

民用飞机防火系统适航审定技术分析

朱日兴^{1*} 朱兆优²

(1. 中国民航大学 适航学院, 天津 300300; 2. 东华理工大学 机械与电子工程学院, 南昌 330013)

摘 要: 火灾是影响运输类飞机安全运行的重要因素。飞机的防火系统为应急系统, 通过对飞机的指定防护区进行探测、监控和报警并提供有效灭火, 以保证飞机和机上人员的安全。鉴于此, 防火系统与民用飞机的安全运行密切相关, 也是适航条款要求的内容。旨在为民用飞机研制适航审定人员提供参考, 同时也为防火系统适航审定工作提供相应的技术支撑。在分析民机防火系统功能要求和设计架构的基础上, 依据中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准 (CCAR-25-R4-2011) 的相应条款要求, 分析了飞机防火系统可接受的符合性方法及防火系统验证试验中可接受的判据, 给出防火系统在适航审查中的技术交联与工作协调。针对防火系统所涉及的各项条款, 为局方提供了适航审查工作需要关注的审定要素和评审要求。研究有助于支持民机防火系统的安全设计与适航验证。

关键词: 民用飞机; 防护设计; 防火系统; 适航审定; CCAR 25 部

中图分类号: V244

文献标识码: A



OSID:

0 引言

民机上发生火情将危害飞机安全可靠运行。据统计, 火灾是导致飞机最终发生坠毁事故的重要因素^[1]。因此, 防火系统对于民用飞机至关重要, 是飞机安全性的重要保障。对于防火系统的研究, 欧美国家在民用飞机的防火系统设计与验证方面早已广泛开展且经验丰富, 然而我国在民机防火系统的研究起步较晚, 与国外著名的飞机制造商相比仍有一定差距^[2]。防火系统主要由探测、告警及灭火系统共同组成。其中, 灭火系统的主要功能是对指定防护区域提供有效的灭火或者火情抑制措施, 防火系统的主要功能包含探测和告警。在民用飞机适航取证时, 防火系统正是局方需关注的。

适航审定对于民用飞机的研制至关重要, 是其商业成功的前提^[3]。本文依据适航条款对防火系

统适航审定工作进行研究, 介绍了防火系统功能及组成, 借鉴国外经验总结了防火系统划分, 提供适航当局在防火系统适航审查工作中需要关注的技术要点及审定要素。研究可为国产大飞机后续研究防火系统相关问题提供指导与参考。

1 防火系统功能要求的组成

1.1 防火系统功能要求

防火系统的主要功能是对指定防护区进行探测、监控和报警, 并提供有效应对火情的灭火或者抑制措施^[4-5]。一旦探测到防护区发生过热、烟雾或火情等危险故障, 系统会向机组发出告警, 以便机组采取相应处理措施。系统提供灭火措施, 可对火情进行抑制或扑灭, 保证飞机和人员的安全。系统对设备的工作状态进行状态监测和故障诊断, 显示、记录飞行过程中的系统故障并进行故障隔离。因此,

基金项目: 运输类飞机适航审定工作指南研究项目 (MJ-2014-J-73)

* 通信作者: E-mail: 1284762651@qq.com

引用格式: 朱日兴, 朱兆优. 民用飞机防火系统适航审定技术分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2021(1):123-127. ZHU R X, ZHU Z Y. Research on the airworthiness certification technology of fire protection system for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2021(1):123-127 (in Chinese).

防火系统可按照探测和灭火功能进行划分。

1.1.1 探测功能

防火系统的探测功能在民机中主要监视探测的区域有:1)左、右发动机舱火警探测、监控和报警;2)APU 舱火警探测、监控和报警;3)货舱烟雾探测、监控和报警;4)主起落架舱过热探测、监控和报警;5)引气导管过热探测、监控和告警;6)盥洗室烟雾探测、监控和报警。

1.1.2 灭火功能

防火系统的灭火功能在民机上主要防护灭火的区域有:1)左/右发动机舱灭火;2)APU 舱灭火;3)货舱灭火和火焰抑制;4)盥洗室废物箱自动灭火;5)客舱手提式灭火器灭火。

1.2 防火系统架构和组成

防火系统包含探测和灭火两个分系统,由防火控制器、探测和灭火系统共同完成防火功能。防火系统原理图如图 1 所示,防火系统采用综合控制系统方法,通过内部控制器进行探测与灭火,并实现与中央管理系统(CMS)以及其他系统进行通信。

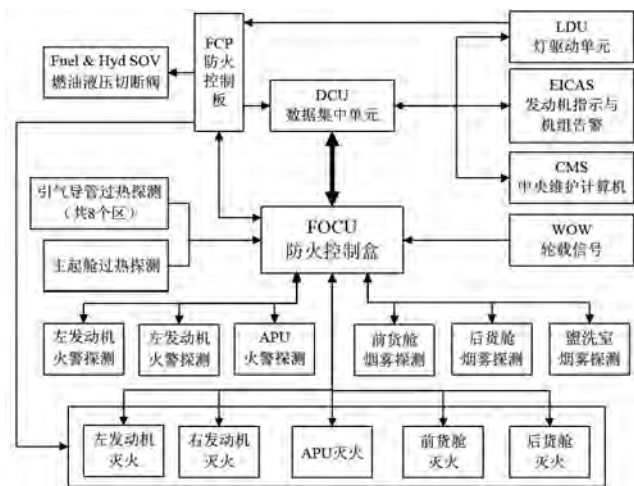


图 1 防火系统架构框图

目前,美国航空运输协会 ATA 章节号已广泛应用于大部分民航机构,以便对飞机本体及各部分设备进行定义与管理,其中,防火系统按照 ATA 章节划分如下。

1.2.1 探测(ATA26-10)

1)发动机火警探测子系统(ATA26-11);2)APU 火警探测子系统(ATA26-12);3)盥洗室烟雾探测子系统(ATA26-13);4)货舱烟雾探测子系统(ATA26-17);5)主起落架舱过热探测子系统(ATA26-15);

1.2.2 灭火(ATA26-20)

1)发动机灭火子系统(ATA26-21);2)APU 灭火子系统(ATA26-22);3)盥洗室废物箱灭火器(ATA26-24);4)货舱灭火和抑制子系统(ATA26-26);5)手提式灭火器(ATA26-27)。

2 防火系统适航审查

2.1 可接受的防火系统符合性方法和技术

按照《航空器型号合格审定程序》(AP-21-AA-2011-03-R4)的内容,目前国际通用的符合性方法(method of compliance,简称 MC)有 10 种^[6],防火系统需验证的条款为 25.851、25.854、25.855、25.857、25.858、25.863、25.869、25.1195、25.1197、25.1199、25.1201、25.1203、25.1301、25.1309^[7]。

2.1.1 MC1 符合性说明^[8-12]

1)通过描述发动机火警探测器需符合相应的 TSO 标准,并且能够探测每个指定火区以及发动机相应部件内的火情来符合 25.1203(a)条款。描述发动机火警探测器需通过振动、冲击等设备鉴定试验,对发动机火警探测器机组告警功能、自测试功能进行描述,对发动机火警探测器的安装位置环境进行描述,表明对 25.1203(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)的符合性;

2)通过简述 APU 火警探测器的构造需符合相应的 TSO 标准,描述探测线安装以及所处位置,探测线部件经过设备鉴定试验,对 APU 火警探测器机组告警功能、自测试功能进行描述,表明对 25.1203(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)的符合性;

3)通过对盥洗室烟雾探测系统的功能以及工作机理描述表明对 25.854(a)的符合性;

4)通过描述货舱烟雾探测系统在货舱的布置情况以及烟雾探测器部件符合响应的 TSO 标准来表明对 25.857(c)(1)的符合性,通过对货舱烟雾探测系统工作机制的描述以及对运行中环境的符合性表明 25.855 和 25.857(c)(1)的符合性;通过对货舱烟雾探测系统地面和飞行过程中进行功能测试来表明对 25.858(d)的符合性;

5)通过描述引气导管过热探测系统、主起舱过热探测系统的功能和安全性分析表明对 25.1301 和 25.1309 的符合性;

6)通过描述发动机舱灭火系统的功能和系统部件的设备鉴定情况表明对 25.1195、25.1197、25.1199、25.1201 的符合性;

7)通过描述 APU 舱灭火系统的功能和系统部件的设备鉴定情况表明对 25. 1195、25. 1197、25. 1199、25. 1201 的符合性;

8)通过描述盥洗室废物箱灭火瓶的布置情况、工作机理、灭火剂的成分、设备鉴定情况来表明对 25. 1301、25. 1309 的符合性;

9)通过描述货舱灭火系统的组成和功能,以及地面、飞行试验验证灭火剂浓度的情况来表明对 25. 851、25. 855、25. 857 的符合性;

10)通过描述驾驶舱/客舱手提灭火瓶的布置情况,灭火瓶符合相应的 TSO 标准,灭火瓶针对不同火情类型的适用性表明对 25. 851、25. 1301、25. 1309 的符合性。

2.1.2 MC2 分析/计算

1)通过计算分析防火系统、动力装置系统、APU 系统、发动机吊挂区域的防火特性;2)通过与相似机型部分结构防护设计对比,进行相似性分析,主要指申请人有详细设计经验的机型。

2.1.3 MC3 安全评估

通过安全性分析评估防火系统的安全特性满足要求。

2.1.4 MC5 地面试验

1)通过地面试验验证防火系统的机上地面功能;2)通过地面试验验证发动机舱灭火剂浓度、APU 舱灭火剂浓度、前/后货舱烟雾探测系统功能,前/后货舱烟雾穿透试验,表明对 25. 854、25. 857、25. 858 的符合性。通过对灭火瓶环境温度测量试验表明对 25. 1199 的符合性。

2.1.5 MC6 飞行试验

通过飞行试验验证防火系统功能、发动机舱灭火剂浓度、APU 舱灭火剂浓度、前/后货舱烟雾探测系统功能、前/后货舱烟雾穿透、灭火瓶环境温度测量、后盥洗室烟雾探测系统功能等。

2.1.6 MC7 航空器检查

通过机上检查验证防火系统的功能,检查内容包括行李箱中手提灭火瓶的数量、安装位置、种类和标识,方便使用情况,对手提灭火瓶进行称重,检查所有货舱灭火瓶、发动机和 APU 灭火瓶、盥洗室固定灭火瓶的安装位置,检查灭火喷嘴的安装位置和角度,检查火警探测系统的安装位置。

2.1.7 MC9 设备合格性

通过对防火系统设备(FOCU、叉型阀、手提式

灭火瓶、滤湿调节器、货舱低速灭火瓶、货舱高速灭火瓶、盥洗室灭火瓶、APU 灭火瓶、T 型阀、发动机灭火瓶、货舱和盥洗室烟雾探测器)的合格鉴定或者通过与相似性设备进行相似性对比分析表明其符合性。

2.2 可接受的验证试验判据

飞机防火系统验证试验中可接受的判据如下:

1)APU 舱灭火剂浓度测试飞行试验中,APU 舱内所有采样点达到并保持 6% 容积浓度的最少时间为 0.5 s;2)发动机舱灭火剂浓度测试飞行试验中,发动机舱内所有采样点达到并保持 6% 容积浓度的最少时间为 0.5 s;3)货舱烟雾穿透试验中,局方或适航当局认可的审查员直接观察前、后货舱是否存在烟雾穿透进入客舱或驾驶舱的状况。若观察到客舱或驾驶舱有少量烟雾进入,烟雾高度不应超过客舱旅客座椅扶手。若发现在客舱的旅客座椅扶手上出现有少量烟缕,必须立即消散,不能出现形成层雾或者薄雾的状况^[13];4)在前/后货舱灭火剂浓度测试中,(1)货舱内 Halon 1301 灭火剂初始体积浓度不小于 5%,货舱内灭火剂体积浓度保持在 3% 及以上的时间不小于 75 min;客舱内 Halon 1301 灭火剂体积浓度小于 5%;(2)试验过程中,后货舱内的烟雾探测器不会因为前货舱内灭火剂的释放而报警,前货舱内的烟雾探测器不会因为后货舱内灭火剂的释放而报警。

2.3 防火系统技术交联工作

为研究各相关专业之间符合性验证工作的技术交联,以方便适航审查中各专业之间技术协作及审查工作协调。飞机防火系统与全机其他系统的交联系统为软件和硬件系统。其中,防火系统软件为防火控制盒中的软件,为全机软件系统的一部分。因此,防火系统控制盒软件审查需按照全机软件审查计划和要求进行。飞机防火系统机载电子硬件为防火控制盒硬件,为全机电子硬件系统的一部分。因此,防火系统控制盒硬件审查需按照硬件审查计划和要求进行。

3 防火系统审定要素和评审建议

局方在审定时需要关注的要素和建议如下:

1)客舱中手提式灭火瓶的数量布局;2)防火系统部件的安装可达性;3)防火系统的安全性分析;4)发动机舱、APU 舱灭火剂浓度,测试地面及飞行

试验时灭火剂浓度;5)前、后货舱烟雾穿透试验时如何保持货舱的密封性以达到试验条件;6)在进行灭火瓶环境温度测量试验时,环境温度最高温和最低温的界定;7)客舱中手提式灭火瓶内灭火剂的安全特性。

在 CCAR 25 部中,局方可关注的关于防火系统涉及到的条款的适航审定关注点如表 1 所示。

表 1 防火系统涉及的适航关注点

序号	CCAR 25 部条款	适航关注点
1	25.851	1)客舱灭火器的布置位置;2)灭火器是否经合格验证或合格适航机构批准
2	25.854	固定式灭火器是否经过适航机构批准
3	25.855	在飞行试验中进行货舱穿透试验表明货舱的密封性
4	25.857	在飞行试验中进行货舱穿透试验表明货舱的密封性
5	25.858	1)列出型号飞机所有经批准的运行形态和条件;2)需验证货舱烟雾或火警探测系统在所有飞机型号批准的运行形态和条件下均能正常使用
6	25.863	1)全机可燃液体泄漏区的划分;2)降低可燃液体泄漏区着火概率的措施
7	25.869	全机各系统电气系统部件所处的环境防火特性分析
8	25.1195	指定火区灭火系统舱内灭火剂浓度满足相应的要求
9	25.1197	灭火剂经过合格适航机构批准
10	25.1199	灭火瓶通过设备合格鉴定试验或者通过相似分析的手段
11	25.1201	通过分析计算等手段分析说明灭火系统材料的特性满足要求
12	25.1203	火警探测系统的安装需经过振动、冲击、加速度等合格鉴定试验

4 结论

本文首先对可防火系统的功能及架构进行研究,然后依据 CCAR 25 部规章要求,针对防火系统的相关条款,阐明防火系统可接受符合性方法和符合性验证,并针对防火系统涉及的条款,进一步给出防火系统适航审查工作需要重点关注的基本要素和

技术要点。旨在为民用飞机防火系统适航审定提供技术支持和工作指导。本研究可为运输类飞机的防火系统研制人员提供参考,同时也可为研究编制防火系统适航审定工作指南或草案提供技术支持。

参考文献:

- [1] 王志超.民用飞机防火系统研究[J].民用飞机设计与研究,2011(3):11-13,27.
- [2] 胡煌华,袁征.现代民用飞机防火系统研究[J].民用飞机设计与研究,2010(2):7-9.
- [3] DE FLORIO F. Airworthiness: An Introduction to Aircraft Certification[M]. [S. l.]:Elsevier Ltd.,2008.
- [4] 梁智超,王井科,雷友锋.航空发动机防火安全性设计与验证分析[J].航空发动机,2018,44(2):92-97.
- [5] 王雅云.飞机发动机防火系统概述[C]//探索创新交流——第六届中国航空学会青年科技论坛文集.北京:航空工业出版社,2014:1029-1034.
- [6] 中国民用航空局航空器适航审定司.航空器型号合格审定程序:AP-21-AA-2011-03-R4[S].北京:中国民用航空局,2011.
- [7] 中国民用航空局.中国民用航空规章第 25 部 运输类飞机适航标准:CCAR-25-R4-2011[S].北京:中国民用航空局,2011.
- [8] European Aviation Safety Agency. Fire Extinguishers: AMC25.851[S].EASA,2016.
- [9] 中国民用航空局航空器适航审定司.“1301”固定灭火瓶的批准:AC25.1191-1[S].北京:中国民用航空局,1995.
- [10] Federal Aviation Administration. Cargo Compartment Fire Detection Instruments:TSO-C1c[S].U. S.:FAA,1990.
- [11] 中国民用航空局.货舱火警探测仪:CTSO-C1d[S].北京:中国民用航空局,2011.
- [12] Society of Automotive Engineers. Cargo Compartment Fire Detection Instruments:AS 8036-1985[S].U. S.:SAE,1985.
- [13] 李丽,王玉梅.某民机货舱烟雾穿透试验研究[J].工程与试验,2015,55(3):41-43,61.

作者简介

朱日兴 男,硕士。主要研究方向:航空发动机适航审定技术。E-mail:1284762651@qq.com

朱兆优 男,教授,硕士生导师。主要研究方向:智能仪器与测控系统等。

Research on the airworthiness certification technology of fire protection system for civil aircraft

ZHU Rixing^{1*} ZHU Zhaoyou²

(1. College of Airworthiness, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. School of Mechanical and Electric Engineering, East China University of Technology, Jiangxi Nanchang 330013, China)

Abstract: Fire is an important factor to affect the safe operation of transportation aircraft. As an emergency system of aircraft, The fire protection system can detect, monitor and alarm the designated protection area of the aircraft and provide effective fire fighting to ensure the safety of the aircraft and the personnel on board. Therefore, fire protection system is closely related to the flight safety of civil aircraft, and is also the content of airworthiness requirements. The purpose is to provide reference for airworthiness certification personnel on civil aircraft development and provide corresponding technical support for airworthiness certification of fire protection system. Based on the analysis of the functional requirements and design architecture of civil aircraft fire protection system, and in accordance with the requirements of CCAR 25, the corresponding acceptable compliance methods of aircraft fire protection system and the acceptable criteria in the verification test of fire protection system were analyzed. And the technical cross-linking and work coordination of the fire protection system in the airworthiness review were given. In view of the various clauses involved in the fire protection system, the certification elements and requirements for airworthiness review were provided for CAAC. The research is helpful to support the safety design and airworthiness verification of civil aircraft fire protection system.

Keywords: civil aircraft; protection design; fire protection system; airworthiness certification; CCAR 25

* Corresponding author. E-mail: 1284762651@qq.com