

军用飞机实验室气候试验管理

张昭, 吴敬涛, 唐虎

(中航工业飞机强度研究所, 西安 710065)

摘要: **目的** 更好地对即将到来的军用飞机气候试验进行管理, 为试验管理提供思路和依据, **方法** 分析美国军用飞机试验与评估体系, 以及美军飞机实验室气候试验的计划过程, 并与国内现状进行对比。 **结果** 得到美军飞机实验室气候试验在装备试验与评估体系中的定位及试验时机, 总结出美国装备环境试验管理过程的特点以及国内装备环境试验管理的特点。 **结论** 得到国内气候试验管理的不足以及需要研究的方向, 为国内气候试验管理研究提供参考。

关键词: 军用飞机; 气候实验室; 气候试验; 试验时机; 试验管理

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.04.013

中图分类号: TJ85; V216

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)04-0065-05

Military Aircraft Laboratory Climatic Test Management

ZHANG Zhao, WU Jing-tao, TANG Hu

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

ABSTRACT: **Objective** To manage upcoming climatic test of military aircraft and provide methods and criteria for the management. **Methods** The American military aircraft Test and Evaluation (T&E) process and the American military aircraft climatic test plan process were analyzed, and then compared with current situations in China. **Results** The position and test time of climatic test of American military aircraft laboratory in the equipment test and evaluation system were obtained. The features of American aircraft laboratory climatic test management and ourselves were summarized. **Conclusion** Shortages and research direction in management of domestic climate test are obtained. It provides references for researching management of domestic climate test.

KEY WORDS: military aircraft; climatic laboratory; climatic test; test time; test management

飞机气候环境试验管理包括气候试验在飞机试验体系中的定位、试验时机、试验计划、试验项目制定过程、试验环境应力参数确定过程以及对试验执行的管理等, 还包括试验过程中对设备和人员的管理。全机气候环境试验是一个大的试验工程, 需要进行准确把握和科学的管理, 以充分体现试验的作用, 并缩短试验时间, 提高试验效率。

美国开展实验室飞机气候环境试验的时间较早, 具有成熟的试验技术, 丰富的试验经验, 并逐步搭建起了完善的试验管理体系。比如美国空军制定试验与

评估方法体系, 以及针对环境试验方法的 MIL-STD-810 系列也逐渐加入了环境工程管理的內容^[1], 并形成了飞机气候环境试验手册。国内到目前为止, 没有在实验室内进行全机气候环境的试验, 2001 年颁布的 GJB 4239《装备环境工程通用要求》, 内容对应 MIL-STD-810 中的环境工程部分, 包括环境试验管理, 该标准包括但不针对军用飞机, 国内目前还没有一部专门针对飞机气候环境试验管理的规定。文中以飞机气候试验管理内容中对试验的时机、定位以及管理组织形式为对象, 对美国军用飞机实验室气候试验

在其试验评估体系中的定位与试验时机进行分析,并剖析美军气候环境试验管理技术,结合国内相关规定,得出对国内飞机实验室气候试验有用的结果与结论。

1 实验室气候试验的定位与时机

最新版《军用飞机结构完整性大纲》(GJB 775A—2012)在任务 III——全尺寸试验一项明确规定了气候试验的内容,如图 1 所示。美军版的结构完整性大纲(MIL-STD-1530D)也是如此^[2]。其中国军标在气候试验的部分规定:“应进行全尺寸系统级的气候试验,以识别外场潜在的腐蚀问题。应最大可能地识别出液体源、沉积液区和不合理的排液通道。其试验

结果为制定部队结构维护计划(FSMP)的防腐蚀措施提供依据”^[3]。MIL-STD-1530D的内容与国军标基本相同,不同点在于,没有强调“外场”两个字。两者都没有体现气候试验的类型,即是外场气候试验或者是实验室气候试验。GJB 775A—2102 规定,“结构完整性大纲各项任务应按照 GJB 67A—2008 的要求实施”。查看该国军标,对气候试验的类型规定得非常清楚。首先,该标准将气候试验归在了地面试验部分,这说明结构完整性大纲(ASIP)中要求的气候试验不是外场飞行气候试验;其次,在标准的气候试验部分,规定“试验模拟的气候环境包括高温、低温、太阳辐射、温度/湿度、淋雨、降雪、冻雨、结冰和低速吹风等”^[4]。这一规定说明试验属于地面的实验室气候试验。

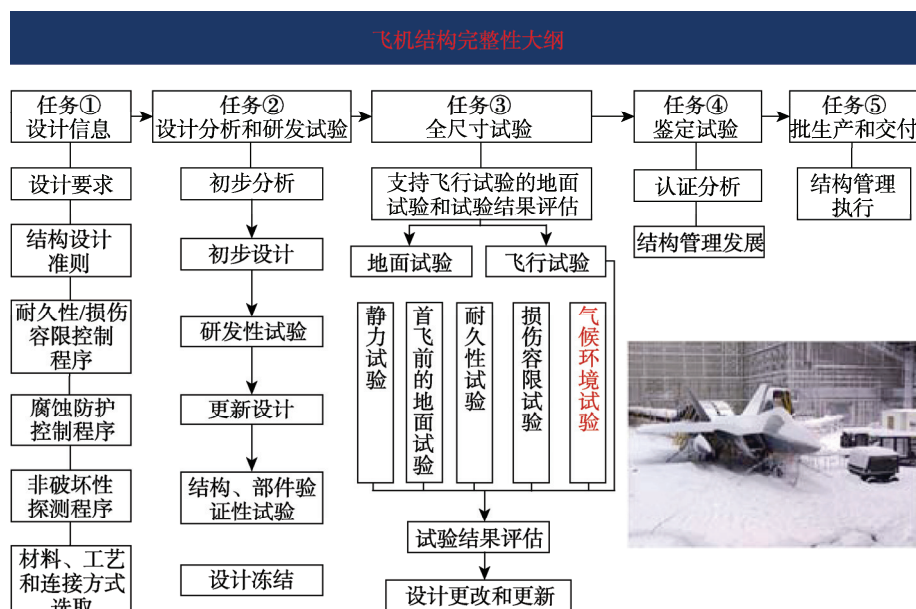


图1 气候试验在军用飞机结构完整性大纲中的定位

除了美军标以外,美国空军发布了一系列针对试验与评估的指令文件,规定了空军整个装备试验评估(T&E)体系,可以从中分析其对实验室气候试验的定位及相关规定。试验与评估过程的首要目的是交付有效及合适的系统,以及尽早识别和解决系统缺陷,T&E过程贯穿装备的设计制造、维修升级和使用过程^[5],其时间分布如图2所示。T&E过程的两大类型为研发性试验与评估(DT&E)和运行性试验与评估(OT&E)。DT&E在零件、系统或全机级别进行,用以证明设计及材料的有效性和可靠性。这里的研发性试验和结构完整性大纲任务 II 的研发性试验是不同的。前者涵盖了装备的整个寿命期旨在改进装备设计的试验,而后者指在飞机设计研发过程中对材料及零部件进行的试验,不包括全机级别的试验。OT&E的首要任务是确定装备的使用效率和适用性,不同于DT&E的是技术人员参与试验,OT&E强调操作人员

在真实使用环境下对装备进行操作、维护和维修^[6-7]。在时间上,DT&E和OT&E并没有明显的界限,在不同的时期,两种试验过程各有侧重,总的来看,DT&E

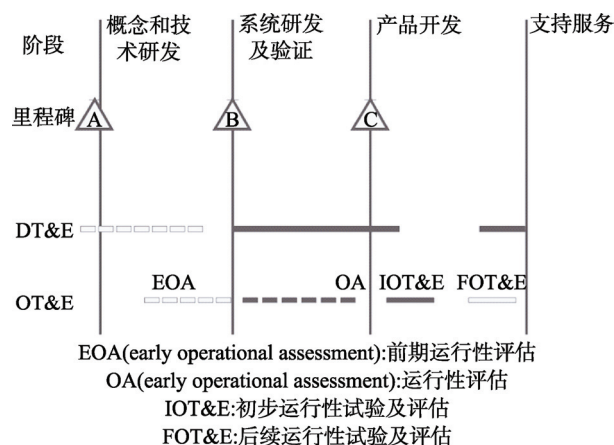


图2 T&E过程的时间分布^[8]

过程在时间分布上偏重于系统从研发到投入使用过程的早期阶段（产品研发前），OT&E 在时间分布上则偏重于后期阶段（产品研发后）。

分析 DT&E 和 OT&E 过程的区别，DT&E 偏重于考核装备的设计参数是否得到满足，包括安全性、可靠性是否达标，OT&E 过程偏重于装备的可操作性，例如飞行员座椅是否舒适，操控台是否便于飞行员操作等。从这个角度来看，实验室气候环境试验无疑属于 DT&E 过程。美军发布的相关文件也印证了

这一判断，将环境试验归到了 DT&E 中^[9-10]，见表 1。从另外一个角度来看，进行全机实验室气候试验的飞机应该具备了大部分的系统，属于具有代表性的产品，而不是研发型的试验件。另外，在进行的实验室气候试验项目往往包含维护、后勤试验，也部分具有 OT&E 的特征。因此对于飞机来说，因为试验件制造过程复杂、成本高以及周期长等特殊原因，气候试验的试验性质并不是特别明显，从美国空军实际的试验管理案例来看，的确如此。

表 1 DT&E 过程和 OT&E 过程的主要特点及项目举例

主要特点		项目举例	
DT&E	OT&E	DT&E	OT&E
项目经理主导	第三方主导	建模与仿真	飞行试验
受控环境下试验	真实使用环境下试验	风洞试验	后勤支持能力测试
承包商参与	承包商部分参与	静力试验	兼容性测试
有经验的专业人员操作	用户使用人员操作	疲劳试验	可维护性试验
研发性的试验件	代表性的产品为试验件	环境试验	
		落震试验	

F15 的 T&E 时间分布如图 3 所示^[11]，第二阶段的 DT&E 过程时间从 1974 年初到 1975 年中期。这一阶段的末期和 IOT&E 时间重合，IOT&E 从 1975 年上半年开始进行，这说明了 DT&E 和 OT&E 在时间上没有明确界限。F15 的气候试验从 1974 年 10 月 8 日开始，到 11 月 30 日结束，共完成 30 个试验项目。从时间上看，在 F15 的试验管理上，气候试验被明确归为 DT&E 过程。

F/A-22 的 T&E 管理情况与 F-15 有所不同^[11]，从图 4 可以看出，最大的不同在于，F/A-22 多了一个 DT/OT 混合试验的过程。这个过程从 1998 年下半年开始，到 2003 年第三季度结束。2002 年 9 月份完成的气候试验在 F/A-22 的试验管理时被明确归到了这个混合试验的过程中。对于混合试验，美国空军给出的解释是，当受到预算、试验周期或时间件的可占用性限制时，DT 和 OT 的试验人员必须共享试验设施、数据和相关资源，这类试验称为混合试验^[11]。比如核打击生存能力试验，由于无法在真实的运行环境下操作，或实施起来花费以及难度太大，因此不得不模拟

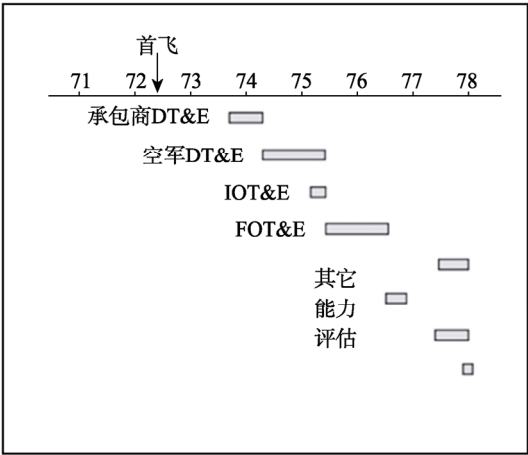


图 3 F15 部分 T&E 过程时间分布

真实的运行环境，并和 DT 过程一起进行。从这个定义来看，气候试验合并了部分 OT&E 过程，因为某些极端自然气候条件很难捕捉，并且实施起来周期长，成本高，因此气候试验作为 DT&OT 过程是综合了各种考虑的一个结果。

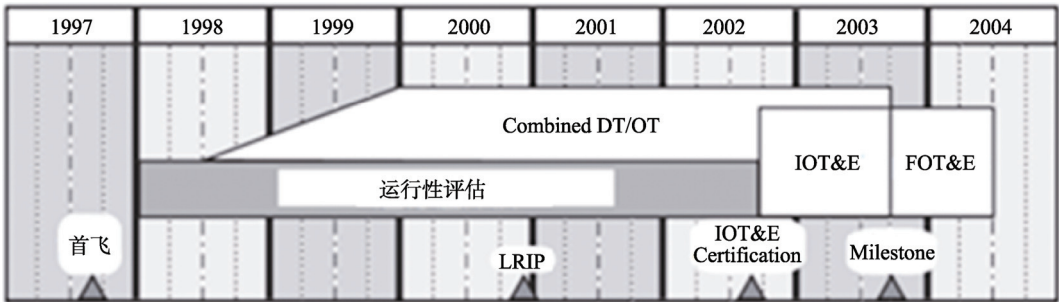


图 4 F/A-22 部分 T&E 过程时间分布

另外,美军的飞机气候试验手册提到了实验室气候环境试验在气候环境试验中的定位。手册指出全天候试验项目的内容包括气候试验和极端气候试验,一般按照三个阶段进行,典型的顺序为:实验室气候环境试验;极地、热带沙漠、热带雨林和其它极端自然气候试验;使用环境试验^[12]。可见,实验室气候试验是在外场气候试验之前进行的。

从结构完整性大纲的角度来看,全机的飞机实验室气候试验和静力试验、疲劳试验以及飞行试验处于同等重要的地位。在美国空军对军用装备的试验评估体系中,军用飞机实验室气候试验在管理上早期划在DT&E过程中,后调整到 Combined DT&OT 过程中,这一变化表明美军从成本以及周期的角度对实验室气候试验进行了优化管理,更加精细化与合理化。结合美军的相关规定以及实际的操作案例可以看出,美军飞机实验室气候试验开展的时机在承包商 DT&E 以及首飞之后,外场极端自然气候试验之前。

2 飞机气候试验管理

美军的 MIL-STD-810 系列标准经过不断的修改和完善,从一个试验方法的标准演变成了包含试验方法、环境工程以及气候极值的综合环境试验标准。最新版 MIL-STD-810G 的环境工程管理部分,对包括气候试验在内的环境试验管理进行了规范,其主要的管理思想可以总结为:在不同的时期、不同的角色承担相应的工作。项目经理/主任提出装备的总体要求,环境工程专家制定环境试验计划,试验工程师实施环境试验,如图 5 所示^[13]。针对环境试验的管理内容,主要由环境工程专家进行,标准对这部分内容进行了任务划分,共分为 6 个内容,分别为准备环境工程管理计划、定义装备寿命期环境剖面、制定使用环境文件、制定环境适应性准则、准备环境试验详细方案、以及准备环境试验报告。

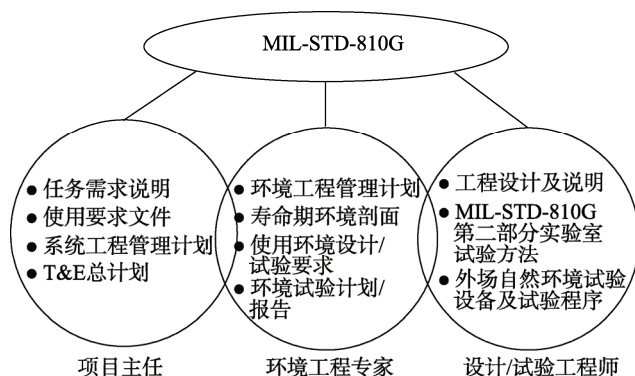


图 5 MIL-STD-810G 任务划分

针对军用飞机的实验室气候环境试验,美军的相关文件进行了进一步展开^[12]。在计划管理阶段,气候

试验工程师的首要任务有三个,分别为:确定飞机需要进行的气候环境、试验类型,准备一个气候环境条件的参数表,以及确定测量设备和数据采集要求。初始的气候试验计划需要在试验开始实施之前 2~3 年开始进行。准备一些大概的想法(比如大的试验工况,大概试验小时数等),然后随着试验飞机详细的数据增加,来细化试验计划。一旦试验环境条件确定,制定一个包含飞机各子系统的详细试验计划。这些计划将由负责各个飞机系统的工程师进行编写。如果可能,子系统工程师可以到试验现场参与气候试验,在气候试验工程师的技术指导下。各系统的试验计划需要由气候试验工程师整合成一个整体计划。这一计划将所有的活动和事件结合在一起,详细规定了所有的目标如何实现。计划需要足够详细,使气候实验室进行准备(比如:目的、环境条件、室内条件、测采集方法等),为了达到这个要求,气候试验工程师需要飞机子系统工程师的协助。

美军环境试验管理组织形式的特点是明确分工,详细规定了不同的角色介入的阶段、承担的任务以及需要出具的报告。从试验管理相关规定以及其具体操作来看,美军对试验计划非常重视,体现为早规划,要求提前 2~3 年开始进行试验计划,以及计划的深入性,从整机的试验计划细分每个子系统的试验计划。

3 国内外对比

1) 试验时机与定位对比。如上文提到的,在中美两国的军用飞机结构完整性大纲中,对于飞机气候试验的目的与定位基本上相同,气候试验和飞机静力试验、飞行试验以及疲劳试验/损伤容限试验同等重要,从零件、部件到整机级对飞机进行环境适应性试验验证。另外, GJB 4239—2001 中关于实验室环境试验的一项工作项目为“飞行器安全性环境试验”,其规定“本工作项目要求进行飞行器首飞前的安全性环境试验,以确保飞行器首飞的安全”^[14]。该项试验的试验时机与美军的实际应用情况来并不一致, F-15 和 F-22 的实验室气候试验均在首飞后进行。针对军用飞机来说, GJB 4239 提出的该项环境试验时机是否合理,需要国内具备了全机气候试验能力以后在实践中验证。另外,尽管军用飞机结构完整性大纲没有明确说明 ASIP 的任务编号代表全尺寸试验的试验顺序,笔者认为,其任务编号的顺序大致可以表示试验顺序,其试验任务编号的先后顺序为:静力试验、首次飞行试验、耐久性试验、损伤容限试验和气候试验。

2) 试验管理的对比。尽管 GJB 150 参考了 MIL-STD-810 试验方法的内容,两者在内容上差别不大,作为环境工程的 GJB 4239 在内容上与 MIL-STD-810G 相应的环境工程部分有较大的差别,前者基于

国内的组织管理体制,对管理工作内容进行了针对性的规定。在组织形式上,后者以三种角色在装备环境工程不同阶段和承担任务的不同为依据进行展开,由于国内装备生产体制的不同,GJB 4239并没有从一开始就明确划分装备环境工程过程中的不同角色,并按其不同的职能来编写,其主要是按照装备环境工程的不同阶段的任务为组织依据,其将环境工程分为四个部分进行描述,分别为环境工程管理、环境分析、环境适应性设计以及环境试验与评价。在对某些部分行进规定时,标准对订购方和承制方的责任进行了指定。另外,GJB 4239依据装备处于的不同阶段对环境试验的类型进行了明确的划分,包括方案和工程研制阶段、定型阶段、生产阶段和使用阶段,这是美军标没有的内容。另外一个比较大的区别是GJB 4239增加了上文提到的“飞行器安全性环境试验”这一具体的试验项目。总的来说,GJB 4239的内容对国内的装备生产使用情况更具有针对性和更具体。

另外,作为装备环境试验的一部分,实验室飞机气候试验的内容包含在GJB 4239及MIL-STD-810之中,这些标准是军用装备环境试验的通用标准。美国开展实验室飞机气候环境试验的时间较早,试验条件比较成熟,具备针对飞机气候试验的管理手册及规定,国内在这一点上还相对欠缺,随着国内飞机实验室气候环境试验研究的进行,将逐渐得到补充和完善。

4 结论

1) 随着国内飞机实验室气候试验的开展,需要尽快建立相关的规范与手册。

2) 结合军用飞机研制过程的特点以及美军的经验,飞机气候试验的合理时机应在飞机首飞后,外场自然极端气候试验之前。

3) 考虑全机气候试验的规模、试验周期以及成

本,应将研制、定型以及后续阶段的试验进行合理融合,不必重复进行。

4) 国内在飞机气候试验的管理形式上,需要加强分工,明确订购方、承制方以及承试方的具体任务与职责,并重视试验计划。

参考文献:

- [1] 李喜明,唐虎. 飞机气候试验[M]. 北京: 中国飞机强度研究所, 2013.
- [2] MIL-STD-1530D, Aircraft Structural Integrity Program[S].
- [3] GJB 775A—2012, 军用飞机结构完整性大纲[S].
- [4] GJB 67.9A—2008, 军用飞机结构强度规范第九部分: 地面试验[S].
- [5] Air Force Instruction 99-1. Test and Evaluation Process[S].
- [6] Air Force Instruction 99-101. Development Test and Evaluation[S].
- [7] Air Force Instruction 99-102. Operational Test and Evaluation[S].
- [8] Defense Systems Management College. Test and Evaluation Management Guide 5th edition[M]. Washington: The Defense Acquisition University Press, 2005.
- [9] BERNARD F, MICHAEL B, JOHN C G. Test and Evaluation Trends and Costs for Aircraft and Guided Weapons[M]. Monica, CA: RAND, 2001.
- [10] MIL-HK81-881, Work Breakdown Structure Appendix H[S].
- [11] MOTT V W H. F-15A Versus F/A-22 Initial Operational Capability[M]. Alabama: Air University Press, 2005.
- [12] Hendrickson. Flight Test under Extreme Climatic Condition[R]. AD/A201710, 1988.
- [13] MIL-STD-810G, Environmental engineering consideration-sandlaboratory tests[S].
- [14] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].