

民用飞机防火设计要求研究

Research on Fire Prevention Design Requirements for Civil Aircraft

银未宏 于水 唐宏刚 / Yin Weihong Yu Shui Tang Honggang

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

基于着火三要素以及火灾产生的机理,将民用飞机各物理区域划分为四种类型的防火区域。在对防火设计措施及其适用性研究和分析的基础上,根据各类区域着火三要素的特性和状态,制定了防火设计要求,以及应考虑和采取的防火设计措施,为民用飞机防火设计与分析提供了参考和依据。

关键词: 火灾;防火设计;易燃液体;火区

中图分类号: V228.6

文献标识码: A

[Abstract] Based on the three essentials of fire and the principle of fire generating, the physical zones of civil aircraft are divided into four types of fire prevention zones. Based on the research and analysis of fire prevention design measures and their applicability, according to the characteristics and status of the three essentials of fire, the requirements for fire prevention design and the measures which should be considered and adapted are established for each type of zones. The reference and guidance for fire safety design and analysis of civil aircraft are provided.

[Key words] Fire; Fire Prevention Design; Flammable Fluid; Fire Zone

0 引言

由于载油量大、载客量大、逃生困难,火灾是民用飞机最大的安全威胁之一。飞机防火安全是适航当局、飞机制造商和运营商最为关注的安全问题。多年来,FAA(美国联邦航空管理局)定期更新的“运输类飞机关注问题清单”中一直将飞行结构防火、复合材料机身防火、货舱防火、易燃液体防火等防火安全问题作为飞机型号合格审定的重点关注问题。过去7年由于货舱失火导致3架飞机坠毁,2013年1月日本航空公司波音787飞机电池着火,NTSB(美国交通运输安全委员会)于2014年再次将“改进交通运输防火安全”列入其“最希望得到改进的问题清单”^[1]。

飞机防火设计的目标是尽可能减少火灾发生的可能性,并将火灾发生后的危害最小化。火灾的孕育、发生和发展包含着湍流流动、相变、传热传质和复杂化学反应等物理化学作用,是一种涉及物质、动量、能量和化学组分在复杂多变的环境条件下相互作用的三维、多相、多尺度、非定常、非线性、

非平衡态的动力学过程,该动力学过程还与作为外部因素的人、材料、环境及其它干预因素等发生相互作用^[2]。由于火灾现象自身的复杂性和随机性,同时飞机构造和运行环境非常复杂,定量的计算和分析火灾的发生、发展及其危害程度的工具和方法十分有限,目前飞机防火设计主要依赖于设计经验、事故案例分析结果、定性评估和工程判断。飞机防火安全涉及总体布置、结构、动力装置系统、辅助动力装置系统、燃油系统、环控系统、飞控系统、液压系统、起落架系统、航电系统、电气系统、防火系统等多个专业,合理制定飞机防火设计要求并分解落实到各个专业的设计规范和方案中对飞机防火安全至关重要。

本文根据现行有效的适航规章CCAR25-R4^[3],结合当前工业界飞机防火技术发展水平,提出民用飞机防火设计要求。

1 防火区域类型

燃料、点火源、助燃剂(氧化剂)是着火的三个基本要素。在正常状态下,每一要素或其中两个要

素是以有控制的状态存在的,但由于功能失效或意外,使某控制要素或其组合脱离了控制状态,这些不受控制的基本要素同时存在,构成潜在着火危险^[4]。

飞机各个区域通常都存在可作为助燃剂的空气,易燃物主要包括燃油、液压油、滑油等易燃液体或蒸气,点火源主要包括热表面、热流体、火花/电弧等。飞机火灾通常都是由于易燃液体或其蒸气的点燃而引起的。根据易燃液体及其蒸气以及点火源的受控状态,可将飞机各物理区域分为火区、易燃区、易燃液体泄漏区和非危险区四种类型。防火区域划分示意图如图1所示。

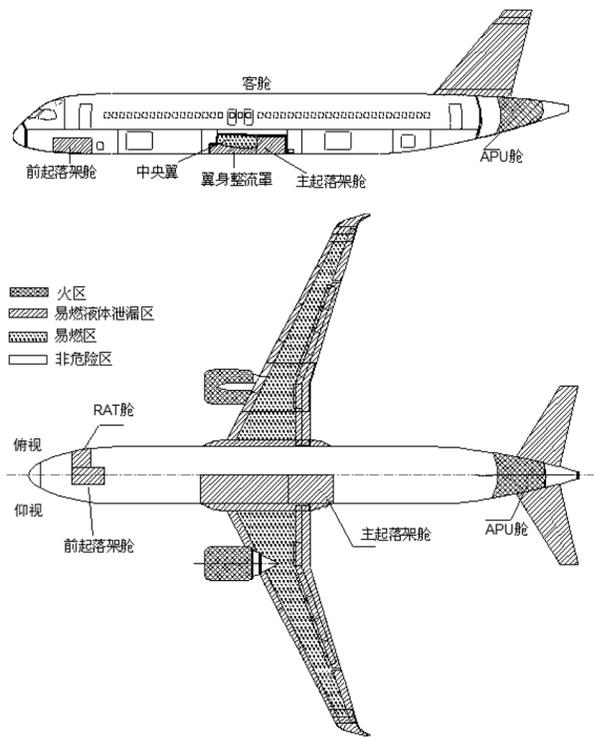


图1 防火区域划分示意图

火区为正常运行条件下预期可能出现易燃液体或蒸气,且存在名义点火源的区域。通常包括发动机风扇舱、发动机核心舱、辅助动力装置舱。某些发动机将附件齿轮箱安装在核心舱,因此风扇舱不再作为火区。易燃区为正常运行条件下存在易燃液体或蒸气,但无点火源的区域。通常包括燃油箱、液压油箱、滑油箱等区域。易燃液体泄漏区是指由于某种失效或故障情况可能出现易燃液体或蒸气,但无名义点火源的区域。通常包括机翼除燃油箱之外的区域、垂尾、平尾、翼身整流罩等区域。需要说明的是,主起落架舱一般含有液压管路和部件,因而存在出现易燃液体或蒸气的可能性,且存

在由刹车片制动而产生的名义点火源,但通常采取措施将点火源与易燃液体或蒸气隔离,从而视为易燃液体泄漏区。非危险区是指与易燃液体或其蒸气隔绝的区域。通常为飞机的增压区域,包括驾驶舱、客舱、电子电气设备舱、货舱等。

2 防火设计措施及其适用性

降低着火可能性及着火发生后危害的设计措施主要有:设备/部件防火设计、隔离、分离、通风、排液、电气搭接和闪电防护、着火探测、灭火等。

设备/部件防火设计适用于所有结构、设备、管路和电缆,主要用于尽量防止设备/部件成为点火源或易燃液体泄漏源,同时设备/部件应根据其安装位置和功能满足 AC20-135^[5]和 DO 160G^[6]规定的阻燃、耐火、防火要求。

隔离主要用于隔绝不同区域的易燃液体和点火源,防止易燃液体或蒸气影响相邻区域,防止火灾蔓延到其他区域,主要适用于不同区域之间的隔绝或者同一区域内部的局部隔离。

分离主要用于从布置上尽量避免易燃液体或蒸气与点火源接触的可能性。主要适用于潜在点火源和易燃液体泄漏源的布置。

通风主要用于防止易燃蒸气积聚,同时对舱内设备进行冷却,防止设备温度超过限制值。主要用于存在高温部件及发热部件、以及可能出现相对于环境温度燃点较低的易燃液体泄漏的区域。

排液主要用于防止易燃液体在舱内积聚,同时可用于及早发现并识别泄漏源,防止微小泄漏源发展为更为严重的泄漏。排液设计适用于预期可能出现危险的易燃液体泄漏的所有区域。

电气搭接和闪电防护主要用于消除可能由电气设备、电缆、静电或雷电引起的点火源,适用于所有设备、管路的安装。

着火探测主要用于为飞机上需要防护的区域提供安全可靠的探测措施,为机组提供快速准确的告警指示,主要适用于火区、货舱、盥洗室等区域。

灭火主要用于扑灭或抑制火情,将着火发生后的危害和损失降到最低,主要适用于火区、货舱、驾驶舱、客舱等区域。

3 各类型区域防火设计要求

3.1 火区

位于火区内的影响飞机持续安全飞行和着陆

的飞行操纵系统及其电缆、发动机架和其他飞行结构、易燃液体的切断装置和控制装置应满足防火要求。

位于火区内的易燃液体和气体管路、发动机控制系统及其电缆、着火探测系统及其电缆应至少满足耐火要求。

位于火区内的其他设备/部件应至少满足阻燃要求并能承受正常运行条件下舱内最高环境温度。

尽量不使用吸液材料,位于可能渗漏的易燃液体系统组件附近的吸液材料应加以包覆或处理,以防止吸收危险量的液体。

火区必须采用防火墙与飞机其他区域隔离,任何穿透防火墙的管路、电缆接头应采用防火密封封严,防火墙、穿越防火墙所有接头均应满足防火要求。

火区必须有措施切断燃油、滑油、除冰液以及其他易燃液体,防止危险量的易燃液体流入或流过火区。

应对火区内可能的点火源、易燃液体泄漏源进行合理的分析和布置,尽量降低易燃液体、蒸气与点火源接触的可能性。对于高压管路产生的可能直接喷射到点火源的泄漏,应采取挡板等措施进行防护。电缆应布置在易燃液体管路、接头和组件上方,防止泄漏的易燃液体滴落到电缆接头。电缆与易燃液体管路之间的间距应不小于6in,在最严重的失效条件下(考虑机身变形、装配误差和相对运动,支架安装等失效)最小间隙不应小于1in。

火区必须通风,以防止易燃蒸气积聚并维持舱内温度,保证部件及所用液体温度在规定的限制内。通常情况下,舱内通风流量应不小于每分钟5次换气量。

火区的每个部位必须能完全排放积存的油液,使容有易燃液体的任何组件失效或故障引起的危险减至最小。应进行泄漏源和排液路径分析,以识别泄漏源、确定预期的最大泄漏率,防止排液路径产生额外的着火危害。排液系统设计与飞机构型有关,应考虑区域内潜在的易燃液体泄漏量,从而确定排放到机外的排液能力(泄漏率),通常为每分钟3.8L。

通风排液进口的布置不应使其他区域的火焰、易燃液体或蒸气进入本区域;通风排液出口的布置应防止排出的液体或蒸气再次进入机身区域或高温表面。

应合理采用电气搭接、屏蔽、闪电防护等措施,防止产生静电或火花。

发动机舱、APU舱应配置满足要求的着火探测系统和灭火系统。

3.2 易燃区

燃油箱及其系统、设备应满足CCAR25.981规定的燃油箱点燃防护要求。

在正常或者失效条件下,易燃区所有设备/部件的表面温度应比可能接触的易燃液体自燃温度至少低50°F。

易燃区所有管路、部件应有良好的搭接和屏蔽,防止产生静电或火花。电气设备应具有过热保护和短路保护功能。

3.3 易燃液体泄漏区

防火墙后面的短舱区域和包含易燃液体导管的发动机吊舱连接结构应满足4.1节火区防火设计要求,但不必具有着火探测系统和灭火系统。

易燃液体泄漏区内的设备/部件应至少满足阻燃要求并能承受正常运行条件下舱内最高环境温度。

尽量不使用吸液材料,位于可能渗漏的易燃液体系统组件附近的吸液材料应加以包覆或处理,以防止吸收危险量的液体。

应对易燃液体泄漏区内可能的点火源、易燃液体泄漏源进行合理的分析和布置,尽量降低易燃液体及其蒸气与点火源接触的可能性。对于高压管路产生的可能直接喷射到点火源的泄漏,应采取挡板等措施进行防护。电缆应布置在易燃液体管路、接头和组件上方,防止泄漏的易燃液体滴落到电缆接头。电缆与易燃液体管路之间的间距应不小于6in,在最严重的失效条件下(考虑机身变形、装配误差和相对运动,支架安装等失效)最小间隙不应小于1in。

对于可能出现相对于环境温度燃点较低的易燃液体泄漏的区域,应采取通风措施,防止易燃蒸气积聚。

易燃液体泄漏区应有排液措施,使容有易燃液体的任何组件失效或故障引起的危险减至最小。应进行泄漏源和排液路径分析,以识别泄漏源、确定预期的最大泄漏率,防止排液路径产生额外的着火危害。排液系统设计与飞机构型有关,应考虑区域内潜在的易燃液体泄漏量,从而确定排放到机外的排液能力(泄漏率),通常为3.8L/min。

(下转第30页)

图5中零件从应力分布图来看,单元应力最大为222MPa,与材料的屈服强度 σ_y 448MPa相比,有比较大的安全裕度。最大位移值为0.23mm,出现在载荷作用点处。零件变形比较小,整体刚度好。

图6中零件是在方案1的基础上增加减重孔,其余部位零件结构和方案1相同。在相同载荷工况下最大应力值是209.5MPa,小于材料的屈服强度 σ_y 448MPa,应力变化比较均匀,材料利用率比较高。最大位移为0.3mm,出现在载荷作用点处。零件变形比较小,整体刚度好。

方案2和1零件变形均较小,整体刚度好。但方案2比方案1多了个减重孔,重量更轻。

在拓扑优化前零件重量是0.12kg,依据拓扑优化结果所做的方案1零件重量是0.093kg,方案2零件重量是0.086kg。方案2和拓扑优化前相比,重量减轻了28%。以上设计过程是在拓扑优化基础上对零件进行尺寸优化的过程,经过逐步的设计优化,得出了比较理想的结构形式。

(上接第13页)

通风排液进口的布置不应使其他区域的火焰、易燃液体或蒸气进入本区域;通风排液出口的布置应防止排出的液体或蒸气再次进入机身区域或高温表面。

应合理采用电气搭接、屏蔽、闪电防护等措施,防止产生静电或火花。

3.4 非危险区

非危险区内的设备/部件应满足阻燃要求并能承受正常运行条件下舱内最高环境温度。

应避免在非危险区安装易燃油箱和携带易燃液体的组件,燃油管路应采用双层套管并通过排液管路通向机外,其他易燃液体管路应采用永久性接头。非危险区内携带易燃液体的组件应尽量布置在该区域的最下方。

应采取隔离措施防止其他区域的易燃液体或蒸气进入非危险区。

货舱、盥洗室必须设置符合要求的烟雾探测系统和灭火系统,驾驶舱和客舱应配备符合要求的灭火瓶。

应合理采用电气搭接、屏蔽、闪电防护等措施,防止产生静电或火花。

4 结论

本文的研究对民用飞机防火设计具有借鉴和

3 结论

本文对设备舱门机构组成及功能进行了介绍,分析了设备舱门机构非卡阻和卡阻两种情况下的受力情况,对卡阻工况下连杆支架结构的设计方案进行了阐述。借助于有限元分析软件,在拓扑优化的基础上通过尺寸优化对比分析应力和变形情况得到了应力分布均匀、刚度好、重量轻的连杆支架结构。该零件能够满足工程样机设备舱门的功能要求和试验目的,为后续真实产品设备舱门结构的设计打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 中国民航局. CCAR25-R3 中国民用航空规章第25部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2001.
- [2] 张洪武,关振群,李云鹏,等. 有限元分析与CAE技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 《飞机设计手册》总编委会编,飞机设计手册第9册: 载荷、强度和刚度[M]. 北京:航空工业出版社,2001.

指导意义。飞机防火设计 requirements 是基于工业技术发展水平的飞机安全性和经济性要求的平衡,制约于材料科学、机载系统和设备设计技术、火灾探测和灭火技术等航空工业技术发展水平,以及飞机重量、可靠性、环保性、运营成本等经济性要求,将随着科学发展和技术进步以及民众对安全性要求的不断提高而不断变化。

参考文献:

- [1] NTSB. Improve fire safety in transportation [EB/OL]. [2014-2-14]. http://www.ntsb.gov/safety/mwl6_2014.html.
- [2] 范维澄,刘乃安. 火灾安全科学——一个新兴交叉的工程科学领域[J]. 中国工程科学,2001,3(1):6-14.
- [3] 中国民航总局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第25部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [4] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第13册: 动力装置系统设计[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
- [5] ANM-110, AC25-135. Powerplant Installation and Propulsion System Component Fire Protection Test Methods, Standards, and Criteria[S]. 1990.
- [6] RTCA Inc, DO-160G. Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S], 2010.