

文章编号:1674-8190(2022)05-028-08

民用飞机舱门试验研究综述

甘亚东,姚雄华,刘万春

(航空工业第一飞机设计研究院 结构设计研究所,西安 710089)

摘要: 舱门是飞机结构的重要部件,舱门试验是验证舱门设计满足可靠性、安全性、适航要求的重要手段。民用飞机舱门试验包括设计验证试验和适航验证试验,结合民用飞机舱门研制的经验和教训,本文研究总结了舱门研制过程中,应当开展的试验项目和内容,指出了试验的试验目的、试验意义和开展试验的必要性,给出了试验台架设计建议。本文研究对于舱门满足功能、性能等设计要求、使用要求、持续适航要求以及在设计阶段制定合理的试验规划,具有一定的参考价值。

关键词: 舱门;研发试验;适航验证试验;试验件简化设计;试验台架

中图分类号: V223⁺.9

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.05.03

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Overview for Door Tests of Civil Airplane

GAN Yadong, YAO Xionghua, LIU Wanchun

(Structure Design Department, AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

Abstract: The door is an important part of the aircraft structure. The door test is an important means to verify that the door design meets the requirements of reliability, safety and airworthiness. There are design verification tests and certification tests for doors of civil airplane. Based on the experience and lessons of civil airplane doors' development, the necessary test items and contents during the civil airplane doors' developing process are summarized in this paper. The purpose, significance and necessity of each test are pointed out, the design of test benches and the simplified designing principle of test-pieces are proposed, and the methods and steps of the tests are given. The research in this paper has certain reference value for the door design to meet the requirements such as function and performance, use requirements, continuous airworthiness requirements and to formulate a reasonable test plan in the design stage.

Key words: doors; development tests; certification tests; simplified design of test-pieces; test bench

收稿日期: 2021-09-06; 修回日期: 2021-12-22

通信作者: 甘亚东, gyd3140@163.com

引用格式: 甘亚东,姚雄华,刘万春. 民用飞机舱门试验研究综述[J]. 航空工程进展, 2022, 13(5): 28-35,68.

GAN Yadong, YAO Xionghua, LIU Wanchun. Research overview for door tests of civil airplane[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(5): 28-35,68. (in Chinese)

0 引言

舱门是飞机结构的重要组成部分。飞机飞行过程中,由于机械故障或其他原因打开增压舱门会造成客舱突然失压,影响飞机飞行安全和旅客生命财产安全;大型货舱门打开后,可能成为气动力作用的表面并影响飞机的操控性。

FAA在1980年发布了25部的第25~54号修正案,提高了运输类飞机舱门的安全标准。1989年,在经历了两次因B747货舱门意外打开而导致的灾难性事故后,美国航空运输协会开始了舱门设计和操作问题的研究,并于1991年向FAA提出了改进舱门设计标准的建议。FAA于2004年5月3日发布了25~114号修正案,提高了舱门的设计标准。

对舱门开展试验验证,验证舱门及其运动机构设计的正确性、可行性、可靠性、安全性和对适航标准相关条款的符合性是舱门研制的一项重要内容。本文总结近20年来国内外研究人员在飞机舱门试验方面所做的工作,通过对中国民用航空规章第25部《运输类飞机适航标准》相关条款要求的研究和解读,参考相关文献和标准提出的民用飞机舱门验证要求和方法,结合民用飞机舱门研制的经验和教训,研究总结出舱门研制过程中应开展的试验项目,提出试验目的,给出试验台架设计建议。

1 舱门试验研究现状

为了防止舱门在飞行过程中打开进而威胁飞行安全,舱门设计方案中采取设置一个闭系统、一个锁系统、指示系统、一种增压预防措施等多重举措提高舱门对失效、故障和人为失误的容错性,多重功能措施集成为一个复杂的运动机构系统,对系统原理的正确性、可行性,系统集成的协调性、可靠性、安全性,舱门及其运动机构的承载能力等都应该通过计算分析并结合必要的试验予以验证,确保舱门的使用安全和飞机的飞行安全。

J. P. Dunne等^[1]介绍了波音公司开发的主动损伤询问(ADI)技术应用进展,利用该技术通过试

验检测舱门结构振动来探测、定位和评定舱门损伤,用于服役飞机舱门的损伤检测和评定。

在适航符合性验证研究方面,武戎戎^[2]论述了民用飞机舱门适航符合性验证的要求;丁立冬^[3]从试验规划、试验构型、试验文件要求、试验前内部检查等方面对民用飞机型号合格审定过程中地面试验的工作要点给出了建议。

在舱门重要的零组件验证研究方面,孙阔^[4]研究了气动载荷作用下碳纤维复合材料舱门结构的变形试验测试方法,对测量结果与计算值进行了对比分析;W. Buchs等^[5]研究了基于轻量化设计的碳纤维复合材料舱门铰链臂,建立了一种电作动器加载的试验装置,在引入湿热环境的条件下验证了舱门铰链臂的承载能力以及试验结论与设计计算结果的符合性;L. Zilberman等^[6]研究了一种无紧固件的整体复合材料舱门结构及其梁的设计符合性验证方法。

在舱门环境试验研究方面,K. A. Khalil等^[7]提出了一种室内模拟雪和混相结冰条件的方法,介绍了测试程序及相关结果;张晓等^[8]研究了结冰喷水系统供水压力与供水流量、供气压力与供气流量的关系,通过试验验证喷雾颗粒的均匀性。

在舱门功能机构的验证研究方面,张舵等^[9]通过对振动环境下舱门锁系统可靠性试验数据的分析,提出了试验数据处理方法,该方法可用于舱门锁系统振动环境的可靠性评定;袁强飞^[10]、张伟等^[11]研究了某型飞机登机门提升机构上拉杆卡滞工况下的载荷情况,验证了试验结果与柔性仿真计算结果的符合性。

舱门密封性能及舱门密封带性能验证研究方面,渠涛等^[12]研究了不同截面形状的飞机舱门橡胶密封件在不同条件下的动摩擦性能,介绍了性能试验装置;景月娟^[13]提出了一种自动化的嵌入式飞机舱门密封带测试系统,支持密封带的疲劳试验、压力降试验和爆破试验。

新的适航标准对舱门的功能、可靠性、安全性等提出了更高的要求,新设计的舱门采用的运动机构功能构成更加复杂。分析和总结舱门在研制和使用过程中容易出现的故障现象和部位,研究

在飞机舱门研制过程中有必要开展的设计验证试验项目和适航验证试验项目及其试验实施方法,对于舱门满足功能、性能等设计要求、使用要求、持续适航要求以及在设计阶段制定合理的试验规划,有现实的参考价值。

2 舱门试验

在民用飞机舱门研制中,如果决定采用全新的、未经验证的设计方案,就应该开展样机制造和试验,全面验证设计方案,规避设计风险。仅依赖于计算机模拟仿真和分析还不足以支持舱门研制的成功和使用安全,过往的经验表明,开展样机制造和试验工作的收益远远大于成本支出。

舱门设计验证试验通常需要开展舱门运动机构原理试验、功能试验、增压试验、舱门耐久性试验等项目^[14-15],对应急出口舱门,还应根据需要开展高温、低温和结冰条件下的环境试验;适航验证试验主要包括起落架折断姿态下的应急出口打开能力验证试验、应急出口机上地面试验等项目^[16]。

2.1 舱门设计验证试验

2.1.1 舱门运动机构原理试验

在舱门概念设计工作收敛到两三种类型时,开展舱门运动机构原理试验,验证舱门运动机构原理的可行性和正确性;检查舱门运动机构的可达性和维护通路;对收敛的设计方案进行选型。

运动机构原理验证试验推荐采用 1:4 的缩比机构,对舱门结构、门框结构进行简化处理,运动机构部分应达到足够的精度(建议的精度为:±0.25 mm)。

试验件的安装姿态与装机姿态保持一致,在试验件上分别施加增压载荷、操作载荷、舱门工作过程中可能遇到的风载和随机载荷等,加载后对舱门做打开和关闭运动,检查舱门运动机构在各种载荷工况下运动的灵活性、是否存在卡滞情况、舱门各功能子机构运动顺序的正确性和状态稳定性,结合计算机仿真分析结果,判定运动机构原理方案的正确性。试验完成后,根据试验结果,完善、优化并初步冻结舱门运动机构原理方案,可转入产品设计阶段。

2.1.2 全尺寸舱门系统试验

在舱门运动机构原理试验的基础上,完成舱门初步方案设计后,开展全尺寸样机制造和试验,对舱门设计方案进行全面的验证。

为了降低试验费用,全尺寸舱门系统试验对舱门结构、机构进行简化和等效处理,经简化和等效处理的舱门应当具有与装机状态舱门相当的刚度和强度。

全尺寸舱门系统试验内容应包括但不限于:打开/关闭功能试验、目视装置检查试验、舱门手柄力测量试验、增压密封性能试验、增压变形测量试验、增压预防机构泄压试验、排水试验、2倍压差增压试验、运动机构卡阻试验、随机载荷试验、风载试验等项目。

(1) 舱门打开/关闭功能试验

舱门打开/关闭功能试验全面验证和检查全尺寸舱门集成后运动机构原理的正确性,验证舱门各功能子机构的动作顺序正确^[16-17]、舱门打开过程中以及完全关闭、上闩和上锁后能够运动到预期的位置且状态确定;应急出口类舱门完全打开后能够自动锁定^[16-17];舱门打开和关闭过程中运行平稳,不会出现不可预期的晃动。

舱门打开/关闭功能试验中不考虑除了操作载荷外的其他载荷情况。在试验台架上通过手柄打开和关闭舱门,检查打开过程中舱门运动姿态的稳定性和运动的灵活性、舱门关闭后的间隙、阶差及位置稳定性。试验过程中,如果发生卡滞、操作力较大的突变、行程终点不到位、超出预期的晃动等现象,则表明舱门的运动机构不能满足功能需求,应依据试验现象和结果结合仿真分析,定位问题,改进设计。

舱门的打开/关闭功能在装机生产图样发放前就应得到充分的验证,验证不充分可能导致舱门和门框结构的重大更改,会严重影响飞机的研制进度,造成重大的经济损失。

(2) 目视装置检查试验

对于未上闩可能有危险的舱门,在舱门上设置机械指示装置(目视装置)^[16-17]供操作人员判断舱门是否已经完全关闭、上闩和上锁。目视装置检查试验验证舱门机械指示装置指示位置的正确

性、唯一性以及位置是否合理和方便观察。

在舱门打开和关闭两种状态下,分别检查机械指示装置显示内容正确和位置确定,不会出现偶发的和不可预期的变化,外力碰触机械指示装置时,应能保持位置不变。

(3) 舱门操作手柄力测量试验

对于手动操作打开和关闭的舱门,通过测量操作舱门的手柄力,验证产品操作力满足使用要求。

通过操作手柄打开和关闭舱门,借助扭矩扳手或测力传感器测量舱门手柄上的操作力,建议的测量方法如图1所示。试验中手柄力测量时,对于有把手的“T”型手柄,手柄力测量点应在把手上;对于没有把手的“L”型直柄手柄,手柄力测量点应在手柄上距离转轴 $2/3$ 处。

正常打开和关闭舱门时,手动操作力应不大于 $225\text{ N}^{[18]}$,快速打开舱门时,手动操作力应不大于 $334\text{ N}^{[18]}$,试验中测得的手柄力大于规定的力值时,表明不满足设计和使用要求,应当调整舱门运动机构或者改进设计。

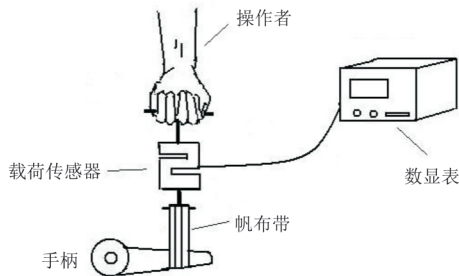


图1 舱门手柄力测量示意图

Fig. 1 Diagram of door handle force measurement

(4) 增压密封性能试验

增压密封性能试验验证舱门的气密密封性能,在密封试验舱上开展试验,试验方案如图2所示。

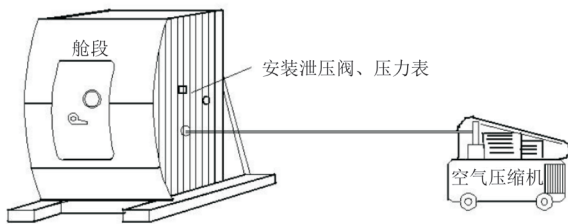


图2 舱门增压密封性能试验安装示意图

Fig. 2 Installation of door pressure test

舱门关闭状态,通过空气压缩机向密封试验舱按 10% 级差逐级充压,首先按最大充压 0.5 倍压差进行预试,再进行最大充压 1 倍压差试验。试验中在每一级压力下检查舱门漏气情况。测量的泄露量超出飞机总体技术文件规定的数值时,则可判断密封性能不满足设计要求,分析漏气的可能原因并进行处置^[19]后重新进行试验,直至泄漏量满足技术文件规定的要求。

飞机全机气密试验中漏气源通常主要集中在舱门区域,开展舱门增压密封性能试验,提前发现和解决设计缺陷和问题,能有效支持全机气密试验的顺利开展。

(5) 增压变形测量试验

增压变形测量试验在舱门增压密封性能试验完成后开展,验证舱门的刚度满足设计和使用要求,验证舱门在 1 倍压差载荷工况下的间隙和阶差满足飞机总体气动外缘公差控制要求。

试验装置如图2所示,在舱门完全关闭状态,通过空气压缩机向密封试验舱按 10% 级差逐级充压到 1 倍压差,测量每一级压力下舱门的间隙和阶差。对试验记录数据与设计计算结果进行对比分析,判断舱门结构刚度是否满足设计要求,为改进设计和结构减重优化设计提供支持。

舱门刚度过大会付出额外的重量代价,刚度不足又会导致舱门漏气和气动外缘不满足飞机总体要求,开展舱门增压变形测量试验对控制舱门结构重量、保证舱门气密密封性能和控制飞机气动外缘公差是很有必要的。

(6) 增压预防机构泄压试验

增压预防机构泄压试验验证当舱门关闭、泄压门打开状态,以飞机压力活门最大调定值增压时,舱内压力不会超过 $3.45\text{ kPa}^{[17]}$ 。

增压预防机构是增压舱门一项重要的安全功能措施,防止增压舱门未完全关闭、上闩和上锁时将飞机增压到不安全的水平,通过该试验,验证执行舱门增压预防功能的泄压门打开角度和开口尺寸满足安全性要求。

试验装置如图2所示,在舱门完全关闭、上闩和上锁状态,通过手柄操作打开舱门锁机构和泄压门,并用专用夹具保持状态,以飞机压力活门最

大调定值向密封试验舱充压,测量舱内压力变化。舱内压力如果超过 3.45 kPa,则表明设计方案不能满足安全性要求,应当进行改进设计。

(7) 排水试验

排水试验验证舱门内部结构排水通路的畅通性和是否会存在积水情况。

保持舱门处于地面装机姿态,向舱门结构内部每一区域注水,静置 30 min 后检查舱门结构内部每一区域是否存在积水,如果存在明显的积水,则表明舱门结构排水通路不畅,应当改进设计。

在舱门结构设计中,排水通路很容易被忽视。排水通路不畅会造成雨水、冷凝水等在舱门结构上积聚,导致结构腐蚀,补打排水孔又可能会引起强度问题和应力集中,因此,在研制阶段就应该通过试验确保排水通路畅通。

(8) 2 倍压差增压试验

2 倍压差增压试验验证舱门结构的承压能力。舱门结构按 2 倍压差设计^[20],保证舱门在压调系统故障、增压舱压力大于 1 倍压差时仍然能够安全的工作。飞机增压飞行中舱门结构破坏可能造成增压舱突然失压并导致严重后果。

试验装置如图 2 所示。在舱门梁、框、蒙皮、止动块、锁闩等重要承力部位粘贴应变片,舱门处于完全关闭、上闩和上锁状态,通过空气压缩机向密封试验舱按 10% 级差逐级充压到 1.33 倍压差,测量并记录每一贴片位置的应力和应变,自然泄压后检查舱门结构的永久变形和破坏情况,没有出现永久变形和破坏时,重新按 10% 级差逐级充压到 2 倍压差,测量并记录每一贴片位置的应力和应变,自然泄压后检查舱门结构的永久变形和破坏情况。

在 2 倍压差载荷下,允许舱门结构存在变形和漏气情况,只要舱门结构不出现破坏,能够可靠的保持处在锁定位置即可判定为满足设计要求。

(9) 运动机构卡阻试验

运动机构卡阻试验验证当舱门运动机构出现异物阻碍舱门运动功能时,在人能施加的最大操作力下舱门运动机构不会出现破坏,消除卡阻后舱门仍然具备打开能力。

舱门内部结构有异物进入后,可能在运动机构部位形成卡阻,这种故障由于内装饰的遮挡不

容易被发现。在这种情况下打开舱门时,由于操作人员不知道卡阻情况的存在,可能会尽力开门,造成舱门运动机构的破坏。

舱门运动机构中容易产生异物卡阻的部位主要包括手柄机构、锁机构、闩机构、导向装置、增压预防机构等。在舱门关闭状态,通过专用夹具分别限制和固定确定的卡阻部位,然后在手柄上施加 1 360 N^[17]的开门载荷,卸载后检查舱门运动机构部件的永久变形和破坏情况,如果出现影响舱门功能的永久变形和破坏,则可判定舱门机构承载能力不满足使用要求,需要进行设计改进。

(10) 随机载荷试验

随机载荷试验验证舱门在承受非预期的随机载荷情况下,舱门结构和机构不会出现破坏。

试验内容和载荷工况:

舱门处于完全关闭、上闩和上锁位置时:在舱门任意位置施加向下 1 360 N 的载荷、在舱门任意位置施加任意方向 680 N 的载荷^[20-21]。

舱门处于打开的任意位置时:在舱门任意位置施加向下 1 360 N 的载荷、在舱门任意位置施加任意方向 680 N 的载荷^[20-21]。

按上述 4 种加载要求,分别在舱门结构上施加载荷,卸载后检查舱门结构和机构不应出现破坏。

旅客出入飞机、物资装卸、地面服务车辆运行过程中,都有可能接触和碰撞舱门,造成舱门经受不可预期的载荷。国内过去在舱门设计中对随机载荷的考虑比较少,很少开展相关的试验。以往的航空事故统计表明,不可预期的随机载荷造成的舱门损伤和破坏事故常有发生,在今后舱门的设计和验证中,应重视这种载荷工况。

(11) 风载试验

通过舱门风载试验,验证舱门经受不大于地面水平 74 km/h 风速时能够顺利打开,验证舱门完全打开、保持打开机构上锁状态时能够承受 120 km/h 水平风速的作用^[20-21]。

舱门关闭状态,在舱门结构上施加水平 74 km/h 正面迎风等效载荷,手动打开舱门,在不超过 1 360 N 操作载荷下舱门能够顺利打开,表明舱门设计满足使用要求;如果不能打开,则需要考虑增加辅助助力措施。

舱门完全打开且保持打开机构上锁的状态,

在舱门结构上分别施加顺航向、逆航向和垂直于飞机对称平面的120 km/h迎风等效载荷,舱门能够保持状态、保持打开机构不会开锁和破坏、舱门不会因晃动碰撞机身,则表明设计满足使用要求。

2.1.3 应急出口舱门结冰打开试验

在高寒地区及冻雨环境下,应急出口舱门区域可能结冰,影响打开功能。通过实验室环境试验,验证应急出口舱门在结冰情况下是否能够顺利打开,为机上人员提供应急撤离通路。

舱门及台架置于环境试验箱(室),将试验箱(室)温度调至舱门表面结冰的温度 $-10\sim-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保持,将温度接近于冰点($0\sim3\text{ }^{\circ}\text{C}$)的水呈细雾状喷洒在舱门外表面,使门区形成坚硬、透亮的不超过6 mm厚的雨冰^[22],在手柄上施加1 360 N的操作力,舱门应能打开。如果无法打开舱门,则表明设计不满足使用要求,需要结合试验结果分析原因并进行改进。

2.1.4 全尺寸舱门耐久性试验

通过舱门耐久性试验验证舱门在全寿命周期内是否能够可靠的工作、舱门结构和运动机构是否会出现影响使用功能的疲劳损伤和破坏。

定义打开1次舱门和关闭1次舱门为1个舱门操作循环,飞机1个飞行循环执行2个舱门操作循环。舱门全寿命操作循环次数至少取飞机全寿命飞行循环次数的2.5倍。在试验台架上交替使用内手柄和外手柄打开和关闭舱门,连续进行规定的开关次数后,对舱门进行一次详细检查,确认没有故障和损坏后继续试验。试验过程中,应按计划维修任务进行润滑和维护,定期检查和更换消耗件和易损件,完成全部的舱门操作循环后对舱门结构机构进行详细检查,舱门主承力结构和运动机构不应出现影响功能的损伤和破坏。

增压舱门运动机构复杂,检查空间狭小,舱门内表面有内装饰包覆,舱门结构和运动机构出现疲劳损伤和破坏时不易被发现,飞机带故障飞行则可能威胁飞行安全。开展耐久性试验对舱门进行验证,能够在很大程度上避免故障的发生。

2.2 适航验证试验

2.2.1 起落架折断姿态应急出口打开能力验证试验

验证应急出口舱门对§25.809(b)(1)、§25.809(d)、§25.809(e)条款^[16]的符合性。

试验装置如图3所示,模拟飞机处于正常地面姿态和在一根或几根起落架支柱折断时的每一种姿态时,分别用内手柄和外手柄手动打开应急出口舱门。在各种可能的舱门姿态下,在不超过1 360 N操作力下舱门能够顺利打开,表明舱门设计满足适航要求,如果不能打开,则需要考虑改进设计或增加辅助助力措施。

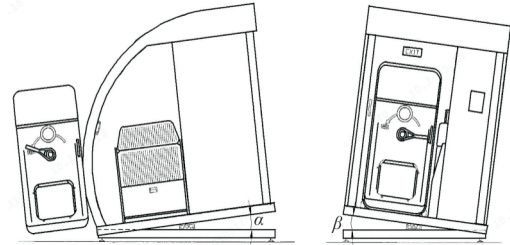


图3 起落架折断姿态应急出口打开能力验证试验安装示意图

Fig. 3 Bench installation of certification test of emergency exit opening on the simulation of attitudes corresponding to the landing gear collapse

2.2.2 应急出口机上地面试验

验证应急出口舱门对§25.783(e)、§25.783(f)、§25.809(b)(2)、§25.809(b)(3)、§25.809(c)、§25.809(e)条款^[16]的符合性。

应急出口舱门机上地面试验内容包括指示告警系统和目视检查试验、应急出口打开试验。

(1) 指示告警系统和目视检查试验

飞机处于地面正常停机姿态,系统通电,在应急出口舱门处于打开和处于完全关闭、上闩和上锁两种状态下,检查驾驶舱内舱门系统简图页显示信息、在运行照明条件下或者通过手电筒或同等光源的手段下检查应急出口舱门机械指示装置的显示情况,显示信息符合经批准的技术文件要求,表明指示告警系统和目视检查措施满足适航要求。

(2) 应急出口打开试验

飞机处于地面正常停机姿态,分别在舱内和舱外操作手柄快速打开舱门并测量开门时间,从开门装置启动到舱门完全打开,不超过 $10\text{ s}^{[16]}$,则表明舱门设计满足适航要求。

3 试验台架设计

除了应急出口机上地面试验必须在飞机上进

行外,大部分的舱门试验均为实验室试验,本文提出三种试验台架方案,供在规划和设计舱门试验时参考使用。

3.1 立柱试验台架

立柱台架用于开展舱门部件选型试验、非气密载荷工况下的舱门打开/关闭功能试验、舱门手柄力测量试验、运动机构卡阻试验、随机载荷试验、风载试验、舱门耐久性试验等项目,由固定支撑部件(立柱)和门框假件组成,如图4所示。

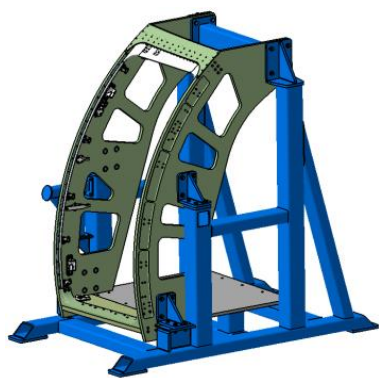


图4 立柱台架示意图

Fig. 4 The bench of door surround structures

3.2 密封试验舱

密封试验舱用于开展舱门密封性能试验、排水试验、结冰试验、舱门增压试验等项目。在立柱台架上开展的试验都可以在密封试验舱上开展。密封试验舱包括门框及壁板、封闭盒段,如图5所示。

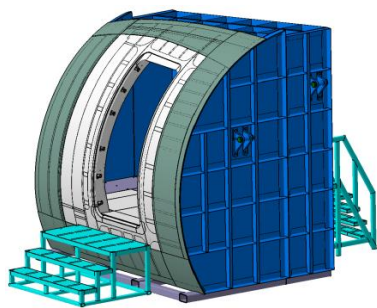


图5 密封试验舱示意图

Fig. 5 Door's sealing test cabin

3.3 姿态调节台架

姿态调节台架由调节工作台面、底座和作动筒组成,如图6所示。姿态调节台架与立柱台架或

者密封试验舱配套使用,用于模拟飞机处于正常地面姿态和一根或几根起落架支柱折断时的每一种飞机姿态,开展应急出口舱门打开能力验证试验。

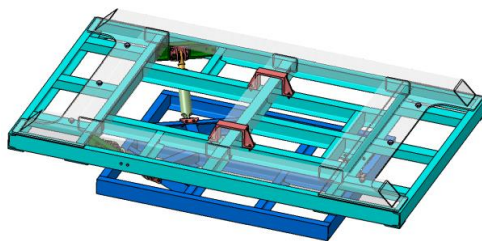


图6 姿态调节台架示意图

Fig. 6 Doors' attitude adjustment bench

4 试验设备及量器具

开展舱门设计验证试验和适航验证试验时可能用到的主要试验设备及量器具如表1所示,开展试验时,所有的试验设备及仪器应在校验期内。

表1 试验可能用到的试验设备及量器具汇总表
Table 1 The list of test equipments and measuring tools for the door tests

试验设备/ 量器具	参数	用途
空气压缩机	2.0 m ³ /min, 0.8 MPa	提供压缩空气
游标卡尺	精度:0.02 mm	试验数据测量
厚度尺	精度:0.1 mm	试验数据测量
钢卷尺	测量上限≥10 m	试验数据测量
角度尺	精度:0.1°	试验数据测量
重量称	精度:0.1 g	试验数据测量
计时器	精度:0.01 s	试验数据测量
扭矩扳手	量程:5~200 N·m	试验数据测量
应变仪	静态采样频率 2 Hz, 通道数 200 动态采样频率 1~100 Hz, 通道数 100	试验数据采集
载荷传感器	量程:3 kN, 精度:0.001 kN 量程:5 kN, 精度:0.003 kN 量程:10 kN, 精度:0.005 kN	试验数据采集
位移传感器	量程:0~50 mm 精度:0.01 mm	试验数据采集
压力传感器	量程:0~200 kPa 精度:0.1 kPa	试验数据采集
温度传感器	量程:−100~100 °C 精度:±0.5 °C	试验数据采集
数字压力表	量程:0.1~6 MPa	试验数据采集
数显倾角仪	精度:±0.1°	试验数据采集

5 结束语

本文对民用飞机舱门试验研究进行了回顾,总结并提出了民用飞机舱门研制过程中,为了降低研制风险、提高舱门研制成功率和服役使用安全,应当开展的舱门设计验证试验、适航验证试验项目,提出了试验目的、重要的试验参数建议和试验判据,阐述了开展试验的作用、意义和必要性,给出了舱门实验室试验台架设计建议,列出了试验可能用到的主要试验设备及量器具清单,对今后舱门试验验证的研究具有一定的促进作用。

随着舱门设计经验的积累、仿真分析技术的不断发展、数字化虚拟仿真试验技术的广泛应用,在今后的试验工作中,研究和探索虚拟仿真试验技术与实验室试验技术相结合的舱门试验验证新方法,以降低试验成本,缩短试验周期,满足未来民用飞机的研制需求和对舱门安全性的要求。

舱门试验通常是在实验室条件下实施的,与飞机的实际使用条件存在差异,有时候成功的验证试验证明是一项好的设计,但在飞机服役后仍然会暴露出一些问题,比如腐蚀问题等,这就需要持续追踪和统计飞机服役中出现的各种故障和损伤,研究在今后的试验中引入环境条件,构建接近实际使用条件的试验方法,为舱门的成功研制提供支撑。

参考文献

- [1] DUNNE J P, PITT D M, KILIAN K J, et al. Recent advances in active damage interrogation: AIAA-2001-1442 [R]. USA: AIAA, 2001.
- [2] 武戎戎. 民用飞机适航符合性验证要求研究[J]. 科技展望, 2016, 26(16): 261.
WU Rongrong. Study on verification requirements for airworthiness conformity of civil aircraft[J]. Science and Technology, 2016, 26(16): 261. (in Chinese)
- [3] 丁立冬. 民用飞机机上天面验证试验研究[J]. 航空标准化与质量, 2013(3): 27-29.
DING Lidong. Study on ground verification test of civil aircraft [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2013(3): 27-29. (in Chinese)
- [4] 孙阔. 碳纤维复合材料滑动舱门刚度试验与仿真分析[J]. 材料导报, 2020, 34(s1): 161-163.
SUN Kuo. Test and simulation analysis on stiffness of carbon fiber composite sliding door [J]. Materials Reports, 2020, 34(s1): 161-163. (in Chinese)
- [5] BUCHS W, KUNZE S, SPRINGER T, et al. Development of CFRP hinge arms for aircraft passenger doors[C]// SAMPE Europe International Conference. Paris: SAMPE, 2007: 434-448.
- [6] ZILBERMAN L, KATZUNI O, COHEN L. Development of innovative composite aircraft cabin door [C] // SAMPE 2013 Proceedings: Education & Green Sky-Materials Technology for a Better World. US: SAMPE, 2013: 1474-1491.
- [7] KHALIL K A, IRANI E, MILLER D. Mixed-phase icing simulation and testing at the cox icing wind tunnel: AIAA-2003-903[R]. USA: AIAA, 2003.
- [8] 张晓, 杨园园, 程磊. 基于某型机结冰喷水系统的喷雾试验研究[J]. 科技资讯, 2018(16): 61-65.
ZHANG Xiao, YANG Yuanyuan, CHENG Lei. Experimental study of spray based on an iced water spray system of a machine [J]. Science & Technology Information, 2018 (16): 61-65. (in Chinese)
- [9] 张舵, 张园, 杨兆林, 等. 基于可靠性试验数据的某舱门锁系统振动影响分析[J]. 工程与试验, 2018, 58(4): 50-53, 86.
ZHANG Tuo, ZHANG Yuan, YANG Zhaolin, et al. Analysis of vibration effect of a cabin door lock system based on reliability test data [J]. Engineering & Test, 2018, 58(4): 50-53, 86. (in Chinese)
- [10] 袁张飞. 飞机舱门机构卡滞柔性仿真与试验分析[J]. 中国科技信息, 2017, 16(13): 27-28.
YUAN Qiangfei. Simulation and test analysis of flexible flexibility of aircraft door mechanism [J]. China Science and Technology Information, 2017, 16(13): 27-28. (in Chinese)
- [11] 张伟, 吕国成. 飞机登机门提升机构卡滞工况仿真与试验 [J]. 航空计算技术, 2014, 44(4): 37-41.
ZHANG Wei, LYU Guocheng. Simulation and test for an aircraft door lifting mechanism with jamming [J]. Aeronautical Computing Technique, 2014, 44(4): 37-41. (in Chinese)
- [12] 渠涛, 柳荣, 董弋锋, 等. 飞机舱门橡胶密封件动摩擦性能试验研究[J]. 工程力学, 2020, 37(7): 247-256.
QU Tao, LIU Rong, DONG Gefeng, et al. Experimental study on dynamic friction performances of rubber seals for aircraft doors [J]. Engineering Mechanics, 2020, 37(7): 247-256. (in Chinese)
- [13] 景月娟. 一种飞机密封舱门嵌入式自动测试系统[J]. 航空计算技术, 2020, 25(2): 90-93.
JING Yuejuan. An embedded automatic test system for aircraft airtight cabin door [J]. Aeronautical Computing Technique, 2020, 25(2): 90-93. (in Chinese)
- [14] 王哲, 郭耀东, 刘宗凯, 等. 民用飞机客舱舱门及应急出口设计要求: HB8493—2014[S]. 北京: 中国航空综合技术研究所, 2014.
WANG Zhe, GUO Yaodong, LIU Zongkai, et al. Design requirements for passenger door and emergency exit of civil aircraft: HB8493—2014 [S]. Beijing: China Aero-poly Technology Establishment, 2014. (in Chinese)

(下转第68页)