



# 建筑外墙涂料在不同人工加速老化光源下耐候性能的研究\*

彭 军 杨育农 文 璟 李 欣 杨表芳  
(广州合成材料研究院有限公司, 广东广州 510665)

**摘要:** 将建筑外墙涂料分别暴露在氙灯、荧光紫外灯和碳弧灯等不同的老化光源下进行人工加速老化试验, 通过对比研究老化前后涂层宏观光学性能、微观形貌和分子结构的变化规律, 探讨这三种老化试验方法对建筑外墙涂料耐候性能的影响。

**关键词:** 建筑外墙涂料, 人工加速老化, 光源, 耐候性

中图分类号: TQ 630.7<sup>+</sup>2

DOI:10.16584/j.cnki.issn1671-5381.2017.05.001

## Study on Weather-resistance Properties of Exterior Architectural Coating under Different Artificial Accelerated Aging Light Source

PENG Jun, YANG Yu-nong, WEN Jing, LI Xin, YANG Biao-fang

(Guangzhou Synthetic Materials Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510665, Guangdong, China)

**Abstract:** Artificial accelerated aging tests for exterior architectural coating were carried out exposing under different aging light sources including xenon lamp, fluorescent UV lamp and carbon arc lamp. The change of macroscopic optical property, surface morphology and molecular structure of coating layer have been contrastively studied, the influence of the three different artificial accelerated aging test on weather-resistance properties of exterior architectural coating has been investigated.

**Key words:** exterior architectural coating, artificial accelerated aging, light source, weather-resistance

建筑外墙涂料作为一种建筑外墙的保护装饰性材料,能使建筑物表面整洁美观,同时施工简易方便,因此广泛应用于建筑外墙装饰领域<sup>[1]</sup>。建筑外墙涂料在使用过程中,尤其是暴露于户外,不可避免的会受阳光、降雨、温湿度和氧气等自然大气环境因素的作用而产生老化现象,从而导致其保护功能和装饰效果的丧失。随着我国建筑行业的发展和涂料产量的增加,建筑外墙涂料户外耐候性能日益受到重视,人们对建筑

外墙涂料的应用也提出了更高的要求<sup>[2-4]</sup>。因此,研究和评价筑外墙涂料的耐候性,对于判断涂料使用寿命、提高涂料耐久性和品质具有至关重要的作用。

通常,人们通过人工加速老化试验来研究高分子材料的耐候性和老化性能。人工加速老化试验是在人工气候老化箱中进行的,模拟和强化大气环境中主要气候因素的一种老化试验方法<sup>[5]</sup>。在影响涂料耐候性的各种大气环境因素中,日光

\* 基金项目: 2016 年广州合成材料研究院研究开发基金(KJ06201611712)

的辐照强度与能谱分布是最重要的模拟因素。按照人工气候试验箱老化光源的不同,人工加速老化试验可分为氙灯老化、荧光紫外老化和碳弧灯老化,不同的老化光源对高分子材料的老化效果和破坏程度也不同<sup>[6-8]</sup>。本文将建筑外墙涂料分别暴露在氙灯、荧光紫外和碳弧等不同的老化光源下进行人工加速老化试验,考察外墙乳胶漆涂膜的光泽、色差等宏观光学性能,再通过研究老化前后涂膜表面的微观形貌和分子结构的变化,比较分析不同人工加速老化测试方法之间的结果,研究探讨不同老化试验方法对建筑外墙涂料耐候性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 样板制备

客户提供试验样板,底材为尺寸 140mm × 70mm 的水泥板。

### 1.2 试验设备和老化条件

采用氙灯、荧光紫外灯和碳弧灯等三种老化光源对建筑外墙涂料试板进行 2000h 人工加速老化试验,每 400h 为一个考察阶段对试板的各项宏观光学性能进行考察。表 1 是试验设备、试验条件和所依据的标准方法。

表 1 三种不同人工加速老化试验设备和老化条件

Table 1 Three kinds of artificial accelerated aging test equipment and aging conditions

| 老化光源  | 依据标准  | 试验设备                          | 老化条件   |
|-------|---|-------------------------------|--|
| 荧光紫外灯 | GB/T 23987 - 2009《色漆和清漆 涂膜的人工气候老化曝露 曝露于荧光紫外线和水》 | 美国 ATLAS 公司的 UV-COM 荧光紫外老化试验箱 | 光源 UVB - 313 灯,辐照度: 0.72W/m <sup>2</sup> , 4h 光照干燥,黑板温度(60 ± 3) °C, 4h 黑暗冷凝,黑板温度(50 ± 3) °C。             |
| 氙弧灯   | GB/T 1865 - 2009《色漆和清漆人工气候老化和人工辐射 曝露(滤过的氙弧辐射)》  | 美国 ATLAS 公司的 Ci5000 氙灯人工耐候试验机 | 辐照度(340nm): 0.51W/m <sup>2</sup> ; 相对湿度: (40 ~ 60) %; 黑板温度: (65 ± 2) °C; 降雨周期: 18min/102min(喷水时间/不喷水时间)。 |
| 碳弧灯   | ISO 16474 - 4《色漆和清漆 实验室光源曝露试验方法 第 4 部分: 火焰碳弧灯》  | 日本须贺公司的 WEL-SUN-DC 型碳弧灯耐候试验机  | 相对湿度: (50 ~ 60) %; 大气温度: (45 ~ 60) °C; 黑板温度: (63 ± 2) °C; 降雨周期: 12min/60min(喷水时间/不喷水时间)。                 |

### 1.3 光学性能的测定

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》采用德国 BYK-Gardner 的 BYK 4520 多角度光泽度计测量涂层 60° 镜面光泽; 依据 ISO 7724.3 - 1984《色漆和清漆比色法 第 3 部分 色差计算》,采用日本 KONICA MINOLTA 公司的 CR10 色差计测量涂层色差变化; 依据 GB/T 2409 - 1980《塑料黄色指数试验方法》,使用日本 KONICA MINOLTA 的 CM - 700d 分光测色计对老化前后试板的黄色指数进行测试。

### 1.4 涂层微观形貌和分子结构的表征

采用德国徕卡公司的 Leica DM6000M 金相显微镜对涂层老化前后的涂层微观形貌进行观测,放

大倍率 100。采用 Thermo 公司的 Nicolet 6700 型傅里叶全反射红外光谱仪(ATR-FTIR)对老化前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 4cm<sup>-1</sup>,扫描范围 600cm<sup>-1</sup> ~ 4000cm<sup>-1</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光泽的变化

对三种人工加速老化光源下外墙涂料试验的 60° 镜面光泽度和失光率的进行测定,并依据 GB/T 1766 - 2008《色漆和清漆 涂膜老化的评级方法》进行评定对涂膜老化后的失光等级进行评级,结果如表 2 所示。

表2 不同老化光源下涂层光泽的变化

Table 2 Gloss change of sample under different aging light source

| 时间/h | 荧光紫外灯 |       |      | 氙灯  |       |      | 碳弧灯 |       |      |
|------|-------|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|
|      | 光泽度   | 失光率/% | 失光等级 | 光泽度 | 失光率/% | 失光等级 | 光泽度 | 失光率/% | 失光等级 |
| 0    | 2.4   | 0     | —    | 2.4 | 0     | —    | 2.4 | 0     | —    |
| 400  | 2.4   | 0     | 0    | 2.4 | 0     | 0    | 2.4 | 0     | 0    |
| 800  | 2.3   | 4     | 1    | 2.3 | 4     | 0    | 2.3 | 4     | 1    |
| 1200 | 2.2   | 8     | 1    | 2.3 | 4     | 1    | 2.3 | 4     | 1    |
| 1600 | 2.2   | 8     | 1    | 2.2 | 8     | 1    | 2.2 | 8     | 1    |
| 2000 | 2.1   | 12    | 1    | 2.2 | 8     | 1    | 2.2 | 8     | 1    |

试板涂膜的60°初始镜面光泽度低于10,属于低光泽漆膜,同时涂膜光泽的变化受表层涂膜表面粗糙度影响,三种人工加速老化条件下的表面光泽的变化较小,荧光紫外灯、氙灯和碳弧灯老化2000h后失光等级都为1级,三种老化光源下乳胶漆涂膜的失光率变化都不大,这一方面是由于本试验所用的建筑外墙涂料试样本身就有优异的耐候性,应用于室外能经受气候的考验,如光照、冷热、风雨等造成的综合破坏,另一方面是涂膜本身属于低光泽涂膜,所以失光率和失光等级的差别

较小。按照GB/T 1766-2008《色漆和清漆 涂膜老化的评级方法》对涂膜老化后的粉化等级进行评定,三种光源老化后涂层的粉化等级都为0级,都未出现粉化现象。

## 2.2 色差的变化

对三种人工加速老化光源下外墙涂料试验的色差 $\Delta E$ 进行测试,并依据GB/T 1766-2008《色漆和清漆 涂膜老化的评级方法》对涂膜老化后的失光等级进行评定,结果如表3所示。

表3 不同人工加速老化光源下涂层色差的变化

Table 3 Color change of sample under different aging light source

| 时间/h | 荧光紫外灯         |      | 氙灯            |      | 碳弧灯           |      |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
|      | 色差 $\Delta E$ | 变色等级 | 色差 $\Delta E$ | 变色等级 | 色差 $\Delta E$ | 变色等级 |
| 0    | 0.2           | —    | 0.2           | —    | 0.2           | —    |
| 400  | 0.8           | 0    | 0.5           | 0    | 0.6           | 0    |
| 800  | 1.1           | 0    | 0.7           | 0    | 0.8           | 0    |
| 1200 | 1.5           | 0    | 0.9           | 0    | 1.1           | 0    |
| 1600 | 2.1           | 1    | 1.2           | 0    | 1.3           | 0    |
| 2000 | 2.7           | 1    | 1.4           | 0    | 1.5           | 0    |

氙灯和碳弧灯老化2000h的涂膜试板的色差 $\Delta E$ 分别为1.4和1.5,失光等级都为0级,无失光现象。荧光紫外老化2000h后色差 $\Delta E$ 为2.7,变色等级为1级,出现很轻微变色。建筑外墙涂料这种老化现象的差异主要是由于三种老化光源的老化程度的差别所引起的。氙灯发出的辐射经过滤光器过滤掉较短的紫外光波和红外光波,使

到达试样表面的光谱接近太阳光<sup>[9]</sup>。碳弧灯具有和氙灯相似的辐射效果。紫外灯管的紫外光部分强于自然光紫外部分,并且含有部分自然光中基本没有的短波紫外光,因此荧光紫外灯老化试验仅模拟太阳光中的紫外光对耐候性材料造成损害,荧光紫外加速倍率比氙灯和碳弧灯老化高,老化程度也更大<sup>[10]</sup>,所以经荧光紫外老化后的试板

老化变色现象较明显。

### 2.3 涂层黄变分析

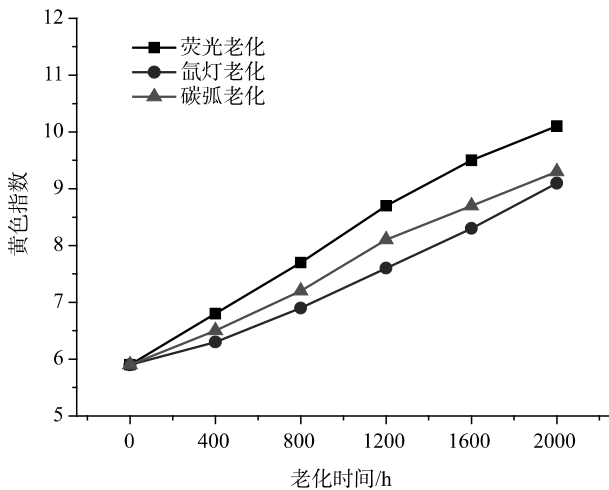


图 1 不同老化光源下涂膜黄色指数随老化时间的变化曲线

Fig. 1 The change curve of yellow index with aging time under different aging light source

图 1 是老化前和不同人工试验方法老化 2000h 后涂膜黄色指数随老化时间的变化曲线。

老化前的涂膜样板的黄色指数为 5.9, 氙灯和碳弧灯老化 2000h 的涂膜试板的黄色指数分别为 9.1 和 9.3, 说明试板涂膜经过 2000h 的氙灯老化比碳弧灯老化后的黄变情况略好; 涂膜经 2000h 荧光紫外老化黄色指数升高到 10.1, 涂膜表面已出现轻微泛黄, 经荧光紫外老化后的涂膜耐黄变性能低于氙灯老化和碳弧灯老化, 即荧光紫外的老化程度也更大, 经荧光紫外老化后的涂膜更容易出现黄变, 进一步证明荧光紫外灯可以使产品加速老化, 适宜作为一个紫外筛选装置, 在建筑外墙涂料质量控制中使用。

### 2.4 老化前后涂层微观形貌

利用金相显微镜对三种人工加速老化光源下外墙涂料试板老化前后涂层表面微观形貌进行观察, 结果图 2 所示。

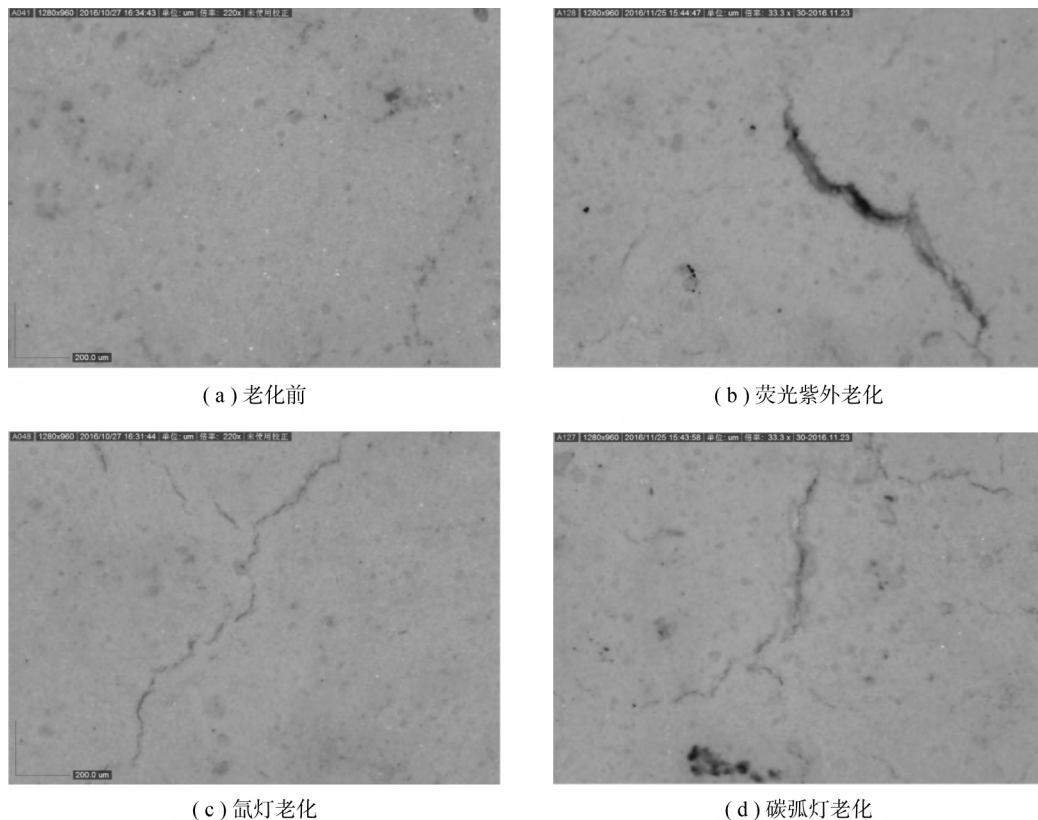


图 2 不同光源下老化前后涂膜表面微观形貌

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

由图 2 可以看出, 原始未老化试样表面除了有一些划痕之外, 没有粉化和裂纹等缺陷, 表现良好。

老化后的试样表面则出现了由于涂膜粉化所引起的凹坑以及裂纹缺陷, 增加了漫反射, 降低了涂膜

对光线的反射率。其中,荧光紫外老化后的试板出现的裂纹宽度最大、裂纹纹理较深,氙灯老化和碳弧灯老化后的试板出现裂纹的宽度较小,裂纹纹理较细。建筑外墙涂料表面的裂纹缺陷造成涂膜光泽、色差、黄变指数等宏观光学性能的衰减,荧光紫外灯的加速倍率比氙灯和碳弧灯老化要大,所以老化程度越大,涂膜表面的缺陷也越大,耐候性衰减也越明显。

### 2.5 涂层的红外光谱

建筑外墙涂料试板分别进行2000h的氙灯老化、荧光紫外老化和碳弧灯老化试验后,其红外谱图如图3所示。

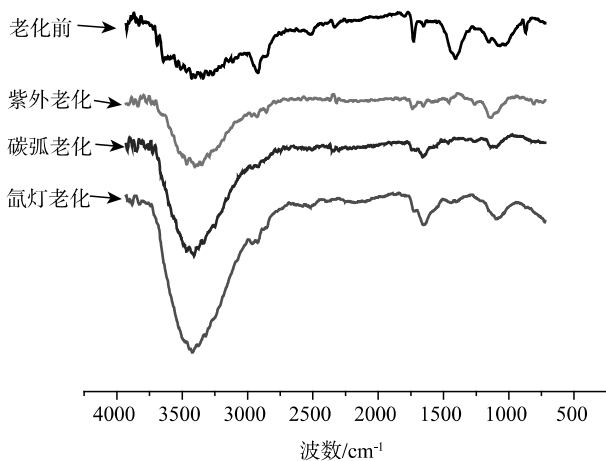


图3 不同光源下老化前后涂膜的红外光谱谱图  
Fig. 3 ATR-FTIR spectra of sample before and after different lamp aging

试验所用到的建筑外墙涂料的基体树脂为丙烯酸树脂,在 $2900\text{cm}^{-1}$ 左右和 $1450\text{cm}^{-1}$ 左右的吸收峰为丙烯酸树脂分子链中亚甲基的特征吸收峰。此峰在涂层老化后逐渐减弱,说明涂料老化过程是丙烯酸涂层分子中亚甲基分子链断裂而引起的。经老化光源照射后,涂层吸收了特定范围波长的光后分子发生光化学反应,从而出现老化现象<sup>[11]</sup>。其中荧光紫外灯下亚甲基的特征吸收峰的减速程度更大,在 $2900\text{cm}^{-1}$ 左右吸收峰基本消失。 $1650\text{cm}^{-1}$ 左右羰基特征吸收峰也在老化后逐渐减弱,说明老化过程中有酯基降解现象发生。荧光紫外老化后吸收峰减弱程度更大。这是因为波长更短荧光紫外灯发射出的光具有更高的能量,更容易与涂层分子化学键的

吸收,因而荧光紫外光辐射对建筑外墙涂料的老化程度最高,对化学键破坏能力也最大<sup>[12]</sup>。

### 3 结论

建筑外墙涂料经氙灯、荧光紫外灯和碳弧灯三种人工加速老化试验后,涂层中的丙烯酸树脂分子链发生光氧化降解,涂层分子结构中的酯基和亚甲基所对应的特征吸收峰在人工加速老化后减弱,导致分子链断裂,分子量降低,从而出现老化。氙灯光源和碳弧灯光源所发出的光辐射都包含了太阳光在紫外区和可见区的光谱能量分布,而荧光紫外只模拟太阳光中的紫外部分,使建筑外墙涂料加速老化损坏,老化后涂层的光泽下降、色差和黄变指数变大更明显。因此,荧光紫外灯加速老化作为耐候性外墙涂料的快速检验方法,可用于产品配方的筛选。

### 参考文献

- [1] 李湘洲. 国外建筑外墙涂料的现状与我国的差距[J]. 现代涂料与涂装, 2004, 33(5): 19-21.
- [2] 凌建雄, 涂伟萍, 杨卓如, 等. 高耐候性建筑外墙涂料的研究进展[J]. 化工进展, 2001, 20(2): 18-20.
- [3] 梁丽芸, 夏正斌, 蓝仁华, 等. 超耐候建筑外墙涂料的研究[J]. 绿色建筑, 2002, 18(2): 19-21.
- [4] 肖新颜, 夏正斌, 张旭东, 等. 环境友好涂料的研究新进展[J]. 化工学报, 2003, 54(4): 531-537.
- [5] 史继诚. 高分子材料的老化及防老化研究[J]. 合成材料老化与应用, 2006, 35(7): 27-30.
- [6] Schutz E, Berger F, Dirckx O. Study of degradation mechanisms of a paint coating during an artificial aging test[J]. Polymer Degradation and Stability, 1999(65): 123-130.
- [7] 赵苑, 李欣. 涂料老化机理及寿命评估方法研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2014(2): 64-68.
- [8] 潘施浚. 外墙涂料老化试验方法及影响因素[J]. 绿色建筑, 2004, 20(3): 29-32.

(下转第50页)

图 6( a) 中的平整状态变为图 6( b) 中的粗糙状态, 涂膜与基材的接触表面产生缝隙, 导致越来越多的水渗透到缝隙中, 最后如图 6( c) 所示涂膜完全脱离基材表面。因此水溶性树脂的加入能够使得涂膜具有水洗退膜性能, 且随着树脂含量的增加涂膜水洗退膜时间缩短。

### 3 结论

本实验探讨了水溶性聚丙烯酸酯树脂的功能单体配比、自制水溶性树脂组成配比、自制水溶性树脂与乳液的复配比、填料和水溶性高分子对可水洗临时性保护涂料涂膜性能的影响。确定了最佳配方: 水溶性聚丙烯酸酯-聚氨酯树脂与水溶性丙烯酸酯树脂以 1:1 比例制成自制水溶性树脂, 自制树脂与乳液复配比为 4:6, 再按水性复配树脂 77%~83%、硅溶胶 2.0%~2.6%、水性高分子 C 溶液 15%~20% 的配比制成可水洗临时性保护涂料, 具有退膜时间短、可温水退膜、残膜完整等特点。

### 参考文献

- [1] 蔡锦云, 李步龙, 孙鹏龙, 等. 一种 OGS 玻璃保护油墨、其制备方法及其应用: 中国, CN103319949A [P]. 2013-09-25.
- [2] Giambattista G, Fabrizio C, De S L. LCA of strip-pable coatings and of steam vacuum technology [J]. *Clean Technology and Environmental Policy* 2010(12): 283-189.
- [3] 吴月梅. 新型 OGS 耐酸耐温可剥离保护油墨的配方: 中国, CN104710888A [P]. 2015-

06-17.

- [4] Floris K, Steven Mitchell, Norman G. Absorbent multilayer coating system: US 0202785 [P]. 2013-08-08.
- [5] Georges Z, La G, Eddy R. Temporary protection of glass: US 0177324A1 [P]. 2011-07-21.
- [6] Edward W W, Ronald S. Dextrin-based protective coating compositions and methods of use thereof: US 6117485 [P]. 2000-09-12.
- [7] Shen L, Li Y W, Zheng J, et al. Modified epoxy acrylate resin for photocurable temporary protective coatings [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 89: 17-25.
- [8] 刘宏宇, 张松. 可剥离防护涂料的研究进展 [J]. *化工新型材料* 2010, 38(s1): 33-35.
- [9] 龙小柱, 王利军, 李海洋, 等. 水性油墨用水性丙烯酸树脂的研制 [J]. *应用化工*, 2015, 44(12): 2293-2296.
- [10] 王颖, 周春艳, 李丽. 环保型金属幕墙用可剥性涂料的研制 [J]. *现代涂料与涂装* 2013, 16(4): 7-8.
- [11] 曹钰, 刘世参. 零件表面可剥离封存薄膜技术的发展概况 [J]. *中国表面工程*, 2000, 13(02): 14-17.
- [12] 陈拯, 陈良印. 替代汽车面漆防护蜡的可剥离水性保护膜应用研究 [J]. *涂料技术与文摘*, 2013, 34(4): 37-39.
- [13] 余汉斌. 一种新型的汽车面漆保护方法 [J]. *上海涂料* 2003, 45(5): 22-24.

(上接第 5 页)

- [9] 李国庆, 夏辉华. 高分子材料日光老化、人工氙灯老化中光学因素的分析 [J]. *绿色建筑*, 2007, 23(4): 10-11.
- [10] 张晓东, 揭敢新, 彭坚, 等. 利用紫外加速老化试验分析聚苯乙烯老化的影响因素 [J]. *塑料科技* 2010, 38(10): 88-90.
- [11] Irigoyen M, Bartolomeo P, Perrin F X, et al. UV

ageing characterization of organic anticorrosion coatings by dynamic mechanical analysis, Vickers micro hardness, and infra-red analysis [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2000, 74(1): 59-67.

- [12] 沈志勤. 丙烯酸树脂涂料老化机理和改善性能的探讨 [J]. *江苏建材* 2000(3): 7-9.