

东南海域岛礁环境对武器装备的影响及对策研究

张梦龙, 赵志敏

(中国人民解放军 91550 部队, 辽宁 大连 116023)

摘要: 研究了东南海域岛礁恶劣环境对武器装备的影响。由于岛礁所处地理位置的特殊性, 具有复杂的水文、气候等环境因素, 致使武器装备性能极易遭受破坏。在岛礁区恶劣环境因素的综合作用下, 对武器装备的结构材料腐蚀以及造成电器设备失效等方面影响较大, 从而大大降低了武器装备环境适应性及作战效能。针对提高武器装备的岛礁环境适应性, 提出了武器装备在设计、试验及使用等方面的要求以及防控措施, 为未来武器装备研究提供一定的参考和依据。

关键词: 岛礁; 环境; 武器装备; 腐蚀

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.10.004

中图分类号: TG172 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2020)10-0020-06

The Influence and Countermeasures Study of Weapon Equipment Influenced by Island-reef Environment in the Southeastern Sea

ZHANG Meng-long, ZHAO Zhi-min

(PLA 91550, Dalian 116023, China)

ABSTRACT: To study the influence of island-reef environment on weapons and equipment in the Southeastern Sea. Owing to the special location, the island-reef has complex hydrological environment and climatic environment that weapon equipment performance was destroyed. Under the comprehensive function of the harsh environment factors, the structural materials are particularly susceptible to corrosion and electrical equipment is easy to fail. And the environmental adaptability and the operational effectiveness were reduced in the island-reef harsh environment. The requirements and control measures of the design, the experiment and the application on weapons and equipment were put out to improve the environment worthiness of weapon equipment. It can offer some reference and gist for research to weapon equipment in the future.

KEY WORDS: island-reef; environment; weapon equipment; corrosion

武器装备性能的可靠性是决定未来海上战争能否取胜的关键, 岛礁环境因素是影响岛礁武器装备性能可靠性的重要因素之一, 轻则导致装备结构损坏、

性能降低, 重则导致武器系统功能丧失^[1-2]。由于岛礁地理环境较为复杂, 自然气候特殊, 岛礁上的武器装备面临着恶劣环境的挑战。通过分析研究岛礁地

收稿日期: 2020-05-13; 修订日期: 2020-06-15

Received: 2020-05-13; Revised: 2020-06-15

作者简介: 张梦龙 (1990—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为武器装备环境适应性。

Biography: ZHANG Meng-long (1990—), Male, Master, Assistant engineer, Research focus: environmental suitability for weapon equipment.

通讯作者: 赵志敏 (1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为武器装备环境适应性。

Corresponding author: ZHAO Zhi-min (1977—), Male, Master, Senior engineer, Research focus: environmental suitability for weapon equipment.

理、水文和气候要素的特点，总结其对武器装备性能的影响，探讨提高武器装备岛礁环境适应性所需要采取的措施，对未来提高武器装备效能提供一定的指导。

1 岛礁区环境特点

岛礁区的环境要素主要分为地理环境要素、水文环境要素和气象环境要素。

1.1 地理环境要素

我国岛礁区主要分布在东海和南海地区。其特点是远离大陆、分布零散、面积狭小、四面环水、地势低平等。岛礁区多山，坡度陡峻、地形复杂；岸线弯曲，岸陡滩狭；道路少，且曲折狭窄。

1.2 水文环境要素

水文要素主要包括潮汐、潮流、海流、海浪、海温、盐度、密度、水色、透明度、水层等^[3-4]。岛礁区潮汐多是不规则日潮，潮差较小；潮流性质大部分与潮汐相一致，流速较大；岛礁区海流随季节风变化而变化，海流速度一般较大；海浪较大，且涌浪大于风浪；海区水温一般较高，均匀层厚度大，跃层强度小；海区盐度较大，跃层强度弱，随季节变化较小；海区密度变化较小，厚度较大；海区水色高、透明度高，随季节变化较小；岛礁海区表层水较均匀，次表层水变化大，中层水和深层水较为稳定^[5-6]。

1.3 气候环境要素

气候环境因素是影响武器装备性能的主要环境因素。岛礁区气候环境因素主要包括气压、温度、相对湿度、风场、降水、云量和雾等，因此对武器装备性能的影响非常复杂。其中武器装备材料的主要影响因素为温度、湿度以及盐雾。

1) 温度。不同纬度区的岛礁年平均气温相差较大，但是夏季南北温度相差较小。临近赤道岛礁区年平均气温和年平均海温都不小于 27℃，其中各月平均气温都不小于 26℃。

2) 降水、相对湿度。降水日数较多，降水量大，相对湿度较高。南海岛礁区的降水主要是由热带气旋和西南季风带来的，雨量充沛，年平均降雨量约 2000 mm，自北向南递增。由于海区内丰富的水资源每天向空气中蒸发大量的水蒸气，导致海区内的湿度比内陆地区要高很多，海洋上空的空气湿度一般都在 60% 以上，并且由于空气湿度大的影响，海洋地区在降水方面也比内陆地区不仅频繁，而且量大，降水量大又导致了空气湿度大。

3) 盐雾。我国东南海域空气中的盐雾含量在 0.33~23.6 mg/ms 范围。影响大气盐雾含量因素是多方面的，主要是气候条件（风向、风速、湿度以及破

浪高低等）和自然环境（海岸线地貌、离海距离等）等两个方面。

2 岛礁环境对武器装备的影响

岛礁区气候环境复杂多变，常年具有高温、高湿、高盐雾以及强太阳辐射等特点，对武器装备结构材料、电子电器以及雷达通信等设备的可靠性造成较大影响，从而导致武器装备性能降低或失效。美国曾对其沿海武器装备调查分析发现：环境因素导致武器装备发生故障或失效的占 52%，其中的 72% 是由温湿度、盐雾以及太阳辐射导致的。由此可见，温湿度、盐雾和太阳辐射是导致武器装备性能降低及失效的主要环境因素^[8-9]。

2.1 对结构材料的影响

岛礁区武器装备长期受恶劣气候环境因素的影响，其结构材料极易发生物理化学反应，轻则降低结构强度，重则破坏武器装备性能。

武器装备含有橡胶、塑料以及大量的金属材料。在高温、高湿、高盐雾以及强太阳辐射作用下，橡胶和塑料材料容易老化脱落，使得其绝缘性能降低，甚至失效，从而对武器装备的可靠性产生一定影响^[10]。金属材料在高温、高湿以及高盐雾的作用下，表面极易被氧化，即发生腐蚀效应^[11]。如图 1 所示，表面腐蚀产物易脱落，脱落后的材料表面在高温、高湿和高盐雾的作用下，会加速腐蚀。

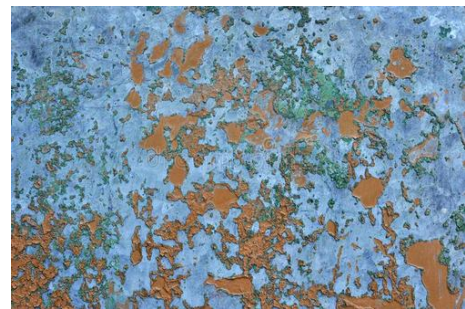


图 1 结构材料表面腐蚀样貌

Fig.1 Corrosion appearance of construction material surface

在高温条件下，设备内部铜、铝材料极易软化，机械强度明显下降。金属材料接触表面在高温、高湿、高盐雾作用下会剧烈氧化，接触材料极易变脆老化，不仅增加零件之间磨损，缩短设备的使用寿命，甚至造成火灾等灾难性事故。因此恶劣的气候环境不仅可以破坏结构材料几何形状，而且容易降低结构材料的强度、塑性以及韧性等力学性能，对武器装备造成不可估量的损失。

2.2 对电子电器设备的影响

电器设备长期处于高温高湿以及盐雾环境中，其

内部元器件的腐蚀效应会大大加剧,导致其品质快速下降,影响电器设备的安全运行,从而严重缩短了其使用寿命^[12-14]。

由于岛礁区空气湿度过高,一方面空气中的水分附着在绝缘材料表面,使电器设备的绝缘电阻降低,甚至短路,从而导致电器设备损坏;另一方面潮湿空气加速电气设备中的导电金属锈蚀,大大降低了设备的性能和使用寿命,甚至造成电器设备故障,如图2所示。盐雾是电子电器设备损坏失效的关键因素,在高盐雾作用下,不仅会加剧电器设备内部金属和无机材料的腐蚀^[15],而且会导致内部金属导体表面形成晶体,晶体潮解后,会产生活性电解质溶液膜,造成电偶腐蚀,严重影响其使用性能^[16-17]。因此,湿度及盐雾是造成电器设备性能降低或失效的主要因素。

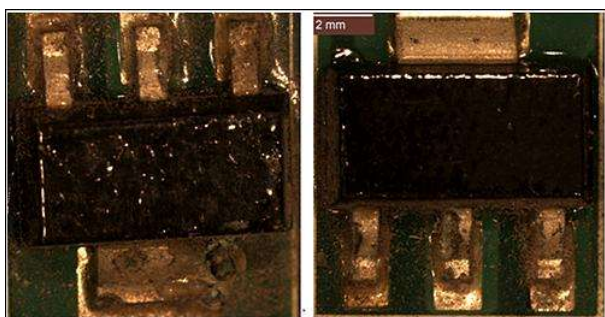


图2 电器设备腐蚀样貌

Fig.2 Corrosion appearance of electrical equipment

2.3 对雷达通信设备的影响

岛礁气候环境的气温较高、湿度较大、高盐雾以及强太阳辐射等环境特征都会引起雷达通信设备性能下降,甚至失效,造成严重的安全隐患。

在高温、高湿及高盐雾等恶劣气候环境作用下,雷达通信装备极易遭受严重腐蚀,从而降低装备结构的强度、塑性以及韧性等性能。岛礁恶劣气候环境严重影响雷达装备的电磁性能,高温高湿环境不仅容易造成零部件表面的腐蚀,而且容易导致两个邻接导体短路,严重影响雷达通信装备的精度。雷达通信装备内部零部件都是薄金属导体,为了保证信号的平稳传输,零部件上通常用银来镀层,而在高温高湿环境以及电场作用下,银离子逐渐向绝缘材料表面迁移,导致设备短路。雷达通信设备通常都是高功率的电子设备^[18],而设备长期在高温环境下工作,会加速电子设备的温度上升,从而更容易导致电子设备发生故障或者系统崩溃^[19]。岛礁区雷达通信设备长期受到强风吹、烈日晒及盐雨淋,容易导致接头盒内接触不良、光纤芯收缩程度较大,从而造成雷达信号接收不良。

3 提高武器装备可靠性需采取的措施

岛礁环境条件较为恶劣,对武器装备的性能和可

靠性就提出了较高的要求。因此如何降低岛礁气候环境给武器装备带来的影响,是目前亟待解决的问题。

3.1 提高武器装备的设计要求

为了使武器装备能更好地适应岛礁区恶劣环境,必须在装备的设计研发阶段充分考虑岛礁恶劣环境的特点及对武器装备带来的影响,即在总体结构设计、材料选择、电器设备密封性等方面综合考虑高温、高湿、高盐雾以及强太阳辐射等环境特点对其可能造成的影响。

提高装备零部件、电子电器线路和仪器设备的可靠性,材料的选择尤为重要。在充分考虑岛礁区高温、高湿以及高盐雾等环境特点以及满足结构和强度要求的前提下,应当优先考虑抗腐蚀性材料,可以有效避免因选材不当造成材料腐蚀、不相容性等问题,从而提高武器装备的环境适应性。对结构材料表面采取防护措施能够避免或降低材料的腐蚀。表面防护技术是结构材料非常重要的防腐技术,比如采用涂层防护,表面涂层能有效阻止空气中的水雾、盐雾与材料表面直接接触,避免了对结构表面的直接腐蚀,大大提高了武器装备性能及环境适应性^[20-23],如图3所示。



图3 方舱涂层

Fig.3 Shelter Coating

材料的腐蚀与装备的结构设计密切相关。装备结构设计关系到武器装备使用寿命长短,合理的结构设计可以减缓高温、高湿与高盐雾对结构材料的腐蚀作用;而结构设计不合理则会加剧材料的腐蚀,从而降低装备的使用寿命。合理的装备结构设计中,应避免出现应力腐蚀、接触腐蚀,以及避免出现易引起液态或气态腐蚀介质浸入、聚集、凝露等的结构缺陷^[24-27],如对易腐蚀材料采用合理的密封设计,尤其是电子元器件、接插件等系统,防止空气中水、盐介质与材料接触;合理设置排水孔,防止由于冷凝水等在材料表面长期滞留;合理设计通风结构,防止水蒸气、盐雾滞留,降低与材料表面反应;在不同材料之间相互连接时,连接处应当进行绝缘处理或者密封处理,有效防止电偶腐蚀。

3.2 提高武器装备的试验要求

高温、高湿及高盐雾等环境因素是引起装备性能降低或功能丧失的重要因素。在武器装备投入使用之前,会对装备进行针对性试验,以考核装备是否满足设计要求的各项性能指标。因此在试验设计中应严格把控试验指标。

多种环境因素综合作用,加剧了装备性能的降低或失效,为了使试验结果更接近实际,必须全面考虑装备使用地的环境条件,科学地设计试验条件与检验方法。试验必须明确岛礁区的环境条件,以及使用时的局部环境条件。试验期间定期对结构材料及性能进行检测,对于易发生腐蚀的关键部位应重点检测。试验样品应该要采用装备实际产品,也可以用替代样品,但是要求基本材料要与实际产品一致。试验环境条件必须接近真实环境,比如试验场地建立在岛礁区,如果是实验室环境下模拟试验,一定要对实验室内温度、湿度、盐雾、太阳辐射、风速等重要参数进行合理控制^[28]。总之试验目的就是在尽量真实的岛礁区恶劣环境条件中,检验装备的环境适应性,从而实现问题早发现、早解决,避免人财物资的浪费。

3.3 提高武器装备的使用要求

为最大限度地提高武器装备岛礁环境下的战斗力以及使用寿命,需要做好使用阶段的武器装备管理,加强对武器装备的日常维护和保养。

加强武器装备的检查,缩短装备维护保养周期。电器设备、金属材料等在高湿度、高盐雾的空气中极易发生腐蚀,尤其是附着在装备表面的盐水对装备腐蚀更加恶劣。因此除对装备正常保养执行要求之外,还应重点检查金属材料表面、电子电器元件、舱内温湿度、密封性、管线破损等方面,尽量避免装备遭受雨淋,对不可雨淋装备进行清洗擦拭,使其保持表面干燥,减轻盐水对金属的腐蚀。因此,针对其恶劣环境条件,缩短对武器装备的维护保养时间,不仅可以降低岛礁恶劣环境对装备的腐蚀影响,及时发现局部腐蚀区域,及时清除腐蚀产物、喷洒缓蚀剂、表面涂油以及安装盐雾净化处理系统等措施,控制腐蚀的发展,而且可以提前发现电器设备的气密性是否良好,及时修补密封剂,降低腐蚀效应。建立适宜的维护、保养程序和方法,对降低装备腐蚀效应是非常必要的^[29]。

制定合理的预防性维修方案。在高盐雾加温湿度的综合作用下,武器装备电子设备以及金属表面极易腐蚀。因此根据武器装备性能,视情调整装备大、中修周期,并制定预防性维修方案以及预先规划好配套设备。根据岛礁环境特点合理规划武器人员、维修保养设备、工具、零配件等武器资源,制定装备武器方案和应急措施,及时解决特殊岛礁环境装备运用的武器问题,实现装备武器到位,满足规定期限内装备的

安全可靠使用要求,延长装备的使用寿命。良好的腐蚀维修处理可以最大程度发挥装备的效能,节约资源与费用,如美国民兵 III 型洲际弹道导弹服役至今已长达 1/2 世纪,其超长寿命正是有赖于持续的环境损伤监测与腐蚀维修控制^[30]。

4 结语

岛礁区复杂的地理环境和恶劣的气候条件特点对武器装备性能影响较大,应该引起高度重视。高温、高湿以及高盐雾的环境特点不仅增强对装备结构材料的腐蚀破坏,而且提高了电器设备发生故障的概率,从而大大影响了武器装备的环境适应能力以及作战效能。为提高岛礁环境下武器装备的环境适应性和可靠性,通过全面分析岛礁环境对武器装备的影响,提高对武器装备在设计、试验以及使用方面的要求,对未来提高武器装备岛礁环境适应性提供一定的指导。

参考文献:

- [1] 何俊,陶小创,石高荣. 导弹地面装备自然环境适应性评价方法探讨[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 91-97.
HE Jun, TAO Xiao-chuang, SHI Gao-rong. Discussion on Evaluation Methods of Natural Environmental Worthiness of Missile Surface Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(1): 91-97.
- [2] 周堃,钱翰博,刘伟,等. 浅谈装备环境适应性与可靠性[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 72-76.
ZHOU Kun, QIAN Han-bo, LIU Wei, et al. Discussion on Environmental Worthiness and Reliability of Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 72-76.
- [3] 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 Worthiness of Shipborne Weapons in Marine Environment[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(4): 138-142.
- [4] 崔鹏飞,严洪森,范金松. 海洋环境下武器装备作战效能自学习评估模型[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(2): 32-36.
CUI Peng-fei, YAN Hong-sen, FAN Jin-song. Self-learning Evaluation Model of Weapon Equipment Operational Effectiveness under Marine Environment[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(2): 32-36.
- [5] 全国海岸带办公室. 中国海岸带气候[R]. 北京: 气象出版社, 1991.
National Coast Office. China's Coastal Climate[R]. Beijing: China Meteorological Press, 1991.
- [6] 吴国华,廖国栋,苏少燕. 我国典型的海洋环境试验基

- 地西沙试验站[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2005, 12(3): 25-27.
- WU Guo-hua, LIAO Guo-dong, SU Shao-yan. Typical Marine Environmental Experimental Establishment of China-Xisha [J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2005, 12(3): 25-27.
- [7] 谭笑, 张勇明, 陈重阳. 南沙海域海洋环境特点及作战环境保障研究[J]. 舰船电子工程, 2014, 244(10): 11-13.
- TAN Xiao, ZHANG Yong-ming, CHEN Chong-yan. Marine Environment Features and Campaign Environmental Support of Nansha Islandd[J]. Ship Electronic Engineering, 2014, 244(10): 11-13.
- [8] 宋洪波. 环境试验管理系统研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
- SONG Hong-bo. Environmental Testing Management System Research[D]. Xi'an: Northwestern Poly technical University, 2002.
- [9] 张宣和, 鲁冬林, 韩文俊, 等. 濒海环境下工程装备保养周期的确定方法[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 102-105.
- ZHANG Xuan-he, LU Dong-lin, HAN Wen-jun, et al. Environmental Corrosion Effect and Control Techniques for Materie[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(5): 102-105.
- [10] 刘章龙, 赵徐成, 胡涛. 基于高原环境的保障装备适应性技术研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(2): 34-37.
- LIU Zhang-long, ZHAO Xu-cheng, HU Tao. Adaptive Technology of Support Equipment Based on Plateau Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(2): 34-37.
- [11] 彭京川, 胥泽奇, 张世艳, 等. 军用涂层海洋大气自然环境试验方法与要求[J]. 装备环境工程, 2017, 14(6): 122-125.
- PENG Jing-chuan, XU Ze-qi, ZHANG Shi-yan, et al. Marine Atmosphere Natural Environment Test Methods and Requirements of Military Coatings[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(6): 122-125.
- [12] 马长李, 刘从, 马瑞萍. 某系统贮存环境中微量盐雾监测[J]. 装备环境工程, 2017, 14(10): 78-81.
- MA Chang-li, LIU Cong, MA Rui-ping. Monitoring of Micro Salt Fog in Storage Environment of a System[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(10): 78-81.
- [13] 唐毅, 宋爱民. 盐雾试验条件对试验结果的影响[J]. 微电子学, 2009, 39(2): 289-292.
- TANG Yi, SONG Ai-ming. Effect of Salt Spray Conditions on Test Results[J]. Microelectronics, 2009, 39(2): 289-292.
- [14] 阮红梅, 黄建业, 陈川, 等. 南海海洋环境下关键电器设备腐蚀环境净化技术研究[J]. 环境技术, 2016, 34(5): 110-113.
- RUAN Hong-mei, HUANG Jian-ye, CHEN Chuan, et al. Research on Corrosion environment Purification Technology on the Electrical Equipment in the South Marine Environment[J]. Environmental Technology, 2016, 34(5): 110-113.
- [15] 李勇, 常天庆, 李坤. 电连接器腐蚀失效对信号传输的影响[J]. 科技导报, 2012, 30(25): 63-67.
- LI Yong, CHAGN Tian-qing, LI Kun. Impact of Electrical Connector Corrosion Failure on Signal Transmission[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(25): 63-67.
- [16] 柳爱利, 寇方勇. 海洋环境对舰载导弹贮存可靠性影响分析[J]. 海军航空工程学院学报, 2013, 28(3): 285-288.
- LIU Ai-li, KOU Fang-yong. Analysis of Storage Reliability of Shipborne Missiles in Marine Environment[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical, 2013, 28(3): 285-288.
- [17] 张琳, 王振尧, 赵春莹, 等. 碳钢和耐候钢在盐雾环境下的腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 1-3.
- ZHANG Lin, WANG Zhen-yao, ZHAO Chun-ying, et al. Study on Corrosion Behavior of Carbon Steel and Weathering Steel in Salt Spray Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 1-3.
- [18] 张梦龙, 蒋敏, 黄永. 某电子方舱舱内热环境的模拟研究[J]. 装备环境工程, 2018, 15(4): 5-9.
- ZHANG Meng-long, JIANG Min, HUANG Yong. Simulation Study of Thermal Environment in an Electronic Shelter[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(4): 5-9.
- [19] 朱辉. 电子信息装备环境适应性评价探讨[J]. 电讯技术, 2014, 54(2): 212-217.
- ZHU Hui. Discussion on Environmental Worthiness Evaluation of Electronic Information Equipment[J]. Telecommunication Engineering, 2014 54(2): 212-217.
- [20] GUYEN T N, HUBBARD J B, MCFADDEN G B. A Mathematical Model for the Cathodic Blistering of Organic Coating on Steel Immersed in Electrolytes[J]. J Coat Tech, 1991, 63(794): 43-52.
- [21] 金涛, 何卫平, 廖圣智, 等. 2024-T62 铝合金涂层外场腐蚀环境下电化学性能研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 8-13.
- JIN Tao, HE Wei-ping, LIAO Sheng-zhi, et al. Electrochemical Property for 2024-T62 Aluminum Alloy Surface Protective Coating in the Presence of Outfield Corrosion[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(1): 8-13.
- [22] 李海洪, 赵永韬, 王洪仁, 等. 海洋环境中渗锌层和锌铬涂层的耐蚀性研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(2): 14-16.
- LI Hai-hong, ZHAO Yong-tao, WANG Hong-ren, et al. Study on Corrosion Resistance of Sherardizing and Zinc-chromium Coating in Marine Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(2): 14-16.
- [23] 王晶晶, 董士刚, 叶美琪, 等. 环氧涂层室外暴晒和室内加速老化试验相关性研究[J]. 表面技术, 2006, 35(1):

- 36-39.
WANG Jing-jing, DONG Shi-gang, YE Mei-qi, et al. Correlation between Outdoor-exposure and Indoor-accelerated Ageing Test for Epoxy Coating[J]. Surface Technology, 2006, 35(1): 36-39.
- [24] 陈群志, 黄卫华, 韩恩厚, 等. 典型飞机内腔结构腐蚀原因分析及防腐改进[J]. 装备环境工程, 2007, 4(2): 47-50.
CHEN Qun-zhi, HUANG Wei-hua, HAN En-hou, et al. Corrosion Analysis and Anticorrosion Improvement on Tube Inner Structure of Typical Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(2): 47-50.
- [25] 任三元, 曹定国, 王文亮. 航空装备腐蚀防护控制技术进展与展望[J]. 装备环境工程, 2008, 5(3): 40-45.
REN San-yuan, CAO Ding-guo, WANG Wen-liang. Progresses and Prospect on the Corrosion Prevention and Control Technique for Aviation Equipments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(3): 40-45.
- [26] 田志强, 王崇碧, 孔小东, 等. 锈层对船体钢耐腐蚀性能影响研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 66-70.
TIAN Zhi-qiang, WANG Chong-bi, KONG Xiao-dong, et al. Effect of Rust Layer on Corrosion Resistance of Hull Steel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(3): 66-70.
- [27] 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 Influences on the Performance of the Navy Equipment[J]. Ship Electronic Engineering, 2004, 26(2): 5-10.
- [28] 孙伟, 杨培源. 发射燃气扩散过程数值模拟及安全性分析[J]. 装备环境工程, 2019, 16(7): 55-59.
SUN Wei, YANG Pei-yuan. Numerical Simulation and Safety Analysis of Fire Gas Diffusion Process[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(7): 55-59.
- [29] 阮红梅, 吴坤培, 王俊, 等. 气相防锈技术在电器设备防腐中的应用[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 32-37.
RUAN Hong-mei, WU Kun-pei, WANG Jun, et al. Application of the Vapor Phase Corrosion Inhibitor in the Electrical Equipment Corrosion[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(4): 32-37.
- [30] 张皓玥, 张菲玥, 钟勇, 等. 装备的环境腐蚀效应抑制技术[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(3): 180-182.
ZHANG Hao-yue, ZHANG Fei-yue, ZHONG Yong, et al. Environmental Corrosion Effect and Control Techniques for Materiel[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017, 38(3): 180-182.