有机涂层户外曝晒与加速试验对比研究

张勇，丁文勇，陈跃良，张泰峰
（海军航空工程学院 青岛校区，山东 青岛 266041）

摘要：利用加速试验环境谱开展了有机涂层加速腐蚀试验。采用腐蚀程度对比方法，将试验结果与经自然曝晒的有机涂层进行对比研究，从失光、变色、粉化、起泡、开裂、剥落和基体腐蚀等特性，以及腐蚀的宏、微观形貌，对涂层分子链在降解程度等方面进行分析，证实了文中采用的加速试验环境谱模拟性好，并具有约2个周期当量自然曝晒1 a的相关性。

关键词：有机涂层；加速试验；自然曝晒
中图分类号：TG174.46；TJ04 **文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)02－0014－04

Comparison Study on Outdoor Exposure and Accelerated Tests of Organic Coatings

ZHANG Yong, *DING Wen-yong*, *CHEN Yue-liang*, *ZHANG Tai-feng*
(Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: Accelerated corrosion tests were carried out by accelerated testing environmental spectrum for organic coatings. By corrosion degree comparison methods, the results of accelerated tests were compared with natural exposure. Gloss loss, powder, foaming, crack, spalling, matrix corrosion and other surface feature, corrosion macroscopic and microcosmic morphology, degradation degree of coating molecular chains and so on were analysed. The results showed that the imitativeness of accelerated testing environmental spectrum was better. Accelerated tests for two cycles were equivalent to natural exposure for one year.

Key words: organic coating; accelerated test; natural exposure

有机涂层是目前装备金属防腐保护方法中应用最广泛的手段之一，但影响涂层老化失效的环境因素很多，作用机理复杂。防护涂层在潮湿空气、紫外线、盐雾、工业大气、有害环境干湿交替等因素的综合作用下，会发生失光、变色、粉化、起泡、开裂等老化现象，进而导致涂层脱落，丧失防护功能。由于自然曝晒时间较长，工程上常采用实验室加速腐蚀的方法，在较短的加速试验周期内达到与装备服役若干年相同的腐蚀效果，从而选择合适的防护涂层，制定合理的维修间隔和方案[1—2]。问题关键在于正确模拟实际环境来加速腐蚀，并且确定与户外环境试验的加速性[3]。文中利用加速试验环境谱开展了有

收稿日期：2012-10-21
作者简介：张勇(1981—)，男，重庆荣昌人，硕士，讲师，主要从事材料腐蚀与防护研究。

机涂层加速腐蚀试验,并与经自然曝晒的有机涂层进行对比研究,为今后进一步研究加速腐蚀与自然曝晒的相关性提供依据。

1　试验

1.1　试样制备

选用3种典型试样进行试验,见表1。基体材料选择低碳钢冷轧钢板,试样尺寸为100 mm × 70 mm × 1.5 mm,涂层按GB/T 1765—1989《测定耐湿热、耐盐性、耐候性(人工加速)的漆膜制备法》制备。加速试验和自然曝晒的试样来自同一批次。

1.2　试验方法

将试样按加速试验环境谱进行加速试验,如图1所示[4]。采用腐蚀程度对比方法,将经过不同试验周期的试样与万宁试验站多年腐蚀的试样进行腐蚀程度对比。综合分析起泡、失光、粉化、开裂、剥落等指标的变化,并利用傅立叶变换红外光谱仪(FTIR)对涂面漆试样自然曝晒和加速试验后的涂层老化程度进行分析[5—6]。

表1　试样的涂层体系

Table 1　Coating system of specimens

基材		HLD-45			
材质	表面处理	类型编号	底漆	中间漆	面漆
钢板	喷砂 *Sa*2.5	1	环氧铁红	—	—
		2	环氧富锌	—	—
		3	环氧富锌	环氧云铁	氯化橡胶

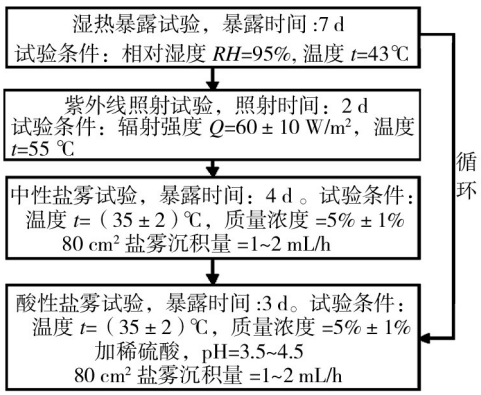


图1　涂层加速试验谱

Fig. 1　Accelerated testing environmental spectrum of coating

1.3　测试方法及设备

光泽度的测量采用天津市信光科技开发公司XGP60镜像光泽度计,测量范围0 ~ 199.9 Gs,分度值0.1 Gs,稳定度≤0.4 Gs/30 min,示值误差≤1.0 Gs。计算失光率,见式(1)。

$$G = \frac{A - B}{A} \times 100\% \tag{1}$$

式中:G为涂层的失光率;A为老化前光泽度测定值;B为老化后光泽度测定值。

色差的测量利用上海汉普公司HP-200精密色差仪,其有效测量口径(照明口径)ϕ 8 mm,标准偏差为0.08。采用美国科视达公司的KH7700体式显微镜对涂层的表面微观形貌进行观察。采用美国Nicolet公司510P FT-IR仪器对户外曝晒后涂层与加速腐蚀涂层的红外光谱进行测试和对比。

2　结果分析

2.1　涂层老化评级

根据GB/T 1766—2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》,按涂层的起泡、开裂、剥落、基体腐蚀、失光、色差和粉化等评价指标,对涂层腐蚀损伤情况进行观测[7],结果见表2。

涂层的失光、变色、粉化、起泡、开裂、剥落和基体腐蚀是衡量涂层失效的重要指标。涂层失效过程是一个由量变到质变的过程。加速环境腐蚀期间,由于受紫外线照射、湿热环境、盐雾等因素的交变作用,涂层材料有机分子发生裂解,分子结构发生变化,相对分子质量下降或交联,导致涂层失光、变色,局部发生粉化、龟裂等,进而出现涂层起泡、剥落等

表2　涂层老化评级结果对比

Table 2　Comparison of ranking results for coatings ageing

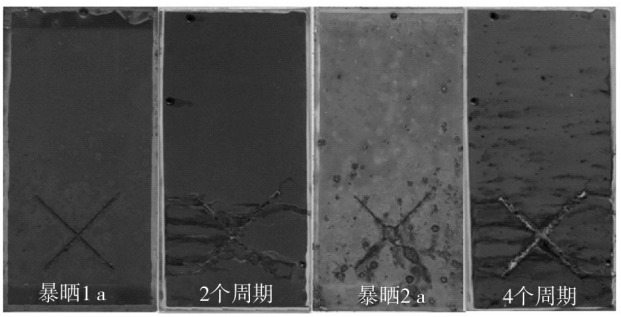
类型编号	试验时间	失光	变色	粉化	开裂	起泡	生锈	剥落	划叉处扩展
1	1个周期	0	3	2	0	2	3	0	1
	2个周期	0	4	4	0	4	3	0	1
	曝晒1 a	0	4	4	0	4	3	0	1
	3个周期	0	5	5	0	4	4	3	3
	4个周期	0	5	5	0	5	5	5	5
	曝晒2 a	0	5	5	0	5	5	5	5
2	1个周期	0	2	0	0	0	0	0	0
	2个周期	0	3	0	0	0	0	0	0
	曝晒1 a	0	3	0	0	0	0	0	0
	3个周期	0	3	1	0	0	0	0	0
	4个周期	0	4	2	0	0	1	1	0
	曝晒2 a	0	4	2	0	0	1	1	0
3	1个周期	3	2	1	0	0	0	0	—
	2个周期	4	3	2	0	0	0	0	—
	曝晒1 a	4	3	2	0	0	0	0	—
	3个周期	5	3	2	0	0	0	0	—
	4个周期	5	4	3	0	0	0	0	—
	曝晒2 a	5	4	3	0	0	0	0	—

老化失效。不仅严重影响了涂层的外观，还将导致涂层的防护功能失效。涂层失效是导致金属基体发生腐蚀的直接原因，这与自然曝晒过程中涂层失效模式是一致的。

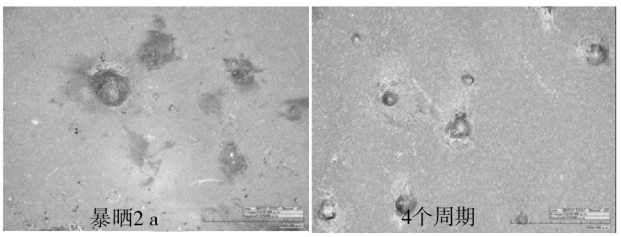
从表2分析可以得到，加速试验和自然曝晒试验在涂层的失光、变色、粉化、起泡、开裂、剥落和基体腐蚀等表征方面具有约2个周期当量曝晒1 a的相关性。

2.2　涂层老化表面形貌分析

3种典型试样经加速试验和自然曝晒试验后表面腐蚀老化情况的宏观和微观形貌如图2—4所示。由图2可见，环氧铁红底漆试样经加速试验和自然曝晒试验后，划痕处颜色变深，划痕变粗，且基体上有明显的腐蚀产物和鼓泡，说明环氧铁红底漆下的金属基体发生了较为严重的腐蚀；从腐蚀形貌来看，加速试验2个周期与自然曝晒1 a相当。由图3可见，环氧富锌底漆试样划痕仍很清晰，基本没有扩展，基体没有明显腐蚀产物和鼓泡，腐蚀较轻，说明环氧富锌底漆对金属的防护性能优于环氧铁红底漆。由图4可见，试样经加速试验和自然曝晒试验后，仅颜色和光泽发生了轻微变化，没有明显腐蚀现象。经分析，加速试验环境谱腐蚀试验与自然曝晒腐蚀试验的涂层腐蚀损伤形式相同，加速环境谱下可以再现实际结构腐蚀损伤。



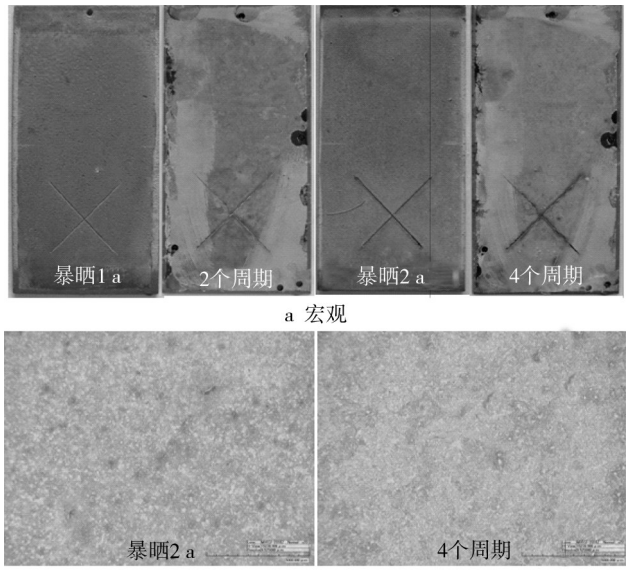
a 宏观



b 微观放大20倍

图2　1号试样腐蚀老化形貌

Fig. 2　Corrosion pictures of specimen No. 1

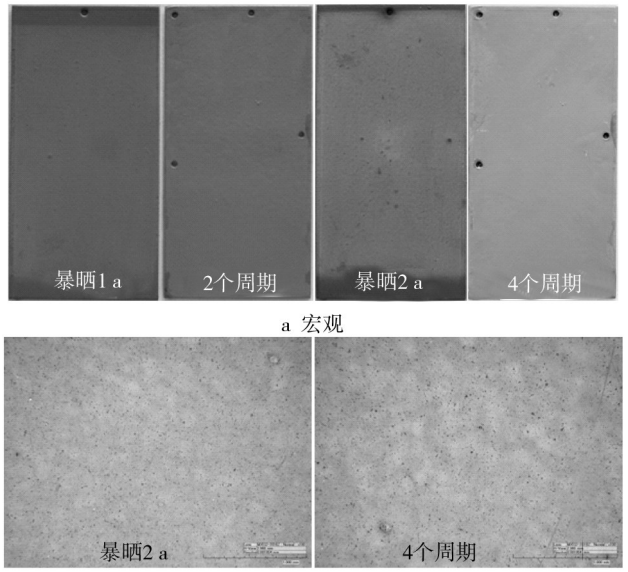


a 宏观

b 微观放大20倍

图3　2号试样腐蚀老化形貌

Fig. 3　Corrosion pictures of specimen No. 2



a 宏观

b 微观放大20倍

图4　3号试样腐蚀老化形貌

Fig. 4　Corrosion pictures of specimen No. 3

2.3　红外光谱分析

“环氧富锌+环氧云铁＋氯化橡胶”涂层体系腐蚀老化前及经过不同方式老化的红外光谱如图5所示。位于1716 cm^{-1}的吸收峰是C＝O伸缩振动吸收峰;1647 cm^{-1}是C＝C共轭双键的特征吸收峰;2922 cm^{-1}和1422 cm^{-1}是—CH_3的伸缩振动和弯曲振动吸收峰;2852 cm^{-1}和1379 cm^{-1}是—CH_2—的伸缩振动和弯曲振动吸收峰;1263,1191,1118 cm^{-1}是C—O的吸收峰;3307 cm^{-1}是—NH—的吸收峰。

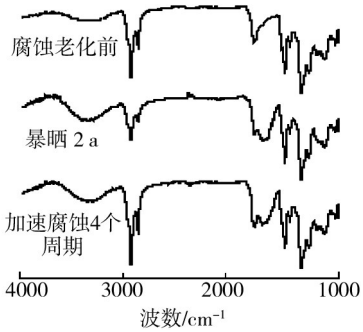


图5　曝晒2 a与加速腐蚀4个周期试样的红外光谱

Fig. 5　FTIR of specimen with natural exposure for two years and accelerated corrosion for four cycles

曝晒2 a、加速腐蚀4个周期的试件与原始试件的红外光谱相比较,变化趋势相似。经过曝晒2 a或加速腐蚀4个周期后,位于1716 cm^{-1}的C＝O伸缩振动吸收峰强度增加,出现了位于1647 cm^{-1}的C＝C共轭双键的特征吸收峰,说明C—H发生断裂生成了C＝C共轭双键。位于3307 cm^{-1}的—NH—吸收峰强度也有所增加。

从红外光谱特征看,曝晒2 a与加速腐蚀4个周期试样表面涂层的红外光谱吸收峰位置基本相同,各吸收峰的吸收强度相近。因此,可以认为自然曝晒与加速试验环境谱腐蚀的试样表面涂层降解机制相似,自然曝晒2 a与加速腐蚀4个周期涂层分子链降解程度接近。自然曝晒2 a与加速试验环境谱腐蚀4个周期试样表面涂层腐蚀老化情况相当。

3　结论

1）采用加速试验环境谱,综合考虑温湿、紫外线照射、盐雾等主要环境腐蚀因素的作用,通过实验室环境块模拟,将典型腐蚀环境转化为具体试验指标,再现了装备的服役状态,能够模拟有机涂层自然曝晒的腐蚀特点。

2）加速试验结果表明,环氧富锌底漆对金属的

（下转第70页）

究较少，提高军车柴油机高原环境性能没有可移植的成熟技术；国内对军车柴油机高原性能提升技术的研究尚不够系统、深入。因此，需要深入研究柴油机的高原环境性能提升技术，全面提升车辆柴油机的高原适应性。

在提升车辆柴油机高原性能的关键技术中，增压技术、燃烧优化技术和低气压低温起动技术是车辆柴油机高原动力性、经济性、起动性等综合性能提升的关键技术；高原环境标定技术为增压技术、燃烧优化技术、低气压低温起动技术等研究提供标定手段和平台；热平衡技术为增压技术、燃烧优化技术等研究提供热负荷边界条件，这两种技术也是提高车用柴油机高原环境性能研究所必需的。

参考文献：

[1] 刘瑞林，周广猛，尚永新，等. 军用动力机械高原环境适应性研究[J]. 军事交通学院学报，2010(6)：78—81.

[2] 许翔，周广猛，郑智，等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程，2010，7(5)：100—103.

[3] 魏名山，季凯，马朝臣. 车用柴油机的二级增压[J]. 汽车技术，2005(1)：25—28.

[4] LANGEN P，HALL W，NEFISCHER P. BMW 740d 轿车用新型两级涡轮增压直列6缸柴油机[J]. 国外内燃机，2011(1)：21—26.

[5] 周广猛. 电控高压共轨柴油机高海拔性能试验研究[D]. 天津：军事交通学院，2009.

[6] 任优，倪计民. 电控柴油机的优化标定[J]. 汽车科技，2007(3)：27—31.

[7] 王军. WD615柴油机高原适应性技术研究[J]. 山东内燃机，2003(3)：22—27.

[8] 董素荣，郝志刚，刘刚，等. 车用涡轮增压柴油机高海拔性能研究[C]// 中国高等教育学会工程热物理专业委员会第十五届全国学术会议. 2009.(余不详)

[9] 李文祥. CA6110/125Z1A2增压柴油机对青藏高原适应性的研究[J]. 汽车技术，2001(7)：5—12.

[10] 张海雷. 柴油机变海拔涡轮增压技术研究[D]. 北京：清华大学，2008.

[11] 施新，李文祥. 匹配二级顺序增压系统的柴油机高原特性仿真[J]. 兵工学报，2011(4)：397—402.

[12] 董素荣，张恒超，靳尚杰，等. 进气预热对车用柴油机低温起动性能影响的研究[J]. 军事交通学院学报，2009(6)：41—44.

[13] 韩强，杨福源，张京永，等. 用于标定和优化的高压共轨柴油机建模[J]. 清华大学学报(自然科学版)，2004，44(11)：1524—1527.

[14] 仇滔. 柴油机电控系统参数标定技术研究[D]. 北京：北京理工大学，2005.

[15] 任晓江. 柴油机高原环境冷却系统性能仿真研究[D]. 天津：军事交通学院，2011.

(上接第17页)

防护性能优于环氧铁红底漆，这与自然曝晒的结果是一致的。

3) 利用腐蚀程度对比的方法，从失光、变色、粉化、起泡、开裂、剥落和基体腐蚀，以及腐蚀的宏、微观形貌，涂层分子链降解程度等方面，确定了加速试验环境谱具有约2个周期当量自然曝晒1 a的相关性。

参考文献：

[1] 刘文珽，李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京：航空工业出版社，2004.

[2] 李玉海，刘文珽，杨旭. 军用飞机结构日历寿命体系评定应用范例[M]. 北京：航空工业出版社，2005.

[3] 王晶晶，董士刚，叶美琪，等. 环氧涂层室外曝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.

[4] 张勇，陈跃良，吴剑锋，等. 后勤装备防腐涂层加速试验环境谱研究[J]. 装备环境工程，2010，7(5)：147—151.

[5] 刘文珽，李玉海，陈群志，等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报，2002，28(1)：109—112.

[6] 胡建文，李晓刚，高瑾. 有机涂层室内加速试验的对比[J]. 北京科技大学学报，2009，31(3)：381—387.

[7] 穆山，李军念，王玲. 实验室加速试验与自然暴露试验差异性研究[J]. 装备环境工程，2011，8(5)：13—19.