,满足在起火后 1 min 内向飞行机组给出目视指示的规定。

国内对于飞机货舱烟雾探测系统验证试验开始较晚。航空事业发展初期,由于航空技术的落后,更关注飞机的性能指标,而没有在飞机上装备完整的防火系统,对于货舱烟雾探测系统适航性的试验验证研究较少,当前国内仅 ARJ21-700 和 C919

飞机开展了货舱烟雾探测系统飞行试验验证,积累了相关试飞验证经验。而 ARJ21-700 和 C919 飞机货舱属于 C 级货舱,与某客/货两用飞机的大型货舱相比,货舱容积及三维尺寸均较小,因此对于该客/货两用飞机货舱烟雾探测系统试飞验证方案的制定,参考意义有限。

空客、波音、美国联邦航空管理局 (FAA) 等自 20 世纪 50—60 年代开始一直致力于货舱烟雾探测系统试验研究,研究初期曾采用燃烧氯酸钾与乳糖的混合物,燃烧手提箱、树脂块等产生的真火烟雾验证烟雾探测系统的告警性能,后出于安全考虑,采用模拟烟雾代替真火进行试验^[3-5],并颁布相关咨询通告 AC 25-9A《烟雾探测、穿透及排除试验以及有关飞行手册应急程序》来指导该项试验,AC 25-9A 推荐使用模拟烟雾进行试验,按照烟火燃烧产生的烟雾量来控制模拟烟雾量。这种方法主要依靠审查方和申请人的主观判断来确定,不便于工程应用^[6]。对于某大型客/货两用飞机,货舱三维尺寸较大,货舱内部无内饰,配有多个结构框及多种电子设备、引气管路等,完全不同于具有全内饰的光滑民机货舱,该型机烟雾探测器安装在货舱底部、

* 通信作者。E-mail: 253673421@qq.com

引用格式: 刘志远. 客/货两用飞机货舱烟雾探测试验方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2023(2):94-98. LIU Z Y. Research on smoke detection test method for the cargo compartment in Combi aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(2):94-98 (in Chinese).

侧壁和顶部,货舱及烟雾探测系统的构型差异导致已有的试验方法不适用该型号。为此,本文基于某客/货两用飞机货舱及配装的烟雾探测系统,开展大容积货舱烟雾探测系统试验方法研究,提出合适的试验验证方案,为该型机开展货舱烟雾探测系统验证试飞提供指导。

1 试验对象

本次试验的客/货两用飞机货舱与普通宽体客机货舱相比体积要大得多,其尺寸为长 24.0 m、宽 4.0 m、高 4.5 m。飞机共安装 22 个光电感烟探测器,其中货舱内安装 16 个。在货舱顶部中间对称面位置较为均匀地布置了 6 个烟雾探测器,在货舱左、右底部各对称分布 5 个烟雾探测器,烟雾探测器在货舱的分布如图 1 所示。每个探测器告警极限值为透光率 96%/ft。该货舱内左、右侧 29 框至 49 框之间中间高度分别有长形供气口,货舱前部顶蓬有 4 个小的方形供气口,排气口位于左、右侧底部烟雾探测器附近。

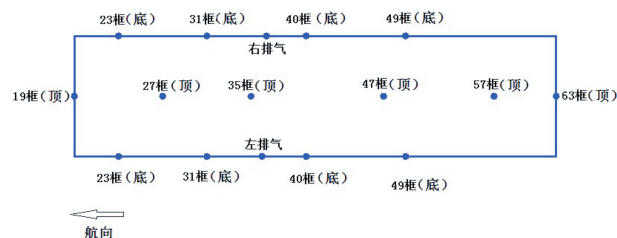


图 1 烟雾发生器布置示意图

2 初步试验方案及结果

2.1 初步试验方案

制定初步试验方案时借鉴民用运输类飞机当前常用的烟雾探测试验方法。烟雾探测试验的一般程序为:1)选择烟雾发生器,确定合适的模拟烟雾量;2)确定烟雾发生器的临界发烟位置;3)烟雾发生器放置飞机货舱,产生模拟烟雾,记录机上烟雾探测器的响应时间;4)评价是否满足“1 min 之内告警”的要求^[7]。制定货舱烟雾探测试验方案的关键是如何确定合适的模拟烟雾量。倘若试验中烟雾发生器发烟量过大,产生的模拟烟雾浓度远超过烟雾探测系统的报警浓度,烟雾探测系统肯定能在很短时间内发出报警信号,然而试验没能验证真实情况下火灾烟雾的情况(模拟烟雾量远大于真实火

灾中的烟雾),试验将毫无意义。如果烟雾发生器发烟量较小,无法达到烟雾探测系统的报警浓度,那么烟雾探测系统无法在 1 min 内发出报警信号,这将导致烟雾探测试验的失败。因此,试验第一步需要确定试验所需的模拟烟雾量大小。

对于模拟烟雾量大小确定方法,不同的货舱类型,确定方法也不相同。某支线客机货舱体积较小,属于 C 级货舱,烟雾探测试验适航取证时,烟雾量大小是由适航代表根据经验通过目视观察确定的^[8],烟雾量大小见图 2。空客公司进行 A380 飞机货舱烟雾探测试验时,提出了下述烟雾量确定方法:将光密度计固定在货舱顶蓬(激光发射器与接收器之间距离为 1 m),烟雾发生器安装在货舱底板,与光密度计相距 1/3 货舱长度,烟发生器向上出烟,若发烟 30 s 后,光密度计监测到的透光率达到烟雾探测器极限告警值,则烟雾量大小合适,确定后的烟雾大小如图 3 所示^[4]。



图 2 ARJ21-700 飞机货舱烟雾量大小



图 3 A380 飞机模拟货舱烟雾量大小

某客/货两用飞机货舱烟雾探测系统验证试验在国内首次进行,无标准可参考,考虑到该型机货

舱容积及尺寸远大于一般客机的货舱,初步试验方案制定时借鉴了 A380 飞机货舱烟雾探测试验方法。初步方案如下:1)首先确定烟雾量大小。如图 4 所示,将烟雾发生器摆放在货舱前部地板上,光密度计放置在距烟雾发生器 $1/3$ 货舱长度的顶蓬处(二者相距 8 m,大于机上相邻两个探测器的最大距离),不断调节烟雾发生器烟雾量大小,使发烟 30 s 后光密度计测到的透光率达到烟雾探测器极限告警值,则认为烟雾量达到要求。2)试验时,考虑货舱装载、通风口位置,结合仿真计算结果,将烟雾发生器放置在仿真计算结果不易告警的位置,按照确定好的烟雾发生量进行发烟。3)记录每次发烟时烟雾探测系统告警时间,对系统烟雾探测能力进行评价。

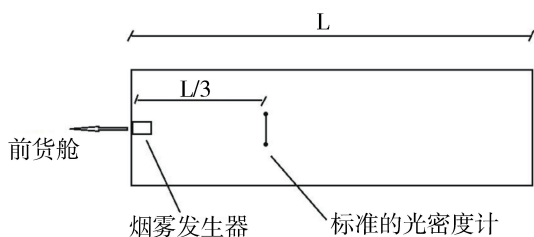


图4 货舱烟雾探测试验位置示意图

2.2 初步试验方案可行性验证

按照上述试验方案在某客/货两用飞机货舱内开展研发试验。试验共进行 4 次,烟雾发生器持续发烟 30 s,光密度计记录的透光率均大于 96%/ft。将烟雾发生器调至最大发烟量持续发烟 3 min,透光率仍未达到目标值。试验过程中,货舱内几乎充满了烟雾,但烟雾大多聚集在距货舱顶部 1 m 处,货舱顶部烟雾较为稀疏。受货舱构型和高度影响,烟雾不能较好地扩散到顶部触发烟雾探测器告警。另外,试验中只有烟雾发生器出口正对烟雾探测器时,才能够触发烟雾探测器告警,偏离探测器投影中心约 1 m 外时,全机均无告警。试验结果表明,初步试验方案不适用于该型机大尺寸货舱,需根据该型机货舱及烟雾探测系统特点,制定适用的试验方案。

3 大容积货舱烟雾探测试验方案

3.1 烟雾发生器选择

不同类型的烟雾发生器,使用的模拟烟雾剂不同,产生模拟烟雾的浮力特性、粒径、粒径分布等均

对烟雾探测试验结果产生较大影响。当前所用的模拟烟雾剂包括油基发烟剂(如 Fluid-135、Fluid-180)和水基发烟剂(乙二醇与水)。对比分析其他民用飞机烟雾探测试验所用的油基模拟烟雾剂及其进行同类试验所用的水基烟雾剂,油基烟雾发生器产生的烟雾不会快速蒸发,烟雾更密集,并且悬浮在空气中的时间更长,持续约 4 h 不会蒸发分层。真实烟雾温度高,运动由浮力驱动;模拟烟雾温度较低,由烟雾发生器提供初始动能驱动^[9]。与水基烟雾发生器相比,油基烟雾发生器产生的烟雾通常靠加热后的惰性气体(CO_2 、 N_2 、He 等)驱动,具有一定的热浮力,更加接近真实的热烟,与真实的火灾场景更加匹配。因此,试验决定选用 PS33HI 油基烟雾发生器发烟。

3.2 模拟烟雾量确定

HB7098-94《民用航空器货舱和行李舱烟雾探测器最低性能要求》规定:空气样本进入探烟器后,探烟器的设计必须保证在 30 s 内输出报警信号^[10]。CCAR-25 规定:烟雾探测系统必须在起火后 1 min 内,向飞行机组给出目视指示。经分析认为,烟雾量大小只要满足在发烟后 30 s,烟雾可以到达任一烟雾探测器,且此处的烟雾透光率小于 96%/ft 即可。因此,选取顶部相邻且距离最远的两个烟雾探测器,然后在货舱地板上找到距离这两个探测器距离相等且最远的点,在该点放置烟雾发生器产生模拟烟雾,在其中一个烟雾探测器处加装光密度计测量透光率,使烟雾发生器连续发烟 30 s,且光密度计测得的透光率达到 96%/ft,将此烟雾量作为合适的模拟烟雾量。

3.3 试验条件

该客/货两用飞机使用说明书规定,在发动机不工作情况下,货舱通风系统不能工作;在发动机开车后可以选择开启货舱通风系统。货舱通风系统开启后,货舱内空气流场发生改变,从而改变模拟烟雾的流动规律,基于该型机的使用环境,考虑在货舱通风和不通风两种情况下对烟雾探测系统性能进行验证。

3.4 考核试验发烟位置选择

初步方案中选择仿真计算结果得到的最不利于烟雾探测系统的告警的位置作为考核试验发烟位置,和试验验证结果存在较大偏差,说明仿真计算在预测烟雾探测系统告警性能方面的可信度较

低,应根据货舱构型、货舱装载边界、通风口位置结合研发试验结果确定考核试验发烟位置。本次方案中选择了靠近通风口、货舱货物装载前、后边界,以及地板上距两个顶部相邻探测器距离相等的点等多个不同位置开展考核试验。

3.5 最终试验方案

根据上述分析,确定该客/货两用飞机货舱烟雾探测系统试验的最终试验方案如下:1)选择顶部相邻且距离最远的两个烟雾探测器,在底板上找到与这两个探测器距离相等且最远的点作为发烟位置,两个探测器任一位置为光密度计安装位置,利用油基烟雾发生器发烟 30 s,光密度计测得的透光率达到目标值,此烟雾量合适;2)在货物装载边界上,选择靠近通风口以及两个顶部相邻探测器距离相等的点作为考核试验发烟位置;3)在货舱内选取 3~4 个考核试验发烟位置作为严酷试验位置进行发烟,记录烟雾探测系统告警时间;4)在货舱通风与不通风两种条件下开展试验,统计每次试验告警时间是否在 1 min 之内,对系统做出评判。

4 结论

按照最终制定的烟雾探测试验方案,多次开展客/货两用飞机货舱烟雾探测系统功能考核试验,试验方案很好地对该客/货两用飞机货舱烟雾探测系统进行了考核。通过对客/货两用飞机货舱烟雾探测试验方法的研究,可以得到以下结论:

1) 在确定烟雾发生器前应对其产生的模拟烟雾特性进行评估,模拟烟雾应尽可能接近真实火灾烟雾;

2) 提出的烟雾量确定方法及考核试验发烟位置选取方法,适用于该型客/货两用飞机货舱烟雾探测试验;

3) 形成的客/货两用飞机货舱烟雾探测系统试验方法合理有效,对后续运输类飞机开展同类试

验具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 中国航空工业总公司. 货运飞机专用技术设计指南[M]. 北京: 航空工业出版社, 1997: 46.
- [2] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [3] FAA. Smoke detection penetration and evacuation tests and related flight manual emergency procedures: AC 25-9A[S]. U. S. : US Department of Transportation FAA, 1994.
- [4] BEHLE D I K. Determination of smoke quantities to be used for smoke detection performance ground and flight tests[C]//Proceedings of the 25th International Congress of the Aeronautical Sciences. Hamburg: ICAS 2006: 4348-4352.
- [5] SAE Committee. A cargo compartment fire detection instruments: AS 8036[S]. U. S. : SAE, 2013.
- [6] FAA. The scalability of smoke detectors and the viability of new detection methods in aircraft: DOT/FAA/TC-TT19/30[R]. U. S. : US Department of Transportation FAA, 2019.
- [7] 陈战斌, 王玉梅, 李丽. 飞机货舱烟雾探测系统功能试验中烟雾量大小研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(35): 258-262.
- [8] 李丽, 陈战斌. 民用飞机货舱烟雾探测系统适航验证与试飞[J]. 工程与试验, 2015, 55(2): 55-58.
- [9] SUO-ANTTILA J, GILL W, GRITZO L, et al. An evaluation of actual and simulated smoke properties[J]. Fire and Materials, 2005, 29(2): 91-107.
- [10] 中国航空工业总公司. 民用航空器货舱和行李舱烟雾探测器最低性能要求: HB7098-94[S]. 北京: 中国航空工业总公司, 1994.

作者简介

刘志远 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 飞机防火系统试飞。E-mail: 253673421@qq.com

Research on smoke detection test method for the cargo compartment in Combi aircraft

LIU Zhiyuan *

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: For the cargo compartment smoke detection system in Combi aircraft, its function verification test has not yet been carried out in China, and there is no corresponding test standards. In order to evaluate the smoke detection system in a Combi aircraft cargo compartment, the research and development tests were carried out using the smoke detection test method commonly used by civil transport aircraft for reference, and the results showed that the test method was not applicable. In order to reformulate the test method, the characteristics of different types of smoke generators were analyzed, and suggestions for the selection of smoke generators were given. According to the characteristics of the smoke detection system in the cargo cabin of the aircraft, a new method to determine the amount of smoke and to select the smoke location was proposed. Based on the operating environment of the cargo, the test conditions were determined, the final test method was formed, and the assessment of the cargo compartment smoke detection system was completed. This test method can provide reference for the cargo compartment smoke detection system test in Combi aircraft.

Keywords: cargo compartment in Combi aircraft; smoke detection system; the amount of smoke; the location of smoking

* Corresponding author. E-mail: 253673421@qq.com