

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2024.04.014

民用飞机吊挂密封防火试验研究

万雨和* 林 森

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 无论是飞行状态还是地面状态,火灾对民用飞机而言都是非常危险的。为保证飞机安全,适航条款要求飞机火区与非火区必须有防火墙进行防火隔离保护,同时针对防火墙提出了验证要求。民用飞机吊挂连接动力装置,该装置存在指定火区,因此需要在吊挂与动力装置界面设计防火墙。一般而言,部分吊挂与动力装置接口存在一定的相对运动,为满足防火设计要求,通常采用设计防火密封件以及相关支撑结构进行防火密封。本文主要依据适航条款要求、相关 AC 及其他国际标准,对吊挂与动力装置部分接口处的防火密封进行验证研究,提出了完整分析和试验验证方法,并通过防火试验验证某型飞机吊挂与动力装置密封设计满足防火要求,为民用飞机吊挂与动力装置接口密封设计的防火符合性验证提供参考。

关键词: 吊挂;防火墙;防火密封;试验验证

中图分类号: V228.6

文献标识码: A

OSID:



0 引言

从 20 世纪 50 年代的喷气式飞机开始,经过几十年的高速发展,民用飞机在安全性、经济性、舒适性和环保性设计方面相继取得了新的突破。其中,安全性是民用飞机最复杂和最敏感的要素。根据以往空难数据统计,飞机火灾/烟雾是发生次数最多的危险事件。发生火灾/烟雾时,往往会引起较为严重的事故,并且有较高的事故死亡率。因此,飞机的防火安全是适航管理部门、飞机制造商和运营商最为关注的安全问题。多年来,美国联邦航空管理局(Federal Aviation Administration,简称 FAA)定期更新的“运输类飞机关注问题清单”中一直将飞机动力装置相关的防火安全问题作为飞机型号合格审定的重点关注问题^[1]。在 FAA 咨询通报 AC20-135 中,“防火”是指材料或零组件承受 1 093 °C ± 83 °C 的火焰至少 15 min,仍然满足其设计功能的能力^[2]。

民用大型客机应满足适航条款的要求,各国条款内容大致相同。适航标准是保证飞机安全运行

的最低安全标准,能保障飞机在发生事故后产生尽可能低的人员伤亡和事故损失^[3]。

国内一些专家和学者在民用飞机防火领域进行了一些研究。以“Ω”型密封件为例,谈志晶^[4]介绍了短舱防火的适航要求。胡寅寅和蒋祖武^[5]以适航条款为基础,重点介绍了密封件设计时需考虑的因素,为民机的防火设计提供了指导。刘建国和郭俊娟^[6]以短舱块状密封件防火试验为研究对象,介绍了短舱密封件防火适航验证方法。李森和陈西锋^[7]进行了民用飞机短舱防火试验件的设计与验证研究,重点探讨了复合材料和防火涂层的试验研究。李仁鹏^[8]对短舱上的蜂窝夹芯复合材料结构进行防火设计与验证,并证明复合材料结构表面树脂碳化后,火焰很快自熄。周颂平^[9]对短舱防火设计进行描述,为国内短舱防火设计提供了参考。由于吊挂与动力装置在实际使用中存在相对运动,因此相对于固定结构的防火墙,吊挂防火墙有更高的设计要求。本文主要依据适航条款内容进行吊挂防火墙的防火密封验证与研究。

* 通信作者。E-mail: wanyuhe@comac.cc

引用格式: 万雨和,林森. 民用飞机吊挂密封防火试验研究[J]. 民用飞机设计与研究,2024(4):84-89. WAN Y H, LIN S. Research on the fireproof test of the pylon fireproof seal for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research,2024(4): 84-89(in Chinese).

1 吊挂密封防火概述

1.1 火区

以某型飞机为例,发动机核心舱内由于发动机机匣的温度高于维持发动机正常运转的易燃液体的自燃温度,因此为指定火区。同时由于附件齿轮箱布置在短舱的风扇舱,所以风扇舱也为指定火区,如图1所示。吊挂作为飞机的重要部件,位于发动机和机翼之间,由于机翼内部布置了燃油箱,吊挂与动力装置相关接口必须设定防火墙(如图2所示),以便在动力装置发生火灾时,阻止火焰穿过吊挂进入受保护的机翼区域。

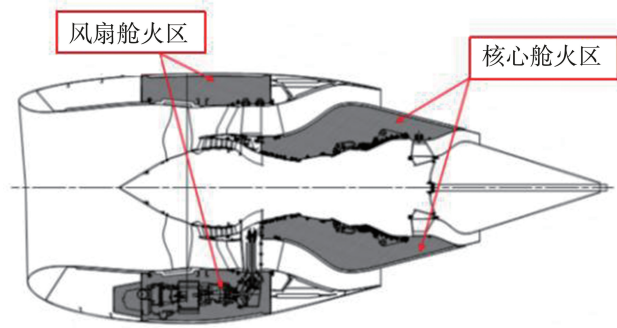


图1 某型飞机动力装置火区分布

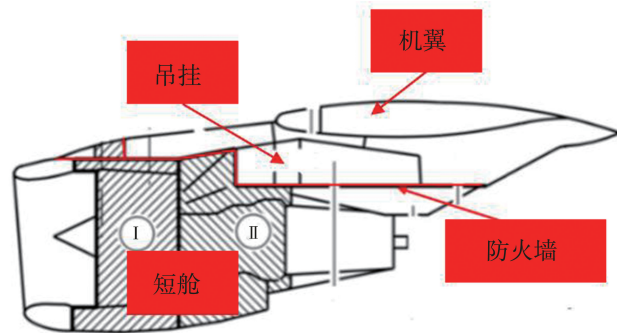


图2 某型飞机吊挂防火墙布置

1.2 吊挂防火密封件

吊挂和发动机/短舱在连接界面存在一些接口,同时由于发动机/短舱和吊挂之间存在一些相对运动,因此应在发动机/短舱同吊挂之间布置一些密封件实现密封设计。由于发动机风扇舱和核心舱区域属于指定火区,吊挂与发动机/短舱之间应设计具备防火功能的密封件,以保证防火密封设计,吊挂防火密封件布置区域(红色为防火密封件)如图3所示。

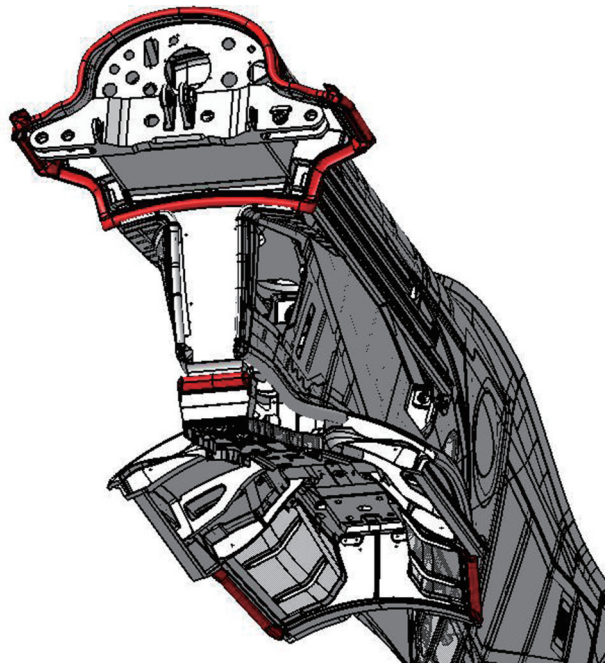


图3 某型飞机吊挂防火密封件布置区域

防火密封件形式多样,吊挂防火密封件截面以“Ω”型居多,如图4所示。

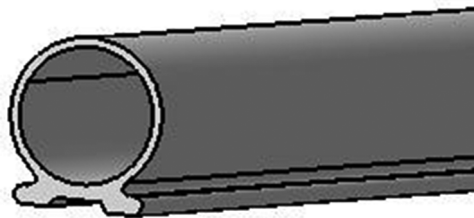


图4 Ω型密封件

1.3 适航要求

吊挂密封防火主要涉及的CCAR-25-R4^[10]条款如表1所示。

表1 吊挂密封防火适航条款

编号	内容
25.1181	指定火区的范围。
25.1182(a)	每个直接位于防火墙后面的短舱区域和包含可燃液体导管的发动机吊舱连接结构的每一部分,必须满足第25.1103(b)、25.1165(d)和(e)条、第25.1183条、第25.1185(e)条、第25.1187条、第25.1189条以及第25.1195至25.1203条中的每项要求,包括指定火区的有关要求。但是,发动机吊舱的连接结构不必具有火警探测或灭火措施。

表1(续)

编号	内容
25.1191(b)	防火墙和防火罩应满足下列要求:(1)必须是防火的;(2)其构造必须能防止危险量的空气、液体或者火焰从该隔舱进入飞机的其他部分;(3)……;(4)必须防腐蚀。
25.1193(c)	在发动机动力部分和发动机附件部分之间有隔板的飞机上,一旦动力装置的发动机部分着火时,经受火焰的附件部分整流罩的各部分,应符合下列规定:(1)必须是防火的;(2)必须满足第 25.1191 条的要求。
25.1193(e)	每架飞机必须符合下列规定:(1)其设计和构造应使在任何火区内出现的着火不能通过开口或者烧穿外蒙皮而进入其它任何火区或会增加危险的区域。

2 吊挂密封防火验证要求

防火墙一般由具备防火能力的结构件或组合结构件构成。防火墙的防火验证与其结构形式密切相关。

对于火区与非火区之间无相对变形运动的接口,防火墙结构之间一般为机械连接,验证方法较为简单,通常采用分析验证。在火区与非火区之间存在相对运动的部件,该处防火墙会在部件之间进行防火密封设计,一般在接口处布置密封件,充分利用密封件的变形弥补部件之间的相对位移。该密封件需要具备防火功能,并作为防火墙的一部分,承担变形密封和防止火焰穿透接口的作用。

根据 AC20-135,对于非承载的金属结构件,主要材料和厚度不低于表 2 中的要求即可满足防火要求。

表 2 非承载金属结构件验证

材料	厚度/mm
不锈钢板	0.38
防腐蚀低碳钢	0.46
钛合金板	0.41
Monel 板	0.46
钢或者铜合金防火墙接头和紧固件	自动满足无需数据

注:在非承载的 0.508 mm 的钛合金防火墙或 0.46 mm 的钢防火墙上,铆钉间距等于或小于 50 mm 是可接受的,不用附加试验。

3 吊挂密封防火试验

吊挂密封验证主要是对其接口处防火密封件

及周边结构的密封防火能力验证。周边金属结构按照 2.1 节的分析验证可表明防火符合性,试验验证环节,可对其中涉及密封接口的结构进行一定简化。

3.1 试验件选取

吊挂密封的密封件形式多样,试验件的选择需满足以下要求:

1) 试验件选择典型截面形式的密封件。对于弯曲状态的密封件,可采用容易制造和试验的直线型试验件来替代原构型,但截面尺寸要保持一致。

2) 同一种类型(相同的截面形式、工艺、原材料、铺层方式一致)的密封件,选择实际工况下压缩量最小的密封件构型设计试验件。试验件的加载载荷工况应包含或可覆盖所有该类型密封件的载荷工况。

3) 不同截面形式、不同原材料以及不同工艺方法的密封件,需要各自选取典型截面设计试验件。

4) 密封形态复杂或压缩变形难以通过典型试验件表征的零组件结构,考核区域的试验件应与原构型一致。

3.2 防火试验工装及设备

如图 5 所示,试验设备及工装主要由试验台、燃烧器、热电偶、振动装置、热流计、试验件以及摄像机组成。

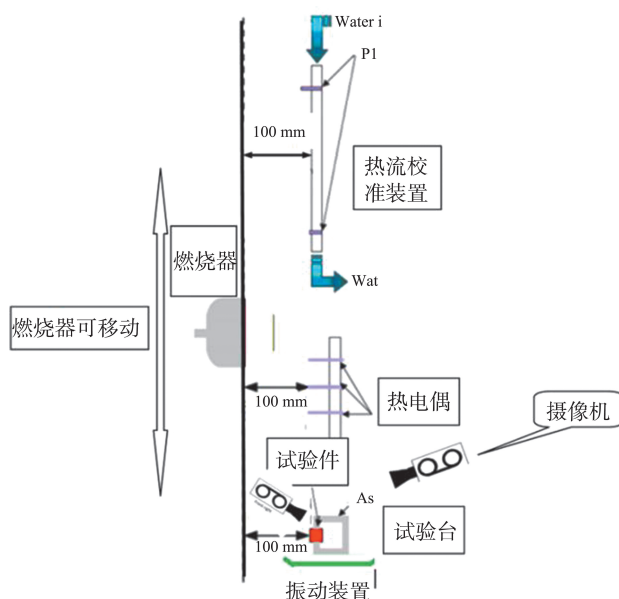


图 5 试验工装及设备

试验工装需满足以下要求:

1) 燃烧器喷口与热电偶之间的距离保持 100 mm, 测试前需校准燃烧器, 满足试验热通量要求 $116 \text{ kw/m}^2 \pm 10 \text{ kw/m}^2$, 测试或者校准喷口热通量前燃烧器火焰至少稳定燃烧 5 min。计算和校准火焰设备需满足 ISO2685 的要求。

2) 燃烧器喷口和试验件之间的距离应与燃烧器喷口和测试热电偶之间距离保持一致。

3) 在试样与燃烧器规定的距离内, 产生了 $1100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度, 并吞没试样或根据试样尺寸提供有代表性的火焰喷射覆盖范围。

3.3 试验程序

吊挂密封防火的试验件试验程序如下:

- 1) 按实际工况对密封件施加气体压力, 使其满足试验要求;
- 2) 启动振动/摄像设备;
- 3) 开启燃烧装置稳定燃烧 5 min, 然后将燃烧装置对准热电偶, 2 min 后开始记录检测数据, 按 ISO2685 附录 B 内容计算和校准燃烧设备, 保证温度和热通量满足试验要求;
- 4) 待燃烧装置达到试验要求后, 转动并对准试验件进行试验, 开始计时;
- 5) 5 min 后关闭振动装置, 15 min 后移除燃烧装置, 并熄灭燃烧装置;
- 6) 观察试验件残余火焰并记录;
- 7) 待试验件火焰熄灭后, 关闭摄像设备。

3.4 试验判据

吊挂密封防火的试验件试验判据如下:

- 1) 整个测试过程中, 在密封件背面(非火焰喷射处)不允许有明显火焰;
- 2) 试验件要能够承受至少 15 min 火焰燃烧而不被烧穿;
- 3) 喷灯火焰移除后, 不允许发生密封件材料再次复燃。

4 试验结果与分析

4.1 试验边界条件与载荷

本文以某型飞机吊挂密封防火的接口密封为研究对象并进行防火试验验证。对某一接口处相关结构进行选型和简化如下:

- 1) 选取典型截面结构的“Ω”型橡胶密封件作为主要试验件;
- 2) 周边结构由钛合金材质的零组件简化为一

般不锈钢材质的零件, 零件构型与接口处周边结构类似。

经过计算分析, 该试验件边界条件和载荷如表 3 所示。

表 3 试验边界条件和载荷

试验件	振动	压差/psi	气流	压缩量/mm
橡胶密封件及 周边简化零件	前 5 min	0.4	无	5

注: 根据 AC 20-135, 压差小于 0.5 psi, 可不考虑压差的作用。参考 ISO2685 附录 E, 振动振幅 $0.4 \text{ mm} \pm 0.15 \text{ mm}$, 频率尽可能接近 50 Hz。

“Ω”型橡胶密封件试验区域安装图如图 6 所示。试验件安装截面状态如图 7 所示。

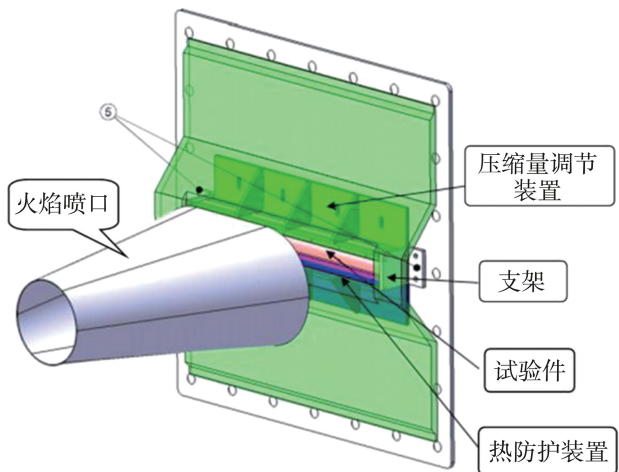


图 6 试验装置

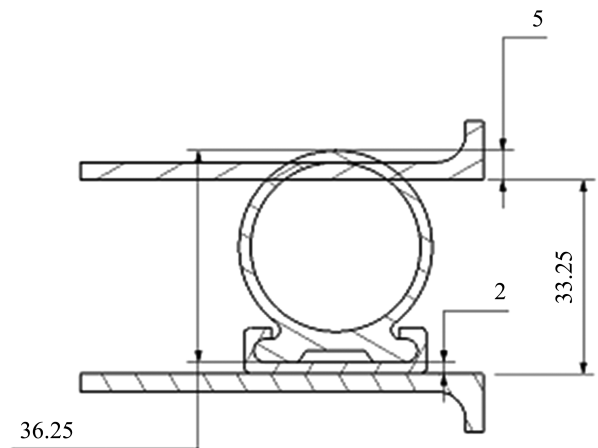


图 7 “Ω”型试验件压缩量(单位:mm)

由图 7 可知, 密封件压缩量为 5 mm, 自由状态

密封件高度为 36.25 mm,金属卡槽为 2 mm。

4.2 试验结果

根据 ISO2685 的相关定义,设定边界条件。整个试验过程中,密封件及相关组件迎火面燃烧状态正常,背火面无可见火焰穿透及背面燃烧现象,同时移除设备后试验件无复燃现象。整个试验成功通过防火试验,满足适航条款防火要求。



图 8 试验工装防火测试后迎火面状态

图 8 为试验件及周边结构经火焰燃烧冲击 15 min 后的状态。从图中可以看出橡胶材质的密封件表面部分区域出现材料损失,这主要是由橡胶材料内部释气冲击外层材料导致的,属于正常现象,同时橡胶密封件迎火面出现硬化,可有效防止火焰烧蚀背火面。如图 9 所示,密封件背火面无火焰烧蚀现象,且迎火面仅部分区域被火焰烧蚀。通过对试验件拆卸后的检查表明,该处密封设计满足防火设计要求。



图 9 试验件防火测试后状态

5 结论

本文主要依据适航条款内容进行吊挂密封防火验证与研究。依据 AC20-135 和 ISO2685 的要求与相关测试方法,对某型飞机吊挂与动力装置接口处进行防火密封试验验证研究,试验结果显示该处接口满足防火要求。本文给定的验证方法,为民用飞机防火墙接口防火能力验证提供了一套有效的验证方法,可为接口防火密封设计提供借鉴和指导。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Federal Aviation Administration. Powerplant installation and propulsion system component fire protection test methods, standards, and criteria: AC20-135. U. S. : FAA,1990.
- [3] 张旭,冯雅静,王志,等. 适航防火条款的建立与对比[J]. 消防科学与技术,2017,6(9):1309-1310.
- [4] 谈志晶. 民用飞机短舱防火密封件防火方法研究[J]. 科技创新导报,2019,16(26):7-8.
- [5] 胡寅寅,蒋祖武. 飞机发动机短舱防火墙结构和密封设计要求[J]. 科技视界,2016,(11):281,306.
- [6] 刘建国,郭俊娴. 民用飞机短舱密封件防火试验技术研究[J]. 民用飞机设计与研究,2021(3):56-59.
- [7] 李森,陈西锋. 民用飞机短舱防火试验件设计及验证[J]. 航空科学技术,2017,28(9):74-78.
- [8] 李仁鹏. 复合材料结构飞机发动机短舱防火设计与试验验证[J]. 广东科技,2016,25(2):39-40.
- [9] 周颂平. 民用涡扇飞机短舱结构防火设计[J]. 科技传播,2013,5(12):85,82.
- [10] 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[S]. 北京:中国民用航空局,2011.

作者简介

万雨和 男,硕士,工程师。主要研究方向:吊挂结构设计。

E-mail: wanyuhe@comac. cc

林 森 男,硕士,研究员。主要研究方向:吊挂结构设计。

E-mail: linsen@comac. cc

Research on the fireproof test of the pylon fireproof seal for civil aircraft

WAN Yuhe* LIN Sen

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

Abstract: Whether the aircraft is in flight or on the ground, fire is very dangerous for civil aircraft. In order to ensure flight safety, the airworthiness provisions require that the fire zone and non-fire zone of the aircraft must be protected by firewalls for fire isolation, and at the same time put forward the verification requirements for firewalls. Civil aircraft pylon is connected to the power plant, and there is a designated fire zone for the power plant, so it is necessary to design a firewall at the interface between the pylon and power plant. Normally, there is a relative movement between power plant and pylon. In order to meet the fire protection design requirements, fire protection seal and related support structures are usually designed for fire protection sealing. This paper mainly conducts verification research on the fire seal at the interface between pylon and power plant based on the requirements of airworthiness clauses, relevant AC and international standards, proposes a complete analysis and test verification method, and verifies the pylon and sealing of a certain type of aircraft through fire tests. The power plant seal design meets the fire protection requirements and provides a reference for the fire protection compliance verification of the seal design of the pylon and power plant interface of civil aircraft.

Keywords: pylon; firewall; fireproof seal; certification test

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