

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2024.02.022

民用飞机火灾特定风险分析方法研究

徐文婕* 于 水

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 民用飞机的防火设计是飞机的一个重点研究方向。火灾是经常发生的一类航空事故,无法建立相应的风险模型定量评估其发生后对相关区域系统和结构的危害。基于美国联邦航空局咨询通告给出的可燃液体的防火安全性分析指南,提出了一种简单易用的火灾特定风险分析方法。建立了火灾特定风险分析流程,介绍了防火区域划分原则和火灾特定风险分析思路,最后以某大型民用飞机机型为例,进一步说明火灾特定风险分析方法的应用,适用于民用飞机全机防火正向设计。

关键词: 火灾;特定风险;全机防火

中图分类号: V244.1⁺2

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机安全性分析与系统架构设计是需要反复评估与设计迭代的过程,安全性分析工作中的一个重要部分就是特定风险分析^[1]。民用飞机在实际的设计中,特定风险分析主要关注可能导致灾难性的或危险的失效状态的单个失效模式或外部事件^[2]。火灾是经常发生的一类航空事故^[3,6-7],因此属于飞机特定风险分析项目之一。为保证民用飞机安全,应排除引起灾难性失效状态的风险事件。对于引起危险的失效状态的风险事件,应证明其安全性影响是可接受的^[9-10]。

火灾具有特殊性,无法建立相应的风险模型来定量评估其发生后对相关区域系统和结构的危害,而定性分析也只能按风险最大化的原则假设火灾发生区域内的所有系统和结构均丧失功能。

目前在防火安全分析方面仅在飞机级层面提出区域防火设计要求^[4],民用飞机火灾特定风险分析方法仍然缺失。因此本文提出一种火灾特定风险分析方法,主要评估飞机各个区域内降低着火风险的设计措施满足情况,以及万一着火引起的危害情况和对飞行安全的影响,将火灾发生的概率降低

到可接受的水平。

1 火灾特定风险分析概述

着火三要素主要包括易燃材料、助燃物(空气)和点火源,三要素同时作用会导致火灾的产生。民用飞机上的易燃材料主要包括燃油、润滑油和酯类液体、液压油、酒精和水的混合物、塑胶材料、复合材料、密封剂、绝缘/隔离涂层等。点火源为预期会在飞机运行和环境条件下产生的一种热源,该热源有足够的温度和能量点燃易燃材料,主要包括热流体、热表面、火花/电弧、明火等。民用飞机上各个区域中通常都存在空气,因此可以考虑对各区域内易燃材料和点火源进行控制,从而降低火灾发生的概率^[8]。从控制各区域内易燃材料和点火源的角度出发,民用飞机火灾特定风险分析应考虑以下因素的影响:

- 1) 区域定义及区域边界;
- 2) 可能的易燃液体泄漏;
- 3) 易燃材料;
- 4) 易燃液体吸附材料;
- 5) 易燃液体泄漏控制;
- 6) 有效的排液设计;

* 通信作者。E-mail: xuwenjie@comac.cc

引用格式: 徐文婕,于水.民用飞机火灾特定风险分析方法研究[J].民用飞机设计与研究,2024(2):138-143. XU W J, YU S. Specific risk analysis method for civil aircraft fires[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(2):138-143(in Chinese).

- 7) 有效的通风措施;
- 8) 可能的点火源。

开展火灾特定风险分析需综合考虑上述与防火相关的设计及措施,并通过分析,验证各区域内的防火设计及措施是否可接受。若不可接受,则需进行设计更改或重新设计。

2 火灾特定风险分析流程

主要分为区域间的防火安全分析和区域内的防火安全分析两部分,具体流程如图 1 所示,具体工作思路如下:

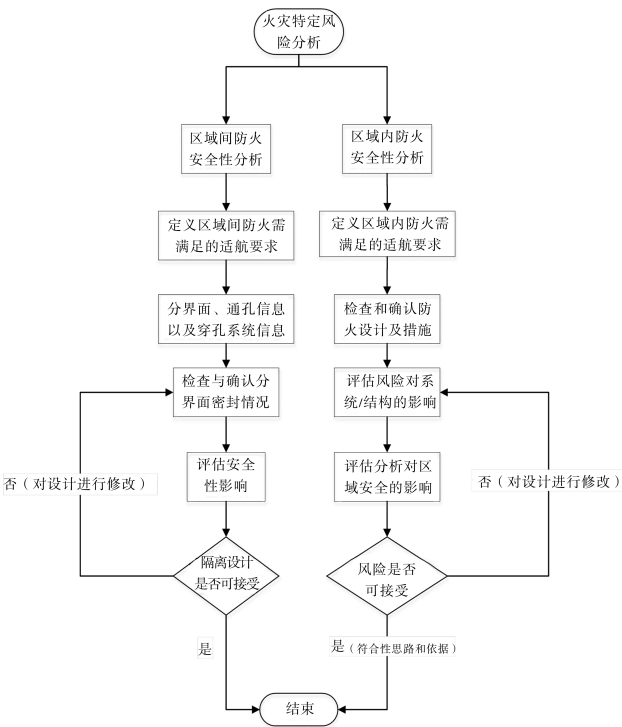


图 1 火灾特定风险分析流程

1) 区域间防火安全分析:根据不同类型的区域环境,定义不同区域的隔离要求,通过划区或隔离措施,建立物理屏障,避免相邻区域的易燃液体泄漏或排液影响。梳理不同区域之间的对应分界面、通孔信息以及穿孔的系统,明确分界面类型,检查分界面的密封情况,针对互通区域进行防火安全分析和评估。

2) 区域内防火安全分析:根据特定风险分析要求,飞机级依据各个区域的防火布置特征,发布火灾特定风险分析要求。全机各系统根据此分析要求,对自身的防火设计及措施进行检查和确认,

完成“火灾特定风险分析表格”。针对已满足的防火要求,各系统需说明其符合性验证思路和符合性依据文件;如若存在不满足要求项,需说明偏离原因,评估其影响。飞机级依据各专业的火灾特定风险分析结果,综合分析各系统/结构采取的防火设计方案和措施对各个区域内部防火要求的符合性。

3 火灾特定风险分析方法

3.1 防火区域划分

根据易燃液体泄漏源和点火源在飞机各个区域内的存在状态,综合考虑各区域的防护设计特征和着火风险影响,全机可以划分为以下五种类型:指定火区、火区、易燃区、易燃液体泄漏区、非危险区^[5]。在实际的设计中,某些区域或者系统由于其特殊性,往往具有特殊的设计要求,应重点做好此类区域的防火设计工作。如与发动机相邻的吊挂区域,需要设置防火墙来隔离吊挂与发动机,防止发动机的高温或易燃物进入吊挂引发火灾。因此引入其余五种类型防火特殊区域,分别是邻近指定火区、轮舱、包含液压系统部件区、包含燃油系统部件区和包含电子电气设备区。防火区域划分具体如下:

- 1) 指定火区,按照 CCAR 25.1181 定义的飞机区域;
- 2) 火区,包含有名义点火源且可能存在易燃液体泄漏的区域;
- 3) 易燃区,正常使用期间,存在易燃液体或蒸气,但无名义点火源的区域;
- 4) 易燃液体泄漏区,指正常状态下不会出现易燃液体或蒸气,但由于输送易燃流体的部件(如油箱、管路等)泄漏,而可能出现易燃液体或蒸气的区域;
- 5) 非危险区,指载有机组或乘客的区域(或)装有电子设备的区域,易燃液体及其蒸气应与这些区域隔离;
- 6) 邻近指定火区,指定火区的邻近区域,通常包括飞机的吊挂、尾舱(除 APU 舱以外区域)等区域;
- 7) 轮舱,指机身上的起落架机轮收上后存放的区域;
- 8) 包含液压系统部件区,指区域内存在液压系统部件(包括液压油箱、管路等)的区域;
- 9) 包含燃油系统部件区,指区域内存在燃油

系统部件的区域;

10) 包含电子电气设备区,指区域内存在电子或电气设备的区域。

3.2 火灾特定风险分析思路

根据民用飞机火灾特定风险分析的影响因素以及防火区域划分,分别制定每个物理分区的火灾特定风险分析要求^[4]。各系统/专业应分析不同防火要求对应的防火设计概述、验证思路和符合性依据文件。

根据各项防火要求的符合性情况,对符合项进行总结,从而进行飞行安全性评估。从材料、布置、隔离、通风、排液、设备和探测灭火等方面说明系统对应的防火设计特征和措施。

1) 材料

为了控制着火后火焰的蔓延,降低着火的危害,飞机上的材料应根据各个区域的环境进行选择。需说明各个区域内相关结构的材料属性、防火/耐火/阻燃试验完成情况,以及隔热层材料的吸液情况。

2) 布置(分离)

将泄漏源与点火源分离是降低着火概率的基本措施,尤其是单点故障同时导致泄漏和点燃的情况。因此,一个较优的布置方案可以使泄漏源与点火源之间有效分离,避免产生严重的火灾,如图 2 所示。首先应说明各个区域易燃液体管路、泄漏源、点火源、防火墙的布置情况。然后描述氧气系统和易燃液体管路的相对位置、易燃液体油箱和防火墙的相对位置、点火源(高温引气管、电子设备、EWIS 线缆等)与易燃液体管路的相对位置,给出点火源与易燃液体管路之间的最小间距。

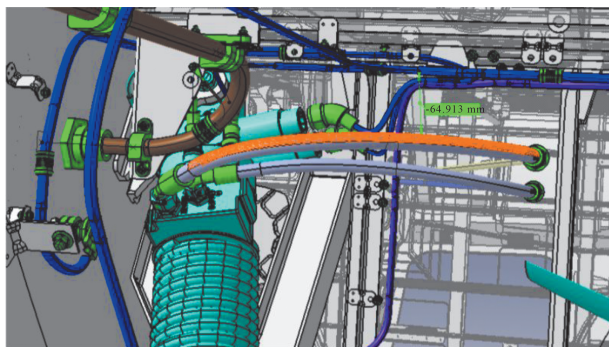


图 2 防火布置分离方式

3) 隔离

通过物理屏障阻止漏液(及蒸气)与所有点火

源接触降低着火风险,主要分为区域间的隔离和系统隔离两种方法。应说明点火源或泄漏源之间的防护措施,如隔板、绝热涂层等物理隔离和保护措施,以及火区与非火区之间、油箱与相邻区域之间、易燃液体泄漏区之间、增压舱与非增压舱之间的隔离情况。

4) 通风

通风措施可以防止油气的聚集,且通风口的位置应考虑从飞机内部排出的易燃液体的影响。需以图文并茂的形式描述区域内通风口的位置、结构形式、开口大小、通风形式和通风量等参数,通风示意图如图 3 所示。

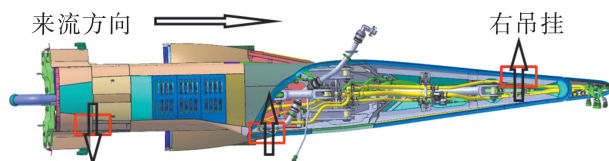


图 3 通风示意图

5) 排液

为防止易燃液体泄漏后在飞机内部积存,需在易燃液体泄漏区设计排液路径,使其可以通畅有效地排出机体外,如图 4 所示。需结合易燃液体预期泄漏点的具体情况,描述区域内针对易燃液体泄漏的排液路径、方式、排液孔大小参数等信息。

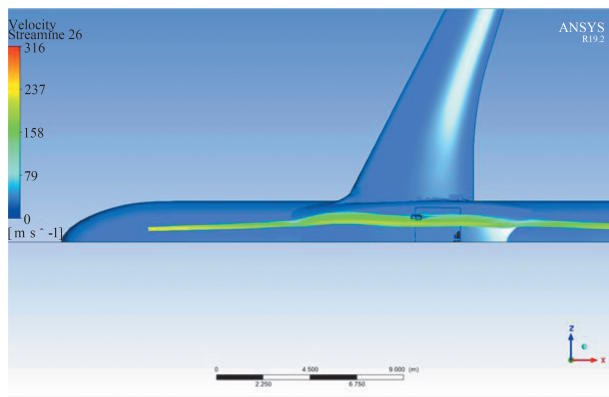


图 4 排液路径分析示意图

6) 设备

针对不同区域的设备,需满足不同程度的防火设计要求,包括设备鉴定、点火源防护等。

首先,说明区域内的设备是否已按照要求完成相关的防火、防爆鉴定。其中,针对防火、防爆鉴定的要求如下:

a) 当设备确定为存在微小的危险,而该危险

将造成已声明的环境内易燃气体或蒸气爆炸时,该设备须防爆。因此位于易燃液体泄漏区的设备需完成防爆鉴定。

b) 根据条款要求和航线经验,指定火区、邻近指定火区、两倍短舱直径区域、易燃区域对应的防火要求较高,该区域的关键和应急设备均需进行 DO-160G A 类防火试验或 B 类耐火试验。针对非危险区中的客舱、货舱、驾驶舱区域,由于存在旅客和货物,需提出 25 部附录 F 的相关要求,其余区域的设备均需进行 DO-160G C 类阻燃试验。

然后,说明设备在正常使用期间是否会成为点火源。针对电子电气设备说明是否采取电搭接、短路保护等防护措施。针对高温热表面需说明采取的防护措施和对应的温度。

7) 探测灭火

描述区域内着火/烟雾/过热探测与灭火系统的布置情况,以及探测过热/着火后的措施。过热探测器布置图如图 5 所示。

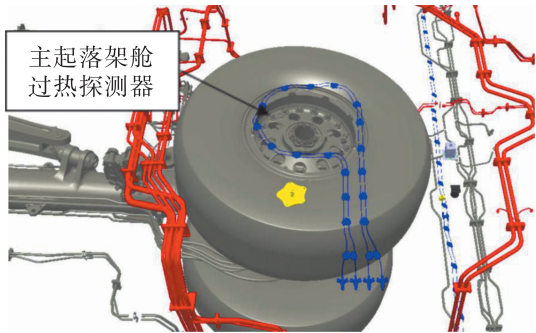


图 5 过热探测器布置图

针对过热、过流探测设备(如液压油箱、大功率电设备和其他潜在点火源)、自动切断设备(如液压泵过热/过电流切断、通风切断)的关键参数,需描述过热、过流后的保护措施。

针对轮舱区域,需描述机轮防火设计特征,如机轮和轮胎故障、刹车过热的探测和操作。详细描述制动管路上的容量保险丝或其它制动设计方案,限制液压油的供给量。液压保险布置图如图 6 所示。

对于不符合项,各系统/专业应说明其偏离情况、对飞机结构或功能的影响,飞机级评估不符合项对整个区域的安全性影响。若不可接受,则需制定后续的整改措施和计划,并进行设计更改。

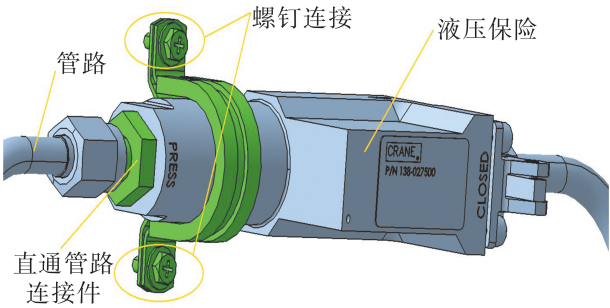


图 6 液压保险布置图

4 火灾特定风险分析方法应用

以某大型民用飞机机型为例进一步说明如何使用本文第 3 章提出的方案进行火灾特定风险分析。

1) 物理区域和防火分区映射

根据飞机的隔离和布置情况,将飞机划分为不同的物理区域。梳理各个区域内布置的系统专业,根据各个区域的易燃液体泄漏源和点火源的存在状态,建立不同的物理区域和防火分区的映射关系,如表 2 所示。

表 2 某大型民用客机防火区域类型划分

序号	物理区域	系统/专业	防火区域类型
1	发动机舱	电 源、防 火、液 压、防冰除雨、氧 气、气源、动力装 置、EWIS	指定火区
			易燃液体泄漏区
			包含液压系统部件 区域 包含电子电气设备 区域 包含燃油系统部件 区域
2	雷达舱	导 航、结 构(机 头)	非危险区
			包含液压系统部件 区域 包含电子电气设备 区域
...	...	...	...
25	机翼盒段	燃 油、液 压、照 明、结构(机翼盒 段)、EWIS	易燃区
			包含液压系统部件 区域 包含电子电气设备 区域 包含燃油系统部件 区域

2) 各个区域防火要求制定

从区域内防火需求和区域间隔离需求两个方面制定各个物理区域的防火要求并分配给对应的系统/专业,如图 7 所示。

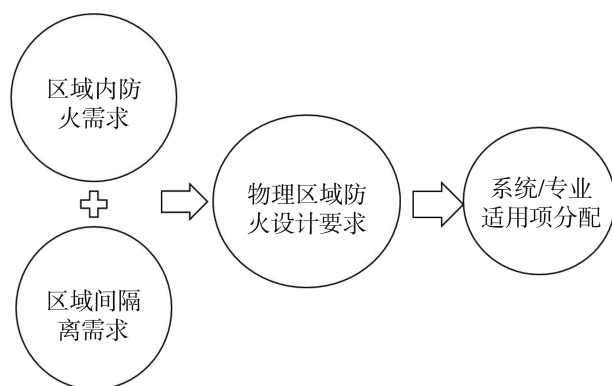


图 7 某大型客机火灾分析要求制定方法

3) 系统/专业防火安全性分析

各个系统/专业根据全机防火的相关设计要求,按区域进行评估和分析。通过对各区域内的布置(分离)/隔离等防护设计、点火源控制、泄漏源控制、排液设计、通风设计、设备鉴定、结构材料属性和电搭接等相关的设计特征进行分析和评估,表明并验证各区域防火相关设计的符合性。

4) 飞机级防火安全性分析

按照各个区域的系统布置特征和防火设计特征进行区域防火环境定义。

梳理各个区域相邻区域隔离边界、隔离面材料和隔离类型,进行区域边界分析。

根据各个专业的安全性分析结果,总结各相关专业的适用项和设计符合性情况,综合分析各个区域内的关键材料属性、设备鉴定、布置(分离)、区域内隔离和区域间隔离、通风设计、排液设计、探测灭火设计情况,表明各区域内的着火风险以及可能造成的着火危害可避免或可控制在可接受的范围内。同时,针对不满足要求项,进行逐一偏离分析,并进行区域安全性影响评估。

5 结论

本文对火灾特定风险进行了定义,并规定了火灾特定风险分析的具体要求,对全机防火设计工作具有指导意义。

参考文献:

- [1] SAE International. Guidelines for development of civil aircraft and systems:ARP 4754A [S]. U. S.: The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space, 2010.
- [2] SAE International. Guidelines and methods for the safety assessment process on airborne systems and equipment: ARP4761[S]. U. S.: The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space, 1996.
- [3] 李枣. 飞机火灾事故分类模型的构建及应用[D]. 广州:中国民用航空飞行学院,2018.
- [4] 银未宏,于水,唐宏刚. 民用飞机防火设计要求研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014(2):11-13,30.
- [5] 于水. 民用飞机可燃液体防火分区方法研究[J]. 科技视界,2016(22):277,288.
- [6] 封文春. 飞机氧气系统着火案例分析及安全性设计要求[J]. 航空科学技术, 2018,29(9):58-63.
- [7] 赵军超,陆松,陶能,等. 飞机火灾事故诱因的探讨与研究[C]//中国航空学会飞机防火系统专业委员会第三届飞机防火系统学术研讨会论文集. [S. l.: s. n.],2017:143-147.
- [8] 王哲. 飞机结构防火设计与失火修理研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2020(3):1-6.
- [9] 贾宝惠,杨丽晨,王玉鑫. 民用飞机持续安全性评估体系架构设计与分析[J]. 航空工程进展, 2023, 14(1):47-56.
- [10] 朱日兴,夏文波,郝毓泽,等. 可燃液体防火适航审定技术分析[J]. 民航学报, 2020,6(4):96-98,76.

作者简介

徐文婕 女,硕士,工程师。主要研究方向:全机防火、温度湿度。E-mail:xuwenjie@comac.cc

于水 男,硕士,研究员。主要研究方向:全机防火、防火系统。E-mail:yushui@comac.cc

Specific risk analysis method for civil aircraft fires

XU Wenjie * YU Shui

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

Abstract: In the actual design of civil aircraft, fire protection design is a key research direction for aircraft. Fire is a frequent type of aviation accident, and it is not possible to establish a corresponding risk model to quantitatively assess the hazards to the systems and structures in the relevant zone after its occurrence. This paper proposes a simple and easy-to-use fire specific risk analysis method based on the guidelines for fire safety analysis of flammable liquids given in the FAA Advisory Circular. The fire specific risk analysis process was established, the principle of fire protection zones division and the idea of fire specific risk analysis were introduced, and finally a civil aircraft model was used as an example to further illustrate the application of the fire-specific risk analysis method, which is suitable for the positive design of civil aircraft fire safety.

Keywords: fire; specific risks; aircraft fire safety

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