

基于多因子影响的东南沿海地区服役 涂层环境试验设计

徐安桃^{1a}, 张振楠^{1b}, 孙波², 张睿^{1b}

(1.军事交通学院 a.军用车辆系; b.研究生管理大队, 天津 300161;
2.96274 部队, 河南 洛阳 471003;)

摘要: 目的 通过分析东南沿海地区车辆服役环境特点, 提取了光照、温度、水、化学介质四种影响因素, 分析四种影响因素的影响机理、影响方式、影响效果。方法 对《GJB 150A—2009 军用装备实验室环境试验方法》的基本运用方法及裁剪技术进行初步探讨, 依据该标准制定东南沿海地区服役车辆涂层实验室试验的流程方法, 并进行试验验证。结果 实验室加速腐蚀试验结果与现役涂层腐蚀情况具有较好的相关性。结论 为东南沿海地区涂层环境试验的设计、实施及测评, 对涂层寿命预测、有效性检验和维修保养方案制定提供了重要的依据。

关键词: 涂层; 湿热试验; 辐照试验; 盐雾试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.09.006

中图分类号: TJ01

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)09-0029-04

Design of Environmental Testing of Organic Coating Using in the Southeastern Coastal Areas Based on Multi-effects Factors

XU An-tao^{1a}, ZHANG Zhen-nan^{1b}, SUN Bo², ZHANG Rui^{1b}

(1.Military Transportation University a.Military Vehicle Department; b.Postgraduate Training Bridge, Tianjin 300161, China;
2.Unit 97274, Luoyang 471003, China)

ABSTRACT: **Objective** To extract influencing factors of illumination, temperature, water, chemical medium and analyze the effects of the four factors from affecting mechanism, influence way and effect through analyzing characteristics of the vehicle service environment in the southeast coastal area. **Methods** Basic application methods and cutting techniques in GJB 150A-2009 Methods for Laboratory Test of Military Equipment were discussed preliminarily. Procedures for laboratory test on coating of vehicles serving in the southeast coastal area were determined and verified by testing. **Results** The results of laboratory accelerated corrosion test and corrosion of active coating had good correlation. **Conclusion** It provides an important basis for design and implementation of the environmental testing and evaluation of environment test for coating in the southeast coastal area, as well as prediction of service life, inspection of validity and preparation of maintenance scheme.

KEY WORDS: coating; damp heat test; UV irradiation test; salt spray test

军用装备环境试验技术, 是一种有效指导军事装备设计研发、生产试验的科学方法, 建立完善标准化、

通用化的试验标准体系, 可极大提高我国军用装备环境适应性与可靠性水平。

收稿日期: 2017-04-13; 修订日期: 2017-06-22

作者简介: 徐安桃 (1964—), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 主要研究方向为车辆装备腐蚀与防护。

20世纪50年代,为解决不同装备间试验规范、试验等级、试验程序不一致的问题,美军整合多个装备试验标准,形成了最早的环境试验文件MIL-STD-810。该标准迅速成为陆海空三军及装备生产部门共同认可的标准环境试验方法与准则^[1]。

我国在消化吸收美军 MIL-STD-810C 试验标准的基础上,于1986年制订推出了 GJB 150《军用设备环境试验方法》(以下简称 GJB 150)。该标准的使用极大促进了我国国防工业环境试验水平。2009年,解放军总装备部又制订颁布了 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》(以下简称 GJB 150A)。新的试验方法充分消化吸收美军 MIL-STD-810F 环境试验标准,引入“环境裁剪过程”概念,不再对各类试验条件进行明确规定,转为设置各类试验的剪裁指南,使环境试验标准由“引用型标准”转变为“裁剪式标准”,更加注重试验对装备产品实际服役环境的还原,具有较强的灵活性、科学性,同时也对实验设计提出了更高的要求^[2-3]。现行环境试验标准(如 GJB 150 等)也存在一定的局限性,如仅考虑单一影响因素对装备腐蚀行为的影响,与户外实际大气环境腐蚀试验相关性较差。这主要是因为装备的实际腐蚀过程是多种腐蚀因素综合作用的结果,因此,多因子复合循环腐蚀试验将是未来室内加速腐蚀试验研究的发展方向^[4-6]。

文中针对东南沿海地区环境特点,综合考虑多种腐蚀影响因子的共同作用,结合 GJB 150A 中相关实验项目,设计了一组多因素耦合加速环境试验,为服役于该地区车辆装备有机涂层的腐蚀研究与维修保养,提供有力的技术支撑。

1 东南沿海地区大气环境中主要腐蚀因素分析

东南沿海地区气候类型属于亚热带季风气候,并具有突出的海洋性气候特点。高温、高湿、强烈紫外线照射、强烈盐雾侵蚀是其主要大气环境特点。

1.1 紫外辐射的影响

东南沿海地区纬度较低,日照时间长、强度高,特别是其中的紫外线,是引起涂层老化降解的主要因素。紫外线因具有较高的能量,是破坏有机涂层聚合物化学键的主要因素,又因为大气中氧气的催化促进作用,涂层的光分解与光氧化作用也显著增强。涂层聚合物主链断裂、过氧化物出现以及亲水性小分子的产生,都加剧了涂层的老化、降解、失效^[7-8]。

1.2 温度的影响

温度是影响化学反应速率的重要外因。东南沿海地区全年暖热,年平均气温约 22~26℃。随着温度的升高,

分子热运动不断加剧,有机涂层内部的高聚物发生降解和交联,造成聚合物内部结构的破坏。与此同时,温度的交替变化还会导致涂层宏观的膨胀与收缩,造成涂层与基体金属的脱粘、开裂、脱落等现象的发生^[9]。

1.3 水的影响

东南沿海地区,雨量充沛,年均降水量为 1500~2000 mm,水对加速涂层腐蚀老化起到了关键作用。由于温度的作用,水蒸发到空气中,并与空气中的物质混合,形成盐雾。涂层在喷涂的过程中,由于生产条件与工艺水平的限制,会出现各种缺陷(孔隙、夹杂、裂纹等)。这些缺陷的产生,为水分子进入涂层内部提供了重要的通道。水分子进入涂层后,会使涂层产生膨胀、收缩等宏观变化,这种变化会导致涂层应力分布改变,最终导致应力裂纹、涂层脱落等^[10-11]。同时,水分作为腐蚀介质的有效溶剂,也加速了涂层腐蚀老化的进程。

1.4 盐雾的影响

化学介质也对涂层老化起到重要的影响作用,腐蚀介质的水溶液中将电离出大量离子。这些离子通过涂层的表面缺陷,渗透到有机涂层内部,扩散至涂层与基体金属的界面区域,形成微观腐蚀电池,从而造成基体腐蚀^[12]。大气中的化学介质,主要以盐雾的形式存在。盐雾的分布规律总体可以由大气中盐雾含量、盐雾沉降量两个参数描述。

根据图 1 可知,大气中盐雾的分布与距海距离密切相关。距离越小,盐雾的影响就越显著,因此东南沿海地区大气环境中的化学介质的影响作用不可忽略。

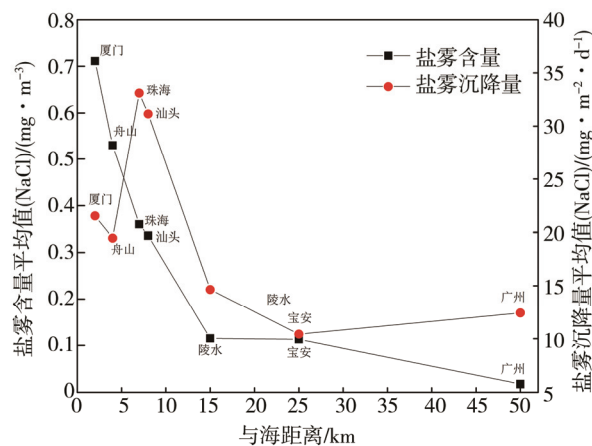


图1 盐雾分布与距海距离关系

2 GJB 150A—2009 标准相关试验方法的应用

GJB 150A—2009 标准属于裁剪标准,是一种可依据装备实际服役状况,以装备环境剖面、任务剖面

等信息为依据,进行合理组合、拼接的加速试验程序。剖面的确定可根据 GJB 4239《装备环境工程通用要求》,充分考虑地理位置、任务环境、气候特性等内容进行确定。综合考虑东南沿海地区车辆装备实际使用环境特点,确定进行湿热、太阳辐射与盐雾复合循环试验^[13-14]。

2.1 紫外辐射子试验

太阳辐照会对涂层产生热效应与光化学效应。太阳辐射的热效应具有方向性,并能产生热量梯度。这种热效应的变化将导致材料内部产生应力,破坏涂层结构的完整性,致使聚合物的性能发生变化,涂层开始出现起泡、脱落和分层。太阳辐射的光效应,主要由其中的紫外线引起,会造成涂层的开裂、粉化和变色^[15]。根据《GJB 150.9A—2009 第 7 部分:太阳辐射试验》相关要求,太阳辐射试验应注意确定日循环、试验持续时间、相对湿度、光谱分布、温度等试验参数。根据东南沿海地区的实际情况,结合《GJB 150.9A—2009 第 7 部分:太阳辐射试验》标准,以 LWZ-050A 型紫外光耐候气候试验箱为实验平台,确定紫外辐射试验的试验条件:辐照强度为 $60\pm 10\text{ W/m}^2$ 、环境温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、连续辐照 8 h 。

2.2 湿热子试验

湿热环境,在东南沿海地区全年都可出现。相关文献表明,湿热环境将对涂层产生物理化学影响,如凝露、吸附、扩散等,这些现象将导致有机表面覆盖层的电化学破坏、材料物理强度与隔绝性能出现降低。根据《GJB 150.9A—2009 第 9 部分:湿热试验》相关要求,湿热环境的度量值如图 2 所示。确定湿热试验的试验条件:温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 95% 、暴露时间为 8 h 。

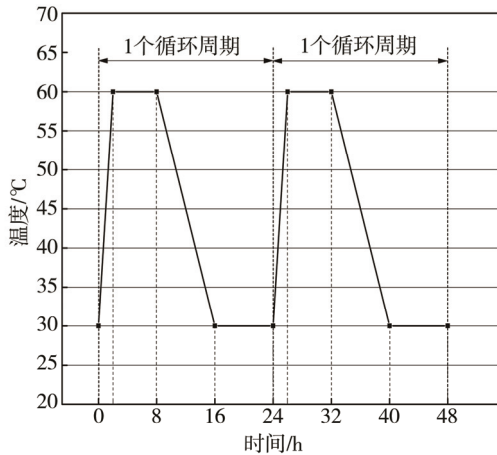


图 2 湿热环境度量值

2.3 盐雾子试验

盐雾环境所造成的破坏效应主要有腐蚀效应、电

气效应和物理效应三种,会引发涂层起泡、涂层腐蚀、基体金属腐蚀等。根据《GJB 150.9A—2009 第 11 部分:盐雾试验》规定,对于中性盐雾试验,试验盐溶液的浓度应控制在 $5\%\pm 1\%$,应注意控制 pH 值为中性,以避免影响实验结果。为使试验更加接近实际暴露环境,试验程序应采用“喷雾”、“干燥”两种状态交替的方式进行,以 24 h 为一个试验阶段,一个周期共进行两个喷雾湿润阶段和两个干燥阶段。试验环境的温度控制在 $(35\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$,该温度可保证电化学反应在较为正常的速率下进行。盐雾的沉降率也是影响试验效果的重要因素,该规定要求,盐雾试验箱的每个收集器应在 80 cm^2 的收集区域内,每小时收集 $1\sim 3\text{ mL}$ 溶液。

2.4 多因子耦合循环加速试验

参考紫外辐射、湿热暴露和盐雾试验标准,结合东南沿海地区实际气象环境资料,并结合有关电化学测试,设计紫外辐射、湿热暴露和盐雾复合循环加速试验方案,模拟东南沿海地区军用车服役的实际环境,具体试验流程如图 3 所示。

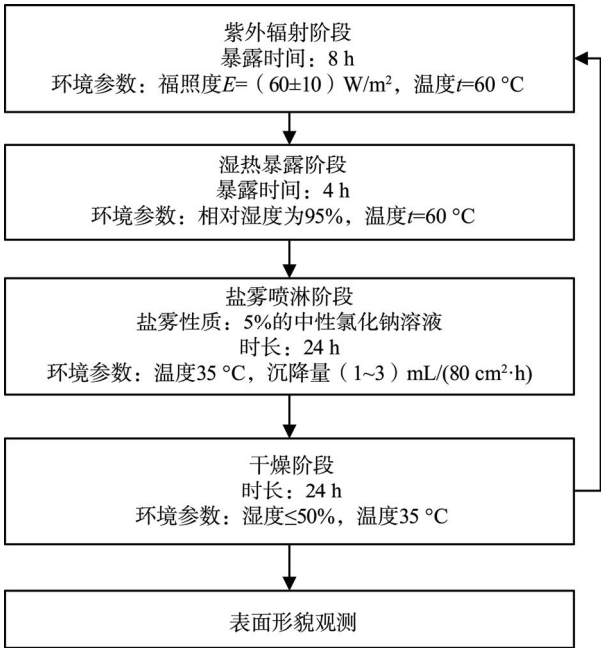


图 3 多因子耦合循环加速试验流程

3 涂层加速试验验证

该实验方案在腐蚀工程实验室,针对我军现役主要车型的军绿有机涂层进行了多因子耦合循环试验验证。

3.1 涂层加速试验

试验所用试样如图 4 所示,基板为冷轧低碳钢板 Q/BQB403/ST14,尺寸为 $60\text{ mm}\times 60\text{ mm}$,厚度为 1 mm 。

采用上述试样按照图 3 所示试验流程进行加速试验 10 个周期, 并对试验后的涂层试样进行表面形貌观测。

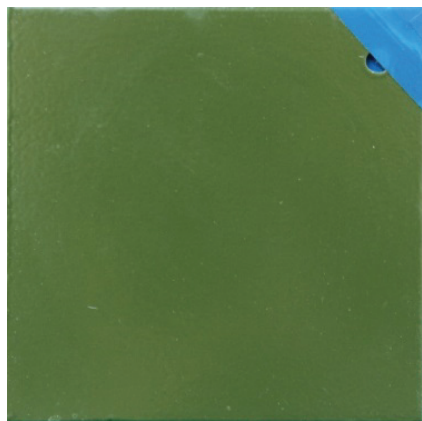


图 4 牵引车军绿有机涂层

3.2 试验结果与现役涂层腐蚀情况对比分析

对我国东南沿海地区使用年限在 1~5 a 的现役军绿有机涂层腐蚀情况进行详细调查, 并与实验室加速试验结果进行了对比。结果表明, 实验室加速试验 2~4 个周期后的涂层试样产生失光、变色现象, 与现役军绿有机涂层在服役 1~2 a 后涂层腐蚀情况基本一致。实验室加速试验 6~8 个周期后的涂层试样发生表面失光、变色、局部区域产生鼓泡和粉化、表面偶见锈点等腐蚀行为, 这与现役军绿有机涂层在服役 3~4 a 后的腐蚀情况基本一致。实验室加速试验 10 个周期后的涂层试样已经基本失效, 大面区域产生鼓泡甚至脱落, 涂层下基板锈蚀严重, 与现役军绿有机涂层在服役 5 a 后的腐蚀情况基本一致。

综上所述, 实验室加速腐蚀试验结果与现役涂层腐蚀情况具有较好的相关性, 说明该加速环境腐蚀试验比较真实地反映了服役环境对涂层的腐蚀损伤情况, 表明了该加速环境试验方案的可行性和合理性。

4 结语

1) 环境耐候性试验, 应在对环境资料充分研究的基础上, 对环境中的多种腐蚀影响因素综合考虑,

针对装备实际服役环境开展多因素耦合加速试验。

2) 根据我军现行武器装备环境试验的基本标准, 结合东南沿海地区实际情况, 设计了一个探究军用车辆有机涂层在东南沿海环境下腐蚀行为的实验方案, 并加以验证。为服役于该地区军用车辆装备的腐蚀研究、维修保养和寿命预测提供重要的依据。

参考文献:

- [1] 祝耀昌. 美国军用标准 MIL-STD-810 的产生与发展[J]. 航空标准化与质量, 1983(4): 44-49.
- [2] 迟颖君, 刘敬党. 新版 GJB150A 标准浅析[J]. 飞机设计, 2015(3): 74-80.
- [3] 陈子龙, 李朝锋. 军用装备环境试验方法的比较与实例分析[J]. 环境技术, 2012(6): 10-13.
- [4] 张洪彬, 蔡汝山, 王忠. 涂层/金属体系腐蚀试验方法研究发展现状[J]. 环境技术, 2013(4): 6-9.
- [5] 王海斗. 表面涂层加速寿命试验技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 170-171.
- [6] BIERWAGEN G P, HE L, LI J, et al. Studies of a New Accelerated Evaluation Method for Coating Corrosion Resistance-thermal Cycling Testing[J]. Progress in Organic Coatings, 2000, 39(1): 67-78.
- [7] 徐永祥, 严川伟, 丁杰, 等. 紫外光对涂层的老化作用[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(3): 168-173.
- [8] 韩文礼, 徐忠革, 王雪莹, 等. 紫外线对有机涂层的破坏机理及应对措施[J]. 石油工程建设, 2007, 33(2): 18-20.
- [9] 徐永祥. 大气环境中涂层失效和涂层下金属腐蚀机理的研究[D]. 沈阳: 中国科学院金属研究所, 2002.
- [10] 杨海, 陆卫中, 李京, 等. 水环境中防腐涂层失效机理研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2012, 24(6): 452-457.
- [11] 孙钰栋, 曹树聪. 军用越野汽车腐蚀性影响因素及防护对策[J]. 汽车运用, 2016(3): 29-31.
- [12] 解瑞, 朱承飞, 高红, 等. 沿海大气环境中氯化橡胶涂层失效规律[J]. 腐蚀与防护, 2010(8): 623-626.
- [13] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [14] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 [S].
- [15] 李松梅, 李湘澄, 辛长胜, 等. 循环加速腐蚀中紫外照射对环氧涂层老化行为的影响[J]. 材料工程, 2014(7): 60-66.