

军用涂层海洋大气自然环境试验方法与要求

彭京川, 胥泽奇, 张世艳, 黄再蓉

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: 综述了军用涂层海洋大气自然环境试验方法与要求。自然环境试验可较好地反映涂层在湿热海洋大气中受高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射的长期综合作用效应。提出了军用涂层海洋大气自然环境试验设计要求, 介绍了常见的海洋大气自然环境试验方式, 对涂层自然环境试验的设计与开展具有指导性和实用性。最后, 探讨了军用涂层海洋大气自然环境试验存在的问题, 提出须提高认识, 将自然环境试验作为一项长期系统工作, 形成良性的“迭代式”发展模式, 指出自然环境加速试验是军用涂层自然环境试验的重要发展方向。

关键词: 涂层; 海洋大气; 自然环境试验; 自然环境加速试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.06.023

中图分类号: TJ07

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)06-0122-04

Marine Atmosphere Natural Environment Test Methods and Requirements of Military Coatings

PENG Jing-chuan, XU Ze-qi, ZHANG Shi-yan, HUANG Zai-rong

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Test methods and requirements on military coatings in marine atmosphere natural environment were summarized in the paper. The long-term and comprehensive effect of high temperature, high humidity, high salt fog and solar radiation on the coating in the humid and hot ocean atmosphere can be better reflected through the natural environment test. The design requirements on marine atmosphere natural environmental test were proposed, and the common test methods of marine atmosphere natural environment were introduced, which were instructive and practical for the design and development of natural environmental test for coatings. Finally, the existing questions of marine atmosphere natural environmental test for military coatings were discussed. It was proposed that it was required to improve the understanding, take the natural environmental test as a long-term system work and form a virtuous “iterative” development model. It also pointed out that the natural environmental accelerated test was an important development direction of natural environmental test of military coating.

KEY WORDS: coatings; marine atmosphere; natural environment test; natural environmental accelerated test

采用涂层防护是目前军用装备应用最普遍的防护技术^[1-4]。涂层的失效不仅影响装备外观, 还会影响装备的功能、性能。海洋大气环境, 特别是湿热海洋大气环境, 对涂层环境适应性影响较大, 涂层的老化、腐蚀问题较为突出^[5]。自然环境试验是在典

型/极值自然环境条件下, 考核和研究环境对装备(产品)影响的科学实践活动, 是三大环境试验分支之一^[6-7]。自然环境试验在能够代表装备涂层实际使用环境的自然环境下进行, 其试验结果更接近实际使用情况, 更为准确、可靠, 已成为研究与考核涂层环境

适应性的重要手段。近年来,国内外均研发了跟踪太阳反射聚能试验、周期喷淋试验等多种自然环境加速试验技术,可以利用并强化部分自然环境因素,较好地达到了既不牺牲试验结果准确性,又可缩短试验时间的目的。

1 海洋大气环境对军用涂层的影响

美国空军总部曾对其沿海某基地使用的装备进行了故障调查分析,在损坏失效或故障装备产品中52%是由于环境因素引起的,其中温度、湿度、盐雾和太阳辐射引起的故障占总故障的70%左右。可见温度、湿度、盐雾和太阳辐射是影响装备及其涂层的主要环境因素^[8-9]。海洋大气环境中,湿热海洋大气环境最为严酷,具有高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射的显著特征^[10]。这些特征对军用涂层的影响不容忽视,不但会造成涂层的变色、失光等外观性能劣化,还会导致涂层开裂、剥离等,失去对基体金属的保护作用,从而致使军用装备腐蚀失效,影响装备战技性能,并造成巨大的经济损失,甚至丧失遂行作战任务的能力^[11]。

有机涂层本身是一种高聚物薄膜,涂装到金属表面,起到装饰和保护的作用^[12-13]。在海洋大气环境中,一方面高聚物会受到高温、强太阳辐射影响而加速老化、分解,导致涂层变色、粉化、开裂等。另一方面,高聚物薄膜虽能不同程度地阻缓但并不能完全隔绝 H_2O 、 O_2 、 Cl^- 等的渗透, H_2O 、 O_2 、 Cl^- 等渗透到涂层/金属界面后,形成腐蚀介质,导致基体金属的电化学腐蚀^[14-16]。特别是涂层老化后,更容易在涂层/金属界面形成腐蚀介质,进一步加速基体金属的腐蚀。因此,湿热海洋大气高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射的综合作用对涂层体系影响较大,较为复杂,实验室的盐雾、光老化等单项试验难以反映这种环境的综合、长期影响,在能够代表装备实际使用环境的典型环境条件下开展自然环境试验,是必然的选择。

2 海洋大气自然环境试验设计要求

2.1 试验设计的一般要求

大气环境中涂层的老化是多种环境因素综合作用的结果,为了使试验结果更接近实际使用的结果,就必须全面考虑涂层体系的使用环境剖面,科学设计试验方法。试验设计时,一般应明确以下几个方面的要求。

- 1) 明确涂层的使用环境条件,如主要使用环境是沿海、舰船上、岛礁上等,以确定试验的暴露环境。
- 2) 明确涂层使用的局部环境条件,如外露、舱室内使用,有无遮蔽、是否通风等,以确定试验方式。
- 3) 试验设计一般遵循“极值”原则,即尽可能选

取涂层体系寿命期内较为严酷的环境条件进行试验。

4) 试验期内,定期安排涂层性能检测,检测周期一般遵循“前密后疏”原则,即试验前期(3个月内)检测间隔时间短,后期检测间隔时间长。

5) 根据试验的结果,构造合适的数学模型、损伤函数或选择适当的方法,对涂层的性能进行评价。

2.2 试验样品要求

试验样品可为装备实际产品,也可为替代的平板试样。当采用平板试样时,要求基体材料和涂装工艺与实际产品一致。尺寸规格推荐为250 mm×150 mm或200 mm×100 mm。

试验样品采用装备实际产品还是平板试样,可综合考虑试验目的、试验工作的需要(对比需要、评价需要等)、进度、经费等确定^[6]。实际产品可考核整体结构、连接方式及微环境等因素的影响。平板试样则具有成本较低、可检测性能较多、样品数量大等优点。

试验样品为装备实际产品时,样品数量可根据产品尺寸、价值、制作难易程度确定。试验样品为平板试样时,样品数量应满足性能检测项目、取样周期、统计分析、对比试验、机理分析等的需要,一般需确保每种性能的每一试验周期检测样品数量不少于3件,一般还应有1件保留样品,作为外观检测时的对照样品。保留样品应存置于温度低于30℃,相对湿度小于70%的环境中避光保存。

2.3 试验环境条件及场地要求

试验场应选择在能代表湿热海洋大气类型的地区,环境条件具有典型性。位于我国海南省万宁市的国防科技工业自然环境研究中心万宁试验站,属典型湿热海洋性气候环境,年平均气温为24.5℃,年平均相对湿度为86%,是我国目前规模最大的大气环境试验站,也是国家材料腐蚀野外台站唯一的大气示范站,是涂层环境适应性研究与考核的理想地点。

为了模拟装备在沿海、岛礁及舰船上的实际使用情况,可以建立离海岸100~400 m不同距离的暴露场,也可在海上建立海洋平台,在海洋平台上设立暴露场、棚、库等试验设施。试验场应保证试验场空气流通,阳光不受遮挡,周围障碍物至暴露场边缘的距离至少是该障碍物高度的3倍以上,主风向上方附近不应有影响试验的污染源存在。试验的暴露场、棚、库均应配备相应的气象及腐蚀介质检测设备和装置。

3 常见的海洋大气自然环境试验方式

3.1 大气暴露试验

3.1.1 户外暴露试验

户外暴露试验将试样置于户外自然大气环境中,

以考核或研究涂层体系环境适应性,适用于主要为户外使用的装备的外露件或外露部分的涂层。

除非为了模拟装备的实际使用状态,户外暴露时一般采用面南 45° 角或当地纬度角暴露,这样可以使涂层试样接受最大的太阳辐射量^[17]。试验样品为装备实际产品时,如果由于质量太大无法固定在暴露架上,可将样品置于水平台架上暴露。

户外暴露试验架主要由支架和放置试验样品的框架两部分组成。支架为高低杠形式,前杠高度不低于 0.5 m 。框架尺寸一般为 $1100\text{ mm}\times 1000\text{ mm}$,可安装在支架上,并可方便取下。暴露架应牢固、坚实,确保试验样品不摇摆或移动。户外暴露试验架制作材料应耐大气腐蚀,且不会对试验样品产生影响。支架材料可选用涂镀层保护的钢材、不锈钢等,框架可选用不锈钢、铝合金、硬塑料等。

户外暴露的平板试验样品可采用陶磁夹持装置整齐固定在试验架上。螺栓、紧固件等样品采用 1.5 mm 直径的电线绑定。不规则样品绑定时应确保样品最大截面与试验架平面平行,绑定遮盖的面积应尽量少。样品安装与固定过程中,应注意以下事项:样品之间不得相互接触、相互遮盖或相互影响,应确保雨水和腐蚀产物不会从一个试验样品表面流向另一个试验样品表面;试验样品与暴露架应绝缘,试验样品与夹具之间接触面积应尽可能小;样品标识牌应随样品悬挂,并确保悬挂牢固和不影响样品;样品应分类上架,分区摆放,安放要牢固可靠,易于装卸,且便于观察;样品安装、固定、以及取样检测过程中,应注意轻拿轻放,避免碰撞等损伤样品表面。

3.1.2 棚下暴露试验

棚下暴露试验在试验棚内进行。试验棚有顶棚遮蔽,四壁设置百叶窗。棚内环境通风,但不受阳光辐射,无淋雨,环境条件较户外温和,较库内环境更严酷。棚下暴露适用于可通风舱室内使用的涂层进行试验。

棚下暴露架一般为搁板式试样架,两层搁板之间的间距不小于 0.2 m ,以确保空气流通。制作试样架的材料应耐腐蚀,且不会对试样产生影响。可为铝合金、喷塑处理的钢材或其他耐蚀材料。试样架应牢固、坚实,以确保试样不发生移动或摇摆。

棚下暴露试验样品一般采用水平放置暴露的试验方式,暴露面朝上。如果有意考察迎风面和背风面的影响差异或模拟实际使用情况,也可采用垂直悬挂进行暴露。试验样品之间或试验样品与可能影响试验样品性能的材料之间不能直接接触,一般采用绝缘材料制作的夹具、钩子将其隔开。试验样品与夹具之间的接触面积应尽可能小。

3.1.3 库内暴露试验

库内暴露试验在试验库内进行。试验库有顶棚遮

蔽,四周为水泥墙壁,高处开窗。库内不受阳光辐射,无淋雨,环境条件较棚下环境和户外环境温和。库内暴露适用于室内使用或舱室内使用的涂层试验。

室内暴露试验采用的试样架、样品的放置方式与要求等与棚下暴露试验基本相同。

3.1.4 循环暴露试验

循环暴露试验是将试验样品按照某种循环规则先后暴露于不同试验方式下进行试验,是近年发展起来的试验方式。主要目的是为了模拟装备及其产品在服役期间经历的不同环境条件,如装甲车辆在户外的使用和在地面停放,飞机的飞行和地面停放等^[18]。

对于涂层样品,循环暴露试验可以采用户外暴露、棚下暴露、库内暴露中的两种或三种方式进行循环。循环暴露试验设计主要要素包括试验方式选择、试验方式顺序选择、试验方式循环时间比例选择等。试验设计的主要依据为装备及其产品在寿命期内经历的环境剖面。

循环暴露试验的优点在于试验的剖面与实际使用环境剖面更接近,试验结果更接近实际情况。这种试验方式尚处于发展阶段,其最大的难处在于装备及其产品在寿命期内经历的各种环境条件的时间比例确定较为困难。

3.2 自然环境加速试验

3.2.1 跟踪太阳暴露试验

跟踪太阳暴露试验适用于主要由太阳辐射引起降解的涂层。暴露架由转动系统控制,可跟踪太阳转动,从而强化太阳辐射的光效应和热效应,加速涂层老化速度,加速倍率与朝南 45° 角户外暴露试验相比,可达 $2\sim 3$ 倍^[6]。在跟踪太阳暴露试验的基础上,还发展出了跟踪太阳反射聚能试验,就是在跟踪太阳暴露架上加上反射系统,将太阳光聚焦反射到目标区内的试样表面,进一步增加太阳辐射量,可将涂层的加速倍率提高到 $6\sim 12$ 倍^[6]。

3.2.2 周期喷淋户外暴露试验

该试验在暴露架上增加喷水装置,定时向试样喷水,增加试样表面润湿时间,加速涂层的大气腐蚀与老化。这种试验适用于由盐、酸、湿度相结合而引起的降解^[19]。根据试验目的和试验材料的不同,喷淋频率可以调节为每天数次到每周数次不等。喷淋液体也可将水换成一定浓度的盐水等。

3.2.3 黑箱暴露试验

黑箱暴露试验用黑色箱体聚集热量并起密闭作用,强化太阳辐射产生的热对涂层的老化作用,使其快速老化,适用于温度升高会大大提高降解速率的涂层,如装甲车辆、坦克等外部使用涂层^[20-21]。黑箱表面染成黑色,内部充满空气,可以起到聚集热量和

保温的作用。试验时黑箱安装在支架上,朝南 5° 放置,支架最低点高出地面0.50 m以上。

4 结语

军用涂层自然环境试验方法经过几十年的发展,已经取得了一系列可喜成就,但仍存在需要解决的问题。一是一些设计人员还存在一定的认识不足的问题,往往认为只要按国标、国军标通过各项实验室环境试验、“三防”试验等考核,就不会有问题了。二是与实验室环境试验相比,军用涂层的自然环境试验时间仍相对较长,特别是随着各种综合性能更为优异的涂层的不断出现,这一问题更加突出。为此,须将自然环境试验作为一项长期系统工作进行,形成良性的“迭代式”发展,即新的涂层体系出现后,能有效利用相似涂层体系长期试验积累的数据,通过短期试验外推新涂层长期的试验结果。此外,发展自然环境加速试验技术,也是一种有效的解决方法和重要的发展方向。特别是在暴露设计缺陷、筛选涂层工艺等方面,自然加速试验具有广泛的应用前景,但在其试验结果与户外暴露试验结果的相关性,消除季节对试验结果的影响等方面,还须进行深入研究。

参考文献:

- [1] NGUYEN 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] JIN Xiao-hong, LIN Chang-jian. The Correlation of Actual Marine Exposure and Accelerated Testing in Lab for Marine Coating System PartI: One and Half Year Test [C]// 16th International Corrosion Congress. Beijing, 2005.
- [6] 宣卫芳, 胥泽奇, 肖敏, 等. 装备与自然环境试验 基础篇[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
- [7] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [8] 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.
- [9] 方丙炎, 韩恩厚, 张召恩, 等. 老化温度对涂层性能的影响[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2002, 14(6): 323—325.
- [10] 王振尧, 于国才, 韩薇. 我国自然环境大气腐蚀性调查[J]. 腐蚀与防护, 2003, 24(8): 323—344.
- [11] YANG X F, VANG C, TALLMAN D E, et al. Weathering Degradation of a Polyurethane Coating[J]. Polymer Degradation and Stability, 2001(74): 341—351.
- [12] 郭强, 杨艳芹. 不锈钢在聚四醛装置模拟介质中的腐蚀行为[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 98—103.
- [13] 谭晓明, 王鹏, 王德, 等. 基于电化学阻抗的航空有机涂层加速老化动力学规律研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(1): 5—13.
- [14] 张鉴清, 曹楚南. 电化学阻抗谱方法研究评价有机涂层[J]. 腐蚀与防护, 1998, 19(3): 99—104.
- [15] 杨丽霞, 张三平, 林安. 有机涂层渗水率及金属界面腐蚀的研究进展[J]. 材料保护, 2001, 34(10): 28—31.
- [16] 徐永祥, 严川伟, 高延敏, 等. 大气环境中涂层下金属的腐蚀和涂层的失效[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2002, 22(4): 249—256.
- [17] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [18] 杨洪源, 刘文斑. 民机结构外露关键部位涂层加速腐蚀环境谱研究[J]. 航空学报, 2007, 28(1): 90—93.
- [19] 罗振华, 蔡键平, 张晓云, 等. 耐候性有机涂层加速老化试验研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2003, 32(3): 31—35.
- [20] 何德洪, 肖敏, 周漪, 等. 国箱加速大气暴露试验热强化效应和相关性研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(2): 43—47.
- [21] 肖敏, 周漪, 杨万均. 典型环境中三种自然环境加速试验方法的环境强化效果分析[J]. 装备环境工程, 2014, 11(2): 26—31.