

基于关键产品把控的舰船装备环境适应性设计对策分析方法

赵婉, 胡彭炜, 程海龙

(中国航天标准化研究所, 北京 100071)

摘要: 综合考虑舰船装备系统的复杂性和海洋环境的严酷性, 提出了一种基于关键产品把控的舰船装备环境适应性设计对策分析方法。该方法在分析装备环境适应性设计基本要求的基础上, 提出了按产品层次逐级进行环境适应性分析, 根据其对上一级产品或整个装备系统功能的影响, 层层剥离出环境适应性关键产品, 通过识别环境适应性薄弱环节, 消除环境适应性风险或隐患, 建立了环境适应性设计关注点、环境要求、影响因素、薄弱环节、控制措施、具体方法等之间的映射关系, 形成了环境适应性设计解决对策, 建立了基于关键产品把控的舰船装备环境适应性设计对策分析方法, 给出了方法应用示例。该方法为舰船以及其他装备开展环境适应性设计提供了一种可行的借鉴方法。

关键词: 舰船装备; 关键产品; 环境适应性设计

中图分类号: TJ01

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)06-0125-05

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.06.019

Environmental Worthiness Design Countermeasure Analysis Method Based on Crucial Product Control for Marine Material

ZHAO Wan, HU Peng-wei, CHENG Hai-long

(China Astronautics Standards Institute, Beijing 100071, China)

ABSTRACT: Synthetically considering on the complexity of marine material system and the rigorousness of the marine environment, a kind of environmental worthiness design countermeasure analysis method based on crucial product control was advanced. The crucial product was discovered based on the function impact on the superior product or the whole material step by step with the environmental impact analysis on products at all levels. Then environmental worthiness weak links could be identified and the hidden risk could be removed. Finally the mapping relationship among environmental worthiness design concerns, influencing factors, weak links, control measures and specific methods was established. And then, the systematic solutions on environmental worthiness design could be achieved. An example was given about how to practice finally. This method puts forward a feasible reference method for environmental worthiness design of marine and other kinds of material.

KEY WORDS: marine material; crucial product; environmental worthiness design

收稿日期: 2020-09-19; 修订日期: 2020-09-24

Received: 2020-09-19; Revised: 2020-09-24

作者简介: 赵婉(1976—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为装备通用质量特性设计与验证。

Biography: ZHAO Wan (1976—), Female, Master, Senior engineer, Research focus: general quality characteristics design and verification.

引文格式: 赵婉, 胡彭炜, 程海龙. 基于关键产品把控的舰船装备环境适应性设计对策分析方法[J]. 装备环境工程, 2021, 18(6): 125-129.
ZHAO Wan, HU Peng-wei, CHENG Hai-long. Environmental worthiness design countermeasure analysis method based on crucial product control for marine material[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(6): 125-129.

舰船装备处于典型的人-机-环系统中,该系统是由装备使用与维修保障人员、装备及其人机共处的特定工作环境所组成的复杂系统。舰船装备部署于海洋性气候环境地域,长期承受恶劣海洋性气候环境的影响,特别是艇上设备在海洋航行、训练和作战时,还同时承受着反复舰摇、舰船振动和冲击等力学环境影响,使得舰船装备的环境适应性时刻面临着严峻挑战。

环境适应性设计是减缓环境影响和提高装备环境耐受力的重要工作。对于舰船装备的环境适应性设计,现有文献资料一般均是从两个方面考虑:选择耐环境能力高的材料、元器件、结构件、外购设备或装置;从结构设计上提高装备对预定环境的抵抗能力,或者采取减缓其所在局部环境的严酷度等措施。对于特定舰船装备,在如何分析提出有针对性的环境适应性设计解决对策方面的研究尚不充分,工程上缺乏可行的具体方法。

因此,文中立足当前需求,从分析环境适应性设计基本要求入手,研究提出了以关键产品把控为导向的环境适应性设计对策分析方法,并以某舰船装备为例,给出了分析示例。

1 环境适应性设计对策分析方法

1.1 基本要求

根据环境适应性定义,装备面临的环境是指产品寿命期遇到的最严酷的极端环境^[1-2]。环境适应性设计主要是解决装备在整个寿命期内各种环境下最严酷应力的单独、组合和综合作用下能否生存和正常工作的问题^[3]。

从概念内涵进行分析,按照环境要求开展环境适应性设计,应能保证装备在未来的寿命期环境中可以生存和使用^[4],即在服役环境中,装备首先要“能用”,具备相应的功能。其次在此基础上,最大限度降低寿命期环境中的故障次数,提高“好用”、“耐用”程度。

可以说,对任何装备而言,环境适应性设计与可靠性、维修性等其他通用质量特性设计密不可分^[5],环境适应性相对更具基础性,原则上任何系统、分系统、设备(单机)、部组件等均需要进行环境适应性设计。对于环境适应性薄弱或风险较高的产品,更需加强环境适应性设计与考核验证。比如在故障模式影响分析(FMECA)中被列入关键故障模式清单和单点故障模式清单的产品,需要进一步分析其所处的使用环境及面临的环境因素,分析各种环境因素影响,采取有针对性的环境防护措施。

1.2 方法介绍

遵循装备环境适应性设计基本要求,综合考虑舰船装备系统的复杂性和环境影响,按装备产品层次逐级进行产品环境适应性分析。根据其对上一级产品或

对整个装备功能的影响程度,确定系统、分系统、设备(单机)等的环境适应性关键产品,分析关键产品环境适应性设计关注点或目标,解决环境适应性薄弱环节问题,从而完成整个舰船装备环境适应性设计的系统解决对策。方法流程如图1所示。

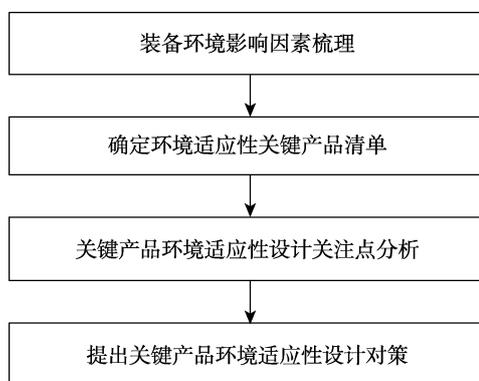


图1 基于关键产品把控的环境适应性设计对策分析方法流程

Fig.1 Environmental worthiness design countermeasure analysis step based on crucial product control

1) 装备环境影响因素梳理。舰船装备使用期寿命由非作战使用和作战使用两个阶段组成,分别梳理两个阶段所面临的自然环境因素和诱发环境因素,为后续各阶段工作奠定基础。

2) 确定环境适应性关键产品清单。在了解舰船装备系统功能及组成的基础上,针对各层次产品,提出关键产品的判定原则:当发生故障时,可能造成人员伤亡、任务失败或重大经济损失的系统和设备等;存在单点故障的系统和设备等;加工的精度要求高、加工周期长、采购难度大、占用资金多、需要重点加强管理的系统和设备等;包含关键设备的系统为关键系统;关键系统中起重要作用的设备为关键设备。根据上述原则确定的产品,以其中对环境最为敏感或环境适应性薄弱的作为本研究的关键产品,形成环境适应性关键产品清单。

3) 关键产品环境适应性设计关注点分析。根据关键产品功能,对照研制任务书或总要求中的使用环境要求、面临的环境因素,进行环境适应性影响因素分析,提出环境适应性设计的主要关注要点或目标,确定该层次产品的环境适应性薄弱环节,作为环境适应性设计需要解决的主要问题。

4) 提出关键产品环境适应性设计对策。在上述分析的基础上,分析建立环境适应性设计关注点、环境要求、影响因素、薄弱环节、控制措施、具体方法等之间的映射关系,形成关键产品环境适应性设计对策,推荐以表格形式进行表述。常用的环境适应性设计具体方法^[6-7]有材料选择与控制、散热设计、强度设计、密封设计、三防设计、排水设计等,具体的方法程序等细节内容可参考相应专业文献资料。在确定具

体的环境适应性设计方法后，针对各层次产品制定相应的环境适应性设计准则，指导设计对策落实到位。

2 方法示例

某舰船装备环境适应性设计既要面向作战使用和战备值班环境，也要考虑岸边贮存以及各种转运环境，更要避免和减缓可能经历的长、短期贮存环境带来的不利影响。通过采用基于关键产品把控的舰船装备环境适应性设计对策分析方法，完成该装备环境适应性设计工作。

2.1 装备环境影响因素梳理

该舰船装备非作战使用阶段是指从该装备验证交付开始，一直到战勤值班为止的这段时间，经受的环境因素以自然环境因素为主，主要包括高温、低温、太阳辐射、潮湿、淋雨、盐雾、沙尘等。

作战使用阶段是指从该装备战勤开机开始，一直到完成作战任务为止的这段时间。经受的环境因素除了包括上述自然环境因素外，还包括油雾、振动、冲击、加速度、噪声、倾斜/摇摆等诱发环境因素。当发生敌我对抗时，噪声干扰、电磁干扰以及爆炸冲击等诱发环境作用尤为突出。

2.2 确定环境适应性关键产品清单

根据环境适应性关键产品的判定原则分析，确定关键产品清单，主要包括空气螺旋桨、垫升风机、空调等产品。由于空调承担着为舱室内的船员和设备提供适宜工作环境的重要角色，空调故障将直接影响人员的战斗力和舰船装备作战效能的发挥，因此，文中以空调为例进行分析说明。

2.3 关键产品环境适应性设计关注点分析

2.3.1 组成与功能

该装备空调由一台室内机与一台室外机组成，其中室内机包括箱体、蒸发器模块、风机模块、压缩机模块、控制模块、配电模块、电加热模块、出风模块、新风模块、回风模块等部件，室外机包括箱体、冷凝器模块、风机模块等部件。

空调装置为舱室提供制冷或制热温湿度调节功能，满足装备在航行、停泊状态下人员的正常工作及设备的正常运行。其应有的具体功能包括：制冷、制热与通风功能；引入新风和接收回风的功能；状态显示及故障报警功能；可靠接地功能。

2.3.2 环境条件要求

根据研制任务要求，该空调装置应在以下环境条件保持不被破坏和功能正常。

1) 自然环境条件。在高温、低温、高湿、盐雾和沙尘等自然环境条件（具体量值略）下，该空调装

置能正常工作或功能不被破坏。

2) 诱发环境条件。在倾斜、摇摆、振动、加速度等诱发环境条件（具体量值略）下正常工作。

2.3.3 分析确定环境适应性设计关注点

艇舱室的内环境是影响舰船装备综合作战能力的重要因素，对船员和设备具有重要影响。舰船舱内在多数情况下是一个高温高湿环境，舱室内部环境不仅闷热不堪，更严重的是结露凝水不断，造成舱内四壁及舱顶滴水，引起金属腐蚀、电气绝缘性能降低、电子设备长霉失效等环境适应性问题。尤其是在热带海域或夏季航行时，或遇到海洋暖流，海水和大气温度较高时，舱室内的高温高湿情况更加严重，不加空调调控的话，温度最高可达 35℃，个别部位温度甚至高达 50℃，相对湿度可达 90%以上。

空调承担着温度调节的重要角色，其本身应有足够高的环境适应性，能够适应舱室湿热负荷的变化。与陆地上的应用环境相比，舰船艇内空调系统应有更强的适应湿热的能力。因此，该装备空调环境适应性设计需重点关注以下 4 个方面：良好的温湿度适应能力（对抗高低温影响）、足够的结构强度（抗过载加速度）、防腐防冲刷能力（抗霉菌、盐雾以及海水、砂砾冲刷）以及噪声控制能力。

2.4 提出关键产品环境适应性设计对策

通过开展上述分析，进一步明确该装备空调环境适应性设计关注点、规定的环境要求、环境适应性影响因素、环境适应性薄弱环节、控制措施、具体方法等，针对该关键产品形成环境适应性设计对策，见表 1。装备研制总体部门，根据该舰船装备各关键产品设计对策，组织制定详细的环境适应性设计准则，指导和约束环境适应性设计对策在整个舰船装备落实到位。

3 结语

环境适应性是装备的一项重要质量特性，直接影响装备作战效能的发挥。装备环境适应性设计是确保装备在其寿命期内发挥应有效能的关键环节，已成为装备研制过程中的重要工作。目前在装备环境适应性设计方面还没有形成完备的方法体系，对于复杂装备如何系统开展环境适应性设计工作，缺乏可操作的方法或工具支撑，影响装备环境适应性水平的提升。文中以某舰船装备为例，提出了按产品层次进行环境适应性分析，根据其上一级产品或对整个装备功能层层剥离出环境适应性关键产品，发现并消除环境适应性薄弱环节隐患，形成环境适应性设计系统解决对策的分析方法，为舰船以及其他装备开展环境适应性设计提供了一种可行的借鉴方法。

表1 某舰船装备空调环境适应性设计对策

Tab.1 Environmental worthiness design countermeasure for a certain marine material air conditioner

序号	设计关注点	环境要求	环境适应性影响因素分析	环境适应性薄弱环节	控制措施	具体方法
1	温湿度适应能力	工作温度：略；不被破坏温度：略；相对湿度：95%	低温影响：可能导致风机、压缩机内润滑剂凝固和结晶，影响润滑功能；低温导致材料的硬化和脆化，尤其是低温长时间贮存 高温影响：高温造成润滑剂粘度降低或润滑剂外流造成连接处润滑能力降低；导致各连接垫片变形或失效；高温和太阳辐射导致室外机尤其是箱体材料老化 湿度影响：湿度可能导致蒸发器、压缩机、冷凝器模板出现过多冷凝水，造成更加恶劣的腐蚀环境	润滑剂性能；润滑系统密封性；蒸发器、压缩机、冷凝器等密闭空间排水设计；室外机防护性能	选择合适的润滑剂；加强润滑系统密封设计 ^[8] ；蒸发器、压缩机、冷凝器等密闭空间加强排水设计，比如增加排水斜坡或排水孔 ^[9-10] ；加强室外机材料选择与表面防护体系设计 ^[11-12]	材料选择与控制；密封设计；排水设计；三防设计
2	防腐防冲刷能力	防盐雾：室外盐雾含量（略）；室内盐雾含量（略）；防砂冲刷，室外机应在含砂浓度（略）、砂粒直径（略）环境中正常工作	盐雾影响：加速金属腐蚀、绝缘材料腐蚀、防护涂层破坏等，导致电加热模块、风机模块出现盐粒结晶，导致功能异常 霉菌影响：霉菌与湿度、温度联合作用，对材料造成直接或间接侵蚀，材料物理性能的劣化 沙尘影响：造成暴露在外的室外机机箱表面磨损和磨蚀，风机活动部件卡住和（或）受阻碍等	材料的耐腐蚀性；桨叶、整流罩、部分奖毂等外露部分表面防护涂层强度	选用耐蚀性优的材料；加强表面防护设计，选用恰当的表面防护体系；加强使用维护，及时清理盐粒相关要求 ^[13] ，维护过程中注意涂层保护 ^[14]	材料选择与控制；三防设计；在使用维护手册中明确相关要求
3	足够的结构强度	倾斜和摇摆：纵倾（略）、横倾（略）、纵摇（略）、横摇（略）；能承受航行时引起的船体振动及其他机械工作时的局部振动	强烈的、持续时间较长的冲击、振动、倾斜和摇摆等诱发环境会导致导线磨损、结构裂纹或断裂、轴承磨损、紧固件/元器件松动、焊点脱落等 较大的瞬时加速度可能引起结构变形或断裂活动部件或转动机构卡死等	导线强度；导线焊点；壳体、轴承、同步驱动机构、液压转动装置的结构强度；润滑系统密封性	室外机加固；加强室内外风机结构强度、局部尤其是连接处进行减震处理；加强润滑系统密封性	结构设计；强度设计；密封设计
4	噪声控制	任务书中没有明确要求	噪声对船员的工作效率和身体健康都有不利的影响	风机、压缩机	降低工作噪声	减噪和降噪设计

参考文献：

- [1] MIL-STD-810G, Test method standard for environmental engineering consideration and laboratory test[S].
- [2] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [3] 祝耀昌. 装备环境工程技术及应用[J]. 装备环境工程, 2005, 2(6): 1-9.
- [4] 祝耀昌, 张建军. 武器装备环境适应性要求、环境适应性验证要求和环境条件及其相互关系的讨论(一)[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(1): 1-6.
- [5] ZHU Yao-chang, ZHANG Jian-jun. Relationship among environmental adaptability requirements, verification requirements of environmental adaptability and environmental conditions (part one)[J]. Spacecraft environment engineering, 2012, 29(1): 1-6.
- [6] 熊长武. 装备环境适应性设计思想变革与实践[J]. 装备环境工程, 2014, 11(2): 20-25.
- [7] XIONG Chang-wu. Transformation and practice of equipment environmental adaptability design ideas[J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(2): 20-25.
- [8] 郑卫东, 冯东辉. 舰船武器装备环境适应性技术[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(1): 56-60.
- [9] ZHENG Wei-dong, FENG Dong-hui. Environmental adaptability technology of ship weapon equipments[J]. Ship science and technology, 2007, 29(1): 56-60.

- [7] 王晓慧, 王丽. 武器装备防霉措施和试验技术探讨[J]. 航空标准化与质量, 2003(2): 38-42.
WANG Xiao-hui, WANG Li. Discussion on measures and test technology of weapon equipment mould prevention[J]. Aeronautic standardization & quality, 2003(2): 38-42.
- [8] ANEES U M, SHAHREER A, ISMAEEL A, et al. Corrosion behavior of steels in Gulf seawater environment[J]. Desalination, 1999, 123: 205-213.
- [9] SCHMIDT D P, SHAWA B A, SIKORA E, et al. Corrosion protection assessment of sacrificial coating systems as a function of exposure time in a marine environment[J]. Progress in organic coatings, 2006, 57: 352-364.
- [10] MIL-STD-210, Climatic information to determine design and test requirements for military systems and equipment[S].
- [11] MIL-HDBK-1568, Materials and processes for corrosion prevention and control in aerospace weapons systems[S].
- [12] 胥泽奇, 张世艳, 宣卫芳. 装备环境适应性评价[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 54-59.
XU Ze-qi, ZHANG Shi-yan, XUAN Wei-fang. Environmental worthiness evaluation of equipment[J]. Equipment environmental engineering, 2012, 9(1): 54-59.
- [13] 蔡良续, 龙德中, 宋小燕. 温度环境试验及其标准综述(一)温度对装备的影响及温度试验的重要性[J]. 环境技术, 2004(4): 93-96.
CAI Liang-xu, LONG De-zhong, SONG Xiao-yan. Review of temperature tests and relevant standards (part one) influence of temperature on equipment and importance of temperature tests[J]. Environmental technology, 2004(4): 93-96.
- [14] 庞志兵, 高强, 魏赫. 提高武器装备环境适应性对策研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 68-76.
PANG Zhi-bing, GAO Qiang, WEI He. Research on environment adaptive countermeasures for weapons and equipment[J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(1): 68-76.