

现行标准对飞机实验室气候试验的作用

雷凯, 吴敬涛

(中国飞机强度研究所, 西安 710065)

摘要: 文中从现行标准分析角度, 研究其对我国飞机实验室气候试验的作用。对现行的装备环境相关标准进行分析, 讨论其与飞机实验室气候试验的关系, 探索现行标准对开展试验工作的作用和局限性。分析了顶层标准 GJB 4239 在试验中的指导作用, 并对 GJB 150 和 GJB 1172 等在试验项目中的适用情况进行分析。现行标准不能直接用于飞机实验室气候试验, 然而其体现的环境工程的大概念、试验剪裁等内容对试验有很好的指导价值。

关键词: 气候试验; 标准; 环境工程; 试验剪裁

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.12.004

中图分类号: TJ85; V216

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2020)12-0020-06

Functions of Current Standards to Aircraft Climate Test in Lab

LEI Kai, WU Jing-tao

(Aircraft Strength Research Institute of China, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: The work studied the effect of current standards on aircraft climate test in the lab. Current standards related to environment of equipment were analyzed to explore its relationship with the aircraft climate test in the lab. The functions and limitations were also analyzed. The guiding role of top-level standard GJB 4239 in the test was analyzed, and the applicability of GJB 150 and GJB 1172 was also illustrated. The current standards cannot be directly used in aircraft climate test in the lab. However, the concepts of environmental engineering and test tailoring embodied in those standards are of great guiding value.

KEY WORDS: climate test; standard; environmental engineering; test tailoring

中国人民解放军空军提出的新版 GJB 775A—2012《军用飞机结构完整性大纲》^[1]与 1989 年的版本相比, 在任务 III (全尺寸试验) 中增加了气候试验的要求。在实施文件 GJB 67.9A—2008《军用飞机结构强度规范 第 9 部分: 地面试验》^[2]中明确了气候试验目的: 验证飞机在规定的气候环境下不会导致可动结构和操作机构的系统故障和功能丧失, 通过试验还应识别出导致区域腐蚀问题的潜在根源, 试验结果为制定结构维修计划和防腐蚀设计提供依据。

GJB 4239《装备环境工程通用要求》^[3]中规定, 环境试验可以分为 3 类, 即自然环境试验、实验室环境试验和使用环境试验。该标准用 5 个工作项目说明实验室环境试验, 另两种环境试验各用 1 个工作项目来说明, 这凸显了实验室环境试验的重要性。由于我国在飞机环境适应性方面起步较晚, 目前还没有军机在实验室进行气候试验的先例。随着中国飞机强度所位于西安阎良的气候实验室投入使用, 飞机环境适应性这一领域将开启新的章程。

收稿日期: 2020-07-12; 修订日期: 2020-08-22

Received: 2020-07-12; Revised: 2020-08-22

作者简介: 雷凯 (1993—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为飞机气候环境适应性分析。

Biography: LEI Kai (1993—), Male, Master's degree, Assistant engineer, Research focus: aircraft climate environment adaptability analysis.

1 飞机气候试验及其重要性

飞机气候试验是在室内模拟或外场自然气候环境下,按照相关试验程序,让飞机经受各种气候环境作用,根据研制要求和试验数据对飞机气候环境适应性进行综合评价,确定其能力满足要求的程度。环境适应性在 GJB 4239 中定义为:装备在其寿命期预计可能遇到的各种环境作用下能实现其所有预定功能、性能和(或)不被破坏的能力,是装备的重要通用质量特性之一。为了保证受试飞机及地面保障设备在气候试验中得到全面的考核,要求试验对象是一架系统和设备完整、地面保障设备齐全的飞机。

作为验证飞机全天候性能的重要手段,飞机气候试验用来评估飞行器在各种极端气候条件下的有效性以及预估可承受的风险水平,并通过提前发现飞机存在的缺陷,从而减少研制周期与经费。美国极端气候条件下试飞前的地面全机气候试验手册 AFFTC-TIH-88-004 中规定:新研制的飞机在极端气候条件下飞行试验之前,必须要在实验室或有极端气候条件的试验场中进行飞机气候试验^[4]。

飞机气候试验和设备、系统级气候试验以及材料、元器件气候试验定位不同。材料、元器件的环境试验用途之一为充当工程师在环境适应性设计时选用货架产品的依据^[5]。单系统、设备级部件进行气候鉴定试验是设备商对管理程序、规范与标准的响应,往往是理想的边界条件,各个系统之间的交界面和相互作用未能考虑^[4]。在集成大系统之后,将可能表现出相互影响的现象。尽管飞机设计过程中考虑了高温、高寒等极端气候因素,由于分析模型边界条件的模糊性和准确性的限制,导致分析结果只能给出定性的结论。飞机的系统极为复杂,并且对系统的运行安全要求极高,决定了飞机气候试验这一验证手段不可或缺。在欧美航空发达国家,一般首先开展气候实验室地面试验,再进行外场地面以及飞行试验。

2 飞机实验室气候试验

2.1 试验概述

通过模拟外场环境手段,在室内条件进行的整机试验就是飞机实验室气候试验。这要求实验室规模大,可容纳整架飞机;实验室集成度高,可模拟绝大多数气候环境因素。实验室气候试验是验证装备环境适应性是否满足规定要求,并提高装备该性能的重要手段^[5]。目前,航空工业部门在气候试验方面主要以采用气候试验箱进行元件和组件的试验为主。在大型的整机试验方面,还处于起步阶段,而美国、英国等对整机气候实验已开展了多年的研究。飞机气候实验室可以模拟低温、高温、湿热、降雨、降雪、结冰、吹风等绝大多数自然环境,开展的气候试验可以验证

飞机动力装置、燃油系统、液压起落架系统、舱门系统、环控系统等大多数飞机系统,其中起落架通过安装在千斤顶上进行相关科目试验。其主要限制为发动机不能长时间运转,此外飞机必须保持固定状态。

目前,从国外民机的实验室气候试验情况来看,国际大型民机主制造商通常在试飞前期,使用一架试验机进行实验室气候试验,大部分为研发性试验,实验室设置的环境参数可以对其寿命期遇到的真实环境极值进行加剧,用来拓展飞机环境包线。在此基础上,开展后续试验机的外场气候试验,用来适航审定。然而,近年来波音 787、A350 等新研制的民机在实验室开展的气候试验也转向适航验证性质,并被 FAA 和 EASA 接受。国外军机的实验室气候试验公开的资料较少,往往只有试验项目的介绍。我国在民机方面开展过型号的适航取证工作,在飞机外场气候试验方面具备一套完整的试验程序和试验内容,并即将开展飞机实验室气候试验。在军机方面,还未开展过型号的实验室气候试验,该领域还需多方人员不断的探索。

2.2 试验用途

飞机实验室气候试验的作用包括以下几个方面。

- 1) 检验飞机及其各系统、部件和地面保障设备在极端环境条件下的工作性能。GJB 67.9A 中规定了四条^[2]:验证操作机构系统和可动翼面、起落架等可动结构功能是否正常;验证油箱、驾驶舱、设备舱密封是否失效;验证除冰、吹雪、环控、液压等系统能否满足结构和机构的工作环境要求;淋雨、降雪、冻雨、结冰和湿度试验来检查有关结构排水是否通畅。
- 2) 检验为补救已知缺陷所采取改进措施的效果。
- 3) 检验飞机使用指南中规定的在恶劣气候环境下保养、维护和操作等技术要求的可实现性。
- 4) 为改型或下一代飞机设计提供气候环境适应性设计经验。

2.3 试验特点

飞机实验室气候试验有如下特点:实验室环境可控,试验周期短,且结果具有重现性;可以施加单一环境因素,便于寻找故障原因和改进设计;看重飞机的短时效应,试验条件是极端的气候环境,具有一定的加速性,能很快发现问题^[5]。对于盐雾、腐蚀等环境往往不进行整机气候试验。因此,飞机气候试验中凡是能在实验室中进行的试验项目都应先在实验室中开展试验。

2.4 国外飞机实验室气候试验实例

世界上在实验室中进行飞机气候试验迄今已有 70 年历史,最具代表性的当属位于美国佛罗里达州格林空军基地的麦金利气候实验室(McKinley Cli-

matic Laboratory)。其主环境室大小为 76.8 m×80 m×21.3 m, 用于对全机进行气候试验, 验证飞机的气候环境适应性设计。具备的试验能力包括: 高温、低温、湿度、降雪、降雨、降雾、各种类型的结冰(冻云, 冻雨等)、吹风、太阳辐照等^[6], 其空气补偿能力可以实现发动机实验室开车。实验室气候试验中进行的

是 21℃ 基准试验, 该试验的主要作用是测试飞机的基准数据, 以便和极端气候状况下的测试数据以及下个基准数据进行对比, 用来确认系统的退化程度等。从现有的报道中, 笔者统计了部分型号在该实验室已开展的气候试验, 见表 1。F35 结冰试验照片如图 1 所示。

表 1 部分型号飞机在麦金利气候实验室开展的气候试验统计
Tab.1 Climate test statistics of some types of aircraft in McKinley climate laboratory

飞机型号	实验室气候试验类型							
	低温	高温	湿热	淋雨	结冰	降雪	降雾	太阳辐照
F-15	√	外场做	√	√	√	—	—	外场做
F-22	√	√	√	√	√	√	√	√
F-35	√	√	√	√	√	—	—	√
C-5	√	√	√	√	—	—	—	√
庞巴迪	√	√	—	—	—	—	—	√
A350	√	√	√	—	—	—	—	—
V-22B	√	√	—	√	—	—	—	√



图 1 F35 结冰试验
Fig.1 F35 icing test

3 现行标准对飞机实验室气候试验的作用

在制定飞机气候试验计划前, 首先会开展各种设计规范、军用标准的分析讨论工作^[4]。MIL-STD-810^[7]是国际最有影响的环境标准, 在 2014 年发布了最新的版本 MIL-STD-810G CHG-1。此外, DEF STAN 00-35^[8]、NATO STANAG 4370^[9]都是较为通用的标准。该类标准都体现了环境工程和试验剪裁的概念, 这对 GJB 4239、GJB 150A^[10]的制定提供了参考。然而, 以上标准并不是专门用于整机实验室气候试验的标准。在整机气候环境试验方面, 并没有类似 RTCA/DO-160^[11]以及我国相应的 HB 6167^[12]这类具备针对性的标准。

3.1 GJB 4239 对飞机实验室气候试验的指导

3.1.1 概述

GJB 4239 是我国第一个运用系统工程思想指导

装备全寿命周期开展环境工程工作的顶层标准^[13], 其编写参考了国外标准有关内容, 并结合我国的型号实践需求。该标准适用于装备立项论证、研制、生产和使用等全寿命各阶段, 摆脱了我国型号研制中仅仅把环境试验作为把关手段的局面, 也充分说明了向环境工程大概念转变的必要性。

GJB 4239 规定了环境工程管理、环境分析、环境适应性设计和环境试验与评价等四方面 20 个工作项目和通用要求。该标准应用指南中说明: 标准的工作项目及要点可根据装备的类型、所处阶段和可获得的资源进行适当剪裁。这就对从事环境工作的人员提出更高的要求, 因此标准中规定: 根据需要, 可成立由订购方和承制方专家组成的型号环境工程专家组, 协助开展环境工程工作。

GJB 4239 的详细要求中对 20 个工作项目进行了说明, 每个工作项目均包括两点: 工作项目要点和应当确定的事项, 该两点对承制方和订购方提出了相应的要求。标准的附录 A 提供了装备环境工程工作项目实施表, 简要说明了工作项目的实施阶段、主要输入信息和主要输出结果等。文中主要讨论该标准在飞机型号中的应用。

3.1.2 在飞机实验室气候试验中的应用

GJB 4239 定义的环境工程管理、环境分析、环境适应性设计和环境试验与评价四方面的内容系统构成了装备环境工程, 并明确了环境试验分为自然环境试验、实验室环境试验和使用环境试验三大种类。其中, 实验室环境试验定义了 5 项工作, 表 2 介绍了每种试验的目的和适用阶段。

表 2 实验室环境试验项目
Tab.2 Laboratory environmental test items

试验名称（代号）	试验目的	适用阶段
环境适应性研制试验（402）	寻找设计缺陷和工艺缺陷，采取纠正措施，增强装备的环境适应性	工程研制阶段早期
环境响应特性调查试验（403）	确定装备对某些主要环境的物理响应特性和影响装备关键性能的环境应力临界值	工程研制阶段后期
飞行器安全性环境试验（404）	确保飞行器首飞的安全	首飞前
环境鉴定试验（405）	验证装备环境适应性设计是否达到规定	定型阶段
批生产装备环境试验（406）	检查批生产过程工艺操作等的稳定性	批生产阶段

由于 GJB 4239 不是专门针对军机的标准，部分试验项目的要求并不一定合理。比如在飞行器安全性环境试验中，试验应在飞行器首飞前进行。根据国外的情况来看，F15 和 F22 等军机实验室气候试验均在首飞后。然而，GJB 4239 将以往基于环境试验的单一的环境控制转化为环境工程这一系统的环境控制^[14]，这将规范飞机环境工程工作，推进该领域的发展。笔者认为，飞机实验室气候试验和飞机环境工程四方面的关系可用图 2 表示。

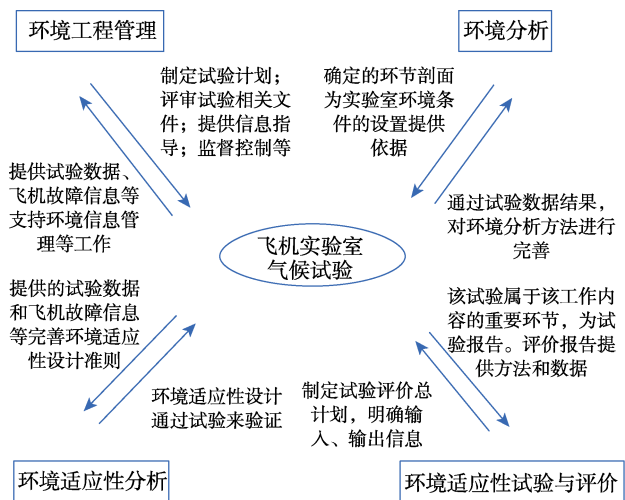


图 2 飞机实验室气候试验和装备环境工程四方面的关系
Fig.2 Relationship between climate test of aircraft laboratory and four aspects of equipment environmental engineering

3.1.3 作用和局限性

GJB 4239 把环境工程作为一个系统工程纳入产品全寿命，不再局限于试验，从立项论证环境适应性指标开始抓设计、抓全寿命管理。标准用一些术语明确了产品环境工程中的重要概念，起到统一认识的作用。飞机实验室气候试验作为填补我国空白的项目，有 GJB 4239 作为试验规划的顶层依据，必然有助于试验工作的开展。然而，由于缺少如环境适应性要求、裁剪指南等方面的支撑标准，以及型号系统上层管理人员还未实现观念转变等多方面的原因，GJB 4239 自身也存在有关方责任不清、说法过于笼统等问题^[13]。目前，修订版 GJB 4239A 已经送审进入报批阶段，新版标准将更好地促进其在型号上的应用。

3.2 GJB 150 与 GJB 1172 在飞机实验室气候试验的应用

3.2.1 GJB 150 与 GJB 1172 概述

GJB 4239 中规定，GJB 150《军用装备实验室环境试验方法》为实验室环境试验中规定的主要输入信息。GJB 150 有 2009 年版和 1986 年版，其中新版等效于 MIL-STD-810F 第二部分。和旧版相比，新版删除了“试验条件”，增加了确定试验方法、试验顺序、试验程序和试验条件的剪裁指南，剪裁的依据一般是产品研制协议或合同中的环境适应性要求^[15]。以低温试验为例，表 3 对比了新旧两个版本在试验条件方面的差异。

表 3 GJB 150 新旧版本在低温试验中试验条件的对比
Tab.3 Comparison of test conditions of new and old GJB 150 in low temperature test

试验条件内容	GJB 150 低温试验部分	
	GJB 150.4A—2009	GJB 150.4—1986
气候条件	最好根据有关文件，若没有应根据使用区域和其它因素。提供了特定地区使用、世界范围贮存和使用、世界范围长期贮存和使用三种装备的试验温度选择指南	贮存试验温度为-55℃或有关标准文件；工作试验温度为试样最低工作温度
暴露持续时间	根据装备自身材料。结构特性和使用情况进行选择。给出非危险性、含爆炸物、含限位玻璃等三类装备的持续时间建议	贮存试验中温度稳定后保持 24 h；工作试验中试样需达到温度稳定或技术文件规定
试件的技术状态	给出了 4 种应当考虑的技术状态	无

从表3可以看出, GJB 150A更合理, 避免了过试验与欠试验, 但对设计人员提出了更高的要求, 也造成现阶段贯彻力度不够的问题^[16]。GJB 150A定义了27个环境试验类型, 可以归纳为4类, 包括气候环境试验、机械环境试验、生物环境试验、化学环境试验。在部分气候环境试验中, 依据 GJB 1172《军用设备气候极值》^[17]给出了气候条件数据。GJB 1172系列标准规定了军用设备的自然环境, 为确定平台环境提供了基础, 在我国武器装备的设计要求和气候环境验证条件的确定中提供了数据支持。

3.2.2 GJB 150的作用和局限性

GJB 67.9A中定义飞机气候试验类型包括高温、低温、太阳辐射、湿度/温度、淋雨、降雪、冻雨、结冰和低速吹风等, 以上类型均可在实验室开展相应试验。对于整机试验, 一般是总师单位编制任务书, 试验方编制相应的试验大纲, 文件制定的依据一般为设计规范、军用标准等。虽然 GJB 150A主要针对军用装备的组部件、设备、系统^[5], 但可以为飞机实验室气候环境试验相关文件的编制提供指导。如对于温度与湿度、淋雨、结冰/冻雨、太阳辐照等试验, 可根据受试飞机预期寿命期的环境剖面, 参照 GJB 150A有关试验方法形成相应方法或程序。对于降雾、降雪和吹风等, GJB 150A未说明的试验项目, 可参照 DEF-STAN-00-35 和 NATO STAN 4370 中的有关试验方法。

3.3 现行标准与飞机实验室气候试验的关系

文中通过对 GJB 4239、GJB 150、GJB 1172 在飞机实验室气候试验中的应用情况进行分析, 认为现行标准与飞机实验室气候试验的关系可用图3来说明。

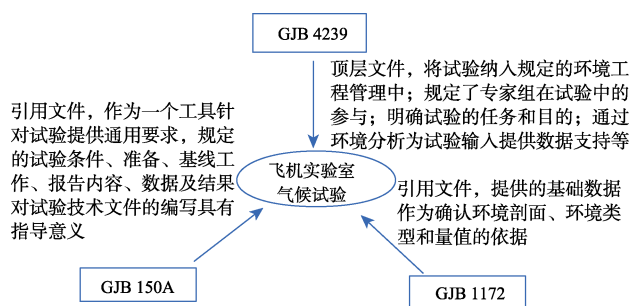


图3 现行标准与飞机实验室气候试验项目关系

Fig.3 Relationship between current standards and climate test items of aircraft laboratory

4 结语

新版《军用飞机结构完整性大纲》将气候试验纳入飞机全尺寸地面试验, 实验室气候试验条件可控、周期短、费用低, 应在外场试验前开展。过去我国不具备飞机实验室气候试验的能力, 而现在中国飞机强

度研究所建立的气候实验室将其变为可能。从 GJB 4239 的实施和 GJB 150 的改版可以看出, 目前科研人员对环境工作, 特别是实验室环境试验的重视。然而, 目前还没有针对飞机实验室气候试验的标准。文中通过分析现行标准对飞机实验室气候试验的作用, 提出试验规划的顶层依据 GJB 4239 对试验的意义和存在的局限性。同时, 给出了相关标准与飞机气候试验的关系, 认为 GJB 150A 等可以作为试验文件编制的参考。

参考文献:

- [1] GJB 775A—2012, 军用飞机结构完整性大纲[S].
GJB 775A—2012, Military Aircraft Structural Integrity Program[S].
- [2] GJB 67.9A—2008, 军用飞机结构强度规范 第9部分: 地面试验[S].
GJB 67.9A—2008, Military Airplane Structural Strength Specification. Part 9: Ground Tests[S].
- [3] GJB 4239, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239, General Requirements for Equipment Environmental Engineering[S].
- [4] HENDRICKSON C L. Flight Testing under Extreme Environmental Conditions[R]. NASA Sti/recon Technical Report N, 1988.
- [5] 祝耀昌, 王建刚. 各种环境试验的特点及其应用分析[J]. 航空标准化与质量, 2005(1): 38-42.
ZHU Yao-chang, WANG Jian-gang. Characteristics of Different Types of Environmental Tests and an Analysis of their Application[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2005(1): 38-42.
- [6] DRAKE, C. Environmental Test Capabilities of the Air Force McKinley Climatic Laboratory[C]// American Institute of Aeronautics and Astronautics 23rd Aerospace Sciences Meeting. Reno, NV, USA, 1985.
- [7] MIL-STD-810, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [8] DEF STAN 00-35, Environmental Handbook for Defense Materiel[S].
- [9] NATO STAN 4370, Environmental Testing[S].
- [10] GJB 150, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150, Environmental Test Methods of Military Equipment Laboratory[S].
- [11] RTCA/DO 160, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S].
- [12] HB 6167, 民用飞机机载设备环境条件和试验方法[S].
HB 6167, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment of Civil Airplane[S].
- [13] 张建军, 傅耘, 徐俊, 等. GJB 4239 问题分析及修订建议[J]. 装备环境工程, 2017, 14(11): 15-23.
ZHANG Jian-jun, FU Yun, XU Jun, et al. Analysis of Shortages and Revised Suggestions for GJB 4239[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(11):

- 7-15.
- [14] 丁杰, 陈圣斌, 郝宗敏. GJB 4239《装备环境工程通用要求》在直升机研制中的应用研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(11): 28-34.
- DING Jie, CHEN Sheng-bin, HAO Zong-min. Application of GJB 4239 "General Requirements for Equipment Environmental Engineering" in Helicopter Development[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(11): 28-34.
- [15] 祝耀昌, 张建军. GJB 150A 的应用和剪裁[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(6): 608-615.
- ZHU Yao-chang, ZHANG Jian-jun. Application and Tailoring of GJB 150A[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2012, 29(6): 608-615.
- [16] 陆海桃, 孙晔, 张智森. GJB 150A 的特点及实施难点分析[J]. 科技展望, 2016, 26(22): 254-256.
- LU Hai-tao, SUN Ye, ZHANG Zhi-lin. Characteristics and Difficulties of GJB 150A[J]. Technology Outlook, 2016, 26(22): 254-256.
- [17] GJB1172, 军用设备气候极值[S].
- GJB 1172, Extreme Climate of Military Equipment General[S].