

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.11.019

ABS材料人工加速老化与户外自然老化的相关性*

王玉海,石光,杨丽庭

(华南师范大学化学与环境学院,广州 510006)

摘要:通过红外光谱、色差和力学性能等研究了丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)在人工加速老化试验(UVA, UVB和氙灯)及户外自然老化试验过程中老化行为的相关性。红外分析结果表明,不同ABS材料在人工加速老化和自然老化过程中遵循相同的光氧化动力学,但不同光源对ABS材料的加速老化作用有明显差别;色差分析结果表明,人工加速老化试验对色差变化的加速倍率由大到小顺序为:UVB>UVA>氙灯。通过分析ABS材料的色差及力学性能在人工加速老化与户外自然老化过程中变化的相关性,拟合了人工加速老化与户外自然老化的时间换算方程。

关键词:丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料;人工加速老化试验;自然老化试验;相关性

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)11-0085-07

Relationship Between Artificial Accelerated Weathering and Outdoor Natural Weathering for ABS Resin

Wang Yuhai, Shi Guang, Yang Liting

(School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The relationship between the aging behavior of acrylonitrile-butadiene-styrene plastics (ABS) resins in different artificial accelerated weathering tests (UVA, UVB and xenon) and that in outdoor natural weathering test was investigated by FT-IR, color aberration and mechanical performance measurements. FT-IR results indicated that the photo-oxidative degradation mechanism of ABS in artificial accelerated weathering tests was the same as that in outdoor natural weathering test. However, different accelerated weathering test had obvious effect on the accelerated degradation rate of ABS resins. The order of accelerated rate of color aberration by accelerated weathering test was : UVB > UVA > xenon. The relationship between artificial accelerated weathering tests and outdoor natural weathering test was established on the basis of data obtained by color aberration and mechanical properties during aging. Finally, the conversion equation of time for artificial accelerated weathering test and outdoor natural weathering test was established.

Keywords: acrylonitrile-butadiene-styrene plastics ; artificial accelerated weathering ; outdoor natural weathering ; relationship

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)具有优异的综合性能,广泛应用于电子、汽车和建筑等领域,特别在白色家电领域,为冰箱、空调和洗衣机等家电外观部件最主要的材料之一。由于ABS的橡胶相中含有双键,在光、热、氧等环境因素的作用下容易发生老化,出现发黄和力学性能劣化等现象,影响其外观和使用^[1-5]。因此,对ABS材料在不同环境下老化行为的研究备受关注,试验方法包括人工加速老化试验和户外自然老化试验^[6-9]。与室内人工加速老化试验相比,户外自然老化试验更能真实反映特定气候环境对材料的影响,但户外自然老化试验周期较长。因此,通过探讨ABS材料在人工加速老化与户外自然老化过程中性能变化的相关性,

利用人工加速老化试验在较短的时间内预测ABS材料在自然环境中的耐候性和使用寿命,成为科研、生产和使用单位共同关心的问题,但相关研究不多。

笔者利用三种人工加速老化试验(UVA, UVB和氙灯)及户外自然老化试验对几种ABS材料的老化行为进行研究,通过对老化过程中ABS材料的红外光谱、色差和力学性能等分析,研究ABS在不

*广东省省级科技计划项目(2013B090200025, 2013B090600072, 2013B021300019)

联系人:王玉海,讲师,主要从事聚合物老化及功能聚合物复合材料的研究

收稿日期:2016-08-20

同老化试验下的光氧化反应机理以及人工加速老化试验与户外自然老化试验的相关性。在此基础上,建立 ABS 材料的色差和力学性能在人工加速老化和户外自然老化过程中的时间换算方程,为选择快速有效的人工加速老化试验方法提供依据。

1 实验部分

1.1 主要原料

ABS: HI-121H, LG 宁波甬兴有限公司;

ABS 色母: 瓷白颜色(无机物含量为 60%,其中金红石型 TiO_2 占 57%, BaSO_4 占 43%), 广州市波斯塑胶颜料有限公司;

抗氧剂 1010、抗氧剂 168、紫外光吸收剂 UV-327 和受阻胺光稳定剂 UV-770: 汽巴精化公司。

1.2 仪器与设备

同向双螺杆挤出机: CTE20 型, 科倍隆科亚(南京)机械有限公司;

直立式注塑机: KSU-250ST 型, 今塑(香港)精密机械有限公司;

氙灯老化试验箱(Q-Sun)、紫外老化试验箱(QUV): 美国 Q-Panel 公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)分析仪: TENSOR 27 型, 德国 Bruker 公司;

色差仪: CR400 型, 日本美能达公司;

万能拉伸试验机: GT-AI 7000M 型, 台湾高铁公司。

1.3 试样制备

样品有纯 ABS、添加 4% 色母的 ABS、添加 1% 抗氧剂(抗氧剂 1010 和抗氧剂 168 各占 50%) 和 1% 耐候剂(UV-327 和 UV-770 各占 50%) 的耐候 ABS。在制备样品之前, ABS 原料和色母均于 60°C 干燥 12 h。各组分按一定质量比均匀混合, 利用挤出机熔融挤出, 水冷切粒, 挤出温度为 200°C 。按照 GB/T 1040.2-2006 标准, 粒料于注塑机上注塑成力学测试用标准样条和颜色测试用色板。注塑压力为 6 MPa, 注塑温度为 220°C 。粒料样品热压成 $60\ \mu\text{m}$ 厚的薄膜, 光照老化试验后进行红外分析。

1.4 户外自然老化试验

户外自然老化试验在佛山顺德进行, 2010 年 4 月投样, 2011 年 3 月试验结束。佛山顺德属于亚热带气候, 常年平均气温为 21.7°C , 平均湿度为 75.3%, 日均辐照度为 $3.82\ \text{kWh}/\text{m}^2$ 。薄膜样品、色板和力学性能测试样条于自制样品架进行试验, 样品架正面朝南, 倾斜角度为 22.5° 。

1.5 人工加速老化试验

(1) 氙灯老化试验: 按照 GB/T 16422.2-1999 进行光老化试验, 辐射度为 $0.50\ \text{W}/\text{m}^2$ ($340\ \text{nm}$), 黑标准温度为 65°C , 相对湿度为 65%, 每个暴露周期为 120 min, 其中前 102 min 不喷水照射, 后 18 min 喷水照射, 不间断循环试验并取样测试。

(2) UVA 和 UVB 老化试验: 按照 GB/T 16422.3-1997 进行光老化试验, UVA 试验选择 UVA 型光源, 辐射度为 $0.55\ \text{W}/\text{m}^2$ ($340\ \text{nm}$), UVB 试验选择 UVB 型光源, 辐射度为 $0.55\ \text{W}/\text{m}^2$ ($313\ \text{nm}$)。相对湿度为 65%, 每个暴露周期为 12 h, 其中先于 60°C 光照 8 h, 后于 50°C 无辐照凝露 4 h, 不间断循环试验并取样测试。

1.6 性能测试

利用 FTIR 仪对薄膜样品进行红外测试, 扫描范围 $4000\sim 400\ \text{cm}^{-1}$, 分辨率为 $4\ \text{cm}^{-1}$, 扫描 16 次;

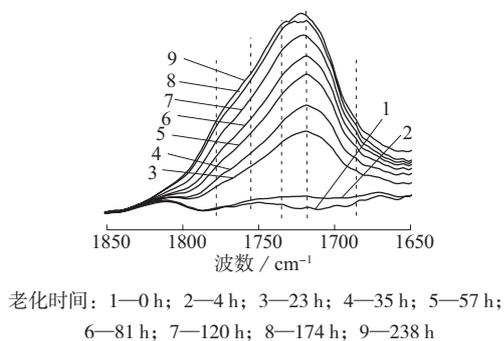
利用色差仪对老化过程中色板的色差进行测试;

利用万能拉伸试验机按照 GB/T 1040.1-2006 对未老化和老化样条进行拉伸性能测试, 拉伸速率为 $50\ \text{mm}/\text{min}$ 。

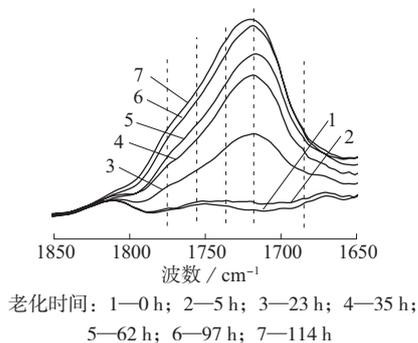
2 结果与讨论

2.1 ABS 光氧化反应的分析

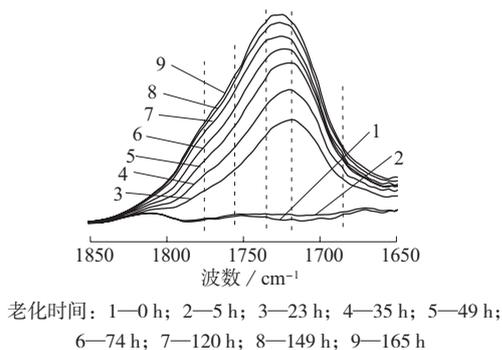
利用人工加速老化试验对材料使用寿命进行预测, 需要建立在人工加速老化和自然老化遵循相同光氧化反应机理的基础上, 否则存在较大偏差。研究表明^[10], ABS 受光照后, 氧化降解主要发生于橡胶(PB)相, 而苯乙烯-丙烯腈相影响氧的渗透作用, 抑制 PB 相的氧化降解。ABS 的光氧化实质上是氢过氧化物发生降解反应生成羰基产物的过程^[11]。利用红外光谱对羰基产物进行研究, 可分析人工加速老化的光氧化反应机理与户外自然老化是否一致。图 1 为不同老化试验过程中纯 ABS 羰基产物的 FTIR 谱图。由图 1 可见, 随着老化时间的增加, 纯 ABS 在 $1600\sim 1800\ \text{cm}^{-1}$ 范围的羰基产物吸收峰逐渐增强, 并分别于 $1685, 1718, 1735, 1755, 1775\ \text{cm}^{-1}$ 附近出现光氧化产生的不饱和双键、缩合羧酸、酯、游离羧酸和 γ -内酯的特征吸收峰^[12-13]。在不同老化试验中, 纯 ABS 羰基产物吸收谱带的峰形和变化规律相似, 说明纯 ABS 在人工加速老化和自然老化过程中遵循相同的光氧化反应机理。因此, UVB, UVA 和氙灯三种加速老化方法均可用于模拟户外自然老化, 从而对材料的耐候性和使用寿命进



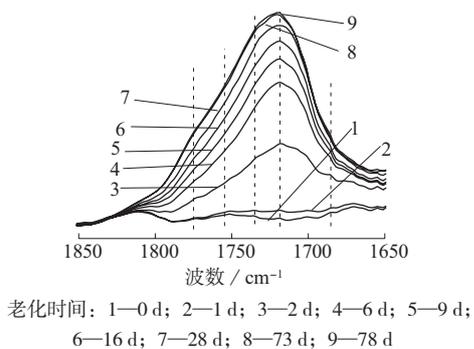
(a)



(b)



(c)



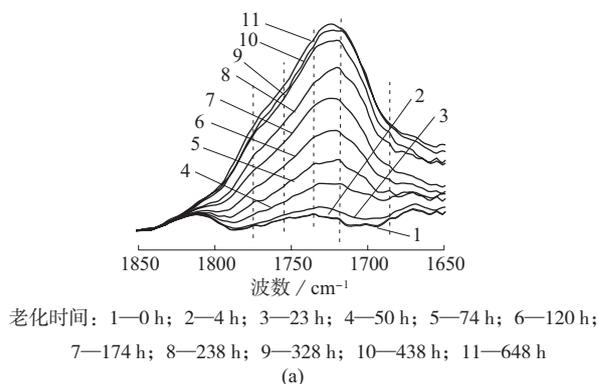
(d)

a—UVB ; b—UVA ; c—氙灯; d—户外

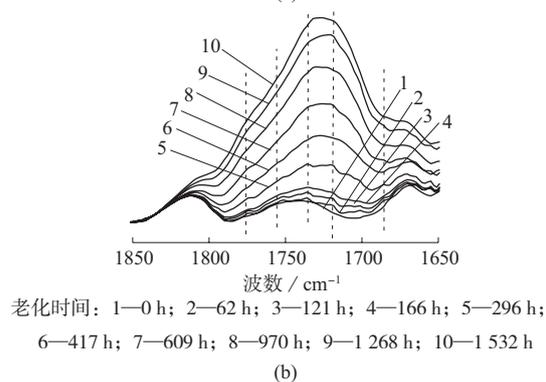
图1 不同老化试验过程中纯 ABS 羰基产物的 FTIR 谱图

行预测。

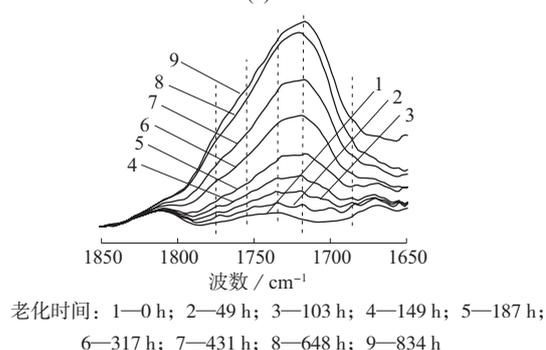
图2为不同老化试验过程中耐候 ABS 羰基产物的 FTIR 谱图。由图2可见,在不同老化试验中,耐候 ABS 的红外谱图的峰形和变化规律与纯 ABS



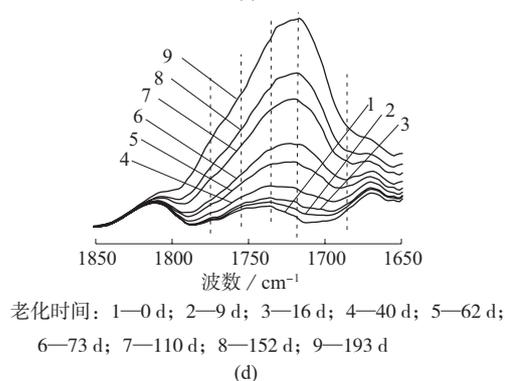
(a)



(b)



(c)



(d)

a—UVB ; b—UVA ; c—氙灯; d—户外

图2 不同老化试验过程中耐候 ABS 羰基产物的 FTIR 谱图

相似,说明抗氧化剂和光稳定剂的加入并未改变纯 ABS 的光氧化反应机理。

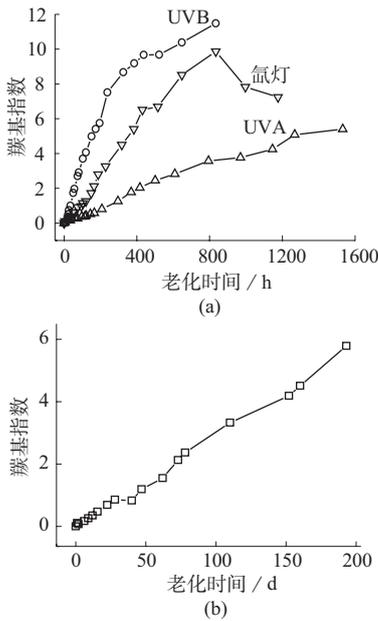
2.2 光氧化降解速率相关性的分析

ABS 光氧化降解为生成羰基产物的过程,通过

检测老化过程中羰基产物的生成速率可表征不同老化试验下 ABS 的光氧化降解速率,从而建立起人工加速老化试验和户外自然老化的相关性。常用羰基指数(指羰基吸收峰的相对面积与内标峰的相对面积的比值,其可定量表征聚合物光氧化降解后所产生的含羰基产物)来表征聚合物的光氧化降解程度^[13-14]。对于 ABS,由于氰基在光氧化降解过程中基本不发生反应,故可选择氰基吸收峰作为内标峰。图 3 为耐候 ABS 在不同老化试验下羰基指数随老化时间变化的规律曲线。可见,除老化后期部分数据外(此时聚合物已完全降解,羰基不再增加,导致数据偏离原来规律),在大部分老化时间内,羰基指数随着老化时间的增加呈线性增长,因此,羰基指数与老化时间的函数关系可用式(1)表示。

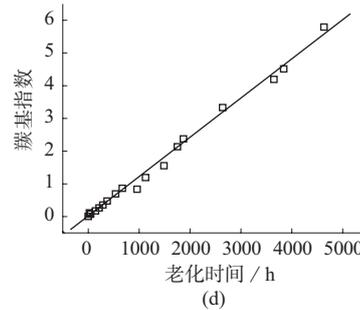
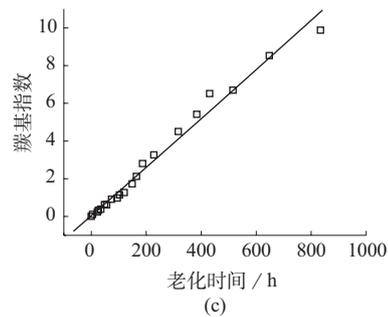
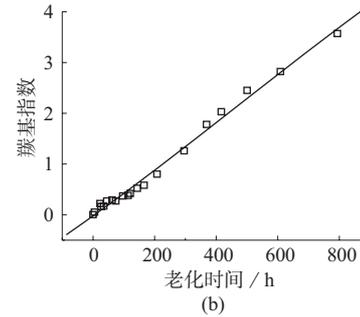
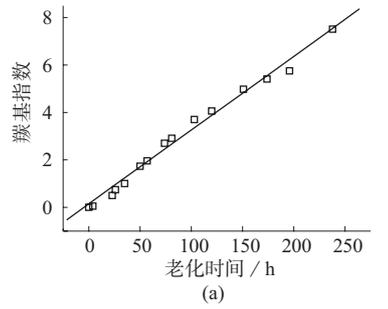
$$Y=A+kt \tag{1}$$

式中: Y 为羰基指数; A 为拟合常数,与样品初始状态有关; k 为一常数,由不同老化条件下的反应速率的常数决定,可将其定义为“反应速率常数”; t 为老化时间,单位为 h。



a—人工加速老化; b—户外自然老化

图 3 不同老化试验过程中耐候 ABS 羰基指数与老化时间关系曲线
对羰基指数与老化时间进行线性拟合,结果见图 4,可得出不同老化试验下的 A 和 k 值,结果见表 1。为了对比不同老化试验的光氧化降解速率,引入氧化反应加速倍率 R (R 为人工加速老化的反应速率常数 k 与户外自然老化的反应速率常数 k 之间的比值)。通过 R ,可建立人工加速老化与户外自然老化之间的相关性。



a—UVB ; b—UVA ; c—氙灯; d—户外

图 4 耐候 ABS 的羰基指数与老化时间的拟合直线

表 1 不同老化试验下式(1)的 A 和 k 值

| 样品 | 试验方法 | $A(\times 10^{-2})$ | $k(\times 10^{-2})$ | R |
|---------|------|---------------------|---------------------|-------|
| 纯 ABS | UVB | 13.29 | 17.38 | 4.30 |
| | UVA | -13.74 | 17.08 | 4.23 |
| | 氙灯 | -25.61 | 27.98 | 6.92 |
| | 户外 | 65.53 | 4.04 | 1.00 |
| 加色母 ABS | UVB | -22.87 | 18.25 | 11.49 |
| | UVA | -69.52 | 5.67 | 3.57 |
| | 氙灯 | -78.00 | 19.17 | 12.07 |
| 耐候 ABS | 户外 | -31.17 | 1.59 | 1.00 |
| | UVB | 7.92 | 3.14 | 25.99 |
| | UVA | -3.29 | 0.46 | 3.84 |
| | 氙灯 | 3.16 | 1.29 | 10.67 |
| | 户外 | -2.42 | 0.12 | 1.00 |

从表 1 可见,对于耐候 ABS,UVB,UVA 和氙灯的氧化反应加速倍率 R 分别为 25.99,3.84 和 10.76,即 UVB 光源对耐候 ABS 的破坏作用最大,其次为氙灯,而 UVA 最低。对于纯 ABS,UVB,UVA 和氙灯的加速倍率分别为 4.30,4.23 和 6.92,即氙灯光源对纯 ABS 起到更明显的光老化降解作用;对于添加色母的 ABS,UVB,UVA 和氙灯的加速倍率分别为 11.49,3.57 和 12.07,即 UVB 和氙灯对添加色母的 ABS 的老化作用相差不大,但大于 UVA。以上结果表明,不同 ABS 材料,利用同种光源,其加速倍率是不一样的。同样,同一种 ABS 材料,不同光源,其加倍速率也是不一样的。这可能与 ABS 材料中基体、填料和耐候剂对不同波长光的作用不一样所致。

2.3 色差变化相关性的分析

ABS 材料受光氧等作用破坏时,最先体现在外观颜色上就是发生黄变^[15]。图 5 为添加色母的 ABS 材料在不同老化试验下色差随老化时间变化的规律曲线。由图 5 可见,除老化后期的数据,在大部分老化时间内,色差随着老化时间的增加呈线性增长,因此,色差随老化时间变化可以用式(2)表示。

$$Y' = A' + k't \quad (2)$$

其中: Y' 为色差; A' 为拟合常数,与样品初始状态有关; k' 为一常数,由不同老化试验下的色差变化速率的常数决定; t 为老化时间,单位为 h。

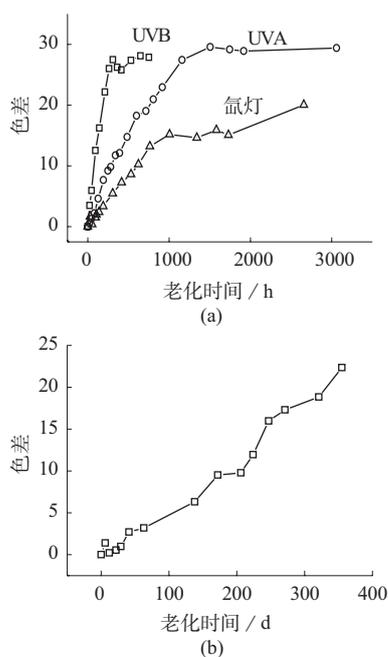


图 5 不同老化试验过程中添加色母 ABS 色差与老化时间关系曲线
对色差与老化时间进行线性拟合,可得出不同

方法老化时的 A' 和 k' 值,结果见表 2。通过式(2)和表 2 中的数据,可以得到不同老化试验下色差与时间的关系方程。比如户外自然老化时,耐候 ABS 的色差 $Y'_{\text{户外}}$ 与老化时间 $t_{\text{户外}}$ 的关系可用式(3)表示:

$$Y'_{\text{户外}} = -3.93 + 1.16 \times 10^{-3} t_{\text{户外}} \quad (3)$$

表 2 不同老化试验下式(2)的 A' 和 k' 值

| 样品 | 试验方法 | $A'(\times 10^{-2})$ | $k'(\times 10^{-2})$ |
|---------|------|----------------------|----------------------|
| 加色母 ABS | UVB | 143.59 | 9.83 |
| | UVA | 45.47 | 3.09 |
| | 氙灯 | 36.86 | 1.57 |
| | 户外 | -50.11 | 0.25 |
| 耐候 ABS | UVB | -108.24 | 5.49 |
| | UVA | -202.47 | 0.97 |
| | 氙灯 | -221.32 | 0.80 |
| | 户外 | -392.51 | 0.12 |

利用 UVB 加速老化时,耐候 ABS 的色差 Y'_{UVB} 与老化时间 t_{UVB} 的关系式如下:

$$Y'_{\text{UVB}} = -1.08 + 5.49 \times 10^{-2} t_{\text{UVB}} \quad (4)$$

当色差相同时,即 $Y'_{\text{户外}} = Y'_{\text{UVB}}$,将式(4)代入式(3)得户外自然老化与 UVB 加速老化的时间换算方程:

$$t_{\text{户外}} = 47.34 t_{\text{UVB}} + 2450.61 \quad (5)$$

同样,可得到户外自然老化与 UVA 或氙灯加速老化的时间换算方程,见表 3。笔者使用加速转换因子法(ASF)^[16]研究人工加速老化和户外自然老化过程中色差变化的相关性。ASF 表示材料的某项性能参数,经某个室内模拟加速试验的性能对应于某地区自然环境试验性能随时间变化的加速倍率。如利用式(3)和式(4)计算,当耐候 ABS 材料的色差达到 3.0 时,UVB 加速老化时间需要 74.33 h,户外自然老化时间则需要 5969.94 h,那么加速倍率为 80.32。UVA 加速老化时间需要 517.47 h,加速倍率为 11.54 倍;氙灯加速老化时间需要 654 h,加速倍率为 9.13 倍。对于添加色母的 ABS,色差达到 3.0 时,UVB 人工加速老化时间需要 15.91 h,户外自然老化时间则需要 1367.18 h,加速倍率为 85.93;UVA 加速老化时间需要 70.03 h,加速倍率为 19.52;氙灯加速老化时间需要 166.11 h,加速倍率为 8.23。

表 3 ABS 材料自然老化与人工加速老化过程中色差变化换算方程

| 样品 | 试验方法 | 时间转换方程 |
|---------|------|--|
| 加色母 ABS | UVB | $t_{\text{户外}} = 38.70 t_{\text{UVB}} + 762.58$ |
| | UVA | $t_{\text{户外}} = 12.15 t_{\text{UVA}} + 376.30$ |
| | 氙灯 | $t_{\text{户外}} = 6.17 t_{\text{氙灯}} + 342.42$ |
| 耐候 ABS | UVB | $t_{\text{户外}} = 47.34 t_{\text{UVB}} + 2450.61$ |
| | UVA | $t_{\text{户外}} = 8.37 t_{\text{UVA}} + 1638.33$ |
| | 氙灯 | $t_{\text{户外}} = 6.87 t_{\text{氙灯}} + 1475.78$ |

由上可见,不同人工加速老化试验对色差变化的加速倍率不同,其中UVB的加速倍率最大,其次是UVA,而氙灯的加速倍率最低。利用相同人工加速老化试验对不同ABS材料进行加速试验,所得色差变化的加速倍率有所差别。因此,表3中的方程只是给出特定材料在不同人工加速老化时色差变化与户外自然老化时色差变化的关系式,不具普适性。

2.4 力学性能变化相关性的分析

在进行人工加速老化试验时,通常选择断裂伸长率作为材料老化后的力学性能指标^[17]。图6为耐候ABS断裂伸长率的保持率随老化时间变化的规律曲线。由图6可见,耐候ABS的断裂伸长率随老化时间的增加呈线性下降,因此,可以利用式(6)方程对断裂伸长率保持率(Y')与老化时间(t)进行线性拟合,其参数见表4。

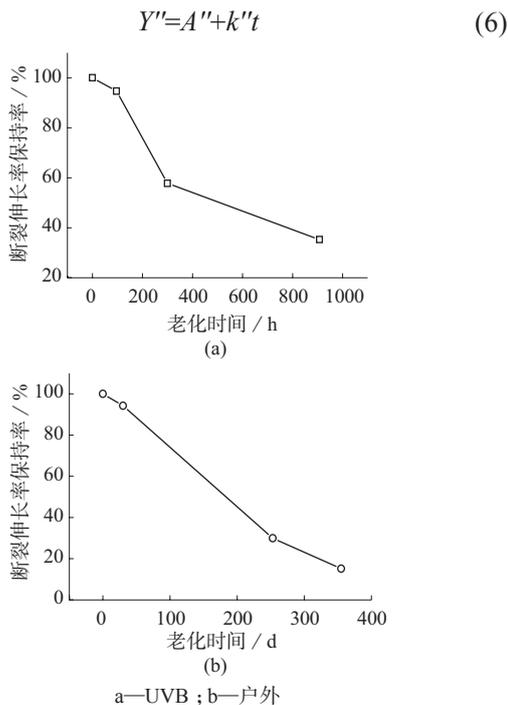


图6 耐候ABS断裂伸长率的保持率与老化时间的关系曲线

表4 耐候ABS断裂伸长率的保持率拟合方程的A''和k''值

| 试验方法 | A'' | k'' (×10 ⁻²) |
|------|-------|--------------------------|
| UVB | 95.05 | -7.09 |
| 户外 | 99.89 | -1.05 |

通过式(6)和表4中的参数,可以得出断裂伸长率保持率与时间的关系方程,进而通过式(3)和式(4)得到UVB人工加速老化与户外自然老化的时间换算方程:

$$t_{\text{户外}} = 6.78t_{\text{UVB}} + 463.08 \quad (7)$$

利用式(7)计算,当断裂伸长率达到50%时,

UVB人工加速老化时间需要635.12h,户外自然老化时间则需要4769.90h,加速倍率为7.51。

3 结论

(1) 红外分析表明,ABS在UVB,UVA和氙灯三种加速老化过程中的光氧化机理与户外自然老化一致。光氧化反应速率分析显示:不同ABS材料,利用同种人工光源进行老化,其加速倍率差别较大;并且同一种ABS材料,用不同人工光源进行老化,其加速倍率也有差别,这可能与不同ABS材料对光的作用有关。

(2) 色差分析表明,对于同一种ABS材料,人工加速老化试验对色差变化的加速倍率由大到小顺序为:UVB>UVA>氙灯。而利用同种人工加速老化试验对不同ABS材料进行加速试验,所得的色差变化的加速倍率有较大差异。通过人工加速老化和户外自然老化过程中ABS材料色差和断裂伸长率变化的相关性的研究,拟合了人工加速老化与户外自然老化的时间换算方程。

参考文献

- [1] Davis P, Tiganis B E, Burn L S. The effect of photo-oxidative degradation on fracture in ABS pipe resins[J]. Polymer Degradation and Stability, 2004, 84(2):233-242.
- [2] 周长兰,王旭,胡燕. 无机纳米粒子对ABS抗紫外线老化性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(4):47-49.
Zhou Changlan, Wang Xu, Hu Yan. Effect of nano inorganic materials on weatherability of ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2005, 33(4):47-49.
- [3] 陆园,张晓璐,蔡智奇,等. ABS的耐候老化研究[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(5):87-90.
Lu Yuan, Zhang Xiaolu, Cai Zhiqi, et al. Study on weather resistance of ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(5):87-90.
- [4] Santos R M, Botelho G L, Machado A V. Development of acrylonitrile-butadiene-styrene composites with enhanced UV stability[J]. Journal of Materials Science, 2014, 49(2):510-518.
- [5] Rodríguez-Tobias H, Morales G, Rodríguez-Fernández O, et al. Effect of zinc oxide nanoparticles concentration on the mechanical properties and UV protection of in situ synthesized ABS based nanocomposites[J]. Macromolecular Symposia, 2013, 325-326(1):147-155.
- [6] 丁艳云,江龙,淡宜. ABS材料在若羌地区典型环境中的自然老化行为分析[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(3):50-53.
Ding Yanyun, Jiang Long, Dan Yi. Analysis of aging behavior of ABS resin in a typical environment at ruoqiang area of china[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(3):50-53.
- [7] Santos R M, Botelho G L, Cramez C, et al. Outdoor and

- accelerated weathering of acrylonitrile-butadiene-styrene: A correlation study[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98(10):2111–2115.
- [8] Santos R M, Botelho G L, Machado A V, et al. Artificial and natural weathering of ABS[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 116(4):2005–2014.
- [9] 王俊. 不同自然暴露方法对 ABS 老化性能的影响[J]. *塑料工业*, 2005, 33(3):46–48.
Wang Jun. Effect of different natural exposure test on aging property of ABS[J]. *China Plastics Industry*, 2005, 33(3):46–48.
- [10] Ramesh V, Mohanty S, Biswal M, et al. Effect of reprocessing and accelerated weathering on impact-modified recycled blend[J]. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2015, 24(12):5046–5053.
- [11] Comelli D, Toja F, D' Andrea C, et al. Advanced non-invasive fluorescence spectroscopy and imaging for mapping photo-oxidative degradation in acrylonitrile-butadiene-styrene: A study of model samples and of an object from the 1960 s[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2014, 107:356–365.
- [12] Saviello D, Pouyet E, Toniolo L, et al. Synchrotron-based FTIR microspectroscopy for the mapping of photo-oxidation and additives in acrylonitrile-butadiene-styrene model samples and historical objects[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2014, 843:59–72.
- [13] 王玉海,沈浩,麦堪成. 纳米 CaCO₃/PP 复合材料光氧老化行为的红外光谱研究[J]. *中山大学学报:自然科学版*, 2008, 47(3):62–66.
Wang Yuhai, Shen Hao, Mai Kancheng. FT-IR study on the photo-oxidative degradation of nano-CaCO₃/PP composites[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2008, 47(3):62–66.
- [14] Rabello M S, White J R. The role of physical structure and morphology in the photodegradation behaviour of polypropylene[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 1997, 56(1):55–73.
- [15] Iannuzzi G, Mattsson B, Rigdahl M. Color changes due to thermal ageing and artificial weathering of pigmented and textured ABS[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2013, 53(8):1687–1695.
- [16] 齐丽英,李旭祥,张立峰. 高分子材料老化与降解的物性预测[J]. *计算机与应用数学*, 1995, 12(3):216–219.
Qi Liying, Li Xuxiang, Zhang Lifeng. Forecast on physical properties of polymers age and degradation[J]. *Computers and Applied Chemistry*, 1995, 12(3):216–219.
- [17] Santos R M, Pimenta A, Botelho G, et al. Influence of the testing conditions on the efficiency and durability of stabilizers against ABS photo-oxidation[J]. *Polymer Testing*, 2013, 32(1):78–85.

欢迎订阅 2017 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明
订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2017 年定价 15 元/期,全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2017 年定价 15 元/期,全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2015 年底共 43 卷 314 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2015 年底

共 24 卷 109 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款地址:济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

账号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>