

民用飞机货舱烟雾探测系统研究

陈彦伟*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要:

货舱烟雾探测系统作为飞机探测系统的重要组成部分,对货舱的烟雾或火情状况进行探测、监控和告警。介绍了民用飞机货舱烟雾探测系统的组成,对两种常用的货舱烟雾探测器的类型进行了对比分析;对货舱烟雾探测的相关条款进行了分析说明;对货舱烟雾探测系统设备级试验、系统级试验和机上试验进行了详细的介绍;针对烟雾探测系统当前存在的设计难点和适航验证试验,提出了新的研究方法。

关键词: 货舱;着火;烟雾;探测;适航;试验

中图分类号: V244.12

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机的货舱主要用于托运货物或乘客的行李,其中可燃物品的比例高达 70%~80%^[1],一旦发生火灾,将可能造成机毁人亡的严重后果。货舱烟雾探测系统主要功能是对指定货舱的过热、烟雾或火情状况进行探测、监控和告警。当探测到指定货舱发生过热、烟雾或火情等危险情况,系统向驾驶员发出告警,以便驾驶员及时启动相应处理程序,对火情进行抑制或扑灭,保证飞机和人员的安全。民用飞机的货舱一般都为 C 级货舱,布置在客舱下方,由于乘务员在飞机飞行中无法接近货舱,当货舱发生火灾后不能被目视到^[2]。根据中国民用航空规章第 25 部(CCAR25 部^[3])条款的要求,C 级货舱应有经批准的、独立的烟雾探测或火警探测系统,可在驾驶员或飞行工程师工作位置处给出警告。

1 系统方案

货舱烟雾探测系统一般由烟雾探测器、控制器、控制面板和线缆组成。货舱烟雾探测系统框架示意图如图 1 所示。

为提高系统的可靠性,保证飞机的派遣率,货舱

烟雾探测系统通常采用双通道架构,两个通道之间电气隔离,当货舱烟雾探测系统功能正常时,系统采用“与”逻辑,即至少两个烟雾探测器均探测到烟雾时系统才认为该区域发生烟雾状况;当只有一个通道检测到探测器故障后,系统认为该通道故障,并改为“或”逻辑进行探测,其他通道的任意一个探测器告警后,则认为该区域出现烟雾情况;如果双通道均出现故障,该区域烟雾探测系统失效,飞机不能派遣。

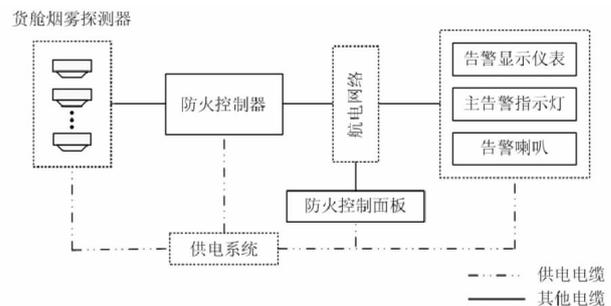


图 1 货舱烟雾探测系统基本架构图

2 适航要求及说明

CCAR25 部对飞机货舱探测系统的要求主要涉及 CCAR25.855、25.857 和 25.858 条款^[4-6],条款

* 通信作者. E-mail: chenyanwei@comac.cc

引用格式: 陈彦伟. 民用飞机货舱烟雾探测系统研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2019(4):66-69. CHEN Y W. Research on cargo smoke detection system in civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(4):66-69(in Chinese).

详细内容和说明如下:

1) “第 25.855 条 货舱和行李舱

每个货舱和行李舱必须满足以下要求:

(c) C 级货舱的天花板和侧壁的衬垫必须满足本部附录 F 第 III 部分规定的试验或其它经批准的等效试验方法的要求。”

2) “第 25.857 条 货舱等级

(c) C 级货舱或行李舱是指不符合 A 级和 B 级要求的舱,但是这类舱应具备下列条件:

(1) 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。”

3) “第 25.858 条 货舱或行李舱烟雾或火警探测系统

如果申请带有货舱或行李舱烟雾探测或火警探测装置的合格审定,则对于每个装有此种装置的货舱或行李舱,必须满足下列要求:

(a) 该探测系统必须在起火后 1 min 内,向飞行机组给出目视指示;

(b) 该系统能探测到火警时的温度,必须远低于使飞机结构完整性显著降低的温度;

(c) 必须有措施使机组在飞行中能检查每个火警探测器线路的功能;

(d) 必须表明,探测系统在所有经批准的运行形态和条件下均为有效。”

根据 CCAR25.857、25.858 要求,对于 C 级货舱,需有经批准的、独立的烟雾探测或火警探测器系统,当货舱内出现着火或烟雾后,烟雾探测系统应在 1 min 内向飞行机组提供视觉/灯光/音响告警指示;25.858 还对货舱烟雾或火警探测系统提出了具体性能要求,包括响应时间、温度、可检测性、工作有效性等。

3 探测元件

根据烟雾探测器的工作原理,主要分为离子式和光电式烟雾探测器。离子式烟雾探测器的探测方法为接触式烟雾探测。离子式烟雾探测器对多种烟雾粒子的大小有不同探测性能,对较小的烟雾粒子灵敏度高,而对较大粒径烟雾粒子的探测不够敏感。离子式烟探测器自带滤网,可以隔离烟雾以外的灰尘等物质,但其本身容易受湿度、风速等环境影响,所以无法在相对湿度高于 95%、气流速度大于 5 m/s 的环境下使用^[7]。典型的离子型烟雾探测器原理如图 2 所示。

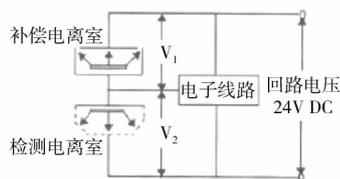


图 2 离子型烟雾探测器原理示意图

光电型烟雾探测器主动抽取周围的空气,检测室利用激光对烟粒子的数量进行检测。光电型烟雾探测器的可靠性和灵敏度相对较高,对初期火灾具有极灵敏的反应,实现超早期火灾探测报警,但是正是由于这种特点,对安装环境也有较为苛刻的要求,且不适用于有大量粉尘、水雾、烟或其它气溶胶存在的场所,若使用不当其误报率比普通的探测器高。光电型烟雾探测器原理如图 3 所示。

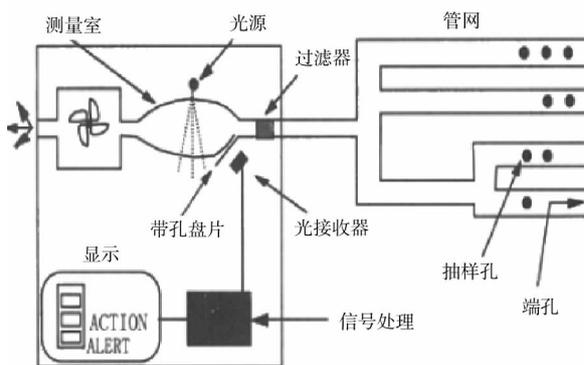


图 3 光电型烟雾探测器原理示意图

光电型烟雾探测器普遍应用于民用飞机的货舱烟雾探测系统,其结构主要包括外壳、电气接头和烟雾感应腔等部分,如图 4 所示。其中烟雾感应腔是进行烟雾识别与探测的核心部件。

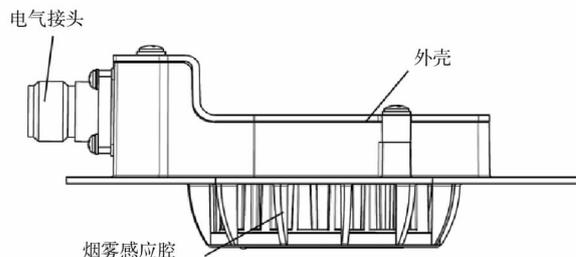


图 4 典型光电型烟雾探测器

4 系统试验

货舱烟雾探测系统相关试验包括设备级试验、

系统级试验和机上试验。设备级试验包括设备出厂验收试验、TSO^[8]试验、设备环境鉴定试验。设备环境鉴定试验的实施依据 DO-160^[9]《机载设备环境条件和试验方法》。系统级试验主要包括航电交联试验以及系统内部的交联试验等。机上试验包括机上地面功能验证试验、机上地面功能验证适航试验、试飞适航验证试验。

4.1 设备验收试验

每个烟雾探测器在出厂之前,需要通过设备验收试验,主要检查项目包括:外观尺寸、重量、介质耐电压绝缘电阻、输入电源逆转保护、电流负载、响应阈值、灵敏度、响应和恢复时间。

4.2 设备鉴定试验

货舱烟雾探测系统的所有设备应按 DO-160 最新版本定义的环境条件进行鉴定试验。DO-160 中规定的设备鉴定试验包括高低温、稳定性、湿度、振动、盐雾、闪电效应、结冰等验证。

4.3 试验室功能和性能试验

在机上试验之前,货舱烟雾探测系统还需进行试验室功能和性能试验,通过在试验室模拟飞行中的工况,验证货舱烟雾探测系统的告警响应时间是否满足设计要求。

4.4 航电交联试验

货舱烟雾探测系统与航电系统进行交联试验,检查确认系统之间电气连接的正确性和告警指示等功能。

4.5 货舱内饰抗火焰烧穿试验

为了满足 CCAR 25.855(c) 条款的要求,C 级货舱烟雾探测器罩安装在货舱天花板上,需要进行货舱内饰抗火焰烧穿试验。

烟雾探测器罩的抗火焰烧穿试验中,试验件的材料及制造方法需和烟雾探测器罩装机件保持一致,并制成平板试验件。烟雾探测器罩上的电缆开孔是为电缆接头预留,开孔直径较大,需采取措施进行封堵以通过试验。一般是利用堵片将罩子将较大的电缆开孔进行封堵,并预留较小的孔穿线缆,如此可以避免带线缆进行抗火焰烧穿试验。图 5 为某机型的烟雾探测器罩电缆接头开孔的封堵设计。

4.6 地面试验和飞行试验

货舱烟雾探测系统需机上功能检查试验主要用于验证货舱烟雾探测系统设备与飞机电缆连接的正确性,验证货舱烟雾探测系统能够提供正确的告警响应和指示功能。



图 5 某飞机货舱烟雾探测器罩线缆开孔封堵形式

货舱烟雾探测系统功能检查试验主要参考咨询通告 AC 25-9A 开展,包括地面试验和飞行试验,试验应满足以下要求:

- 1) 试验方法应符合 AC 25-9A 和 AC 25-22 中的相关要求;
- 2) 试验过程中货舱内饰、货舱结构、空调和显示告警等相关系统均应处于生产构型;
- 3) 烟雾发生器应模拟仅产生少量烟雾的阴燃火,发烟量应与相应货舱容积相匹配,且不对舱内部件造成损害;
- 4) 烟雾发生器应依据有关电子电气设备通用规范的要求进行设备鉴定并需获得适航当局的批准;
- 5) 按 AC25-22,37d(2)(e) 条要求:系统应该在 MMEL(主最低设备清单)构型下进行试验;
- 6) 试验应考虑货舱内正常和临界通风气流条件,如典型巡航状态下的通风气流,最大和最小通风气流。

货舱烟雾探测系统在地面和飞行试验中,需重点关注烟雾发生器的安装位置和发烟量的大小。烟雾发生器应符合 AC 25-9A 的要求,应模拟仅产生少量烟雾的阴燃火。对于发烟量,FAA 技术中心使用点燃手提箱里的破旧衣服的方法提供了一个典型的烟雾量的示范视频,试验中发烟量应与 FAA 示范视频的发烟量基本一致。

烟雾发生器的安装位置应选择相对不利的位置。烟雾发生器与货舱烟雾探测器的相对距离越大,货舱烟雾探测系统发出告警响应的时间就越长。货舱内通风气流对烟雾探测器告警响应时间也有影响。烟雾发生器一般选择在距离烟雾探测器最远处,通风入口附近或舱门附近等。

虽然 FAA 提供了发烟量的示范视频,但在审定试验中,发烟量的确仍存在一定的主观性。

5 系统设计难点

货舱烟雾探测器的布置是系统设计的关键部分。根据适航要求,C级货舱烟雾探测系统应在1 min内向飞行机组提供视觉/灯光/音响告警指示。为了保证该告警要求,在系统设计时,需综合考虑货舱的体积和长度、系统的功能需要以及货舱通风系统的方案等,并结合相似机型对比分析和模拟计算分析,最终确定货舱烟雾探测器的布置方案。

如果烟雾探测布置设计不合理,将造成适航试验无法通过和系统方案更改的风险。开发预测货舱烟雾探测器告警时间的计算分析方法对货舱烟雾探测器布置优化具有重要意义。随着流体计算动力学(Computational Fluid Dynamics)的发展,未来将使用数值模拟的方法对货舱烟雾探测系统的告警性能进行验证^[10]。

6 结论

货舱烟雾探测是飞机探测系统的重要组成部分。本文结合适航要求,介绍了民用飞机货舱烟雾探测的系统方案、探测原件、系统试验以及设计难度。

参考文献:

- [1] 宋广韬. 飞机货舱锂电池火灾气体探测技术研究[D]. 中国民航大学, 2016:1.

- [2] 程书山,安凤林,王渊明. 民用飞机货舱烟雾探测系统性能验证[J]. 科技视界,2016,18:25-27.
- [3] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 中国:中国民用航空总局,2011.
- [4] 王哲. 飞机货舱防火设计要求研究[J]. 航空标准化与质量,2014(5):13.
- [5] 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(2):56.
- [6] 程湛,江娜. 民机货舱通风系统设计研究[J]. 中国科技信息,2011,18:79-80.
- [7] 杜建华,张认成. 火灾探测器的研究现状与发展趋势[J]. 消防技术与产品信息,2004(7):11-12.
- [8] BOWLES K. J., FRIMPONG S. Void Effects on the Interlaminar Shear Strength of Unidirectional Graphite-Fiber-Reinforced Composites [J]. Journal of Composite Materials, 1992, 26(10): 1487-1509.
- [9] DO-160, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment[S]. Washington, DC, USA:RTCA, December 8, 2010.
- [10] 程书山. 货舱烟雾探测最严酷火源位置数值模拟研究[J]. 科技视界,2017(9):21-22.

作者简介

陈彦伟 男,硕士研究生,工程师。主要研究方向:民用飞机探测系统设计。E-mail: chenyanwei@comac.cc

Research on cargo smoke detection system in civil aircraft

CHEN Yanwei *

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

Abstract: As an important part of aircraft detection system, cargo smoke detection system is to provide detection, monitoring and alarm for smoke and fire in cargo. This article introduces cargo smoke detection system components. The two commonly used cargo smoke detectors are compared and analyzed. The certification requirements are analyzed. The cargo smoke detection tests contain equipment level test, system level test and onboard test, which are introduced in this article. For the smoke detection system design difficulty and certification verification test, a new research technique is proposed.

Keywords: cargo; fire; smoke; detection; certification; test

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