

浅议水雷寿命期内环境条件和边界参数

郭勍¹, 何光进^{2*}

(1. 海军装备部驻西安地区军事代表局, 西安 710000;

2. 海军装备部驻广州地区军事代表局, 广州 510320)

摘要: 针对水雷全寿命剖面中环境变量的边界参数进行了深入探讨, 为确定水雷全寿命剖面的环境条件边界参数提供了新的研究方向。以确定舰船部署水雷的环境边界参数为案例进行了深入探讨, 特别关注了这类水雷在其整个生命周期中的环境条件边界参数, 并据此构建了一套用于确定其环境条件边界参数的策略, 为水雷产品在其生命周期中环境条件边界参数的确定提供了新的研究方向, 这将有助于推动水雷环境工程分析技术的进步, 能够更准确地评估水雷的性能和可靠性, 从而为水雷的设计和应用提供科学依据。为了进一步提高水雷装备的可靠性和水雷环境工程分析技术, 需要对现有的研究思路进行深化和完善, 并将其应用于水雷环境条件边界参数的确定过程中, 从而为装备建设提供更为坚实的技术支持和依据。

关键词: 水雷; 寿命期剖面; 环境剖面; 自然环境; 诱发环境; 环境数据库

中图分类号: TJ631

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2024)04-0062-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2024.04.008

A Brief Discussion on Environmental Conditions and Boundary Parameters During Service Life of Naval Mines

GUO Qing¹, HE Guangjin^{2*}

(1. Military Representative Bureau of the Naval Equipment Department in Xi'an, Xi'an 710000, China;

2. Military Representative Bureau of the Naval Equipment Department in Guangzhou, Guangzhou 510320, China)

ABSTRACT: The work aims to study the boundary parameters of environmental variables in the whole life profile of naval mines in detail to provide new research directions for determining the boundary parameters of environmental conditions in the whole lifespan profile of mines. Focusing specifically on naval deployment of mine, an in-depth exploration into the environmental boundary parameters during its entire life cycle was conducted to formulate a strategy for determining these environmental condition boundary parameters. This study provides fresh research directions for the determination of environmental boundary condition parameters of mine product life cycle and contributes to the development of mine environmental engineering analysis technology. This enhancement enables a more accurate assessment of the performance and reliability of naval mines, thus providing a scientific basis for their design and application. In order to further improve the reliability of mine equipment and the analysis technology of mine environmental engineering, it is necessary to deepen and refine existing research ap-

收稿日期: 2023-11-20; 修订日期: 2024-03-06

Received: 2023-11-20; Revised: 2024-03-06

基金项目: J 队装备综合研究项目 (HJ20172A05387)

Fund: Comprehensive Research Project of Military Equipment (HJ20172A05387)

引文格式: 郭勍, 何光进. 浅议水雷寿命期内环境条件和边界参数[J]. 装备环境工程, 2024, 21(4): 62-67.

GUO Qing, HE Guangjin. A Brief Discussion on Environmental Conditions and Boundary Parameters During Service Life of Naval Mines[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(4): 62-67.

*通信作者 (Corresponding author)

proaches, and apply them to the determination of environmental boundary condition parameters in naval mines, so as to provide more powerful technical support and demonstration for equipment construction.

KEY WORDS: naval mine; life cycle profile; environmental profile; natural environment; induced environment; environmental database

随着科学技术的不断发展,水雷武器所面临的自然环境越来越复杂,各种环境要素也更加多样化。水雷武器在其使用过程中会受到温度、湿度、盐雾、霉菌、腐蚀、振动、颠簸、冲击、电磁干扰等多种恶劣环境因素的影响^[1-3],这些因素对水雷武器构成了巨大的威胁,可能导致其失效。此外,由于自然环境变化速度极快,任何一种新材料、新工艺都不可能短期内得到广泛应用,而水雷武器作为典型的高技术密集型武器装备,它又具有很强的时效性。战争已经发展为一个现代化、全天候、多维度的复杂环境,这对水雷武器的环境适应性提出了更高的标准^[4-11]。同时,随着科学技术的发展,越来越多的新技术被应用到水雷武器中来。本文主要针对水雷在不同时期的典型工

作状态以及特殊使用环境下所产生的一些环境问题进行了分析,探讨了水雷在其生命周期中所经历的各种事件环境,并对其中的极端环境状况进行了分析。为水雷武器的环境适应性设计提供技术指导,增强其环境适应能力。

1 水雷寿命期剖面

按照 GJB 4239^[12]的定义,水雷产品从出厂到退役(包括报废)的过程中,相关事件和条件的时间历程被称为寿命期剖面。水雷产品的寿命期应该包括产品在其一生中经历的所有阶段,如包装、装卸、运输和储存等。水雷武器的典型全寿命剖面如图 1 所示。

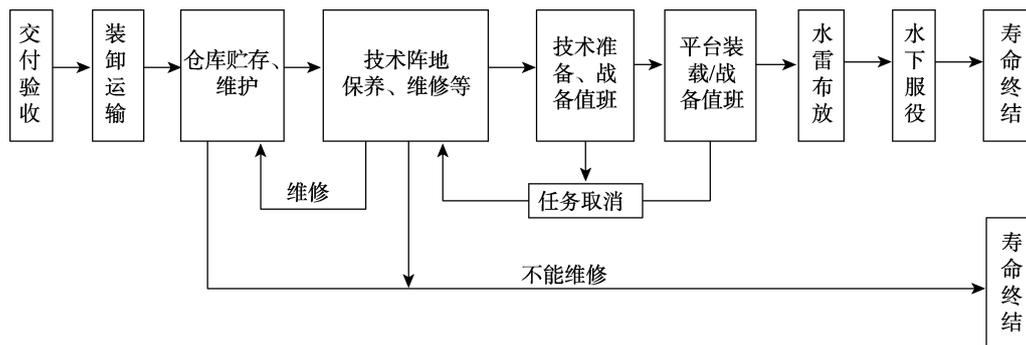


图 1 水雷武器典型全寿命剖面
Fig.1 Typical life profile of mine weapon

2 环境剖面构建及环境条件判定思路

水雷武器寿命期剖面所对应的环境类型和它们对时间序列的描述称为寿命期环境剖面。产品寿命期环境剖面中,最难确定的是各环境条件的量值。因此,环境分析工作作为进行环境适应性设计与环境适应性试验的基础与依据,可以从环境数据库、自然环境因素相关数据标准以及同类设备已有数据中获取。对水雷武器产品的设计和验证,环境量值需求的制定显得尤为重要。构建水雷产品全寿命环境剖面时,既需要确定剖面内部自然环境、诱发环境状况和其他环境状况的量值,又需要确定其持续时间,其具体方法如下:

1) 解析研制文件。一般研制文件中都包含了水雷寿命期的部分信息以及环境信息,有些信息可以应用于环境剖面中,另外研制文件中还包含了一些隐含信息。这些数据提供了环境剖面进一步细化的线索,如全寿命环境因素的持续时间需求可通过研制文件

中的任务描述进行分析。

2) 相似产品分析。寿命期环境剖面中环境因素一般都可以通过分析获得,环境因素的具体信息一般很难直接获取。当开发文件未提供数据而实测又不可行时,可以利用环境剖面中的接近环境数据,而接近环境数据即可以从过去同类型机型中取得,也可以直接使用自然或者诱导环境条件下的相似信息。

3) 分析文献数据。在缺少实测和相似环境数据的情况下,也可以采集相关标准文献的历史数据作为环境剖面中的数据,一般没有特殊要求的情况下可以利用文献数据进行研究。

4) 测量数据处理。对一些特殊要求环境条件与机型服役过程密切相关,需要时需要进行一定测量以获取真实数据。

由图 1 可看出,水雷武器全寿命期剖面中的重大环境事件有装卸运输、仓库储存和维修、技术阵地的保养和维修、技术准备和阵地的战备值班、平台装载和平台战备值班、水雷布放、水下服役和打击目标等

7个环境事件。参考有关标准中规定的各项要求,其所处环境条件分别如表1所示,说明了水雷全寿命期

内发生在剖面上的各种环境事件,及对应的诱发环境,可作为水雷环境工程分析提供指导。

表1 水雷寿命期环境因素分析
Tab.1 Analysis of environmental factors during mine life

寿命阶段事件	相应诱发环境	相应自然环境
装卸运输	公路 道路冲击(大颠簸,大坑洼)、道路振动(随机)、装卸冲击(跌落/翻到)等	高温(干/湿)、低温、湿热、淋雨/冰雹、沙尘等
	铁路 铁路冲击、铁路振动、装卸冲击(跌落/翻到)等	高温(干/湿)、低温、湿热、淋雨/冰雹、沙尘等
	船运 波浪正弦冲击、波浪诱发振动(正弦)、装卸冲击(跌落/翻到)等	高温(干/湿)、低温、湿热、淋雨、临时浸渍盐雾等
仓库贮存、维护	无	高温(干/湿)、低温、霉菌、化学侵蚀等
技术阵地保养、维修	搬运环境产生的冲击和振动等。	同上
技术准备、战备值班		同上
平台装载、战备值班	水面舰船 波浪诱发振动(正弦)、发动机诱发振动、波浪冲撞冲击、电磁干扰等	高温(干/湿)、低温、淋雨、盐雾、太阳辐射、长霉、化学侵蚀等
	潜艇 波浪诱发振动(正弦)、发动机诱发振动、波浪冲撞冲击、电磁干扰等	高温、低温等
水雷布放	水面舰船 布放冲击等	同上
	潜艇 发射冲击等	同上
水下服役、打击目标	火箭上浮水雷诱点火上浮冲击、静水压、海洋噪声等	高温、低温、海流、风浪、化学侵蚀、海生物附着等

2.1 装卸运输阶段的环境条件参数的拟定

水雷产品在装卸和运输过程中,主要受到自然环境和诱发环境两大因素的影响。尽管装卸运输阶段存在许多有害的环境因素,但在大多数情况下,只有少数因素起到了作用。很多这样的因素在某些恶劣或温和的环境条件下并没有展现出明显的效果。在所有因素中,装卸过程中的跌落、振动和冲击对水雷产品的影响最为显著,紧随其后的是高温、低温、高湿度以及太阳辐射的影响。

2.1.1 自然环境因素

根据表1,水雷装卸运输自然环境为高温、低温、湿热、淋雨/冰雹和沙尘,如无特殊要求,装卸运输所用量值可根据国军标的自然环境条件制定,建议根据GJB 1172《军用设备气候极值》^[18]、GJB 14597《电工产品不同海拔的气候环境条件》^[21]和GJB 1060《舰船环境条件要求》^[19]环境规定要求制定。水雷通常是水密舱室,且水密性较强,在自然环境中,淋雨-冰雹、沙尘可不予考虑,现只对高温、低温、湿热环境条件参数进行分析和确定。水雷使用区域的海拔一般不会超过1 000 m,因此水雷的运输建议是按照-40℃的低温标准和封闭舱室70℃的高温标准来进行。湿热对不同运输方式具有不同的湿热温度,对于II类汽车运输,为45℃、95%,水路运输为45℃、95%,铁路运输为30℃、95%。

2.1.2 机械诱发环境因素

装卸运输诱发环境如无特殊要求,可参照GJB 150《军用设备环境试验方法》^[13]和GJB 3493《军用物资运输环境条件》^[14]产品装卸运输环境因素进行识别,主要包括公路、铁路和水路运输。

1) 公路运输引起的机械环境因素。公路运输环境下主要考虑振动和冲击等有关因素。振动环境的主要来源有路面激励,运输车辆的发动机传动系统及相关附件工作,而路面激励最严酷;冲击环境一般产生于路面不平整、起动、停车、碰撞。水雷运输通常是在3级及3级以上道路上完成,所以可以按照标准中3级公路运输来分析公路运输环境量值。

2) 铁路运输引起的机械环境因素。铁路运输环境同样涉及振动、冲击等诸多因素。在铁路运输过程中,由于轨道不均匀,接触点不连续和车轮不规则等几种不同振动源诱发垂直振动。锥形车轮切轨面,凸缘及轨道均会引起横向振动现象,因起动及牵引时忽紧忽松而引起纵向振动现象。相对于另外2个方向,垂直方向上振动更强烈,特别是低频区域。根据GJB 3493《军用物资运输环境条件》的相关规定,水雷铁路在运输振动环境中,铁路的随机振动在垂直方向上达到最大值,而其总均方根加速度为1.6g。铁路运输产生冲击刺激的原因有换轨、调车场、制动、车钩系统间隙产品撞击等。在调车场与车轮执行挂钩操作的情况下,2个车厢可能会以不超过20 km/h的速度发

生碰撞,这种碰撞的最大加速度可以达到30g~50g。根据GJB 3493《军用物资运输环境条件》的相关规定,水雷铁路运输的冲击环境中,冲击响应的峰值加速度应当被设定为30g。

3)水上运输引起的环境因素。水上交通所处环境,主要包括机械设施等各类环境。船舶所处机械环境如螺旋桨,运输工具,辅助设备及波浪等均会引起振动现象。船舶和水的相互作用涉及碰撞,撞击和船舶活动引起的波浪现象等。撞击是指船首驶离海面时船底遇水而产生的碰撞现象,冲击描述当船底全部浸没在水中时船和波浪碰撞。水雷的水上运输振动环境因素可以根据GJB 3493《军用物资运输环境条件》进行分析。该标准规定运输船和军辅船的振动主要是正弦振动,其中运输船的加速度可以达到0.7g,而军辅船的加速度可以达到1g。水上运输重接环境下,冲击响应谱最大加速度达10g,故冲击量值可以按GJB 4000《舰船通用规范》^[15]及GJB 1060《舰船环境条件要求》来分析给定。

2.2 仓库贮存/维护环境条件的拟定

水雷产品入库和维护的时间很长,可以达到几十年。在这一过程中,各种环境因素对水雷产品质量都有影响,但主要是温湿度变化,更容易导致产品失效或失灵。产品在维护过程中会受到短暂和迅速的冲击和震动,但这些机械属性在存储阶段并不是最关键的,真正发挥作用慢的是温度和其他自然环境条件^[22-23],以及湿度较大、微生物入侵和其他因素可能损害产品。水雷产品所处使用环境特殊,其对储存设备及系统提出了更高的性能需求。按照GJB 2770的《军用物资贮存环境条件》^[16]以及GJB 78A—2002的《水雷库存条件》^[17]规定,水雷产品通常储存在具有防潮、防热、防冻、防雷、防洪、防火、防雨、防虫、防毒、防腐、防辐射、防电磁、防盐雾等环境防护功能的仓库。因此,贮藏期间温度和湿度这2个主要气候因素对产品贮藏状态的影响极为明显。在标准规定中,水雷产品的存储温度和湿度的极限值分别是低温-40℃、高温70℃和湿热(40℃、70%)。但是这些水雷产品通常被储存在条件比较优越的洞库里,因此建议的存储温度范围是低温5℃和高温30℃,而湿度则应控制在(40℃、70%)。

2.3 技术阵地存放、保养、维修等环境条件的拟定

在技术阵地环境条件选择中,也是主要考虑温度与湿度,可参照库房存储环境进行管理,对机动技术阵地可依据产品实际运行温度进行决策。就技术阵地战备值班对霉菌要求而言,可按GJB 150《军用设备环境试验方法》选用适宜菌种,对盐雾要求较高。然后依据所采用技术阵地的盐雾环境对水雷技术阵地

盐雾所需量值,按GJB 150《军用设备环境试验方法》规定进行测定。

2.4 平台装载和战备值班环境条件拟定

在水雷武器平台的装载和战备值班环境中,必须考虑水雷武器在该平台上可能受到的温度、湿度、振动和冲击等多种因素的影响。另外,盐雾、霉菌等判定方法同技术阵地战备值班环境一样重要。需要对上述问题进行研究和解决,以使得装备能够发挥预期效能,判定方法可以借鉴第2.3节方法的准则。

1)水面舰船上。水面舰船搭载及战备值班所需要的气温、湿热、振动及冲击环境条件可以参考水路运输需求来决定,鉴于战备值班持续时间较长,需要按照GJB 150《军用设备环境试验方法》的标准进行添加盐雾及霉菌要求。

2)潜艇上。潜艇装载及战备值班时温度、湿热、振动、冲击环境状况判定按HJB 204《舰艇电子装备抗恶劣环境设计要求》分析。同样,考虑到战备值班的时间相对较长,需要按照GJB 150《军用设备环境试验方法》增加盐雾和霉菌的使用。

2.5 水雷布放环境条件拟定

水雷布放有很多布放平台,如以水面舰船和潜艇为例,受环境条件影响较大的是舰船布放以及潜艇出管冲击载荷的影响,该数据可根据试验进行测量,也可参考现役产品指标。二是产品在发射后总体分离和系留过程中产生的振动和冲击,经测量,其值远小于舰船布放以及潜艇出管冲击载荷的值,所以平台布放通常根据舰船布放以及潜艇出管过程中所受到的冲击环境载荷为主要依据,来拟定水雷在布放过程中所受的冲击载荷的量值参数。

2.6 水下服役环境条件拟定

水下服役以化学侵蚀、海生物附着、静水压、海洋噪声环境、海流与风浪作用为主,其次为高温与低温。化学侵蚀、海生物的附着大多表现在结构对海水电介质的耐蚀、结构强度的降低和断裂破损等方面,也有传感器因海生物的附着造成的性能劣化、结构动作件卡死等问题;静水压将影响制品水下服役时的结构强度;海洋中的噪声环境、海流和风浪是确保目标探测系统正常工作的关键因素。因此,水下服役环境条件较为复杂,在设计时一般参考任务书下达的指标要求或GJB 1819《水雷通用规范》^[20]等标准的要求进行环境条件的拟定。

3 某舰船布放水雷环境条件拟定示例

以某舰船上的水雷为示例,利用上述水雷全生命周期剖面环境条件分析及参数拟定方法,对该种水雷的环境条件及环境条件边界参数进行拟定。

3.1 自然环境参数分析拟定示例

按照上述方法该水雷与自然环境有关的使用环境和存储环境、战备值班环境、运输环境等较恶劣环境条件进行剖析。自然环境条件中,其运输及战备值班环境较为恶劣。如研制任务书无自然环境输入条件的情况下,可依据该水雷运输环境及值班环境的有关标准初步判断。

根据运输剖面相关的 GJB 3493《军用物资运输环境条件》,该水雷非工作时的温度和环境条件被设定为 $-50\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,而湿热是 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、95%。依据该水雷需要在水面舰船上进行值班,因此按照 GJB 4000—2000《舰船通用规范》的相关规定,其非工作温度应在 $-30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,而湿热应为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、95%。对上述2种环境条件,初步判断出非工作温度条件参数为 $-50\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,非工作湿度环境条件参数($45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、95%)。

参照该型号水雷工作场所特定环境,工作温度、湿度以舰船战备值班、水下服役环境事件为主进行分析,其中舰船甲板执勤对温度环境条件要求比较苛刻。该水雷工作部位均在水雷外壳内,类似舰船甲板有气候保护功能舱室环境。考虑到 GJB 4000—2000《舰船通用规范》中舱室的工作温度范围是 $-10\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,而湿热是 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、95%,可将该温度和湿热的环境参数作为该型水雷的工作温度和湿热的环境参数。

3.2 机械环境参数分析拟定示例

确定机械环境条件^[24-26]的方法和确定自然环境的方法有很多相似之处,但在确定机械环境时,还需要考虑产品在实际工作中所处的机械环境,比如其内部的机械环境。该水雷为水面舰船布放型,它主要以运输振动为主,颠簸触发的机械环境。因产品在输送过程中要经过公路、铁路及水路3种不同输送环境,而每种输送平台振动及颠簸机械环境又具有特定严格性,3种不同平台运输环境均需分别评价。

依据上述拟定思路中提供的 GJB 3493《军用物资运输环境条件》和 GJB 4000—2000《舰船通用规范》及其他有关标准分析,该型水雷在水面舰船运输过程中对机械环境诱发的环境条件要求最高。因此,参照标准中水面舰船的机械环境要求进行拟定,其振动环境的量值为 $1\sim 16\text{ Hz}$ 的位移幅度和 $16\sim 60\text{ Hz}$ 的加速度幅度;颠簸环境量值为 $70\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$,次数不少于3 000。产品的冲击一般以该产品者大型火工部件工作过程中冲击试验测定值为准。

3.3 其他环境条件参数分析拟定示例

用于确定其他环境状况的手段与之前提到的方法在多个方面具有相似性。除研制任务书等文件规定外,需在深入分析其全寿命环境条件之后,依据有关准则或实验数据作出决策。

4 结语

本文对水雷全寿命周期内的各类事件及环境条件参数进行分析,理清水雷各阶段面临环境条件。对于水雷,研制人员科学、合理地环境适应性设计和制定环境试验方案,保证水雷产品在全寿命周期中经受住各种环境考验、维持战备完好性、完成任务的成功性等方面都有很大的指导意义。探讨了水雷武器各环节对环境条件参数量值的确定思路,对设计人员具有重要借鉴与指导作用,提高水雷环境适应性与可靠性。

目前水雷环境工程的分析研究较少,一方面,水雷环境工程分析缺少系统性、完整性基础研究及环境数据库。另一方面,设计人员及管理层对于水雷环境工程分析认识不到位,没有标准化工作方式与标准,给环境工程工作的实施带来一定障碍。

要改善水雷环境工程分析现状,首先,应加强水雷环境适应性基础研究及环境数据库建设,采集环境数据更加丰富,分析更加准确可靠。其次,对水雷环境工程工作标准化模式进行论述,制定统一工作规范与流程,促使水雷环境工程分析更加高效与一致。此外,还需深化与相关行业的合作与交流,吸取其他领域的宝贵经验和先进技术,以推动水雷环境工程的持续进步。通过对水雷环境工程分析研究与实践的进一步改进,能够提升水雷武器性能与可靠性,保障该武器在复杂作战环境下的效能。

参考文献:

- [1] 张涛,汪波.水雷装备橡胶密封件贮存寿命预测方法研究[J].中北大学学报(自然科学版),2010,31(5):448-451.
ZHANG T, WANG B. Research on Predict Method of the Storage Life about Mine Rubber Seal[J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2010, 31(5): 448-451.
- [2] 陈亚芳,王保国,张景林.某型水雷装药的安全贮存寿命的实验研究[J].四川兵工学报,2009,30(3):25-26.
CHEN Y F, WANG B G, ZHANG J L. Experimental Study on Safe Storage Life of a Certain Mine Charge[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2009, 30(3): 25-26.
- [3] 张涛,汪波.水雷保险器水压膜贮存寿命预测[J].数理统计与管理,2011,30(1):178-184.
ZHANG T, WANG B. The Prediction on the Storage Life about Mine Insurance Device[J]. Journal of Applied Statistics and Management, 2011, 30(1): 178-184.
- [4] 王毅刚,吴碧,季锋.水雷可靠性样本量确定方法探讨[J].水雷战与舰船防护,2011,19(1):18-21.
WANG Y G, WU B, JI F. Research on the Determination of the Reliability Sample Size of Mine[J]. Mine Warfare

- & Ship Self-Defence, 2011, 19(1): 18-21.
- [5] 王大可, 马亮, 秦楠. 基于部件危害度的自航水雷贮存可靠性分析[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(5): 49-53.
WANG D K, MA L, QIN N. Analysis of Self-Propelled Mine Storage Reliability Based on Component Criticality Method[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(5): 49-53.
- [6] 倪华, 余湖清. 国外潜布水雷的现状与发展趋势[J]. 水雷战与舰船防护, 2013, 21(2): 1-8.
NI H, SHE H Q. Current Status and Development Trends of Submarine Laid Mines Abroad[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2013, 21(2): 1-8.
- [7] 高峰, 董忠臣, 高顺林. 水雷装备系统战备完好性研究[J]. 水雷战与舰船防护, 2014, 22(2): 26-29.
GAO F, DONG Z C, GAO S L. Operational Readiness of Mine Materiel System[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2014, 22(2): 26-29.
- [8] 侯发林, 罗晓强, 周玉隆. 论水雷“六性”试验现状及对策[J]. 水雷战与舰船防护, 2016, 24(4): 56-58.
HOU F L, LUO X Q, ZHOU Y L. Status Quo and Corresponding Strategies of “Six Features” Tests of Mine[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2016, 24(4): 56-58.
- [9] 邓南明, 闫锐兵. 一种基于加速寿命试验的水雷寿命预估方法[J]. 水雷战与舰船防护, 2012, 20(2): 36-38.
DENG N M, YAN R B. A Mine Life Prediction Methodology Based on Accelerated Life Test[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defence, 2012, 20(2): 36-38.
- [10] 米庆, 刘立明, 高洪林. 某型自航水雷动力推进系统尾轴组件寿命分析[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(9): 143-144.
MI Q, LIU L M, GAO H L. Life Analysis of Assembly Certain Type of Self-Propelled Mine Tail Shaft[J]. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(9): 143-144.
- [11] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
ZHU Y C. Introduction to Product Environmental Engineering[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003.
- [12] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, General Requirement for Materiel Environmental Engineering[S].
- [13] GJB150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB150A—2009, Laboratory Environmental Test Method for Military Materials[S].
- [14] GJB 3493—1998, 军用物资运输环境条件[S].
GJB 3493—1998, Transport Environmental Conditions for Military Materials[S].
- [15] GJB 4000—2000, 舰船通用规范[S].
GJB 4000—2000, General Specifications for Naval Ships[S].
- [16] GJB 2770—1996, 军用物资贮存环境条件[S].
GJB 2770—1996, Storage Environmental Condition for Military Material[S].
- [17] GJB 78A—2002, 水雷库存要求[S].
GJB 78A—2002, Requirements for Mine Storage[S].
- [18] GJB 1172—1991, 军用设备气候极值[S].
GJB 1172—1991, Climatic Extremes for Military Equipment[S].
- [19] GJB 1060—1991, 舰船环境条件要求[S].
GJB 1060—1991, General Requirement for Environmental Conditions of Naval Ships[S].
- [20] GJB 1819—1993, 水雷通用规范[S].
GJB 1819—1993, General specification for mine[S].
- [21] GJB 14597—2010, 电工产品不同海拔的气候环境条件[S].
GJB 14597—2010, Environmental Climatic Conditions Appearing in Different Altitudes for Electrical Products[S].
- [22] 张志豪, 舒畅, 王竞成. 自然环境因素对铝合金大气腐蚀的影响性研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(12): 156-162.
ZHANG Z H, SHU C, WANG J C. Effect of Natural Environmental Factors on Atmospheric Corrosion of Aluminum Alloys[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(12): 156-162.
- [23] 牛跃昕, 穆希辉, 杨振海. 自然贮存环境下某型控制舱贮存寿命评估[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 7-11.
NIU Y T, MU X H, YANG Z H. Storage Life Assessment for A Certain Type of Control Cabin Accelerometer in Natural Storage Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(4): 7-11.
- [24] 卢丽金, 沈祖辉. 浅谈军用飞机外挂系统机械环境适应性设计鉴定流程[J]. 装备环境工程, 2020, 17(9): 194-199.
LU L J, SHEN Z H. Appraisal Procedure for Mechanical Environment Adaptability Design External Hanging System of Military Aircraft[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(9): 194-199.
- [25] 徐静, 赵毅, 潘勇, 等. 基于GB/T 38924—2020民用轻小型无人机系统环境试验方法浅析[J]. 装备环境工程, 2022, 19(2): 78-84.
XU J, ZHAO Y, PAN Y, et al. Simple Analysis of Environmental Test Method for Civil Light and Small Unmanned Aerial Vehicle System Based on GB/T 38924—2020[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(2): 78-84.
- [26] 樊薇薇, 吴世华, 王永玲, 等. 舰船装备的机械环境试验标准探析[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 98-103.
FAN W W, WU S H, WANG Y L, et al. Analysis of Mechanical Environment Test Standards for Ship Equipments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 98-103.