

海洋自然环境下舰载武器失效模式分析

王乐, 丁晨, 房桂祥

(中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

摘要: **目的** 分析舰载武器在海洋自然环境下的失效模式。**方法** 对舰载武器装备全寿命周期环境剖面进行分析, 经过梳理确认与海洋自然环境有关的任务剖面。以提高产品海洋自然环境适应性和可靠性为目标, 设计海洋自然环境试验, 根据产品实际使用所处的海洋自然环境, 确定参试产品投放的位置为远海库内和平台库内。根据产品的组成, 确定失效模式分析的对象, 给出了失效模式分析的流程。**结果** 基于试验结果, 给出了舰载武器在海洋自然环境下的4种失效模式。**结论** 舰载武器在海洋自然环境下的典型失效模式, 包括单机壳体表面金属材料生锈、单机产品表面涂漆气泡、活动部件迟钝及接插件表面锈蚀等。

关键词: 海洋自然环境; 舰载武器; 腐蚀; 失效模式

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.04.018

中图分类号: TJ83 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2019)04-0098-05

Failure Mode of Shipborne Weapons in Marine Natural Environment

WANG Le, Ding Chen, Fang Gui-xiang

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: Objective To analyze failure modes of shipborne weapons in the marine natural environment. **Methods** The environmental profile in the full life cycle of shipborne weapons was analyzed, and the task profile related to the marine natural environment was confirmed by combing. To improve the adaptability and reliability of the marine natural environment of the product, the marine natural environment test was designed. According to the marine natural environment in which the product was actually used, the location of the test product was determined to be within the remote library and the platform. According to the composition of the product, the object of failure mode analysis was determined, and the process of failure mode analysis was given. **Results** Based on the test results, four failure modes of shipborne weapons in the natural environment of the ocean were given. **Conclusion** Typical failure modes of shipborne weapons in the natural environment of the ocean include rusting of metal materials on the surface of single-machine casings, painting of bubbles on the surface of single-machine products, sluggish moving parts and corrosion of connector surface.

KEY WORDS: marine natural environment; shipborne weapons; corrosion; failure mode

随着我国周边安全局势的演化, 南海方向、东海方向的领土争议和军事争端日趋激烈, 由此带来了日益突出的导弹武器装备海洋自然环境适应性问题。与内陆环境相比, 海洋自然环境复杂多变, 对武器装备的环境适应性提出了更高的要求。在海洋环境中, 装备长时间处于高温、高湿、高盐、太阳

辐射等恶劣环境, 使用损耗大, 若无法按要求及时休整保养, 会导致武器装备系统发生严重的腐蚀, 并降低装备的可靠性。

海洋自然环境包含多种环境因素, 这些环境因素的相互作用或综合作用, 会对装备在部署值勤阶段和后勤运输阶段的使用和保障带来较大影响^[1-7]。国内

外装备服役情况表明,在沿海或远洋地区服役的装备腐蚀广泛而严重。我国海军某型飞机因 42 框腐蚀疲劳裂纹导致近 50% 的飞机停飞维修^[8],某型歼轰飞机装备海军部队仅 3~4 年就出现防护涂层脱落,部分机件材料开始腐蚀,大大增加了装备维护成本的同时,装备的完好率却不能得到有效的保障。美国空军总部曾对其沿海基地的装备做过一次产品故障调查,发现有 52% 的失效是由环境效应引起的。其中,由温度引起的占 40%,由振动引起的占 27%,由湿度引起的占 19%,其余 14% 是沙尘、盐雾、高度、冲击等因素引发的故障^[9]。美国某型直升机发动机叶片,在热带沿海的使用寿命为 1200 h,而用于舰载机时,使用寿命下降到不足 300 h^[10]。美国海军的统计数据表明,从 1994 年到 2004 年,舰载机腐蚀损伤检查、维修时间占综合检查维修时间的 36%。由于腐蚀损伤,海军航空装备每年直接损失达 10 亿美元左右,因腐蚀原因而引发的安全事故 224 件,涉及飞机 227 架。美国海军每年用于应对舰载机腐蚀问题的费用达到 20 亿至 30 亿美元,占海军年维修费用的 1/3^[11]。

为了降低海洋自然环境对装备的危害,需要分析装备在海洋自然环境下的失效模式,有针对性地开展海洋自然环境适应性设计,建立基于自然环境效应的环境适应性预测模型。由于装备设计的复杂性,直接从理论分析很难得出其失效模式^[12]。文中在对装备全寿命周期环境剖面分析的基础上,以提高产品海洋自

然环境适应性和可靠性为目标,设计了产品海洋自然环境试验。根据产品的组成,给出了失效模式分析的流程,基于试验结果,给出了装备在海洋自然环境下的典型失效模式,可以为装备海洋自然环境适应性改进设计提供支撑。

1 环境剖面分析

舰载武器使用区域包括跨热带、亚热带等地区,气候多样^[13],产品的海洋自然环境适应性尤其重要,能否适应作战区域的自然环境直接影响其作战性能的高低。武器系统从出厂到退役期间的任务剖面如图 1 所示,每个任务环境剖面涉及的环境因素包括力学环境、自然环境和电磁环境等。各任务剖面的环境剖面分析见表 1。由表 1 可知,在全寿命周期环境剖面内,与海洋自然环境有关的任务剖面为贮存、阵地使用和舰载值班。

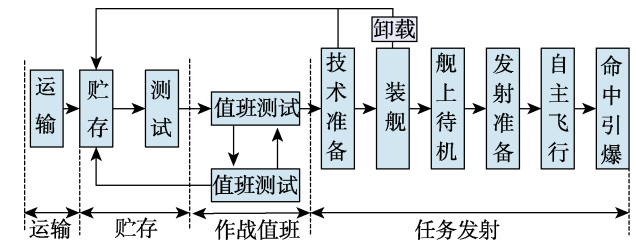


图 1 舰载武器系统典型任务剖面

表 1 舰载武器系统全寿命周期环境剖面

任务剖面	环境剖面	环境因素
运输	公路运输环境	诱发环境因素：随机振动、颠簸冲击、装卸冲击（跌落/翻倒） 自然环境因素：高温、高湿、低温、淋雨、冰雹、沙尘
	铁路运输环境	诱发环境因素：随机振动、铁路运输冲击（起动、紧急止动、铁轨撞击）、装卸冲击（跌落/翻倒） 自然环境因素：高温、高湿、低温、淋雨、冰雹、沙尘
贮存	库房内贮存环境	高温、高湿、低温/冰冻、盐雾、霉菌
阵地使用	阵地使用环境	诱发环境因素：低频振动、低频冲击（装卸冲击、操作冲击）、电磁干扰 自然环境因素：高温、高湿、低温/冰冻、淋雨、冰雹、沙尘/泥浆、盐雾、太阳辐射、霉菌
舰载值班	舰载环境	诱发环境因素：低频振动、低频冲击、电磁干扰 自然环境因素：高温、高湿、低温、盐雾、太阳辐射、霉菌
发射飞行	发射环境、飞行环境	诱发环境因素：发射冲击、加速度、飞行振动及热环境、过载、噪声、分离冲击、气动加热、电磁干扰 自然环境因素：温度、雨水、沙尘

2 海洋自然环境试验设计

2.1 试验目的

为达到发现产品设计缺陷,及时改进、提高产品海洋自然环境适应性和可靠性的目的,有必要对产品进行海洋环境适应性摸底试验。

1) 通过自然环境试验,暴露影响系统寿命和环境适应性的薄弱环节,以利于进一步改进设计、工艺等。

2) 验证产品对海洋环境的适应能力,特别是恶劣海洋环境的适应能力。

3) 为确定贮存、维护、使用要求,确定备份件种类和数量提供试验依据,并积累贮存失效率数据,

为贮存可靠性预估做准备。

2.2 投放原则

海洋自然环境试验试件的投放遵循以下原则：全面考核武器系统中所用材料、零部件、防护工艺，考核密封材料、接头、防护材料；重点考核新材料、新工艺以及未经自然环境试验考核的材料、工艺及防护措施等。

2.3 投放位置的选择

武器系统的舰面及弹上设备在全寿命周期内所处的海洋自然环境主要包括舰上使用环境和库房贮存环境。

舰上测发控设备处于一般舱室内，舱室的工作温度范围为-10~45℃，相对湿度为93%±3%（40℃），

为非密闭环境，测发控设备内部电路板的投放试验位置选择为远海库房。弹上结构、电气系统产品贮存环境为库房内，而发射箱存放的库房有空调设施，温度保持在30℃左右，因此投放试验位置选择为远海库内。

脱插机构位于发射箱外部，甲板下的舱室内，环境相对恶劣，投放试验位置选择为平台库内。

3 试验站环境应力分析

对试验站某年各月份的数据进行分析，最高温度和最高相对湿度统计结果如图2所示。由图2可见，各月份远海库内最高温度均高于平台库内，而平台库内的最高相对湿度在大部分月份都高于远海库内。原因是平台库内位于海面上，而远海库内离海岸有一定的距离。

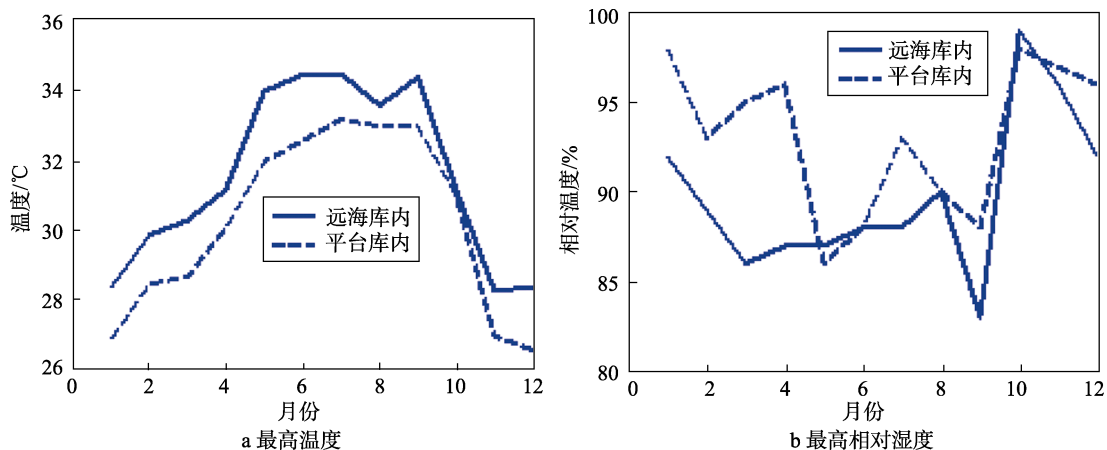


图2 远海库内及平台库内最高温度及最高湿度对比

4 失效模式分析

4.1 分析流程

导弹武器装备主要包括金属和非金属材料，电子设备、活动部件等，分析海洋自然环境下导弹武器装备产品的失效模式应从这些基础部件开始。文中以武器装备常用的金属材料、非金属材料、常用的活动部件，如折叠翼等以及常用的接插件为研究对象，给出其在海洋自然环境下的失效模式。分析流程如图3所示。

4.2 金属材料

在海洋自然环境试验站投放后，某单机壳体表面金属材料生锈，如图4所示。

壳体表面的金属材料为不锈钢1Cr18Ni9Ti，表面采用拉丝处理、无镀覆层防护。造成壳体表面生锈的原因可能有以下几种。

1) 不锈钢表面拉丝纹路存积着含有其他金属元素的粉尘或异类金属颗粒的附着物，在潮湿的空气

中，附着物与不锈钢间的冷凝水将二者连成一个微电

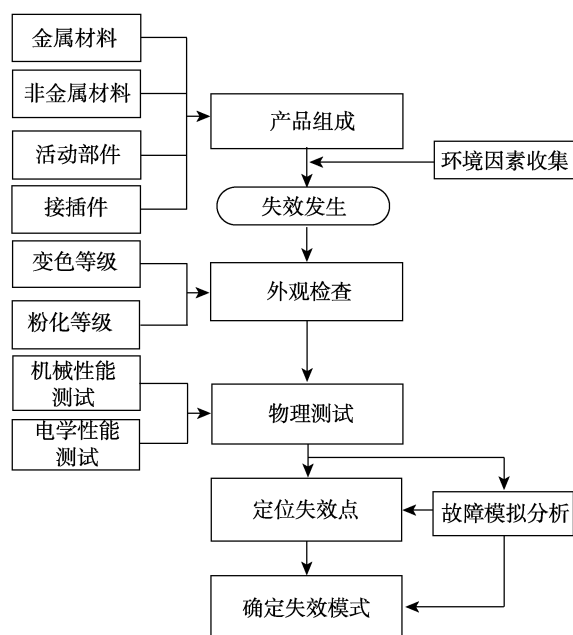


图3 失效模式分析流程



图 4 单机壳体表面金属材料生锈

池，引发电化学反应，使保护膜受到破坏。

2) 不锈钢表面粘附酸、碱、盐类物质或有机物汁液（如手上的汗液），在有水和氧情况下，构成有机酸，长时间后形成对金属表面的腐蚀。

3) 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的碳的质量分数为 12%，试验站大气中 Cl⁻ 的浓度很高，易对含碳量高的不锈钢材料表面造成破坏。

4.3 非金属材料

在进行 3 年及 8 年检测时，发现参试单机产品表面涂漆局部出现气泡，其中贮存 8 年时漆面气泡更严重。投放 3 年及 8 年时产品的状态对比如图 5 所示，试验产品电性能未受影响。导致该问题的原因为：在试验站高湿环境下，产品长期放置于潮湿环境中，导

致油漆受潮，出现气泡。



a 3 年



b 8 年

图 5 试验产品表面涂漆贮存 3 年及 8 年的状态对比

4.4 活动部件

折叠翼是导弹翼舵系统常用的活动部件。为了验证数据的稳定性，定期测量折叠翼展开时间时，均测量了 10 次，结果见表 2 和图 6。

表 2 折叠翼展开时间

试验次数	半年		3 年		8 年	
	展开时间/ms	偏差/%	展开时间/ms	偏差/%	展开时间/ms	偏差/%
1	51.4	-3.2	46.35	-13	82.2	0.83
2	48.3	-5.3	53.45	0.2	79.3	-2.73
3	51.1	-3.8	55.3	3.6	81.85	0.39
4	61.5	15.8	55.6	4.2	81.75	0.28
5	55.4	4.3	54.75	2.6	81.1	-0.52
6	45	-15.3	54.5	2.1	78.45	-3.77
7	49.8	-6.2	53.3	-0.1	80.7	-1.01
8	58	9.2	54.35	1.9	83.6	2.55
9	55.2	4.0	53.3	-0.1	83.2	2.05
10	55.8	5.1	52.7	-1.2	83.1	1.93

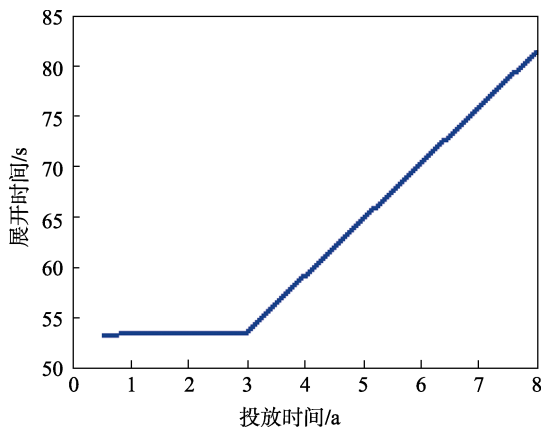


图 6 折叠翼展开平均时间随投放时间的变化

贮存 8 年时，折叠翼折叠状态的展开平均时间为

81.53 ms，比贮存 3 年的展开平均时间多 28.17 ms。由此可见，3 年贮存期过后，折叠翼的扭转弹簧机构出现了明显的应力松弛现象。

4.5 接插件

试验过程中，发现接插件表面镀镍层局部开裂，如图 7 所示。镀镍层局部开裂后，产品电性能未受影响。导致该问题的原因为：在试验站高湿环境下，产品长期放置于潮湿环境中，导致镀层局部开裂、脱落。

5 结论

1) 文中对装备全寿命周期环境剖面进行了分析，经过梳理确认，与海洋自然环境有关的任务剖面为贮



图7 接插件镀镍层贮存8年状态

存、阵地使用和舰载值班。

2) 以提高产品海洋自然环境适应性和可靠性为目标,设计了海洋自然环境试验,根据产品实际使用所处的海洋自然环境,确定了参试产品投放的位置为远海库内和平台库内。对两种位置的环境进行了对比,发现各月份远海库内最高温度均高于平台库内,而平台库内的最高相对湿度在大部分月份都高于远海库内。

3) 根据产品的组成,确定了失效模式分析的对象,给出了失效模式分析的流程。基于试验结果,给出了装备在海洋自然环境下的典型失效模式,包括单机壳体表面金属材料生锈,单机产品表面涂漆气泡,活动部件迟钝及接插件表面锈蚀等,可为产品海洋自然环境适应性改进设计提供支撑。

参考文献:

[1] 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):138-146.

- [2] 杨祎,赵俊军,王茂川,等.合金钢螺栓海洋气候环境适应性研究[J].装备环境工程,2018,15(1):40-44.
- [3] 王哲,雍兴跃,范林,等.典型非金属材料海洋环境适应性技术研究[J].装备环境工程,2017,14(3):60-64.
- [4] 田月娥,潘志义,袁艺,等.隐身涂层海洋环境适应性问题剖析[J].装备环境工程,2005,2(6):63-76.
- [5] 王玲,杨万均,张世艳,等.热带海洋大气环境下电连接器环境适应性分析[J].装备环境工程,2012,9(6):5-9.
- [6] 张艳辉.浅析舰载武器海洋环境适应性验证要求[J].装备环境工程,2017,14(5):8-11.
- [7] 周家胜,王慧,周涛,等.炮弹在海洋环境下适应性分析及对策[J].兵工自动化,2017,36(3):81-83.
- [8] 沈军,魏荣俊,边英杰,等.直升机在海洋气候环境下的腐蚀防护对策研究[J].装备环境工程,2017,14(3):71-74.
- [9] 林琳.机载电子产品的环境适应性研究[J].可靠性与环境试验技术及评价,2006,24(4):34-37.
- [10] 中国航空信息中心《世界飞机手册》编写组.世界飞机手册[M].北京:航空工业出版社,2001.
- [11] 骆晨,李明,孙志华,等.海洋大气环境中飞机的环境损伤和环境适应性[J].航空材料学报,2016,36(3):101-107.
- [12] 朱蕾,王连杰,许明,等.装备环境适应性仿真技术的发展思路探讨[J].装备环境工程,2007,4(3):91-96.
- [13] 周伟,张作刚.舰载机随舰航材海上使用环境影响及保障特点研究[J].环境技术,2018,36(4):75-77.