

民用飞机高置泄漏源排液设计与验证方法研究

何思元* 于水

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 民用飞机高置泄漏源排液属于特殊场景排液,常规的排液设计与验证方法无法满足特殊场景排液需求。总结了民用飞机特殊场景排液设计与验证流程,分析了高置泄漏源排液需求,选定了满足定向排液功能的排液导流槽作为高置泄漏源排液装置,梳理了常规排液设计要求和针对高置泄漏源的特殊排液设计要求,论证了排液导流槽设计方案及设计确认方法,并对排液导流槽排液试验验证方法进行了研究,从而完整论证了民用飞机高置泄漏源排液设计与验证方法,对特殊场景排液设计与验证具有一定的指导意义。

关键词: 民用飞机;高置泄漏源;全机防火;排液设计

中图分类号: V221

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机动力装置系统消耗燃油产生动力,起落架系统、飞控系统依靠液压系统作为动力源,这些系统中包含燃油、液压油等易燃液体。泄漏后的易燃液体在遇到点火源及空气时,便有可能着火,严重的可能产生火灾。因此,有效避免着火三要素的同时出现,是减小民用飞机着火风险的基本原则。

根据 CCAR25 部、FAA 的 AC 25.863 草案及各区域易燃液体泄漏源和点火源的存在状态,民用飞机全机存在五类防火区域:指定火区、火区、易燃区、易燃液体泄漏区和非危险区^[1-3]。在存在易燃液体泄漏风险的指定火区、火区及易燃液体泄漏区,排液设计是有效减小着火风险的重要措施^[4]。

1 特殊场景排液设计与验证流程

排液设计旨在将泄漏出的易燃液体尽快地排出民用飞机机体,且需有效防止易燃液体再次进入机体。现有的排液设计分为主结构排液设计和定制化

排液装置设计两种类型。民用飞机上绝大部分排液设计均采用主结构排液设计,即针对常规泄漏源与点火源布置情况进行的主结构适应性排液设计,包括在现有主结构的下表面开口从而将易燃液体排出机外、在结构端肋上进行局部打通以加速易燃液体排放等^[5]。针对主结构排液设计无法解决的特殊场景,需要进行定制化排液装置设计,即为泄漏液体定制化设计排液措施以满足特殊场景排液要求,如安装排液挡片、排液罩、排液导流槽等排液装置^[6]。

针对特殊场景的排液设计与验证流程如图 1 所示。

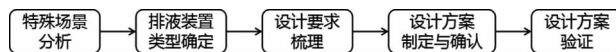


图 1 特殊场景排液设计与验证流程

1) 特殊场景分析:分析特殊场景下排液设计需求,排液装置的设计需要满足的排液功能。

2) 排液装置类型确定:典型的定制化排液装置包括排液挡片、排液罩、排液导流槽等,分别适用于不同排液功能,需在特殊场景分析清楚之后根据排

* 通信作者. E-mail: hesiyuan@comac.cc

引用格式: 何思元,于水. 民用飞机高置泄漏源排液设计与验证方法研究[J]. 民用飞机设计与研究,2022(3):94-98. HE S Y, YU S. Research on design and verification method of high-set leak source drainage of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research,2022(3):94-98(in Chinese).

液需求进行选择。

3) 设计要求梳理: 定制化排液装置设计要求包括常规排液设计要求和针对特殊场景的设计限制两部分, 由于定制化排液装置往往是在既有设计方案上增加的设计, 因此特殊场景的设计限制以对既有设计方案产生影响最小化为目标。

4) 设计方案制定与确认: 明确特殊场景排液设计要求后, 即可制定排液装置设计方案。在方案制定过程中, 需根据设计经验、仿真分析等设计手段对设计方案进行确认。

5) 设计方案验证: 定制化排液装置设计往往非常规设计, 设计与验证经验欠缺, 需要对设计方案进行实物排液试验验证。

2 高置泄漏源排液设计方法

2.1 特殊场景分析

由于易燃液体管路螺接接头属于泄漏源, 泄漏出的易燃液体若接触潜在点火源(高温引气管、电子设备、EWIS 线缆等)将存在着火的风险, 因此根据全机防火设计要求, 易燃液体管路螺接接头需尽量避免布置在潜在点火源正上方。但民用飞机总体布置方案的制定是一项多专业的综合性权衡工作^[7], 考虑到系统布置要求、区域内部空间、管线路转弯半径、装配、维修性等多个要素, 存在易燃液体管路螺接接头需布置在 EWIS 线缆正上方的需求, 如图 2 所示。

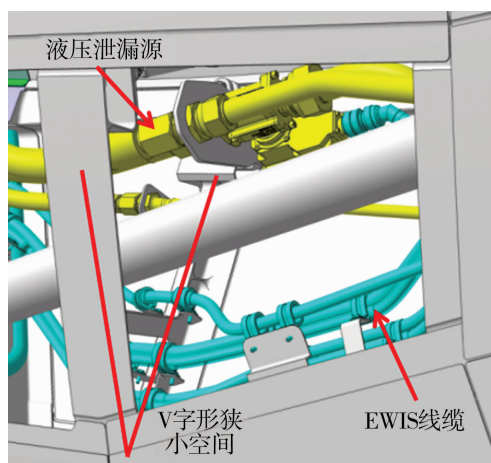


图 2 高置泄漏源排液设计需求

针对高置泄漏源排液需求, 调整管线路布置方案可能造成重量、成本甚至气动外形更改的代价, 为泄漏源设计定制化排液装置是综合考虑之下最优的

方法。此场景的排液需求为泄漏出的易燃液体不接触到 EWIS 线缆, 即需实现定向排液功能。

2.2 排液装置类型确定

典型的定制化排液装置包括排液挡片、排液罩、排液导流槽等, 其中排液挡片主要用于机身外部排液路径的局部阻挡, 排液罩主要用于机身外部排液出口的整流, 排液导流槽主要用于在非主结构处搭建一段排液路径。采用底边 + 四周翻边 + 固定出口设计的排液导流槽能够实现定向排液功能, 改变泄漏液体的排液路径, 以避免易燃液体与 EWIS 线缆接触。

2.3 设计要求梳理

排液导流槽设计要求包括常规排液设计要求和针对高置泄漏源场景的设计限制两部分, 高置泄漏源场景的设计限制以对既有设计方案产生影响最小化为目的, 设计要求如下:

1) 常规排液设计要求。根据 CCAR25 及 FAA AC 25.863 草案的要求, 排液导流槽需能保证 3.8 L/min 泄漏速率连续泄漏 15 L 液体的定向排液, 任意单个积水部位液体积存量不超过 44 ml, 且需在典型的飞行姿态下依然能够保证液体沿着预期的排液路径排出而不会接触 EWIS 线缆。

2) 布置要求。排液导流槽需安装在液压接头和 EWIS 线缆之间, 确保管线路主通道布置方案不发生变化, 可允许管线路局部的走向发生略微的调整, 如管线路转弯点局部移动、管线路局部位置微调等。

3) 装配及维修性要求。排液导流槽的增加需确保不影响管线路的装配及航线的维修, 重点需考虑液压管路接头装配时活动扳手的操作空间。

2.4 设计方案制定与确认

典型的排液导流槽如图 3 所示。为了满足常规排液设计要求, 排液导流槽的翻边高度、出口尺寸、出口位置及倾斜角度的取值较为关键。根据工程经验, 为了避免典型排液速率下排出的液体碰撞导流槽后溢出或溅出导流槽, 导流槽的翻边高度需大于

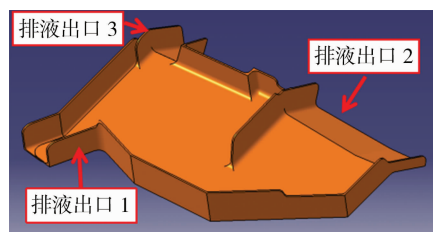


图 3 排液导流槽示意图

25 mm,出口宽度需大于 25 mm。导流槽的设计目的是实现满足全机防火要求的定向排液功能,因此导流槽出口位置的设计需确保从出口流出的液体能够按照预期的排液路径流动而不造成额外安全影响。同时,导流槽的倾斜角度需确保飞机在地面停放状态下流经导流槽的液体在导流槽内不会形成积液。为了满足布置及安装需要,导流槽可设计成分体式,各零件之间通过紧固件连接后需用密封胶将接合面进行密封,防止接合面处渗漏液体。排液导流槽装配图如图 4 所示。

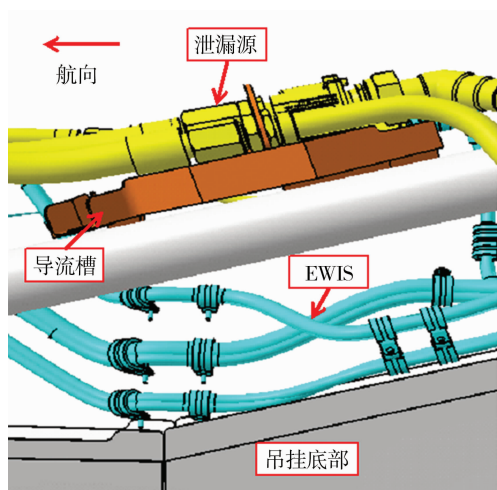


图 4 排液导流槽装配图

从图 4 可以看出,排液导流槽的安装空间非常狭小,真实环境下可能存在无法在管线路装配到位的情况下进行导流槽拆装的问题。因此,需对导流槽的安装进行设计确认。采用 CATIA 软件 Mechanical Design (机械设计) 模块中的 Assembly Design (零部件装配设计) 功能, Digital Mockup (数字样机) 模块中的 DMU Space Analysis (数字样机空间分析) 和 DMU Fitting Simulator (数字样机装配仿真) 功

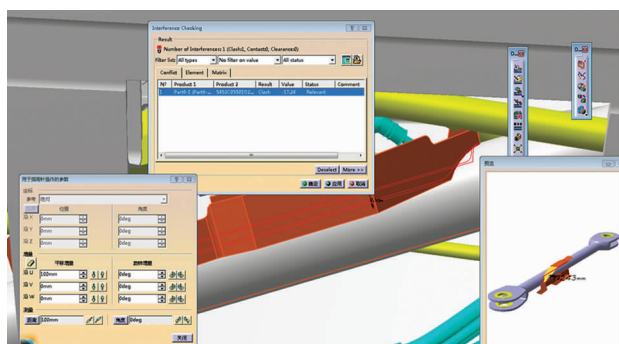


图 5 导流槽安装可行性分析

能^[8],可以帮助实现对导流槽安装可行性的分析,如图 5 所示。经过数字样机空间分析和装配仿真,图 3 所示的排液导流槽在图 4 所示的安装环境中可以实现与液压管路接头的协同拆装,满足装配工艺及航线维修性要求。

3 高置泄漏源排液试验验证方法

由于易燃液体排放涉及到火灾风险,要求不该漏处滴水不漏,因此排液装置的设计要保证基于 AC 建议的泄漏量及泄漏速率的液体完全按照预期的排液路径流动,不会流动、渗漏、足量溅落到非预期的排液路径上,属于两相流非定常流体力学问题。基于现有的仿真分析手段,对于内外部排液路径的总体走向的仿真分析技术相对成熟,但对于两相流非定常流体力学问题的仿真分析研究还不够充分^[9]。因此,对于排液导流槽能否满足排液设计要求必须通过排液试验进行验证。

3D 打印技术可快速而精确地加工出任意复杂形状的零件,较传统加工工艺减少了加工工序、缩短了加工周期^[10]。由于定制化排液装置对于设计要求能否满足的不确定性较强,为避免验证阶段的设计更改与制造带来的设计成本的提高,高置泄漏源排液导流槽需在设计阶段采用 3D 打印技术进行排液试验验证。

要求将排液导流槽的设计图纸按照 1:1 的比例进行 3D 打印,针对分体式排液导流槽需通过金属胶带等与设计图纸中安装密封要求等效的方法进行装配与密封。需自制固定台架将排液导流槽进行固定,导流槽各方向的倾斜角度需确保与设计要求的相符,在考虑飞机地面停放姿态的同时还需考虑民机典型飞行姿态,如图 6 所示。民机典型的俯仰角为低头 15°、抬头 30°,典型的滚转角为 $\pm 20^\circ$ 。



图 6 导流槽安装角度调试

排液试验验证阶段,需准备漏斗并放置在高置泄漏源位置,按照 AC 建议的泄漏量及泄漏速率将水注入漏斗,如图 7 所示。整个试验过程中需确保水只从设计的排液出口排出,而不会从其他位置排出,包括从翻边漫出及足量溅出。



图 7 3D 打印导流槽排液试验过程

4 结论

本文对民用飞机高置泄漏源排液设计与验证方法进行了研究,结论如下:

- 1) 可采用排液导流槽作为高置泄漏源的排液装置,实现定向排液功能;
- 2) 高置泄漏源的排液设计要求包括常规排液设计要求、布置要求、装配及维修性要求;
- 3) 排液导流槽的翻边高度、出口尺寸、出口位置及倾斜角度的取值为实现定向排液功能的关键设计参数;
- 4) 需在设计阶段通过三维数字样机确认排液导

流槽的安装可行性,通过 3D 打印技术验证排液导流槽的排液能力。

参考文献:

- [1] 中国民航总局. 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.
- [2] FAA. Draft flammable fluid fire protection: AC 25. 863 [S]. Washington:FAA, 2002.
- [3] 于水. 民用飞机可燃液体防火分区方法研究[J]. 科技视界, 2016, 22:277-282.
- [4] 王渊明. CCAR 25. 863 条款解析及符合性验证方法探讨[J]. 科技风, 2015(13):231-232.
- [5] 刘力搏. 一种尾吊发动机布局民用飞机机翼排液方案[J]. 科技视界, 2017(12):98-100.
- [6] 刘大, 李瑜, 章弘, 等. 民用飞机辅助动力装置排液验证试验方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2016(2):66-68.
- [7] 陈丽华, 赵海涛, 陈裕. 民用大型客机超临界机翼系统布置设计的初步分析研究[J]. 科技视界, 2016(9):1-13.
- [8] 何朝良. 基于 CATIA/CAA 平台的虚拟装配路径规划的研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2005.
- [9] 项佳梁, 李昞, 唐华. 固液两相离心泵内部非定常流动特性研究[J]. 机电工程, 2014, 31(6):702-706.
- [10] 卢秉恒, 李涤尘. 增材制造(3D 打印)技术发展[J]. 机械制造与自动化, 2013(4):1-4.

作者简介

- 何思元** 男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机易燃液体排液设计与验证。E-mail: hesiyuan@comac.cc
- 于水** 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机全机防火设计与验证。E-mail: yushui@comac.cc

Research on design and verification method of high-set leak source drainage of civil aircraft

HE Siyuan* YU Shui

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

Abstract: The drainage of civil aircraft from a high-set leak source is a special scenario drainage situation. The conventional drainage design and verification method of civil aircraft cannot meet the design requirements of the special scenario drainage situation. This article summarizes the drainage design and verification process for a special scenario drainage situation of civil aircraft, analyzes the drainage design requirements of high-set leak source, selects the drainage diversion groove which satisfies the directional drainage function as the high-set leak source drainage device, sorts out the conventional and specific drainage design requirements for high-set leak source. The design scheme of the drainage diversion groove and the design confirmation method were demonstrated, and the drainage test verification method of the drainage diversion groove was studied. Thereby the design and verification method of high-set leak source drainage of civil aircraft was fully demonstrated, which has certain guiding significance for the design and verification of drainage in special scenarios.

Keywords: civil aircraft; high-set leak source; aircraft fire safety; drainage design

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