

环境及其效应

热带海洋环境下舰艇携行弹药的环境效应分析

倪震明¹, 赵方超², 肖勇², 罗天元², 蒋黎³, 王艳艳²

(1.海军装备部, 成都 610100; 2.西南技术工程研究所, 重庆 400039;

3.陆军重庆军代局, 重庆 400060)

摘要: 分析了我国东海、南海和印度洋亚丁湾海域的气候环境特征, 在此基础上, 结合弹药在舰艇上的存放/使用位置分析, 得出了环境因素对不同位置舰艇携行弹药的影响程度。鉴于环境因素对弹药的环境影响效应是综合性的, 以弹药防护包装、弹体、装药、引信等分系统为对象, 分别开展了环境效应分析, 综述了其在热带海洋环境下的环境效应。建议加强舰艇携行弹药局部环境监测、损伤效应与机理研究, 并建立数据库, 为我军舰艇携行弹药环境适应性设计与验证、环境控制措施和维护保养措施制定提供数据基础, 支撑我国海军不断走向深蓝。

关键词: 热带海洋; 舰艇携行; 弹药; 环境效应

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.06.018

中图分类号: TJ410

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)06-0093-06

Environmental Effects of Shipborne Ammunitions in Tropical Marine Environment

NI Zhen-ming, ZHAO Fang-chao, XIAO Yong, LUO Tian-yuan, JIANG Li, WANG Yan-yan

(1.Navy Equipment Department, Chengdu 610100, China; 2.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China; 3.Department of Military Representative Bureau of Army in Chongqing, Chongqing 400060, China)

ABSTRACT: Climatic characteristics of the east China sea, the south China sea and the gulf of Aden were analyzed. On this basis, the effect degree of environmental factors on shipborne ammunitions in different positions was obtained by analyzing storage and using positions of shipborne ammunitions. Since the effect of environmental factors on ammunitions was comprehensive, the environmental effects of different subsystems of ammunitions such as protective packing, shell, charge, fuze, etc. were respectively analyzed. The environmental effects in tropical marine environment were summarized. Research on local environmental monitoring, damage effect and mechanism should be enhanced, and the database should be established. All these research results can provide the data base for environmental worthiness, environmental worthiness verification, environmental control measures and maintenance measures of shipborne ammunitions. Finally, the research results can support our navy constantly moving toward deep blue.

KEY WORDS: tropical marine; shipborne; ammunition; environmental effect

环境适应性是指装备(产品)在其寿命期内预计可能遇到的各种环境的作用下能实现其所有预定功能和性能(或)不被破坏的能力,是装备(产品)的重要质量特性之一^[1]。2008年以来,我国海军战略正由近海防御向近海防御与远海护卫相结合转型^[2],南

海实战化训练、亚丁湾护航、赴远海远洋参与联合军事演习等军事活动的增加,对我海军装备的环境适应性要求也越来越高。

舰艇携行弹药是舰艇实现作战毁伤的重要物资。水面舰艇一般携带反舰导弹、防空导弹、炮弹、深水

炸弹、鱼雷、干扰弹、轻武器弹药等,随舰航行时长期经受海洋高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射、霉菌、冲击等因素构成的恶劣环境影响^[3-5],面临的存放/使用环境远比陆地库房贮存或户外使用环境复杂恶劣,容易引发密封弹药包装密封破坏、防护层腐蚀、电子部件可靠性降低、装药失效等环境适应性问题。因此对舰艇携行弹药服役海域环境和存放/使用平台环境进行分析,梳理得出主要环境影响因素,进而开展环境效应分析研究十分必要。

文中以我海军活动频繁的我国东海、南海和印度洋亚丁湾海域等热带/亚热带海洋气候环境为背景,分析了服役海域环境特征,结合舰艇平台环境,分析得出了影响携行弹药性能的主要环境因素,进而以分系统为对象分别开展了环境效应分析。

1 服役环境分析

1.1 海域环境特征分析

文中涉及的三大海域较为靠近赤道,纬度低,终年盛行热带海洋气团,具有高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射“三高一强”的显著特征。

1.1.1 高温

我国东南沿海和亚丁湾海域冬夏季风交替明显,其中东海及南海小部分地区为亚热带海洋区,南海大部及亚丁湾海域属热带海洋区^[5-6],常年高温是它们的共同特征。资料显示,我国东海、南海年平均温度为16.3, 24℃,气温高于30℃的天数分别超过53, 160 d^[4],西沙永兴岛实测年平均温度达到27.3℃。亚丁湾海域月平均海表温度都在26℃以上^[7],在夏季(5月份—8月份),大气、海水温度最高时可达35℃以上,平均比南海高5~7℃。

1.1.2 高湿

三大海域的年平均湿度和降雨量对比见表1。高相对湿度形成的原因主要有:较高的空气温度和强太阳辐射为海水向空气中蒸发创造了有利条件;对于东海、南海地区而言,降水量大和降水频次高也是造成海域湿度常年较高的另一重要原因。

表1 三大海域年平均湿度和降水量情况

海域	年平均相对湿度/%	年降水量/mm
东海	79	1201
南海	85	2044
亚丁湾	64(地面观测)	<100

1.1.3 高盐雾

海洋大气中盐雾的主要来源是海沫产生的海盐

颗粒,即在海浪的冲击下,海面上形成很多空气泡,并很快破裂,进而生成大小不一的众多盐水滴随风扩散,保持微小粒度的水滴长时间漂浮于大气中形成盐雾。温度越高,雾滴所对应的临界平衡粒径越小,温度的升高有利于促进雾滴的形成^[8]。文献[4]中报道了我国东海、南海年均盐雾浓度分别为0.1180, 0.1275 mg/m³。亚丁湾海域纬度低,气温高,日照时数长,海水蒸发量大,因而推测盐雾浓度或高于我国东南沿海。

1.1.4 强太阳辐射

海上太阳辐射分为直达照射和天空辐射,辐射量与太阳高度及大气穿透率有关,也与纬度、季节和时刻有关。我国东海、南海年太阳辐射总量统计值为4353, 4664 MJ/m²左右^[4],亚丁湾海域太阳辐射高达8094 MJ/m²左右。这是因为该海域常年云量/降水总体较少、太阳日照时数长,强太阳辐射可促使舰艇甲板、舱室等部位温度升高。

1.2 携行弹药存放/使用平台环境分析

弹药在水面舰艇上的存放/使用平台环境是由海洋大气环境和其在舰艇平台存放/使用位置共同决定的,存放/使用位置和包装方式不同,所受环境影响因素不同,环境恶劣程度差异较大。影响舰艇携行弹药性能的环境因素主要有温度、湿度、盐雾、太阳辐射、霉菌、油雾、冲击、振动、摇摆、倾斜,按类型可划分为气候环境、机械环境两大类。

1.2.1 气候环境

1) 温度、湿度、盐雾。弹药在水面舰艇上的存放/使用位置一般可分为:甲板上弹链、甲板上初发柜、甲板上贮运发箱/筒、甲板下弹链、甲板下贮运发箱/筒、甲板下弹药舱,包装方式有包装箱、贮运发箱/筒、发射管、裸态等。初发柜为无扬弹机舰炮设置在其附近甲板上的舰炮炮弹存放装置,容积小、结构简单,易受太阳辐射、浪花、海雾的影响,且由于温差作用柜内常出现凝露现象。

贮运发箱/筒是舰载导弹的主要存放/使用位置,集贮运、防护、发射于一体,可分为弹库型(甲板下)和舰面型(甲板上),采取密封、隔热、充干燥气体或惰性气体等措施,内部环境控制相对较好。对于弹库型导弹,包装密封完好时,气候环境为舱室内温度传导、包装内微环境湿度的组合,密封结构破坏后则为舱室内温度、湿度、盐雾的组合;对于舰面型导弹,密封完好时的气候环境为太阳辐射温度传导、包装内微环境湿度,密封结构破坏后则为所在海域的温度、湿度、盐雾环境的组合。

弹药舱位于甲板下方,贮存的弹药有:发射架上的鱼雷舱、发射管中的鱼雷、处于非值班状态的炮弹

和轻武器弹药等。大中型舰艇弹药舱一般布置在其标准排水线以下，受海水温度影响，一般温度较低且温差较小；小型舰艇弹药舱一般直接布设在甲板下，由于甲板直接受日光的曝晒和空气环境温度的影响，弹药舱的温度较高，且变化较大。根据文献[9]描述，弹药舱通常应设计有独立冷却通风系统，舱壁和甲板为钢质水密结构。GJB 4000—2000^[10]中引述的英海军工程标准 NES 183 对弹药舱环境条件作出了如下规定：相对湿度应控制在 30%~70%，保存推进剂的弹药库中温度不超过 32 ℃，保存其他爆炸物的弹药库不超过 35 ℃。当系统发生故障时，弹药库温度可能在 12 h 内上升到 40 ℃，可使用临时通风/冷却装置。据此可以推测，在无设备故障的情况下，弹药舱环境较好。

战备值班的舰炮炮弹位于甲板下方弹链位置，战备值班的重机枪弹药位于甲板上方弹链位置，均为无包装防护状态，但甲板上方重机枪弹药的环境远比甲板下方舰炮炮弹恶劣得多。甲板下方裸露状态弹药的气候环境主要由海洋大气温度传导和海水温度传导形成的温度、舱室内湿度和盐雾构成；甲板上方裸露弹药的气候环境主要为所在海域的温度、湿度、盐雾环境。

2) 霉菌、油雾。舰艇舱室的高温、高湿环境为霉菌的迅速生长提供了条件，霉菌可附着于弹药包装箱、塑料包装筒、橡胶密封件等部位。据田金豹对热带地区某舰艇部队调研，642 名艇员中 533 是浅部霉菌病患者^[11]，可见舰艇上霉菌环境无处不在，携行弹药亦不可避免地会受到霉菌影响。舰艇上使用的油品达十余种之多，如燃油、润滑油、液压油、机油、特

种仪器用油等，这些油品在高温条件下会雾化和蒸发，在舰艇舱室空气中形成油雾，主要成分为碳氢化合物、有机化合物和酸碱类等物质，同盐雾一样也会对舰载武器装备产生腐蚀，降低携行弹药的使用寿命和性能^[12-13]。

1.2.2 机械环境

舰艇携行弹药的机械环境主要来自于舰艇平台本身受到的冲击、振动和产生的摇摆、倾斜等。

1) 冲击和振动。风浪、潮汐、浪涌会对舰艇造成一定强度的重复性冲击，该冲击形式强度一般较低，是最常见的机械环境。同时舰艇可能还会遭受碰撞、搁浅、自身武器射击、敌方武器攻击等非重复性的强烈冲击，这种冲击属极端情况。舰艇运行时的振动激励源主要为主机不平衡矩和螺旋桨力^[14]，一般频率较高，但经一系列传递后最终影响到携行弹药时频率会降低到较低程度。

2) 摇摆和倾斜。舰艇摇摆是指舰艇平台的摇摆和平移运动，其中横摇、纵摇和艏摇影响最大^[15]。倾斜一般指舰艇在回转卡舵或浸水情况下发生的纵向（或横向）最大倾角运动。舰艇携行弹药必须满足在摇摆和倾斜界限状态下能够正常工作的要求。

根据以上分析，舰艇携行弹药因其存放/使用位置不同导致所处的局部环境存在差异，各环境因素对舰艇携行弹药的影响程度也轻重不一，机械环境对不同位置弹药的影响程度差别不大，相对于气候环境而言对弹药的影响是次要的。表 2 给出了各环境因素对舰艇携行弹药的影响程度。

表 2 环境因素对舰艇携行弹药的影响程度

弹药贮存/使用环境	温度	湿度	盐雾	太阳辐射	霉菌	油雾	冲击	振动	摇摆	倾斜
甲板上初发柜	●	●	●	●	●	—	○	○	○	—
甲板上贮运发箱（筒）—密封完好	●	○	—	●	—	—	○	○	○	—
甲板上贮运发箱（筒）—密封破坏	●	●	●	●	○	—	○	○	○	—
甲板下贮运发箱（筒）—密封完好	●	○	—	○	—	—	○	○	○	—
甲板下贮运发箱（筒）—密封破坏	●	●	○	○	○	○	○	○	○	—
甲板上弹链	●	●	●	●	●	—	○	○	○	—
甲板下弹链	●	●	●	○	●	○	○	○	○	—
甲板下弹药舱（发射架、托盘架）	●	●	○	○	○	○	○	○	○	—
甲板下弹药舱（发射管、集装箱）	●	○	○	○	○	○	○	○	○	—

注：●代表影响程度大，○影响程度小，—代表基本无影响

2 环境效应分析

2.1 防护包装^[4,16]

舰船上弹药包装主要有贮运发箱（筒）、发射管、金属包装箱，高温、高湿、高盐雾会破坏包装防护层，

对基体产生腐蚀，影响包装箱密封件老化失效，引起密封结构破坏。隔热材料容易受潮和老化，引起性能降低，导致箱内温度升幅和升速增加。尤其是对于舰面型导弹而言，其贮运发箱（筒）处于恶劣的海洋大气环境中，白天箱（筒）体表面因太阳辐射吸收大量热量，通过热传导使箱内温度、压力逐渐升高。当箱

内压力达到临界值后,箱(筒)盖及窗口密封件发生膨胀变形、受损。夜间环境温度下降,密封件收缩,长此以往可能造成毛细孔隙,导致“慢撒气”泄露现象,进而使得外部环境中含有盐雾、霉菌等腐蚀性组分的潮湿空气进入发射箱内。加之舰艇受到冲击和振动等环境因素的影响,最终会导致发射箱失效。

2.2 弹体

弹体由金属基体和涂镀层构成,在舰艇高温、高湿、高盐雾环境下的主要损伤效应为腐蚀。舰艇携行

弹药弹体腐蚀主要有:漆膜损伤破坏处的全面腐蚀、漆膜下的丝状腐蚀、金属镀层的全面腐蚀、弹带的黑色腐蚀等,典型腐蚀形态如图1所示。这是因为在高湿和温度交变条件下,湿气可在涂镀层表面形成液膜,盐雾中的盐分溶解在弹体表面的液膜中,一起形成强电解质溶液,通过化学氧化和电化学双重作用破坏涂镀层,进而造成金属基体腐蚀。高温还会加速腐蚀反应速度,若有油雾存在的情况下,其携带的腐蚀性气体将进一步加快弹体腐蚀速度。



a 弹丸头部磕碰处全面腐蚀



b 漆膜下丝状腐蚀



c 金属镀层腐蚀



d 弹带黑色腐蚀

图1 舰艇携行弹药典型腐蚀形态

2.3 装药

弹药装药主要包括发射装药(火药)、战斗部装药(炸药)、火箭发动机装药(推进剂)。

舰艇携行弹药的发射装药和战斗部装药主要受温度、湿度的影响,主要损伤效应表现为热分解加速、吸湿膨胀、化学成分变化导致尺寸和质量变化、点火困难、燃速变化、爆炸威力降低等。有研究表明^[17-18]:储存环境每升高10℃,火炸药的分解速率就增大1倍。过高的湿度会造成火炸药装药吸湿受潮,促进装药加速分解变质。黑火药吸湿大于2%时,就会出现点火困难、燃速下降,吸湿达15%时,则丧失燃烧性能。当铵梯炸药含水大于3%时,用8号雷管不能起爆。同时,机械环境可能对战斗部装药尺寸、应力等产生影响。

发动机装药在贮存期间,温度升高会使分子的热运动速度加快,促进推进剂降解和交联,以及组分迁移,使药柱软化、断裂。湿度对发动机装药的影响有:破坏界面粘附,促使粘结剂水解断键,使氧化剂溶解、迁移和沉淀等。损伤结果主要表现为推进剂力学性能降低、燃烧性能劣化。图2表明,在25℃、RH为95%的环境下贮存32d,力学性能即下降36.4%。盐雾、霉菌也会对发动机装药力学性能有不同程度的影响,与湿度紧密相关,除能使装药发生明显变形以及强度下降外,还可能使药柱表面附着细小白色粉末,出现汗珠渗出状液滴、发黏、粗糙等^[19]。严重的振动和冲击会对发动机装药粘结界面产生影响,可能导致脱粘,发射失败。

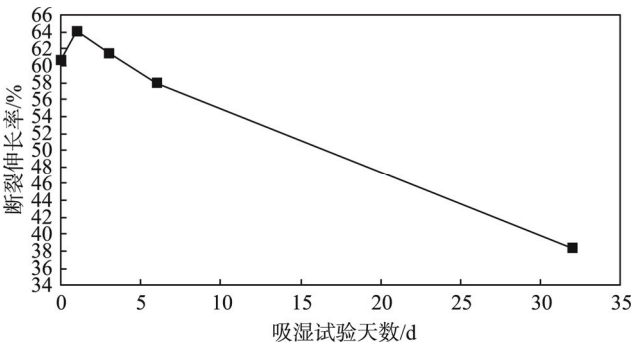


图 2 某推进剂在 25 °C、RH 为 95% 贮存环境下的力学性能变化

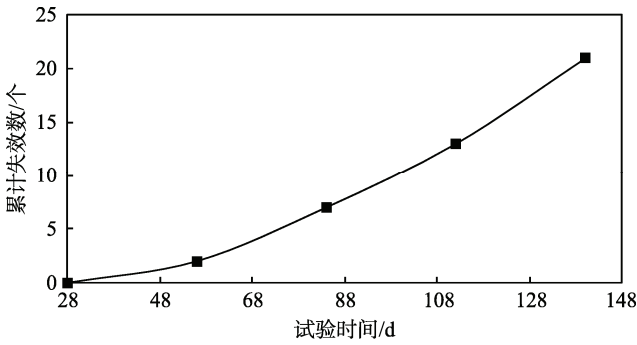


图 3 某基本药管恒湿步温试验获得的累计失效数分布情况

2.4 引信

引信由电路、保险机构、发火机构、隔爆机构、传爆序列等组成，典型产品既有机械构件，又有电子产品，还有化学药剂。舰艇上高温、高湿、高盐雾、油雾环境可引起引信内部金属零件的锈蚀，导致保险机构、触发机构、传爆机构的失效；可引起电子元件击穿、断路、短路、参数漂移等失效。如某小口径弹贮存 4 年半后即出现引信失效，导致弹药瞎火现象^[17]。对引信体分解检查发现，该弹所用机械触发式引信发生传爆管氧化、保险带变色、安全圈变色、盘簧变色等现象。经分析，原因是由于引信内部和外界某相通处为活动部件，存在一定公差间隙，在长贮过程中造成了一定的湿气渗透。

2.5 火工品

温度可造成火工品药剂贮存老化分解。GJB 736.8—90^[20]指出，当火工品贮存过程中采取了防止水分侵蚀措施后，温度间隔 10 °C 时，高温相对于低温下的反应温度系数大约为 2.7 左右。文献^[21]以现役某型反舰导弹 2 型火工品为研究对象，开展了寿命影响因素分析，结果表明，它们采取密封措施装弹后置于贮运发射箱中，温度变化是最主要的影响因素。

温度还会增大潮湿空气的浸透率，湿度可导致非密封型火工品药剂受潮，引起感度降低，同时可引起电火工品桥丝腐蚀、断桥、电阻变化等，最终导致火工品不能可靠点火或输出能量不足，影响是致命的^[22]。西南技术工程研究所曾开展过 30 发某基本药管在 60，70，75，80，85 °C 下分别老化 28 d 的试验，检测得到累计失效数分布情况如图 3 所示。可以看出，湿度一定时，温度越高，时间越长，失效越多，温湿度对火工品的影响具有协同作用。

2.6 电子部件系统

普通弹药的引信、导弹制导系统等产品中应用了大量的电子部件，当舰艇高温、高湿环境作用于电子部件时，可以构成水气吸附、吸收和扩散作用。许多

材料在吸湿后膨胀、性能变坏、引起机械强度下降。同时吸附了水气的绝缘材料会引起电性能下降，盐雾和油雾中腐蚀介质丰富，可加速腐蚀壳体、电路板、焊脚等^[23-24]。某型导弹电子产品在舰艇携行环境下出现故障较多电子产品的典型失效模式及机理^[25]见表 3。

表 3 电子产品失效模式及失效机理

电子产品	失效模式	失效机理
放大器	积分器无输出	电容短路
	参数超差	电位器电阻变化
稳压器	阻尼器软化变形	阻尼材料变化
三相换流器	阻尼器软化变形	阻尼材料变化
主配电器	紧固螺钉有腐蚀斑	金属锈蚀
	连接器定位销有锈斑	
副配电器	连接器上有锈斑	金属锈蚀
	接线柱垫片发黑	
	镀银层发黑	
电阻盒	电阻参数超差	电阻变大
	连接器插针部分发黑	金属锈蚀

3 结语

热带海洋环境下舰艇携行弹药服役环境恶劣，高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射、霉菌是其主要影响因素。弹药又因其在舰艇平台上存放/使用位置不同、包装状态不同，面临的主要环境因素存在较大差异。建议深入开展不同海域环境下舰艇上不同存放/使用位置弹药的局部环境监测研究，为携行弹药环境适应性的设计和验证、制定环境控制措施提供数据基础，有效提高其海洋大气环境适应性水平，支撑我国海军不断走向深蓝。

热带海洋环境对舰艇携行弹药各分系统均会造成较大影响，环境效应体现在各分系统上是综合性的。不同分系统之间的环境效应有共同点，如金属材

料腐蚀、非金属力学性能下降、电子部件阻值变化等,又因组成材料、功能不同存在区别,如含能材料的损伤效应。建议以分系统乃至全弹为对象,长期开展数据积累研究,加强舰艇携行弹药海洋环境损伤效应与机理研究,分类建立数据库,有效利用好这些环境效应数据,反向支撑舰艇携行弹药环境适应性设计、弹药维保措施制定等实践,从根本上提升我国海军舰艇携行弹药的海洋环境适应性总体水平。

参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [2] 杜哲元. 中国海军战略演变中的作战海区问题研究[J]. 太平洋学报, 2017, 25(4): 66-71.
- [3] 方书甲. 海洋环境对海军装备性能的影响分析[J]. 舰艇科学技术, 2004, 26(2): 5-10.
- [4] 吴红光等. 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.
- [5] 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, 32(4): 138-141.
- [6] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [7] 郑益群, 李俊松, 龚立新, 等. 亚丁湾地区春夏气象水文要素特点[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2012, 13(6): 692.
- [8] 向延华, 鲁亮, 胡宇鹏. 基于海洋大气环境的盐雾参数分析[J]. 电子技术, 2017(12): 30-34.
- [9] 宋靠华. 水面舰艇弹药舱的安全性设计[J]. 中国舰船研究, 2007, 2(4): 26-30.
- [10] GJB 4000—2000, 舰船通用规范 5 组 辅助系统[S].
- [11] 田金豹. 热带地区舰艇部队浅部霉菌病的调查[J]. 解放军预防医学杂志, 1997, 15(1): 65.
- [12] 林武强、徐定海. 舰艇装备环境及其影响和存在问题分析[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 48-52.
- [13] 李灿, 李晓旭, 余涛, 等. 舰船机舱油雾浓度测试研究[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(3): 123-124.
- [14] 原渭兰, 刘福友, 潘浪. 固体火箭发动机在舰艇振动作用下的响应分析[J]. 海军航空工程学院学报, 2009, 24(3): 259-262.
- [15] 程晗, 陈维义, 周敏佳. 舰艇摇摆作用下火炮射击诸元求解模型分析[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(11): 2484.
- [16] 董凤琴. 海军弹药包装探讨[J]. 包装工程, 1993, 14(2): 81-85.
- [17] 宣卫芳. 装备与自然环境试验(基础篇)[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009: 76-77.
- [18] 安振涛. 军械储存与环境控制[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998.
- [19] 高鸣, 庞军. 贮存条件对导弹发动机装药的影响及分析[J]. 火炸药, 1995(2): 7-10.
- [20] GJB 736. 8—90. 火工品试验方法 71 °C 试验法[S].
- [21] 张福光, 崔旭涛, 洪亮. 导弹火工品贮存寿命的影响因素分析[J]. 装备环境工程, 2011, 8(6): 24-27.
- [22] 王凯民. 火工品工程[M]. 北京: 国防工业出版社: 813-816.
- [23] 郭宁彪. 温度、湿度应力在电气·电子失效中的作用[J]. 印制电路信息, 2005(2): 15-18.
- [24] 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.
- [25] 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): 286.