

民用飞机防火系统研究

王志超

(上海飞机设计研究院动力燃油设计研究部,上海 200232)

Research of Fire Protection System in Civil Aircraft

Wang Zhichao

(Powerplant and Fuel Systems Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

摘要:防火系统由探测系统和灭火系统组成。飞机防火系统对指定防护区的过热、烟雾或着火状况进行探测、监控和告警,并提供有效的灭火或者火情抑制措施。一旦探测到防护区发生过热、烟雾或火情等危险情况,系统向驾驶员发出告警,以便驾驶员采取相应处理程序。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。在地面和飞行中,系统应提供措施使得机组人员能对设备工作进行测试,确保系统的正常运行,保证飞机的安全。

关键词:防火系统;防火控制器;着火探测器;过热探测;烟雾探测;灭火

[Abstract] The fire protection detection system of a civil aircraft consists of detection system, fire extinguishing system. Fire protection system is able to detect fire, monitor some areas, and give a warning about overheating, smoke or fire for designated protection area. Once it detect dangerous situations such as overheating, smoke or fires in protection zones, the system will give a warning to the pilot so that he can adopt corresponding processing program. The system can provide fire extinguishing measures to restrain or extinguish fire, ensuring the safety of the aircraft and people. The system can detect the working state of the equipment, make fault diagnosis, display and record system failure during a flight and make fault isolation. On the ground and during flight, the system provides measures to make crew test equipment state, ensuring the normal operation of the system and the safety of the plane.

[Key words] fire protection system; fire controller; fire detector; overheat detector; smoke detector; fire extinguishing

0 引言

不管是飞行中还是在地面上,火对飞机来说是最危险的威胁之一。飞机的失火是飞机使用、维护过程中发生次数最多的事故之一。很多飞机发生事故时都伴有起火爆炸现象出现。据统计,美国民航飞机坠毁事故中全部死亡人数的15%是由坠毁后起火烧死的,而在那些撞击可生存的事故中,烧死的人数几乎占死亡人数的40%。因此,世界各国对飞机防火工作都十分重视。美国和欧洲对飞机防火系统的设计、分析和验证方法已有深入的研究并积累了丰富的经验。

我国对飞机防火系统的研究起步较晚,与国外先进的飞机制造商相比,我国的飞机防火系统设计水平还有很大差距,国内的试验设备和验证技术几乎处于空白。而国外已经具有几十年的研发和设计经验,具有完备的系统试验室,可以进行原理性研发试验、系统级验证试验和飞机级验证试验。

1 系统组成和工作原理

1.1 系统组成

防火系统主要由探测系统、灭火系统和控制指示系统组成,如图1所示。其中探测系统包括发动

机着火探测和告警、辅助动力装置(APU)着火探测和告警、主起落架舱过热探测、引气管泄漏过热探测、电子电器设备舱烟雾探测、货舱烟雾探测和盥洗室烟雾探测。灭火系统包括发动机灭火、辅助动力装置灭火、货舱灭火系统和抑制以及盥洗室自动灭火。控制指示系统包括驾驶舱指示和控制装置。

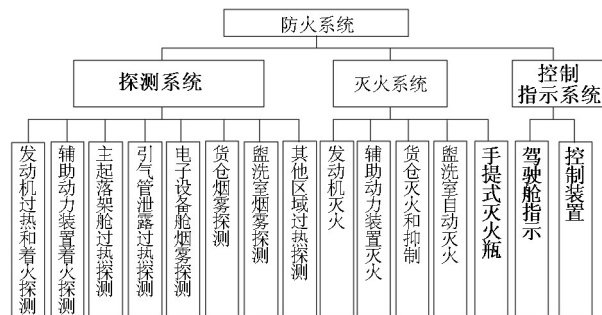


图1 防火系统组成

1.2 工作原理

探测系统采用温度、烟雾、火焰等传感器对防护区域的着火、过热和烟雾等危险状况进行探测;控制器对探测器进行监测、逻辑处理、故障诊断和隔离,并通过中央维护计算机为空地勤人员提供快速准确的告警和指示。

灭火系统采用灭火剂容器贮存足够重量和压力的灭火剂,采用管路、阀、流量调节器和喷嘴等元件

将灭火剂分配、传输到指定区域;系统控制元件控制灭火剂的释放,监测灭火系统的故障状态并为空地勤人员提供准确可靠的状态指示和故障信息。手提

式灭火瓶采用灭火剂容器贮存足够重量和压力的灭火剂以及易于拆卸的安装方式,供空勤人员扑灭载人舱内的着火,防火系统的工作原理如图2所示。

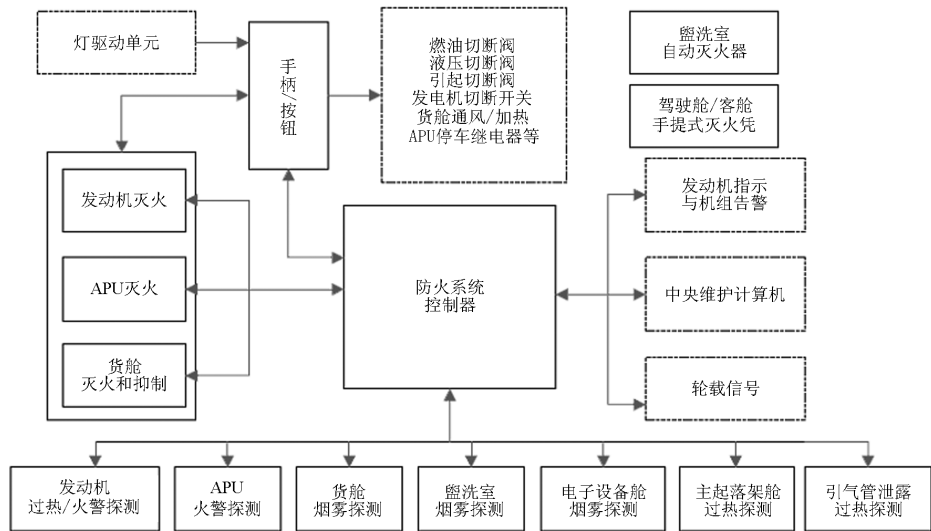


图2 防火系统的工作原理

2 防火系统的控制系统

防火系统的控制装置有两种基本方法,一种是综合控制系统方法,另一种是机电综合系统方法,如图3和图4所示。传统的飞机采用综合控制系统方法,即采用独立的控制器对防火系统进行监测和控制,并实现防火系统和中央维护计算机以及其他系统的通信。新型的飞机大多选用机电综合系统方法,将防火系统控制功能集成到航电综合控制计算机中,由航电综合控制计算机对防火系统各部件进行监测和控制并提供指示和告警。

防火系统的机电综合控制方案如图4所示。

3 探测系统

探测系统包括发动机着火探测、APU着火探测、货舱烟雾探测、主起舱过热探测、引气渗漏过热探测、盥洗室烟雾探测和电子电器设备舱烟雾探测。

3.1 探测器按原理分类

按照感受温度可分为:双金属、热电偶、热敏电阻、共晶盐、气动式和光纤探测器;

按照感受光(火焰)可分为:紫外、红外、紫外红外复合、离子探测器;

按照感受烟雾可分为:光电烟雾探测器、离子烟雾探测器;

按照感受可燃气体可分为:气体传感器。

3.2 探测器的发展

19世纪30、40年代的飞机发动机舱主要采用点状火警探测器,如热电偶式和双金属式探测器,当需要探测的范围较大时,要求安装数量更多的点状火警探测器和更多的连接线缆,带来很多不便和安全隐患。19世纪50年代至今,飞机发动机舱普遍采用线状火警探测器,优点是探测范围大,减少了连接线缆,降低了质量。线状火警探测器主要包括:热敏电阻火警探测器、共晶盐火警探测器、气动热敏探测器。气动热敏探测器是飞机火警探测器发展史上的一个新的高点,其使用寿命已经有5亿多飞行小时,是国际上新机种普遍采用气动热敏传感器。气

(1) 防火系统综合控制方法

防火系统综合控制方法是由防火控制器、探测系统和灭火系统共同实现防火系统的功能,采用这种方法可以降低研发成本,加快研制进度,降低研制风险。防火系统的综合控制方法如图3所示。

(2) 防火系统机电综合控制方法

防火系统的机电综合方法采用常规技术,主要由探测系统、灭火系统组成。具体实施的方法是将防火系统控制器软件集成到航电计算机,通过航电综合计算机运行防火控制软件实现防火系统控制器的功能,防火系统控制器/控制板负责接收发动机舱、APU舱、货舱、电子设备舱和盥洗室各探测器的报警和故障信号,进行逻辑判断后,自动控制发动机舱、APU舱、货舱、电子设备舱的灭火系统进行灭火,同时发送报警和故障信号给指示与告警设备。

动热敏探测器应用于全长的着火和过热探测,报警温度范围是 79℃ ~ 454℃,探测线的长度范围为 0.6m ~ 12m,工作原理是温度-压力变化,理论依据是理想气体状态方程。热敏电阻探测器应用于全长的着火和过热探测,报警温度范围是 175℃ ~ 704℃,探测线的组合长度是 0.3m ~ 15m,单根最长

7.5m,工作原理是温度-电阻变化,理论依据是金属氧化物的负温度系数特性。共晶盐探测器应用于高温引气管路泄漏探测,报警温度范围是 120℃ ~ 510℃,热敏线的组合长度是 0.3m ~ 30m,单根最长 6m,工作原理是温度-阻抗变化,理论依据是共晶盐常温下高阻抗,高温下熔化导电特性。

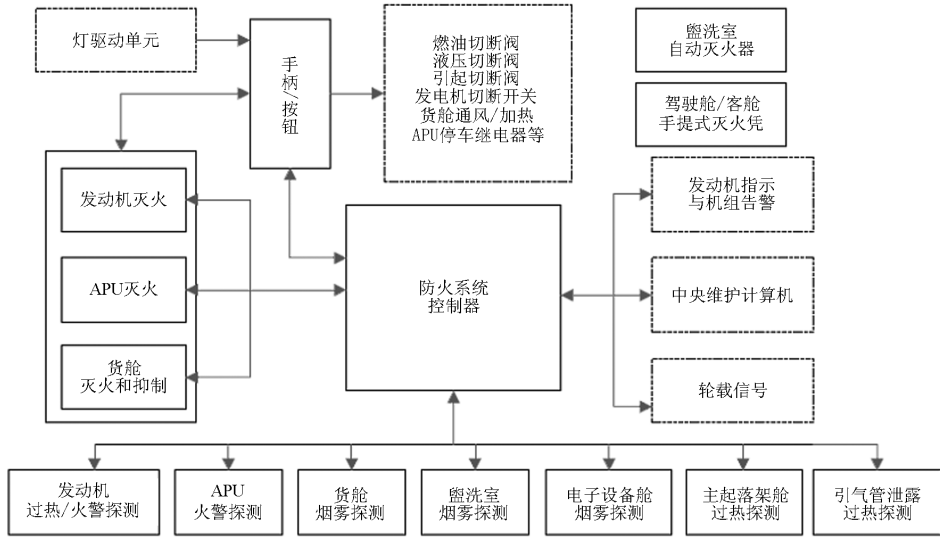


图3 综合控制方法

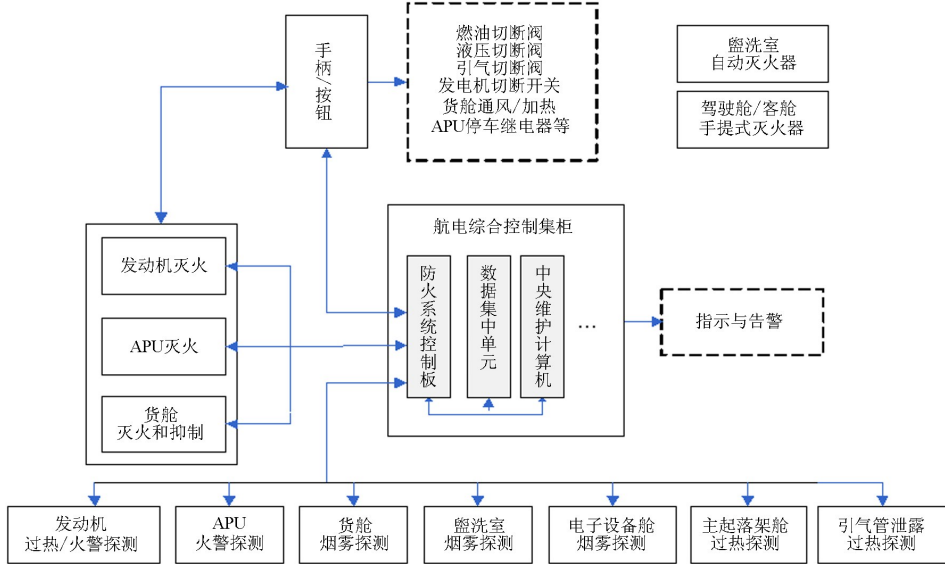


图4 防火系统的机电综合控制方法

过去 50 多年以来,货舱一直主要使用烟雾探测器,虽然先进的电子元器件、光电元件、微处理器等不断出现,但烟雾探测器的基本原理仍未改变,主要分为光电烟雾探测器和离子烟雾探测器。离子烟雾探测器由于需要使用放射性元素,由于在生产中和实际使用时对周围存在污染,对人体存在潜在的危害,近年来已经逐步被淘汰,但是部分飞机仍在使用,一般使用在盥洗室等位置。不管什么原理的烟

雾探测器,最大限度地减少误报警是设计者始终要解决的最大难题,这主要是由于货舱的环境差异很大。

综上所述热敏电阻探测器和气动热敏探测器均适合发动机、APU 和主起舱着火探测和过热探测,共晶盐探测器更适合于管路渗漏过热探测,而货舱主要使用光电烟雾探测器。

(下转第 27 页)

3.2.1.3 控制系统

控制系统采集传感器的信号,同时根据航电系统提供的飞行高度信号,对惰化系统工作状态进行控制。

3.2.2 富氮气体分配系统

富氮气体分配系统把来自于机载制氮系统的富氮气体均匀分配给燃油箱,以确保燃油箱内的氧气浓度满足适航要求。富氮气体分配系统由单向阀、限流孔、火焰抑制器和喷嘴组成。

4 结论

本文基于 FAA 燃油箱防爆相关适航条款的要求,对民用飞机的燃油箱防爆技术从点火源和可燃蒸汽两个角度开展了研究。得出以下结论:

(1)燃油箱点火源主要有五种现象:电弧和火花、细丝发热、摩擦火花、燃油热表面起火和燃油静电。燃油箱点火源分析要从燃油泵、电子部件、静电和闪电三个方面展开。单点失效、单点失效与没有表明为极小可能的潜在失效条件的组合或者所有没有表明为极不可能的失效组合都不会导致燃油箱内

(上接第 13 页)

4 灭火系统

灭火系统主要包括发动机灭火系统、APU 灭火系统、货仓灭火系统、盥洗室灭火系统和手提式灭火器。

发动机舱、APU 舱、货舱采用固定式灭火器进行灭火,驾驶舱、客舱由于有机组人员及旅客,一般使用手提式灭火器进行灭火,电子设备舱一般机组人员可进入,可使用手提式灭火器灭火,盥洗室内的垃圾桶需要用固定式灭火器自动灭火。欧美在发动机舱、APU 舱、货舱用钢质的固定式灭火器,俄罗斯在发动机舱、APU 舱、货舱用复合材料瓶体的固定式灭火器。

发动机灭火系统应提供每台发动机连续两次灭火能力,当发动机着火探测系统探测到发动机着火,系统立刻向驾驶员发出报警信号。驾驶员经判断确认火情后,向发动机舱内喷射灭火剂实施灭火。当 APU 着火探测系统探测到 APU 舱内着火,系统立刻向驾驶员发出报警信号。驾驶员经判断确认火情后,向 APU 舱喷射灭火剂实施灭火。盥洗室内应设置盥洗室灭火系统,采用盥洗室灭火器对盥洗室废物箱进行灭火。驾驶舱和客舱内应设置灭火装置,采用手提式灭火器对驾驶舱和客舱进行灭火。手提

产生点火源,可以有效保证燃油箱系统的安全性。

(2)将燃油箱内氧气浓度维持在安全范围内是降低燃油箱可燃性的重要方法。而惰化系统作为 FAA 推荐的降低燃油箱内氧气浓度的有效方法,较好地满足了 FAA 关于燃油箱防爆的适航要求。

参考文献:

- [1] Michael Burns, William M. Cavage, Richard Hill. Flight-testing of the FAA Onboard Inert Gas Generation System on An Airbus A320[R]. DOT/FAA/AR-03/58, June 2004.
- [2] Ray Cherry, Kevin Warren. A Benefit Analysis for Nitrogen Inerting of Aircraft Fuel Tanks Against Ground Fire Explosion[R]. DOT/FAA/AR-99/73, December 1999.
- [3] R. Langton, C. Clark, M. Hewitt and L. Richards. Aircraft Fuel Systems [M]. Wiltshire, UK, John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [4] Michael Burns, William M. Cavage, Robert Morrison. Evaluation of Fuel Tank Flammability and the FAA Inerting system on The NASA 747 SCA[R]. DOT/FAA/AR-04/41, December 2004.

式灭火器的功能是当驾驶舱或客舱有火情时,由机组人员使用手提式灭火器进行扑救。当货舱烟雾探测系统探测到货舱着火,系统立刻向驾驶员发出报警信号。驾驶员经判断确认火情后,货舱灭火系统应能分别向前货舱或后货舱喷射灭火剂实施灭火和火情抑制。

5 结论

防火系统是飞机安全性的重要保障,因此防火系统需要具备快速地探测发动机着火、APU 着火、货舱烟雾和引气渗漏过热,能够对发动机、APU 和货舱实施快速灭火,从而保证飞机的安全。随着火灾科学、集成电路和信息技术的不断进步,防火系统必将向集成化、智能化方向发展,从而不断提高系统的探测和灭火能力。

参考文献:

- [1] 吴龙标,袁宏永. 火灾探测与控制工程[M]. 合肥:中国科技大学出版社,1999.
- [2] 蒋亚龙,谭启,陈鲜展. 火灾探测技术及方法. 安全技术与. 2009.
- [3] Claudia Rexfort. A contribution to the simulation of the process of fire detection [J]. Fire Science and Technology (S1009-0029), 2006,25(2): 236-242.