

FEVE 涂层的老化与服役寿命预测研究

张晓东, 赵 钺, 郭燕芬, 王 俊, 揭敢新, 黄海军

(中国电器科学研究院有限公司, 工业产品环境适应性国家重点实验室, 广州 510663)

摘 要: 利用氙灯老化试验研究了 FEVE 氟碳涂料的光泽、颜色变化规律, 通过金相显微镜和 ATR-FTIR 考察了涂层表面形貌和分子结构的变化, 结果表明: FEVE 树脂的薄弱环节为酯基。根据环境应力量化模型预测了涂层在海南湿热环境中的服役寿命。

关键词: FEVE 氟碳涂料; 氙灯老化试验; 环境应力量化模型; 服役寿命预测

中图分类号: TQ 630.7⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4312(2013)05-0062-04

Study on Aging and Service Life Prediction of FEVE Coating

Zhang Xiaodong, Zhao Yue, Guo Yanfen, Wang Jun, Jie Ganxin, Huang Haijun

(State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products, China National Electric Apparatus Research Institute Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In this article, the change of gloss and color of FEVE fluorocarbon coating has been studied in xenon lamp weatherometer, and by use of metallographic microscope and ATR-FTIR, the surface morphology and molecular structure of the coating has also been investigated. The results showed that the ester group is the weakest part in FEVE resin. Finally, FEVE service life of the coating in Hainan dampheat environment was predicted by environment stress quantitative model.

Key Words: FEVE fluorocarbon coating; xenon lamp weathering test; environment stress quantitative model; service life prediction

FEVE 氟碳涂料以其良好的施工性能、优异的耐久性、耐化学性等, 在建筑外墙、钢结构重防腐及新能源等领域获得越来越广泛的应用。理论上, 结构规整的 FEVE 树脂具有优异的耐候性, 但实际使用中, 由于 FEVE 氟碳涂料与其他组分的相容性以及颜料的选择等因素, 会降低其耐候性^[1]。如何通过人工加速老化试验去验证 FEVE 涂料是否达到供应商所保证的长寿命, 是人们非常关心的一个问题。

本研究根据环境应力量化模型, 利用氙灯加速老化试验研究了某 FEVE 涂料的耐老化性能, 并对其在湿热自然环境中的服役寿命进行了预测。

1 实验部分

1.1 涂层配套体系

涂层样板: 140 mm × 70 mm, 客户提供; 涂层配套体系: 铜金底漆 + FEVE 罩光清漆。

1.2 氙灯老化试验

依据 GB/T 1865—2009《色漆和清漆人工气候老化和人工辐射暴露(滤过的氙弧辐射)》进行氙灯老化试验, 试验参数如表 1 所示。氙灯老化试验箱为 Atlas Ci4000 型, 将样品用夹具固定后挂在旋转的试

作者简介: 张晓东(1978—), 男, 工程师, 主要研究高分子材料的老化与防护。

样架上对光照射4 000 h。每 800 h 取样观察 1 次。

表 1 氙灯暴露试验条件

Table 1 The parameters of xenon lamp exposure test

条件参数	具体内容
光源	氙灯光源
滤光管组合	Type S BORO/Type S BORO
辐照强度	0.51 W/m ² @ 340 nm
黑标温度	65 ℃
试验箱温度	38 ℃
相对湿度	50%
试验循环	102 min 光照,18 min 光照 + 喷水

1.3 分析测试

1.3.1 光泽与颜色的测量

依据 GB/T 9754—2007《色漆和清漆 不含金属颜料的色漆漆膜的 20°、60°和 85°镜面光泽的测定》,采用 sheen 160 型三角度光泽计测量涂层 60°镜面光泽。

依据 ISO 7724.2—1984《色漆和清漆 比色法 第 2 部分 颜色测量》和 ISO 7724.3—1984《色漆和清漆 比色法 第 3 部分 色差计算》,采用 UltraScan PRO 型光谱光度计考察涂层的颜色变化。

1.3.2 傅里叶变换衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR)分析

采用 NEXUS 870 型 ATR-FTIR 红外光谱仪(Thermo Nicolet 公司)对原始及氙灯老化4 000 h后涂层表面进行扫描,考察表层分子结构的变化。扫描次数为 32,分辨率为 4 cm⁻¹,扫描范围 600~4 000 cm⁻¹。

1.3.3 涂层表面微观形貌观察

在 23 ℃、相对湿度 50%的环境下对涂层氙灯老化 4 000 h 的样品状态调节 24 h 后采用 Leica DM6000M(德国徕卡公司)金相显微镜观察其形貌,放大倍率 100。

1.4 涂层老化等级评定

依据 GB/T 1766—2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》对涂层老化后的失光等级与变色等级进行评定。

2 结果与讨论

2.1 老化后的样品外观

图 1 为涂层样板在氙灯试验箱中暴露4 000 h后

的外观形貌照片。



图 1 样品氙灯老化4 000 h后的外观

Fig. 1 The surface image of sample after 4 000 hour xenon lamp aging

从图 1 可以看出,被试样夹遮蔽的边缘部分与暴露的中间部分产生了较明显的视觉差异。

2.2 老化前后 FEVE 涂层的光学性能

对老化后的涂层中间部分进行光泽与色差的测量,结果分别如表 2、表 3 所示。

表 2 涂层光泽的变化

Table 2 Gloss change of sample at different aging stage

试验时间/h	光泽	失光率/%	失光等级/级
0	95.2	0	
800	95.1	0.11	0
1 600	91.2	4.20	1
2 400	84.5	11.24	1
3 200	70.3	26.16	2
4 000	65.2	31.51	3

表 3 涂层颜色的变化

Table 3 Colour change of sample at different aging stage

试验时间/h	色差	变色等级/级
0	0	
800	2.89	1
1 600	3.76	2
2 400	3.60	2
3 200	3.91	2
4 000	4.36	2

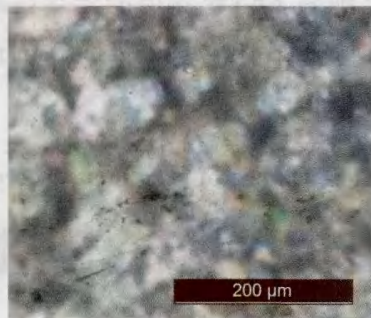
涂层光泽的变化主要受表层 FEVE 罩光清漆表面粗糙度影响,1 600 h 以前表面光泽的变化较小,后期有加速失光的趋势;色差的变化则受底漆铜金粉颜色稳定性的影响,暴露 800 h 后,颜色变化就比较明显,后期变化缓慢。

2.3 老化前后 FEVE 涂层微观形貌

利用金相显微镜对老化前后的涂层表面进行观察,结果如图 2 所示。



(a) 原始样



(b) 老化样

图 2 老化前后涂层表面微观形貌

Fig. 2 Metallographic analysis of sample before and after xenon lamp aging

由图 2 可以看出,原始试样表面除了有一些划痕之外,没有明显的缺陷,老化后的试样表面则布满了小凹坑,增加了漫反射,降低了涂层对光线的反射率。

2.4 FEVE 涂层红外光谱

ATR-FTIR 通过样品表面的反射信号获得样品表层有机成分的结构信息,具有不破坏样品的特点^[2],特别适用于多涂层样品表面信息的采集。图 3 为老化前后涂层表面分子结构红外光谱^[3]。

图 3 中,2 931.78 cm⁻¹、2 850.47 cm⁻¹、1 462.62 cm⁻¹等为亚甲基的特征吸收峰,1 367.29 cm⁻¹为甲基的振动吸收峰,1 762.62 cm⁻¹、1 689.72 cm⁻¹为羰基的特征吸收峰,与 1 213.08 cm⁻¹共同指示酯基的存在,1 072.90 cm⁻¹为 C—F 键的特征吸收峰。老化后的样品,1 762.62 cm⁻¹、1 689.72 cm⁻¹、1 213.08 cm⁻¹等处的吸收峰明显减弱,说明 FEVE 树脂的薄弱环节为酯基,老化过程中有酯基降解现象发生。

2.5 FEVE 涂层的服役寿命预测

近年来,工业产品环境适应性国家重点实验室提

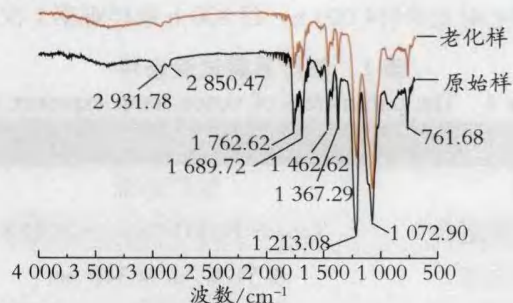


图 3 老化前后涂层表面分子结构的红外光谱

Fig. 3 ATR-FTIR spectra of sample before and after xenon lamp aging

出了一种基于环境因子量化模型和环境应力等效假设的服役寿命预测新方法。该方法认为,暴露在大气环境中的高分子材料,其老化主要受辐照的影响,温度和水对老化起促进作用。因此,依据高分子材料光反应动力学、热反应动力学以及水解动力学原理,可以将温度和水的影响统一为辐照的影响,称之为调节辐照 R_T ,如式(1)所示。

$$R_T = R \cdot f(T) \cdot f(RH) \quad \text{式(1)}$$

式中, R 为样品接收的辐照, $f(T)$ 、 $f(RH)$ 分别为温度和湿度的调节系数。

当采用合适的人工加速试验方法后,人工与自然暴露试验的 R_T 值相同,即环境应力值相同,试验结果相近。

海南典型湿热环境的辐照、温度、湿度以及降雨量等环境条件数据连续 10 a 的监测统计结果如图 4 所示。

海南实测的辐照强度为 0.50 ~ 0.60 W/m² @ 340 nm,一年之中样品表面温度高于 60 ℃ 的累计时间为 843.5 h,相对湿度大于 50% 的累计时间为 8 700 h 左右,年平均降雨量 2 100 mm 左右。

利用 PS、PC、PP 等多种高分子材料在海南的自然暴露试验及根据表 1 试验条件开展人工模拟试验的结果^[4-5]可以看出,用本试验中氙灯暴露试验条件模拟我国海南的湿热环境是可行的。

自然暴露试验中,环境条件随时发生变化,因此,可以每 5 min 记录一次辐照、温度及相对湿度数据作为该时间段的平均值,累计 1 a 环境应力如式(2)所示。

$$R_{T\text{自然}} = \sum \bar{R}_{5\text{min}} \cdot f(\bar{T}_{5\text{min}}) \cdot f(\bar{RH}_{5\text{min}}) \quad \text{式(2)}$$

式中, $\bar{R}_{5\text{min}}$ 、 $f(\bar{T}_{5\text{min}})$ 、 $f(\bar{RH}_{5\text{min}})$ 分别为每 5 min 测得的辐照量数据以及相应的温度和相对湿度的调节系数。

人工模拟试验中,各条件参数稳定,可以采用 1 min

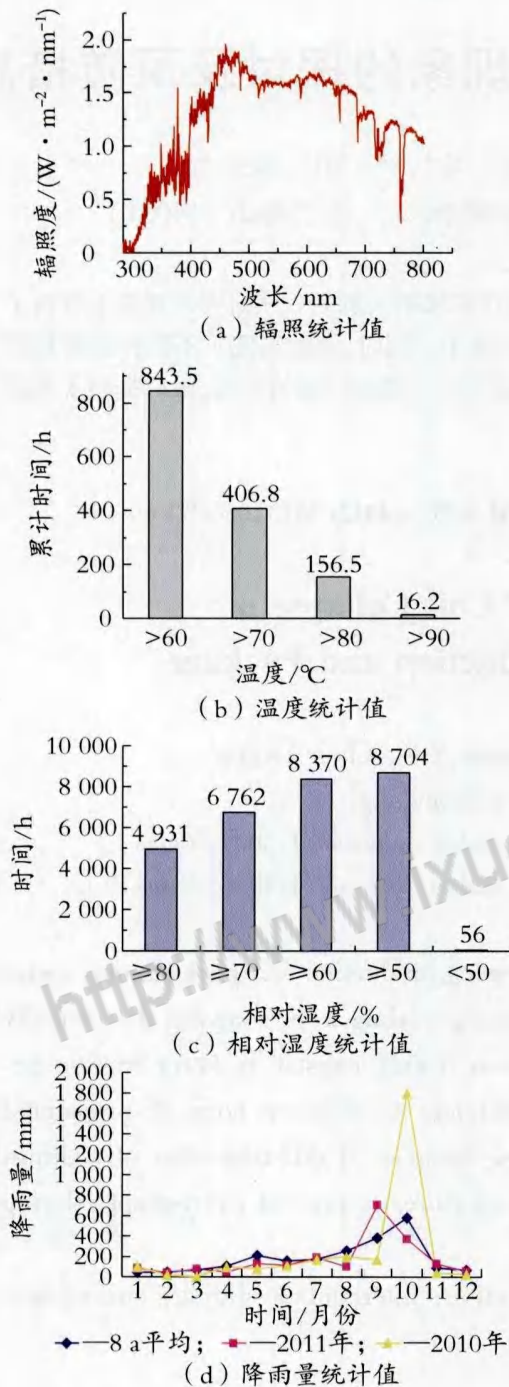


图4 海南琼海连续10 a环境条件统计结果

Fig. 4 Statistical results of ten-year environmental condition in Qionghai, Hainan province

或1个试验循环来计算环境应力。进而可以根据式(3)计算与自然暴露相同环境应力的人工模拟试验时间。

$$R_{T自然} = R_{T人工} \quad (3)$$

根据式(1)、式(2)、式(3),可以计算出不同暴晒角度的样品在海南琼海自然暴露1 a,相当于本试验中氙灯暴露试验的时间,结果如表4所示。

表4 相当于琼海自然暴露1 a的氙灯暴露时间

Table 4 The xenon-arc exposure time equal to one year outdoor exposure in Qionghai, Hainan province

自然暴露角度	氙灯暴露试验时间/h
水平	1 250
垂直	500

根据表4可以计算出在海南地区,该涂层用于建筑外墙、风电塔筒等防护时,使用8 a左右的性能变化相当于氙灯暴露4 000 h的性能变化;用于平面屋顶等3.75 a左右性能变化与氙灯暴露4 000 h相当。

3 结 语

对某 FEVE 涂层开展氙灯暴露试验,随着试验的进行,其表面形貌、光泽及颜色都会发生变化,对老化前后的分子结构进行红外光谱分析的结果表明,FEVE 分子结构的薄弱环节为酯基。利用氙灯暴露试验和环境应力量化模型结果可以预测该涂层在海南地区位于水平面时服役3.75 a、位于垂直面时服役8 a相当于氙灯暴露4 000 h。

参考文献

- [1] 倪玉德. FEVE 氟碳树脂的技术进展[J]. 现代涂料与涂装, 2006, 9(1): 13-18.
NI Y D. Technology progress of FEVE fluoro-carbon resin [J]. Modern Paint and Finishing, 2006, 9(1): 13-18.
- [2] 蔡碧琼, 蔡向阳, 张福娣. 衰减全反射-傅里叶变换红外光谱技术的发展及应用[J]. 武夷科学, 2004(1): 192-194.
CAI B Q, CAI X Y, ZHANG F D. Advances and application in technology of attenuated total reflectance FT-IR spectroscopy[J]. Wuyi Science Journal, 2004(1): 192-194.
- [3] 刘翼, 蒋荃. 建筑装饰用氟碳涂层定性分析方法[J]. 涂料工业, 2008, 38(2): 66-68.
LIU Y, JIANG Q. Qualitative analytical method of architectural decoration fluorocarbon coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2008, 38(2): 66-68.
- [4] 张晓东, 王俊, 江鲁, 等. 汽车外饰件光老化试验方法主要参数的设计思路[J]. 汽车工艺与材料, 2012(8): 48-50.
- [5] 张晓东, 陶友季, 王俊, 等. 海南自然暴晒试验与人工加速光老化试验的相关性研究[J]. 汽车工艺与材料, 2012(9): 43-44, 47.

收稿日期 2013-02-27(修改稿)

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 电缆热老化寿命预测](#)
- [2. 电缆热老化寿命的预测研究](#)
- [3. FEVE涂层的老化与服役寿命预测研究](#)
- [4. 全玻璃真空太阳集热管\(器\)寿命测试方法的分析](#)
- [5. FEVE氟碳罩面清漆耐加速老化性能研究](#)
- [6. 橡胶老化寿命预测方法的研究情况简介](#)
- [7. 再制造的热喷涂合金涂层的结构完整性与服役寿命预测研究](#)
- [8. 橡胶隔振器老化寿命的预测](#)
- [9. TP304H服役炉管的组织变化研究及寿命预测](#)
- [10. 涂层寿命预测方法](#)