

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2020.02.006

民用飞机发动机灭火系统地面试验技术研究

方慧波* 王金彪

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要:

确保民用飞机的高安全性,是民机设计的一个重要目标。发动机火区的防火、灭火功能尤其重要。根据适航条款的要求,提出一种适用于民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验的方法。该方法采用一种微压差式灭火剂浓度测试系统,在模拟真实发动机内外形和舱内流场的发动机灭火性能验证试验台上进行试验。该试验同时模拟机上最严苛的试验环境,验证最严苛试验工况下发动机灭火试验的灭火剂扩散情况。该试验采用高精度传感器测试试验参数,记录试验数据,并按 FAA 条款比对试验结果。通过地面试验室试验验证,该试验方法能有效、准确的实现发动机灭火系统地面试验室试验目标。该试验结果能为机上试验提供试验经验,为机上喷嘴构型更改、灭火管网布设提供重要参考依据。

关键词: 发动机;灭火系统;地面试验室试验;灭火剂浓度

中图分类号: V216; V233.7

文献标识码: A



0 引言

随着民航的发展,飞机出行成为更多人的选择^[1]。民用飞机的飞行安全性成为所有民机人首要考虑的问题。因此,对飞机上最大的潜在火区发动机的防火就显得尤其重要^[2]。李淑艳^[3]提供一种具有高速气流流动防护区的通风补偿计算方法与管网设计准则的发动机舱灭火剂用量计算的工程算法。李丽^[4]介绍了民用飞机短舱灭火系统的试验要求、试验方案、试验结果可接受判据。景宏令^[5]通过模拟真实环境试验验证不同灭火剂用量下的灭火效果。本文介绍了一种适用于民用飞机发动机灭火系统的地面试验室试验方法、试验设备,并给出了试验结果。该地面试验室试验对后续机上试验具有指导意义。

1 发动机灭火系统

某民用飞机发动机灭火系统由综合风险数据集中器、两个灭火瓶、“T”形单向阀、灭火导管、灭火喷

嘴、发动机灭火控制板组成。在灭火时,灭火剂由灭火瓶释放,通过灭火导管,向发动机的指定火区释放灭火剂。灭火剂采用 Halon1301。发动机灭火系统可对任一发动机实施两次有效灭火操作,或对每个发动机各实施一次有效灭火操作。

根据 CCAR25.1181 定义,发动机舱为指定火区。发动机舱内火区划分为风扇区和核心区。中国民用航空规章第 25 部运输类飞机试航条款 25.1195(b)^[6]要求灭火系统、灭火剂剂量、喷射速率和喷射分布必须足以灭火,必须通过真实或模拟的飞行试验来表明,在飞行中临界的气流条件下,每一指定火区内灭火剂的喷射,可提供能熄灭该火区内的着火并能使复燃的概率减至最小的灭火剂密集度。因此,为确保民用飞机的安全性,需要对发动机灭火系统进行验证。同时,为降低适航试验的周期和成本,先对发动机灭火系统进行地面试验室试验是很有必要的。

2 试验台原理与组成

为模拟某民用飞机在飞行中临界的气流条件

* 通信作者。E-mail: fanghuiibo@comac.cc

引用格式: 方慧波,王金彪.民用飞机发动机灭火系统地面试验技术研究[J].民用飞机设计与研究,2020(2):26-29. FANG H B, WANG J B. Ground test technology of nacelle fire protection system for civil airplane[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2020(2):26-29(in Chinese).

(风车/ALT = 5 000 ft/Ma = 0.58/ -84.1F 时发动机的通风流量), 本文建立了发动机灭火性能验证试验台, 用于完成发动机灭火系统地面试验室试验。试验台按照发动机舱内形 1:1 加工发动机舱, 按照发动机外形 1:1 加工发动机假件, 按照飞机真实状态安装灭火系统试验件。采用气流模拟系统真实模拟发动机舱(含风扇舱和核心舱)通气入口的气流流量。采用航电仿真系统模拟发动机舱灭火系统全部功能, 包括灭火、告警、显示、逻辑控制等。

民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验系统由发动机灭火性能验证试验台、气流模拟系统、航电仿真系统、测试系统等组成。原理如图 1 所示。

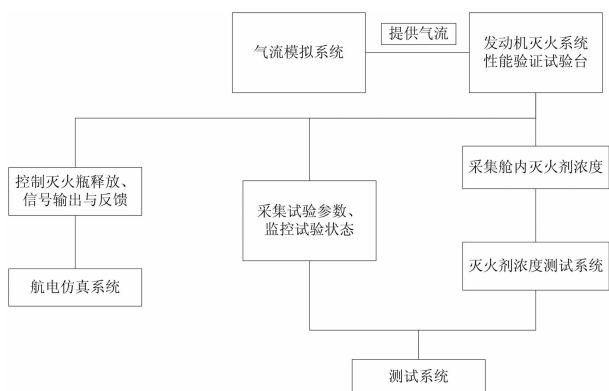


图 1 发动机灭火系统地面试验室试验原理简图

2.1 发动机灭火性能验证试验台

发动机灭火性能验证试验台如图 2 所示, 主要包括发动机假件、灭火瓶、灭火管路、灭火瓶安装台架及灭火管路支撑架等。试验台为发动机灭火系统地面试验室试验的实施台架, 试验时, 灭火剂经由灭火管路释放至发动机假件。

2.2 气流模拟系统

气流模拟系统^[7]用于模拟飞行过程中的发动机真实的气流情况。本系统采用鼓风机作为供气源头, 通过分支管路将气流输送到发动机试验模拟舱。采用气流调节阀、质量流量计来实现流量控制, 各支管流量由各分支管路在真实飞行过程中发动机上的气流情况决定。对于民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验来说, 发动机试验舱的气流流量与灭火剂浓度是最重要的两个试验参数, 气流流量的控制精度关系到整个试验的结果, 因此, 每条支路的气流流量控制由高精度的气体流量计通过测试系统实时显示, 并可通过调节阀进行调整, 最终达到试验要求的通风流量。

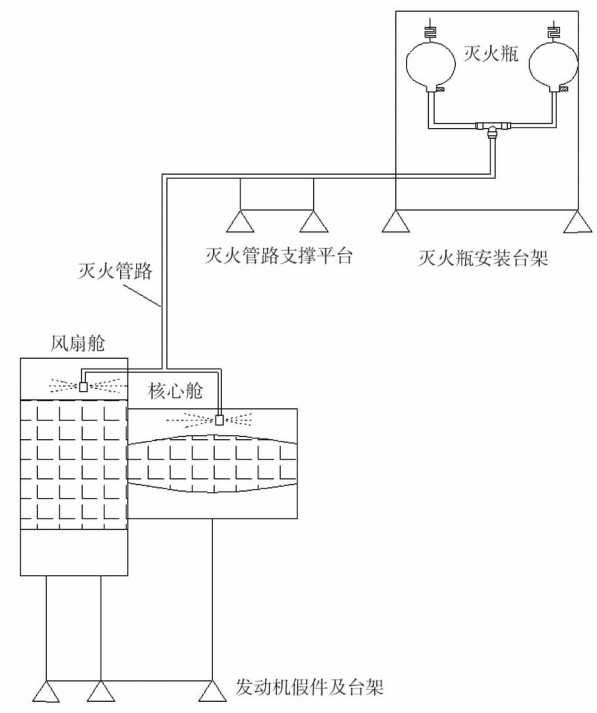


图 2 发动机灭火性能验证试验台简图

气流模拟系统由风机及其配套设备、模拟系统管路、气流调节阀、流量计等组成, 其原理图如图 3 所示。

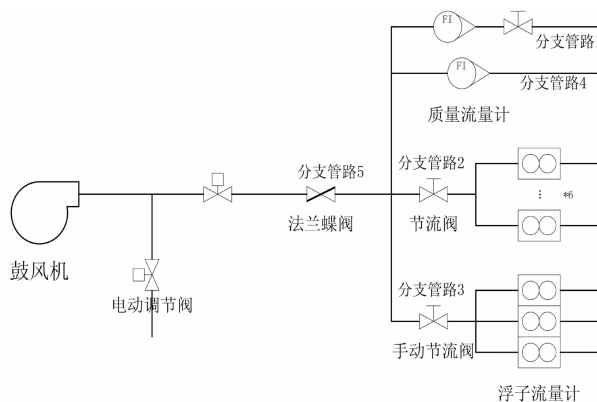


图 3 气流模拟系统原理图

2.3 航电仿真系统

航电仿真系统通过 ARINC429、CAN 总线信号、离散信号及模拟量信号等与综合风险数据集中器进行信息交互, 提供综合风险数据集中器工作所需的外部信号, 并记录综合风险数据集中器反馈的状态信号。在民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验中, 航电仿真系统用于控制灭火瓶爆炸帽, 释放灭火剂至发动机试验舱。

2.4 测试系统

测试系统由数据采集系统和灭火剂浓度测试系统组成。数据采集系统由计算机、测控机柜、测试传感器、调节阀门和数据线缆以及系统软件等组成。计算机选择 PXI 工控机, 内置 AD 板卡、DA 板卡和串口卡。测控机柜选择琴台式结构。测试传感器通过测试线缆连接至测控机柜。数据采集系统采集发动机舱内及灭火管路上安装的压力传感器数据、气流模拟系统流量数据、灭火瓶温度数据等。

FAA 联邦适航规章条款 FAR25.1195 提出灭火剂浓度与民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验结果休戚相关, 一套高精度、可靠的灭火剂浓度测试系统就显得尤其重要。依据测量动力装置舱内灭火剂浓度的通用指南^[8], 本文中灭火剂浓度测试系统采用微压差来测量灭火剂浓度。该测量方法是利用气体的粘性阻力特性, 当被测气体流经一定长度的毛细管后会产生相应的压力差, 浓度不同的气体粘性不同, 所产生的压力差也就不同, 利用微压差传感器测量这个压力差并经运算后即可得到对应的浓度值, 间接的测量灭火剂浓度。依据 Hagen-Poiseuille Equation^[9], 当气体为低速层流气体时, 毛细管两端的压力差与流量的关系如式(1)所示。

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8L\mu} \quad (1)$$

整理得到式(2):

$$\Delta P = \frac{8LQ}{\pi R^4} \mu \quad (2)$$

式中:

Q 为体积流量(m^3/s); R 为毛细管半径(m); ΔP 为毛细管压差(Pa); L 为毛细管长度(m); μ 为被测气体粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

由于被测气体通过毛细管时为微流速层流气体, 可得 Q 是常数, 毛细管的半径和长度均为已知, 故式(2)中压力差与粘度成正比, 气体粘度与浓度成正比, 所以被测气体浓度与压力差成正比, 计算可得被测气体中灭火剂浓度。

灭火剂浓度测试系统主要由计算机、真空泵、气体过滤器、气体流量控制器、气流加热器、气体层流压差测量装置等组成, 采用 12 采样点法测试灭火剂浓度, 以确定灭火剂释放时, 在发动机舱内的分布和浓度。

3 试验步骤和结果

参考中国民用航空规章第 25 部运输类飞机试航条款 25.1195, 按下述试验步骤, 进行发动机灭火系统地面试验室试验。

发动机灭火系统地面试验室试验步骤如下: 开启气流模拟系统, 调节至目标流量(风车/ALT = 5 000 ft/Ma = 0.58/-84.1F 时发动机的通风流量), 开启灭火剂浓度测试系统和数据采集系统。将发动机灭火瓶放到低温箱冷冻, 冷冻完成后取出灭火瓶并迅速安装, 把灭火瓶表面的温度传感器和测试系统进行连接, 连接完成后, 当测试系统检测到灭火瓶的温度达到释放温度时, 按下航电仿真系统的发动机灭火瓶释放按钮, 释放灭火剂, 灭火剂浓度测试系统对其释放的灭火剂进行采集。

试验结果如图 4 所示。所有的采样点均满足试验判据^[10]: 灭火剂释放时发动机舱火区内任一点的灭火剂体积浓度达到或超过 6% 并能保持 0.5 s。

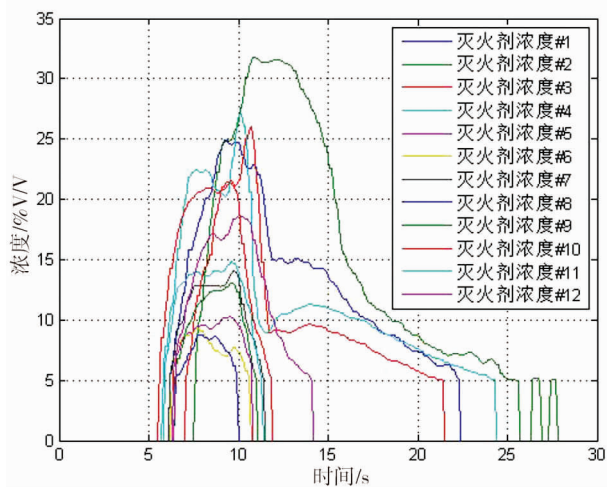


图 4 灭火剂浓度曲线

4 结论

文中民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验设备按照试验技术要求进行研制、调试、验收, 图 4 为一次民用飞机发动机灭火系统地面试验室试验的结果。该结果显示气流模拟系统能稳定、高精度地为发动机灭火性能验证试验台提供气流, 灭火剂浓度测试系统能准确地采集到发动机舱内的灭火剂浓度, 满足试验设备的设计目标。本次试验结果能为

设计改进提供依据,并可以有效地支持民用飞机发动机防火系统机上试验。

参考文献:

- [1] NEGRONI C. How Much of the World's Population Has Flown in an Airplane [EB/OL]. (2016-01-06) [2019-12-17]. <https://www.airspacemag.com/daily-planet/how-much-worlds-population-has-flown-airplane-180957719/>.
- [2] 袁艳良. 关于民用飞机防火系统研究[J]. 中国战略新兴产业,2017(36): 97.
- [3] 李淑艳,王新月,卿雄杰. 飞机/发动机灭火系统的设计与计算[J]. 西北工业大学学报,2006(1):124-127.
- [4] 李丽. 民用飞机发动机短舱灭火适航验证试验研究[J]. 航空科学技术,2015,26(10): 28-32.
- [5] 景宏令,陈龙,匡勇. 飞机发动机舱灭火剂用量试验验证与优化研究[J]. 火灾科学,2016,25(04):204-207.
- [6] 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:CCAR-25-R4[S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [7] 方慧波. 防火系统地面试验台气流模拟系统的研究[J]. 科技视界,2016(09): 113-114.
- [8] FAA. General guidelines for measuring fire-extinguishing agent concentrations in powerplant compartments: AC 20-100[S]. U. S. :United States Federal Aviation, 1977.
- [9] 归柯庭,汪军,王秋颖. 工程流体力学[M]. 科学出版社,2003.
- [10] FAA. Criteria for aircraft installation and utilization of an extinguishing agent concentration recorder: FAA-DS-70-3[S]. U. S. :United States Federal Aviation, 1970.

作者简介

方慧波 男,硕士,工程师。主要研究方向:防火系统试验。E-mail: fanghuiibo@comac.cc

王金彪 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:燃油及防火系统试验。E-mail:wangjinbiao@comac.cc

Ground test technology of nacelle fire protection system for civil airplane

FANG Huibo* WANG Jinbiao

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

Abstract: The high security of civil aircraft is one important goal of airplane design. The fire protection function and fire extinguish function of nacelle is particularly important. According to airworthiness articles, this paper presents a ground test method which is suitable for nacelle fire protection system of civil airplane. In this method, a system based on micro-differential pressure was used to measure agent concentration in nacelle, and the test was carried out on the nacelle fire extinguishing performance verification test bench which simulated the real internal and external shape and the flow field of true nacelle. At the same time, the hardest circumstances were simulated in order to verify the diffusion of fire extinguish agent of nacelle under the hardest test circumstances. In this test, high-accuracy sensors were used to measure test parameters, record the test data, and compare the test results according to FAA articles. It is proved that the method can effectively and accurately achieve the test goal of the nacelle fire extinguish system by ground test. The test results can provide experience for the on-board test, and provide important reference for the configuration change of on-board nozzle and the layout of fire extinguish pipe network.

Keywords: nacelle; fire protection system; ground lab test; agent concentration

* Corresponding author. E-mail: fanghuiibo@comac.cc