

民机试验室高寒适航符合性 试验验证方法研究

张亚娟* 吴敬涛

(中国飞机强度研究所,西安 710065)

摘要: 针对国内民机整机试验室高寒试验没有相应参照标准的问题,开展了民机试验室高寒适航符合性试验验证技术研究。首先简要解读与民机整机高寒气候环境相关适航条款 25.1301(a)(4)及 25.1309(a),给出了民机整机高寒试验验证的适航要求;然后通过分析某型民机试验室高寒试验的实施过程,提出了适用于民用飞机整机适航符合性试验室试验验证流程;其次对民机整机试验室高寒试验实施中存在的几个关键性问题进行了研究,主要包括飞机安装系留方式、试验项目、试验顺序及试验条件确定方法、试验测试方案架构、试验程序优化方法等;最后结合试验方法给出了试验结果判定原则,形成了适用于民机整机试验室高寒适航符合性试验验证方法。该方法可为民机整机试验室高寒试验的有效实施提供技术支持。

关键词: 高寒;适航符合性;民机整机;试验室;试验验证方法

中图分类号: V216

文献标识码: A

OSID:



0 引言

我国幅员辽阔,高寒区域占国土面积的比重很大,而高寒环境是影响民用飞机使用性能,危及飞行安全的主要因素^[1]。比如高寒环境可能会导致辅助动力装置(Auxiliary Power Unit,简称APU)、发动机、电子电气设备等无法正常启动、液压油或燃油结冰^[2-3]、起落架等运动机构卡滞等问题^[4-7],因此民机高寒适航符合性验证至关重要。

从国外民机适航取证的实践经验看,在民用飞机研制和适航取证阶段,试验室气候试验逐渐扮演越来越重要的角色,是验证飞机环境适应性设计指标的重要手段^[8]。早期民用飞机极端气候试验都选择在外场进行,例如A380在加拿大北部开展高寒试验,然而近年来新研制的A350、波音787等民机将极端气候试验选择在可模拟极端气候条件的试验室进行,因为试验室试验具有试验条件可控、可重复,组织、维护保障较易等特点。A350和波音787

这两大国际民用飞机制造商的产品首次在麦金利气候试验室开展极端气候试验,而且其试验过程、试验数据也被FAA和EASA所接受^[9-11]。

飞机试验室气候试验是飞机的一项大型复杂试验,实施这项试验的试验室应具备相应的资质和实施试验的能力。目前仅有美国、英国、韩国等少数国家建有飞机气候试验室,具备在试验室内开展飞机气候适应性研究和试验的能力。美国麦金利试验室^[12-14]开展飞机整机级别的高寒试验70余年,形成了成熟的试验方法与标准。国内仅对材料、部件、系统级别进行了大规模的气候试验技术研究,虽也形成了一些试验方法与标准,但是这些试验方法与标准不适用于飞机整机级别高寒试验。我国的气候试验室于2019年在中国飞机强度所建成,具备对飞机整机及大型武器装备进行高温、高寒、湿热、降雨、吹风、降雪、吹雪、降雾、冻雾、太阳辐射等气候试验的能力,但是气候试验技术的研究还处于起步阶段。本文旨在探索我国民机整机高寒适航符合性试验室

* 通信作者. E-mail: zhang_yj623@126.com

引用格式: 张亚娟,吴敬涛. 民机试验室高寒适航符合性试验验证方法研究[J]. 民用飞机设计与研究,2022(3):27-31.
ZHANG Y J, WU J T. High-cold airworthiness test verification method of civil aircraft in laboratory[J]. Civil Aircraft Design and Research,2022(3):27-31(in Chinese).

试验验证的适用方法,以补充和完善采用试验室开展整机级高寒试验的方法与流程,通过采用本文的试验方法可缩短我国民机高寒适航符合性验证的周期,为民机高寒环境中试验提供技术支持。

1 与高寒环境有关的适航要求

民用飞机整机高寒适航符合性试验室试验的目的是验证民机设计温度包线的左边界,即最低服役条件下,飞机各系统、设备的工作情况能够满足适航条款的要求,功能正常。试验验证涉及的适航条款^[15]及相关系统及机构如表 1 所示。

表 1 民机整机高寒适航符合性相关条款^[13]

条款	条款内容	相关系统及设备
25.1301(a)(4)	第 25.1301 条 功能和安装 (a) 所安装的每项设备必须符合下列要求 ^[16] ： (4) 在安装后功能正常	空调系统 航电系统 液压系统
25.1309(a)	第 25.1309 条 设备、系统和安装 (a) 凡航空器适航标准对其功能有要求的设备、系统及安装,其设计必须保证在各种可预期的运行条件下能完成预定功能 ^[18]	飞控系统 舱门 燃油系统 短舱 高升力系统

表 1 中 25.1301(a)(4) 款的“在安装后功能正常”^[19]就要求飞机的各系统及部件,必须在装机后的整机平台进行功能验证; 25.1309(a) 款中的“可预期的运行条件”就包括高寒等极端气候条件。

2 民用飞机整机高寒符合性验证试验室试验流程

本文试验对象是民机整机平台,试验环境是高寒条件,试验类型是试验室试验验证试验,试验验证是民机适航符合性验证的主要方法,是最符合实际情况,最直接的验证手段。在高寒试验实施前,需根据相关适航要求、咨询通告及工业标准确定验证试验方法,并与飞机制造部门及适航当局进行多轮迭代的技术交流,至适航部门批准后才能进行相应的高寒试验,试验结束后编写试验报告和相应的符合性报告,对试验结果进行分析,对试验判据及偏离项进行说明等。试验报告及适航符合性验证评价结论需获得适航部门认可批准,民机整机高寒适航符

合性试验室试验验证流程如图 1 所示。

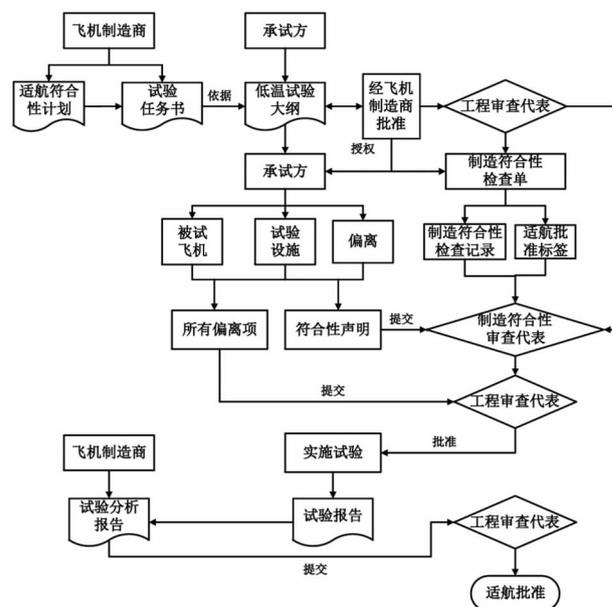


图 1 民机整机高寒适航符合性试验室试验验证流程

图 1 所示的适航符合性验证计划 (Certification Plan, 简称 CP) 和试验任务书由飞机制造商编制,试验大纲由试验承担单位完成^[21],是整个验证试验的指导性文件。试验大纲主要依据试验任务书,以及民机结构与机构适航符合性要求(主要包括试验构型、制造符合性检查项、试验环境符合性检查项、试验操作程序、试验输入条件及试验流程编制等内容),结合我国适航管理程序《型号合格审定程序 AP-21-AA-2011-03-R4》^[22]附录 I 给定的符合性验证参考方法 MC4,形成民用飞机整机高寒适航符合性试验室试验验证方法。

3 民用飞机整机试验室高寒符合性验证试验

3.1 安装及系留

在试验安装的过程中,为了保证试验机的安全,应遵守以下规则:

- 1) 在试验机上方安装试验装置,尽可能在飞机外侧安装最大单位模块后起吊,减少飞机上方安装工作量;
- 2) 若要起吊试验机,吊装过程中确保飞机安全;
- 3) 试验机在试验室内定位后需在试验机上空进行安装或拆卸某些试验装置的作业,应在试验机上方安装防护装置,确保安装过程中飞机的安全;
- 4) 试验机安装及系留方案:试验机在气候环境

试验室中南北放置,机头向南,飞机原点距试验室纵向中心线 0 mm,距试验室横向中心线的距离需根据飞机机身尺寸及试验项目进行设计,建议飞机原点确定在试验室中心点附近。

试验前将飞机停放在试验室指定位置,然后采用试验室地坪系留装置将飞机前起、主起、系留装置系留固定,并通过轮挡固定飞机前起和主起。

3.2 试验科目、顺序及条件确定

根据适航相关条款、飞机气候环境适应性验证要求以及飞机运营中可能遭受的低温气候环境条件,对飞机试验室试验项目、试验顺序及试验条件进行剪裁。试验方案:3 种试验条件,8 个试验项目,试验内容及顺序允许根据实际情况做相应调整。试验项目、试验顺序及试验条件见表 2。

表 2 试验项目、试验顺序及试验条件

试验类型	试验科目	试验条件
整机高寒适航符合性验证试验	空调系统地面加温试验	-30 ℃ / -40 ℃
	液压系统高寒研发试验	-40 ℃
	电源系统 RAT 高寒试验	-40 ℃
	高寒环境机身蒙皮区域温度测试	-40 ℃
	高寒环境舱门测试试验	-40 ℃
	燃油系统低油温警告试验	燃油温度低于 -37 ℃
	短舱极端高寒环境测试	-50 ℃
	高升力系统研发试验	-50 ℃ 浸泡, -40 ℃ 检查

3.3 飞机构型要求

飞机需具备高寒试验的要求,具备外机体结构、飞控系统、航电系统等飞机运行所必需的主系统和结构,同时具备动力装置、APU、环控、液压、起落架等试验相关的子系统。飞机进行试验前需保证各系统可以正常工作。

3.4 试验测试方案构架

高寒试验测试方案构架如图 2 所示,主要包括数据采集、机载测试以及数据库中心系统等设备。

图 2 中数据采集设备用于试验室环境参数的测量,高寒试验环境测试参数主要包括试验温度、湿度、持续时间和温度变化速率等,选择对应的测量仪器进行测量,测量仪器的选择需要考虑其线性度、灵敏度、分辨力、灵敏阈、迟滞、稳定性、影响特性和测量特性(量程、最大允许误差)等要求。

机载测试地面设备用于接收机体/系统参数测

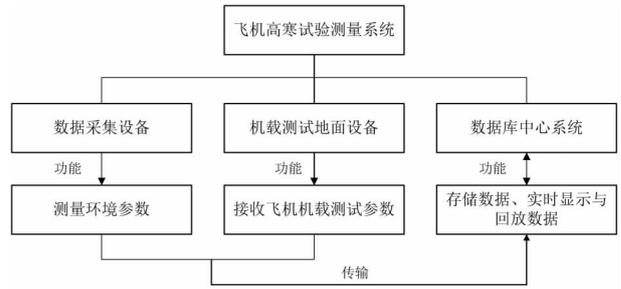


图 2 高寒试验测试方案框架图

试数据,高寒试验飞机机载参数测试通用方案主要包括机体、系统的相关测试内容及要求。根据高寒试验项目规划,系统相关测试包含空调、高升力、液压、燃油和电源等系统,其中空调系统高寒试验需要测量驾驶舱及客舱温度。机体相关测试有低温环境蒙皮区域温度测试、舱门功能测试和短舱锁功能测试:蒙皮温度测量应包含客舱的上、中、下不同的位置,在测量区域布置温度传感器,每个区域内 3 个温度传感器,分别在机身蒙皮外表面、蒙皮内表面和隔热隔声层外,如图 3 所示。舱门功能测试采用秒表记录开门装置启动到出口完全打开的时间。短舱锁功能测试采用秒表和推拉式测力计测量反推罩从开启到完全打开的时间和短舱锁的关闭力。

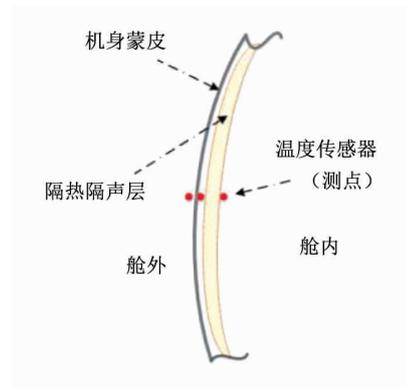


图 3 蒙皮温度测试点示意图

3.5 试验程序优化

对飞机高寒试验,一般不严格区分高寒存储、高寒工作或高寒拆装等程序,而是将这些程序分解并组合成试验项目。根据飞机运行的主要场景及工作模式,优化形成试验室试验项目,具体试验项目确定如图 4 所示。试验项目应包括飞机实际服役中遇到的所有状态,充分反映飞机的功能和性能,全面验证飞机维修的有效性,如地面保障设备和地面维修程序等。

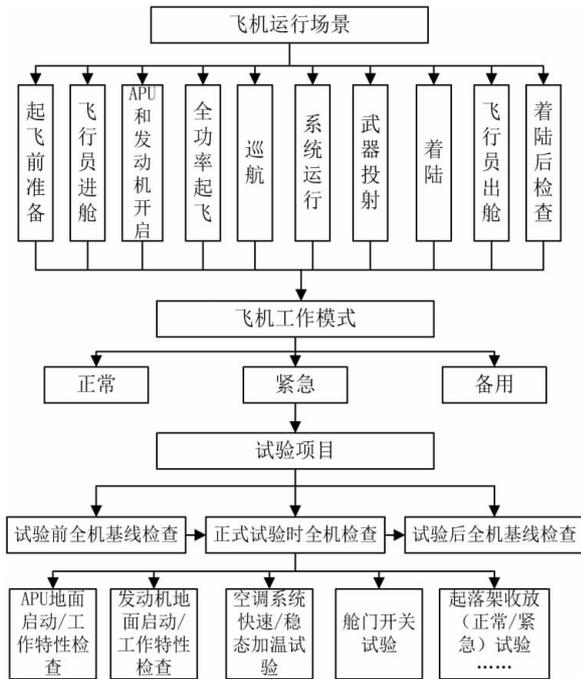


图4 试验项目确定

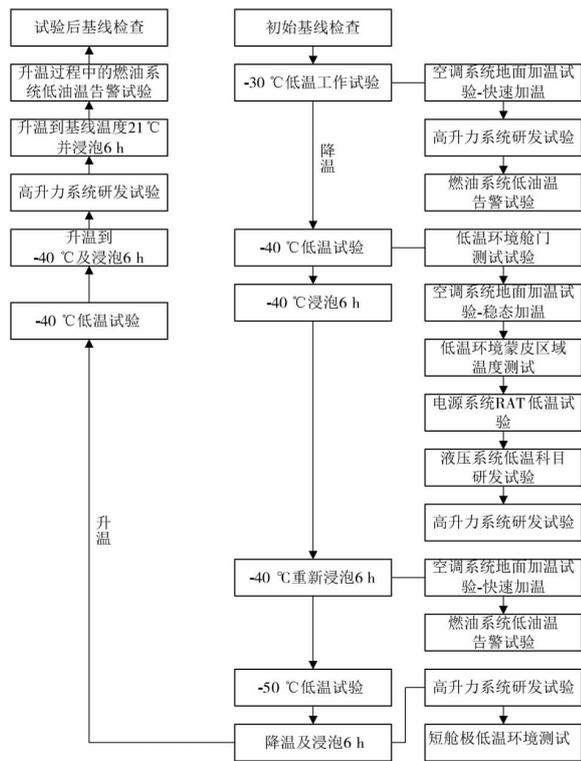


图5 民用飞机整机高寒符合性验证试验室试验程序

确定试验项目后,需要选择试验项目的实施顺序。选择原则主要是:对飞机机体温度稳定影响不大的试验项目排在第一位;当试验项目有交联关系时,按实际操作顺序确定,比如空调系统测试只能在

APU/发动机启动后进行,APU/发动机启动试验应优先进行。同时试验时做好统筹规划,在保证试验有效性的前提下,尽量缩短试验周期。列举某型飞机试验室高寒试验程序如图5所示。试验程序主要包括试验前基线检查、正式试验全机检查、试验后基线检查。

3.6 试验结果判定

试验完成后,需根据试验结果逐项表明对适航条款的符合性。如果符合性达到技术文件要求,且试验报告通过相关部门评审通过,则可以说明飞机整机高寒适航符合性达到考核项适航要求,被考核系统通过适航符合性验证。试验结果判定原则如下:

- 1) 飞机系统和设备可实现预定的所有功能;
- 2) 试验机体数据测量方法具备可行性和有效性;
- 3) 试验室被控环境参数满足试验要求;
- 4) 试验室试验质量体系能够确保试验安全、规范、有序进行,试验过程处于受控状态,试验过程可追溯;
- 5) 所有在试验过程中出现的特殊情况及操作可纳入 AFM 或者维修手册。

4 结论

通过某型民用飞机试验室高寒适航符合性试验,形成了一套民用飞机高寒适航符合性验证试验室试验流程与试验方法,该试验方法以民用飞机适航条款为基础,通过复现民用飞机在高寒气候中的环境,验证了民用飞机对高寒气候的适应性。

基于本文的试验流程与试验方法形成的试验大纲、试验设备、试验设计图样和相关技术文件、试验报告等,均已得到了适航审查代表的认可,表明我国已具备飞机气候试验室试验的能力。

参考文献:

- [1] 杨森,张凯,乔英峰,等. 严寒环境对军用飞机的影响与预防措施[J]. 装备制造技术,2012,10:267-268.
- [2] 王京娅,孙有朝,王丰产. 大型民用飞机燃油系统结冰适航符合性验证方法研究[C]//2010年航空器适航与空中交通管理学术年会. 北京:北京航空航天大学,2010.
- [3] 张宇. 关于飞机燃油系统中结冰问题的研究及试验[C]//大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会2007年年会. 深圳:中国航空学会2007年学术年会,2007.
- [4] 穆媛,陈华达,顾文华. 飞机起落架常见故障及原因分析[J]. 装备环境工程,2013,10(4):98-100.
- [5] 王翠兰. 飞机起落架收放常见故障及解决对策研究[J]. 现代制造技术与装备,2015,5:65-66.

- [6] NIE H, QIAO X, GAO Z J, et al. Dynamic behavior analysis for landing gear with different types of dual-chamber shock struts [J]. Chinese Journal of Aeronautics (English Edition), 1991, 2: 235-244.
- [7] 龙江, 张铎. 飞机应急放起落架的机构运动可靠性研究[J]. 机械强度, 2005, 27(5): 624-627.
- [8] 马建军. 飞机试验室低温试验方法研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(4): 51-57.
- [9] Certification specifications including airworthiness codes and acceptable means of compliance for engines; EASA-CS-E[S]. [S. l.]: European Aviation Safety Agency. 2003.
- [10] 张建瑁. 适航管理[M]. 北京: 中国民航出版社, 2011.
- [11] 张隄东. 国内外民机适航管理体系浅析[J]. 民用飞机设计与研究, 2013(4): 6-9.
- [12] 郗伯雅. 埃格林空军基地的麦金利气候试验室简介[J]. 导弹与航天运载技术, 1983(2): 76-80.
- [13] DRAKE C W, 朱仲方. 空军麦金莱气候试验室的环境试验能力[J]. 国外导弹与航天运载器, 1988(1): 59-66.
- [14] 王涛, 米毅. 大型客机气候试验室试验研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2017(4): 117-120.
- [15] 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.
- [16] 廖湘华. 民用飞机刹车系统机上地面试验研究[J]. 科技视界, 2017(6): 305-306.
- [17] 费思聪. 民用飞机自动刹车系统设计研究[J]. 科技资讯, 2015, 10: 120-122.
- [18] 王建新. 组合式安全性分析技术在现代机载系统设计中的应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- [19] 王俊伟. 扰流片对三角翼脱体涡影响的试验研究[J]. 航空科学技术, 2012(1): 57-62.
- [20] 费思聪. 民用飞机防滑刹车系统性能影响因素研究[J]. 中国科技信息, 2019, 19: 30-31.
- [21] 陆中, 孙有朝, 周伽. 民用飞机适航符合性验证方法与程序研究[J]. 航空标准化与质量, 2007(4): 6-9.
- [22] 中国民用航空局航空器适航审定司. 航空器型号合格审定程序: AP-21-AA-2011-03-R4[S]. 北京: 中国民用航空局航空器适航审定司, 2002.

作者简介

张亚娟 女, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 气候环境适应性分析与试验、飞机试验室气候环境试验等。E-mail: zhang_yj623@126.com

吴敬涛 男, 硕士, 副总工程师。主要研究方向: 气候环境适应性分析与试验、飞机试验室气候环境试验等。

High-cold airworthiness test verification method of civil aircraft in laboratory

ZHANG Yajuan* WU Jingtao

(China Airplane Strength Research Institute, Xi'an 710065, Shaanxi)

Abstract: Aiming at the problem that there is no corresponding reference standard for the alpine airworthiness test in the domestic civil aircraft laboratory, it was studied that verification technology of the alpine airworthiness test in the civil aircraft laboratory in this paper. Firstly, the airworthiness clauses 25.1301(a)(4), 25.1309(a) and M-6(a) related to the cold climate environment of civil aircraft were briefly interpreted, and the airworthiness requirements for the cold test verification of civil aircraft were given. By analyzing the implementation process of a civil aircraft laboratory cold test, the laboratory test verification process suitable for the airworthiness compliance of civil aircraft was put forward. Secondly, several key problems existing in the implementation of civil aircraft complete machine laboratory Alpine test were studied, mainly including aircraft installation and mooring mode, test items, test sequence and test condition determination method, test scheme framework, test procedure optimization method, etc. Finally, combined with the test method, the judgment principle of the test results was given, and a verification method suitable for the cold airworthiness test of civil aircraft in the laboratory was formed. This method could provide technical support for the effective implementation of laboratory Alpine test of civil aircraft.

Keywords: high-cold; airworthiness; civil aircraft; laboratory; test verification method

* Corresponding author. E-mail: zhang_yj623@126.com