

舰载机环境试验方法发展探讨

张令波¹, 李明², 傅耘²

(1. 海军装备部飞机办, 北京 100071; 2. 中航工业综合技术研究所, 北京 100028)

摘要: 从我国舰载机装备存在的环境适应性问题出发, 分析了舰载机环境适应性工作和环境试验中存在的主要问题和产生原因。通过分析国外海军强国舰载机环境试验技术的发展趋势, 结合我国实际情况, 提出了现阶段开展舰载机环境试验方法研究和应用的几点建议。

关键词: 舰载机; 环境适应性; 环境试验; 综合环境; 快速评价

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.06.017

中图分类号: TJ8; V416.6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)06-0100-04

Development of Environmental Test Methods for Carrier-based Aircraft

ZHANG Ling-bo¹, LI Ming², FU Yun²

(1. Office of Naval Aircraft Equipment, Beijing 100071, China;

2. China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

ABSTRACT: The problems of environmental suitability of carrier-based aircrafts were introduced in this paper firstly. The main problems and causes existing in the environmental engineering work and environmental tests for carrier-based aircrafts were analyzed. Then the development trends of carrier-based aircrafts' environmental test methods in foreign countries were analyzed. At last, combined with actual situation in China, some suggestions to carry out researches and applications of environmental test methods of carrier-based aircrafts were proposed.

KEY WORDS: carrier-based aircraft; environmental suitability; environmental test; integrated environment; quick evaluation

由航空母舰及舰载机组成的航母作战系统, 是当今世界军事强国海军完成舰队防空、海上控制、抵近威慑、作战空间管理和预警指挥、压制/摧毁敌防控及纵深打击等作战使命的中坚力量^[1]。研制、升级改进航母作战系统, 是我国海军装备建设的头等优先任务。由于其特殊的部署位置和任务剖面, 舰载机停放、起飞和降落过程中所经受的环境条件与陆基飞机

有很大的不同^[2-5]。湿度大、盐份含量高、含硫量多的腐蚀性环境, 会对舰载机结构和机载设备带来严重的危害, 加之起飞、着舰方式改变带来的大过载、大冲击等特殊力学环境, 使得应力腐蚀断裂、腐蚀疲劳断裂等环境协同/叠加效应将更加显著^[6-10]。在现役舰载机实际使用过程中, 出现了大量的由严酷环境造成的故障, 这一比例远远超过陆基飞机。

收稿日期: 2015-10-12; 修订日期: 2015-11-05

Received: 2015-10-12; Revised: 2015-11-05

作者简介: 张令波(1971—), 男, 广西荔浦人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为海军航空装备科研管理。

Biography: ZHANG Ling-bo(1971—), Male, from Lipu, Guangxi, Ph. D, Senior engineering, Research focus: management of naval aviation materiel.

通讯作者: 傅耘(1972—), 男, 江西人, 研究员, 副总工程师, 主要从事装备环境工程领域的技术研究和管理工作。

Corresponding Author: FU Yun(1972—), Male, from Jiangxi, Researcher, Deputy chief engineer, Research focus: materiel environmental engineering.

当前,我国舰载机装备处于快速发展的关键时期,提高舰载机的环境适应性水平是保障装备具备良好的作战适用性的基础。如何更加准确地模拟舰载机装备寿命期环境及其影响,以实现装备环境适应性的快速评价,是提高产品环境适应性水平的关键。文中从我国舰载机装备存在的环境适应性问题出发,指出了目前舰载机研制中环境工程工作存在的主要问题和原因,并通过分析国外海军强国舰载机环境试验方法的发展趋势,结合我国实际情况,提出了现阶段舰载机环境试验方法发展的几点建议。

1 我国舰载机环境适应性问题分析

1.1 暴露的问题

我国航空装备外场故障统计表明,海军飞机由腐蚀、老化等引起的故障比例超过相似型号陆基飞机的3倍以上。对于舰载机来讲,其寿命期环境总体上比普通海军飞机更加严酷。我国现役的几型舰载机均出现了更加严重的腐蚀等环境适应性问题。某型舰载机在航母平台较短的驻留时间内,某些机体结构就出现了可以检测到的腐蚀。参加护航任务的舰载直升机,飞行小时数仅几百小时,机体结构就发生了大量的腐蚀问题,如紧固连接处涂层脱落,轴承、刹车盘、安装座腐蚀,部分橡胶件、密封胶条出现龟裂等。在机载设备方面,由腐蚀、老化等环境效应引起的故障具体表现为设备的功能丧失、性能超差、短路、断路等。引起这些故障的原因包含了电路板受潮、焊点腐蚀脱焊、器件管脚腐蚀断裂、机电接插件插针腐蚀、电动机活门锈死、传感器触点或膜片腐蚀、线路及器件老化等方面。上述统计数据仅记录了现象比较明显与海洋性环境有关的故障,由动力学环境以及动力学与气候综合环境引起的机载设备故障,尚未统计在内。

应当注意到,目前我国的舰载机,无论执行任务的频率、单次任务的持续时间、执行任务的海域环境等指标都与航母航空群今后面临的实战环境无法相提并论。在实战环境中,我国舰载航空装备的环境适应性将面临更加严峻的挑战。

1.2 问题分析

目前,我国海军航空装备研制中,仍然主要沿用陆基飞机的相关要求和试验验证方法,通常以GJB 150(A)系列标准^[1-13]提出环境设计要求,并以此试验

条件对产品开展鉴定试验。在具体操作中,往往仅对部分试验条件进行加严,例如,中性盐雾试验由48 h提高到96 h。产品研制单位依据此要求对产品开展环境适应性设计。整个研制过程中,并没有深入考虑舰载平台环境的严酷性、特殊性以及装备任务剖面变化对寿命期环境带来的影响。这就导致机载产品虽然通过了各种环境试验,但在外场使用中仍然出现了大量与环境适应性相关的故障。考虑到目前型号研制中,均以产品的环境验证要求作为产品的环境设计要求,因此,问题的根源就在于没有针对舰载机寿命期环境的特殊性,应用更加科学的环境试验方法。

上述问题是由我国舰载机装备发展所处的阶段和研究基础决定的。首先,我国现有的舰载直升机和舰载固定翼飞机均由空军型号(陆基型号)改型研制得到,均会沿用空军系列飞机的大量成品。通常情况下,这些成品会针对舰载的特殊要求做相应调整,但不会做很大改动,否则会延长生产周期,增加生产成本。环境技术要求和采用的试验验证方法要考虑这些成品的实际情况,尽量与以往的型号一致。其次,由于缺乏成熟的相似装备作为研究参照,国内缺乏特殊舰载环境及其对装备影响的基础数据,特别是实战应用情况下的数据,以此为基础的环境试验方法研究也就缺少了有效支撑,短时间无法形成军方、总师单位、研制单位都能接受的环境试验方法标准或规范。因此对于一些舰载机寿命期的特殊环境,如拦阻着舰冲击环境,虽然认识到其对装备可能存在的不利影响,但仍无法提出科学的环境技术要求,并通过试验来验证。

2 国外舰载机环境试验技术的发展趋势

20世纪60年代末,美国国防部认识到,随着武器装备先进性和复杂程度的提高,其采购、使用和保障费用激增,而战备完好性却呈现下降趋势^[1]。从20世纪70年代开始,随着F-14, F-18, E-2等新一代高性能舰载机的研制,美国更加重视舰载机的环境适应性问题。在这一时期,装备环境工程概念的逐渐形成和相关工作、技术体系的逐渐发展,也促使舰载机环境试验技术向着更加科学和合理的方向发展,其主要发展趋势主要有以下三个方面。

1) 重视舰载机平台环境及环境效应基础数据的积累与应用。通过越南战争、中东战争、海湾战争等一系列武器装备的实战考核,美国等海军强国深刻体会到随着新型武器装备的发展和战场区域的变

化,武器装备的平台环境条件有着极大的差异性,新型平台的装备配置和结构变化以及不同地域/海域的气候环境对武器装备环境条件的影响巨大。对此,通过对在役舰载机进行长期跟踪采集和有计划地开展随舰暴露试验,全面、持续地开展基础数据的积累工作。例如,美军通过对舰载机飞机蒙皮表面液膜的测量和分析,确定了其中含有 SO_4^{2-} ,并具有较低的pH值(约为2.4~4.0),为酸性盐雾试验方法的研究提供了依据^[14-15]。以大量实测数据为基础,得到了有/无实测数据的情况下确定弹射起飞冲击和拦阻着舰冲击环境验证要求的方法,支撑了810F中新的试验程序的提出^[11]。从20世纪70年代开始,美国还在现役航母平台上持续开展了大量舰载机材料、结构、部件的随舰暴露试验,为开发更加符合舰载平台环境影响的试验方法提供参照^[16-17]。

2) 重视符合舰载平台环境特点的新试验方法的研究和应用。以舰载平台环境及环境效应数据为基础,针对特殊环境效应或相对传统装备更加严酷的环境条件,美国等海军强国研究并应用了新的环境试验方法。这些新方法的应用,不仅为舰载装备环境适应性的验证提供了手段,而且为更加全面、合理地确定装备的环境适应性设计要求提供了参照,间接促进了装备对舰载特殊环境耐受能力的提升。例如,经过不断优化、验证,酸性盐雾试验方法已得到美国国防部的肯定,要求“所有的海军和海军陆战队装备必须接受该试验测试”。

3) 重视与装备寿命期任务特点的结合。20世纪80年代,美国海军认识到舰载飞机可靠性水平降低和保障费不断增加的主要原因之一是由于当时的设计和试验要求不足以充分代表飞机、设备在实际使用中所经受的环境。因此,在F-18舰载飞机研制过程中,针对飞机关键结构,美军制定了涂层加速试验环境谱及试验程序(以下简称CASS谱)。该谱主要针对军用飞机在亚热带沿海地区服役的环境条件,综合考虑了舰载停放环境中的加速腐蚀和老化的环境因素,并考虑了由飞行任务诱发的温度变化环境,以及结构在飞机服役过程中的循环载荷作用,将影响涂层及结构使用寿命的环境和载荷因素综合在一起。对于机载设备,提出了使用任务环境法(OME)^[11],即由真实任务剖面推导出预期作战环境条件,并把该环境条件作为系统设计和试验要求的基线,以此为基础开展一系列的验证、评估和设计改进工作。F-18飞机OME由飞机和子系统在其使用寿命期内将要遇到的所有环境事件组成。包括典型训练剖面、作战任务剖面、飞行包

线中临界飞行条件,超过飞机正常操作极限的瞬态偏移和停放环境等。虽然该工作总体上属于可靠性研制与增长试验的范畴,但对设备环境适应性的考虑也完全包含其中,综合考虑了飞机停放环境、飞行环境以及工作载荷对设备性能的影响。

3 舰载机环境试验方法发展的建议

美国等海上军事大国具有上百年的航母作战平台及其舰载航空装备的使用经验,针对装备环境适应性的深入研究工作以成熟的具有完全战斗力的在役装备为基础,基础研究成果与装备研制和使用实践之间形成了良性迭代关系。我国的舰载航空装备距离最终作战效能的实现还需要一定时间,在装备发展基础上与国外先进国家不在同一水平。另外,国外非常重视环境数据等关键研究资料的保密工作,我们可借鉴参考的资料非常有限。因此,必须立足自身,从基础研究入手,逐渐发展出符合我国装备发展特点的舰载机环境试验方法。

1) 边实践边积累,逐步建立舰载机环境适应性基础数据资源。我国舰载机环境试验方法研究中最缺乏的就是数据,包括环境数据、典型基础产品、结构、设备的环境效应数据以及舰载机外场使用故障数据等。我国舰载航空装备处于高速发展阶段,不可能等待所需数据积累到一定程度再去研究、验证和应用更加符合舰载机使用特点的环境试验方法。现阶段,一方面要充分利用已有站网和装备平台,全面开展环境、环境效应数据的测量和采集工作,为环境和环境效应的模拟提供依据;另一方面,深入开展环境分析和试验方案论证工作,针对装备的寿命期任务和特点,在研制中大胆设计和应用新的实验室环境试验剖面和试验方法,边研制边积累,边使用边验证,在实践中不断丰富数据资源,提炼数据分析和应用方法。

2) 从装备的实战适用性要求出发,发展舰载机综合环境试验方法。从实战适用性角度对装备的环境适应性进行考核对舰载机环境试验方法的发展提出了更高的要求。舰载机面临复杂的多域环境,包括战场地域、海域、空域、舰载环境、装备自身平台诱发环境、多装备联合作战环境等,环境因素多,条件严酷,环境损伤机制复杂。同时,装备执行不同作战任务时承受的工作载荷与各种气候、动力学环境可能存在显著的协同和叠加作用,使环境损伤的程度甚至模式发生改变,这些都需要在环境试验中有针对性地进行模拟,以最大限度地暴露装备设计的薄弱环节。目前型

号研制中主要采用的单项环境试验很难达到上述要求,必须结合装备的结构、任务特点和环境损伤特点,发展多环境应力以及环境应力-工作载荷共同施加的综合环境试验方法。

3) 逐步建立针对不同层级、不同类型产品的环境适应性快速评价方法体系。对装备的环境适应性考核和评价应落实到整个研制过程中,落实到从材料、器件、组件(部件)、设备到系统、整机的不同层级产品中。根据舰载机的寿命期环境特点,针对不同层级、不同类型产品,明确其环境技术要求,建立环境适应性快速评价方法体系,是装备环境适应性水平的根本保障。舰载机装备环境适应性快速评价方法体系以大量的环境、环境效应、外场故障数据为基础,以各种实验室环境试验方法为支撑,需要型号总师单位、成品研制单位以及专业研究院所开展大量的基础研究和型号应用工作,逐步建立和完善。

参考文献:

- [1] 海军装备部飞机办公室. 国外舰载机技术发展[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.
Office of Naval Aircraft Equipment. Development of Foreign Carrier Aircraft Technology[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2008.
- [2] 史为民, 李明, 常海娟. 舰载机环境分析及环境试验技术探讨[J]. 航空标准化与质量, 2014(2): 29—32.
SHI Wei-min, LI Ming, CHANG Hai-juan. Analysis of Aircraft Carrier Environment and Environmental Testing Techniques[J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2014(2): 29—32.
- [3] 张令波, 程丛高. 舰载直升机环境条件确定方法探讨[J]. 航空标准化与质量, 2011(5): 25—29.
ZHANG Ling-bo, CHENG Cong-gao. Methods of Determining the Environmental Conditions for Carrier-based Helicopters[J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2011(5): 25—29.
- [4] 蔡健平, 张萌, 赵婉. 装备典型舰载平台振动环境严酷度分析[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 87—92.
CAI Jian-ping, ZHANG Meng, ZHAO Wan. Severity Analysis of Typical Shipboard Vibration Environment for Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(1): 87—92.
- [5] 蔡健平, 张萌, 赵婉. 舰载导弹武器全寿命期环境剖面确定方法[J]. 装备环境工程, 2014, 11(5): 92—96.
CAI Jian-ping, ZHANG Meng, ZHAO Wan. Determination Method of Life Cycle Environmental Profile for Shipboard Missile Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 92—96.
- [6] 曲凯, 刑耀国, 张旭东. 摇摆载荷作用下舰载固体发动机药柱疲劳损伤[J]. 航空动力学报, 2011, 26(1): 2636—2640.
QU Kai, XING Yao-guo, ZHANG Xu-dong. Fatigue Damage of Shipborne Solid Rocket Motor Propellant under Loading[J]. Journal of Aerospace Power, 2011, 26(1): 2636—2640.
- [7] 方书甲. 海洋环境对海军装备性能的影响分析[J]. 舰船科学技术, 2004, 26(2): 5—10.
FANG Shu-jia. Analysis of the Ocean Environment Influence on the Performance of the Navy Equipment[J]. Ship Science and Technology, 2004, 26(2): 5—10.
- [8] 吴晗平. 舰载电子设备可靠性与环境防护技术[J]. 装备环境工程, 2004, 1(2): 64—68.
WU Han-ping. Research into Reliability and Environment Proofing for the Shipborne Electronic Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(2): 64—68.
- [9] 吴红光, 董洪远, 齐强, 等. 舰载武器装备海洋环境适应性研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(1): 161—164.
WU Hong-guang, DONG Hong-yuan, QI Qiang, et al. Research on the Ocean Environment Suitability of Shipborne Weapon Equipment[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007, 22(1): 161—164.
- [10] 曲晓燕, 邓力. 舰载武器海洋环境适应性分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(4): 138—142.
QU Xiao-yan, DENG Li. Analysis of the Environmental Workability of Shipborne Weapons in Marine Environment[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(4): 138—142.
- [11] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150A—2009, Laboratory Environmental Test Method for Military Materiel[S].
- [12] 傅耘, 祝耀昌, 陈丹明. 装备环境要求及其确定方法[J]. 装备环境工程, 2008, 5(6): 46—51.
FU Yun, ZHU Yao-chang, CHEN Dan-ming. Environmental Requirement of Materiel and Its Determination[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(6): 46—51.
- [13] 刘元海. 舰载机载成附件环境适应性设计与管理[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 73—78.
LIU Yuan-hai. Design and Management of Environmental Adaptability for the Shipborne Productions and Accessories [J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(1): 73—78.
- [14] KETCHAM S J. Accelerated Laboratory Corrosion Test for Materials and Finishes Used in Naval Aircraft, NADC-77252-3[R]. Naval Air Systems, 1977.
- [15] MORRIS A W. Corrosion Control Test Method for Avionic Components, NADC-81174-60[R]. Naval Air Development Center, 1981.
- [16] TANKINS E, KOZOL J, LEE E. Shipboard Exposure Testing of Aircraft Materials Aboard Uss Ranger, NAWCADWAR-94019-60[R]. Naval Air Warfare Center, 1994.
- [17] LEE W, ABOURIALY N. Aircraft Carrier Exposure Testing of Aircraft Materials, NAWCADPAX/TR-2004/19[R]. Naval Air Warfare Center, 2004.