

## 一种尼龙老化评价的新方法

安振华<sup>1</sup>, 赵东艳<sup>2</sup>, 叶焱<sup>1</sup>, 杨睿<sup>1\*</sup>, 王于波<sup>2</sup>, 邵瑾<sup>2</sup>, 张鹏<sup>2</sup>, 陈燕宁<sup>2,3</sup>, 周敏<sup>2</sup>,  
王文赫<sup>2</sup>, 王峥<sup>2</sup>, 黄海潮<sup>2</sup>, 王立城<sup>3</sup>, 钟明琛<sup>3</sup>, 甄岩<sup>2</sup>, 万勇<sup>2</sup>

1. 清华大学化学工程系, 北京 100084
2. 北京智芯微电子科技有限公司能源互联网智能终端核心芯片可靠性技术国家与地方联合工程研究中心, 北京 100089
3. 北京芯可鉴科技有限公司, 北京 102200

**摘要** 作为一种广泛使用的工程塑料, 尼龙的老化备受关注。当作为电力系统芯片的封装材料时, 尼龙在自然环境下的老化有可能会影响封装失效, 从而影响芯片使用的可靠性, 严重时甚至导致芯片的失效, 给电力行业带来巨大损失。常规的自然老化和人工加速老化评价周期非常漫长, 不同因素对尼龙老化的影响机理十分复杂, 且这种影响难以研究, 使得评价尼龙的老化稳定性成为一大难题。采用自主开发的原位老化评价系统, 对尼龙6(PA6)和尼龙66(PA66)的老化稳定性及湿度对老化的影响进行了研究。该系统可以实现光照/温度/湿度/氧气等环境因素的加载, 通过高灵敏度地测定材料在综合环境因素作用下产生的气相降解产物来评价材料的老化稳定性, 评价时间缩短到几小时。实验表明, PA6和PA66的气相降解产物以H<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>为主, 由于H<sub>2</sub>O在气相中的浓度不稳定, 因此以CO<sub>2</sub>的产生量作为老化评价指标。通过对不同自然老化时间PA6和PA66的原位老化评价, 并与其ATR-FTIR红外光谱图进行对照, 证明了原位老化评价方法能够较好地反映尼龙的老化程度, 自然老化时间越长, PA6和PA66的稳定性越低, CO<sub>2</sub>的产生量越大。进一步, 采用该方法研究了湿度对PA6和PA66老化反应的影响, 证明增大湿度对尼龙老化存在促进作用, 而且升高温度会进一步促进湿度对老化的促进作用。研究表明, 原位老化评价方法是一种快速评价尼龙老化稳定性及环境因素影响的有力手段。

**关键词** 尼龙6; 尼龙66; 原位老化评价; 傅里叶变换红外光谱

**中图分类号:** O657.33 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)01-0043-06

## 引言

聚酰胺(Polyamide)俗称尼龙, 由于其耐热、耐机械磨损、耐化学药品的特性以及优异的机械性能, 被誉为五大工程塑料之首, 在汽车、电器、电子、航空航天、包装等各个领域有重要应用。近年, 随着各类电子芯片的广泛使用, 作为一种极为重要的芯片封装材料, 尼龙的长期耐久性和耐老化性备受关注<sup>[1-2]</sup>。

由于尼龙结构中所含有的酰胺基团(—NHCO—)具有较强的极性, 容易受到温度、湿度、光照等诸多环境因素的影响, 导致材料老化, 降低了材料使用的安全性和使用寿命。

尼龙的老化反应机理非常复杂<sup>[3]</sup>, 在老化产生CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>O等挥发性气体的同时, 伴随着分子链的断链、交联<sup>[4]</sup>, 以及其他低分子量老化产物的形成, 反应通路错综复杂, 存在着诸多化学反应的互相耦合<sup>[5]</sup>。因此, 对尼龙的典型老化行为进行准确、快速的评价至关重要。

尼龙老化的评价方法包括自然老化和人工加速老化。虽然自然老化结果最为可靠, 但由于试验周期长达数月甚至数年, 且气候条件因素不受控制, 同时样品消耗量巨大, 目前对于尼龙老化应用较少。人工加速老化极大地缩减了试验周期, 但也需要耗时几百小时以上<sup>[4-6]</sup>, 同时由于加速试验条件与实际使用条件有较大差异, 其结果准确性难以保障。以上两个问题, 使得尼龙的老化评价成为一大难题。

**收稿日期:** 2020-12-04, **修订日期:** 2021-03-19

**基金项目:** 北京智芯微电子科技有限公司实验室开放基金项目资助

**作者简介:** 安振华, 1993年生, 清华大学化学工程系博士研究生 e-mail: anjiangzhenhua@163.com

赵东艳, 女, 1970年生, 北京智芯微电子科技有限公司能源互联网智能终端核心芯片可靠性技术国家与地方联合工程研究中心研究员级高级工程师 e-mail: dongyan\_zhao@sgitg.sgcc.com.cn 安振华, 赵东艳: 并列第一作者

\* 通讯作者 e-mail: yangr@mail.tsinghua.edu.cn

工作中以尼龙中使用最广泛的两个品种——尼龙 6 (PA6)和尼龙 66(PA66)为研究对象,采用本实验室自主开发的原位老化评价系统,以 PA6 和 PA66 降解产生的  $\text{CO}_2$  作为评价指标,定量分析自然老化的尼龙样品  $\text{CO}_2$  产生速率,可以在数小时的试验周期内对尼龙的老化状态做出评价,并与尼龙的自然老化程度建立了关联。进而,通过原位老化评价方法研究了环境湿度对于 PA6 和 PA66 老化速率的影响,以及温度和湿度的耦合作用。

## 1 实验部分

### 1.1 样品制备

尼龙 6 (PA6): 日本宇部 UBE 1013B, 粒料; 尼龙 66 (PA66): 平顶山神马 EPR27, 粒料。尼龙 6 和尼龙 66 粒料经压机(泰国 LABTECH Engineering Company LTD, LP20-B)热压成厚度为  $475 \mu\text{m}$  的薄膜,模压温度  $280^\circ\text{C}$ , 预热时间 3 min, 热压时间 3 min, 冷压时间 3 min。将热压薄膜裁剪为  $50 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$  的长方形样条,用于进一步的自然老化实验。

### 1.2 自然老化实验

自然老化实验的方法为户外曝晒,实验地点为中国北京( $116^\circ 20' \text{E}$ ,  $39^\circ 56' \text{N}$ ),时间为 2019 年 6 月至 2019 年 9 月,总共曝晒时长为 120 天。曝晒实验期间的平均气温为  $25.5^\circ\text{C}$ , 平均相对湿度为 66 RH%, 平均氧气分压为 21 kPa, 平均太阳光辐照强度为  $64.8 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

自然老化期间,钢制样品架朝南固定,与水平面成  $70^\circ$  角,PA6 和 PA66 样条一端由木夹子固定在架上。分别在第 0, 15, 30, 50, 80 和 120 d 进行取样测试。

### 1.3 衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR)分析

测定自然老化不同时间薄膜的红外光谱,采用 Nicolet iS10 红外光谱仪(美国, Thermo Fisher Scientific Inc.), 安装 smart ITR 附件,采用金刚石晶体。扫描范围  $4000 \sim 650 \text{ cm}^{-1}$ , 分辨率  $4 \text{ cm}^{-1}$ , 扫描次数 32 次,数据采集和处理均使用红外光谱仪自带的 OMNIC 软件。

选择  $\text{N-H}$  ( $3065 \text{ cm}^{-1}$ )<sup>[7-8]</sup> 与  $\text{C=O}$  ( $1735 \text{ cm}^{-1}$ )<sup>[9-10]</sup> 的吸收峰为特征峰,以亚甲基  $-\text{CH}_2-$  ( $2855 \text{ cm}^{-1}$ ) 的吸收峰为参比峰,计算  $\text{N-H}$  与  $\text{C=O}$  的相对吸光度  $\frac{S_{\text{N-H}}}{S_{-\text{CH}_2-}}$  和  $\frac{S_{\text{C=O}}}{S_{-\text{CH}_2-}}$ 。

### 1.4 原位老化评价

原位老化评价系统为本实验室自主开发,其结构如图 1 所示<sup>[11]</sup>。尼龙样品密封在石英池中,可被光照和/或加热,石英池中充入有一定湿度的空气。尼龙在模拟户外的条件下发生老化降解,产生的痕量气相降解产物如  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}$  等可以用红外光谱仪(Nicolet iS10, 美国 Thermo Fisher Scientific Inc., MCT/A 检测器)进行实时在线检测。石英池外部的光路用不含  $\text{CO}_2$  的干空气吹扫,以避免环境中  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  对检测信号的干扰。

将自然老化不同时间的样品裁剪为  $12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ , 安

装在原位反应池中,将初始温度设定为  $30^\circ\text{C}$ , 以一定湿度的空气充分置换反应池内部气氛。背景稳定 30 min 后,将温度升至测试温度,同时开启氙弧灯光源(Oriel, 66984-300XF-R1),辐照强度为  $90 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$  (UV-365 nm), 180 min 后关闭光源,停止加热,再过 30 min 后结束测试。期间每 5 min 采集一次红外光谱。反应池两侧所用窗片为  $\text{CaF}_2$ , 扫描范围为  $4000 \sim 1110 \text{ cm}^{-1}$ , 分辨率为  $4 \text{ cm}^{-1}$ , 扫描次数为 32。

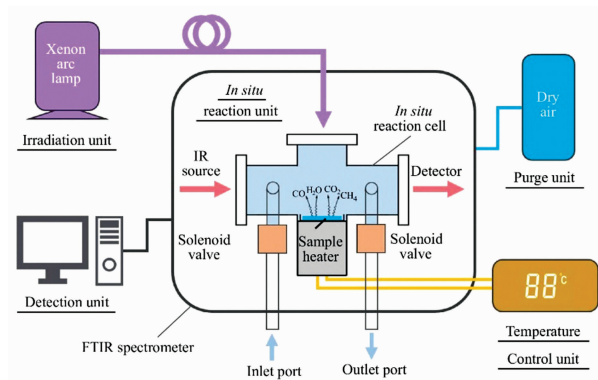


图 1 原位老化评价系统结构示意图<sup>[11]</sup>

Fig. 1 Structure schematic diagram of in-situ aging evaluation system<sup>[11]</sup>

测定典型气相降解产物  $\text{CO}_2$  的吸收峰面积 ( $2253 \sim 2433 \text{ cm}^{-1}$ ), 得到  $\text{CO}_2$  产生量随测试时间的变化。 $\text{CO}_2$  产生量大,表明样品易降解,稳定性差。

## 2 结果与讨论

### 2.1 ATR-FTIR 测定结果

PA6 和 PA66 薄膜自然老化不同时间的全反射-傅里叶变换红外谱图如图 2(a, b) 所示。PA6 和 PA66 的分子结构相似,因此红外谱图也具有相似的特征峰。其中  $3300 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰对应  $\text{N-H}$  的伸缩振动,  $3065 \text{ cm}^{-1}$  的弱吸收为  $\text{N-H}$  平面变角振动的倍频,  $2933$  和  $2865 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰对应  $-\text{CH}_2-$  基团的不对称和对称伸缩振动,  $1735 \text{ cm}^{-1}$  的弱吸收峰对应老化产生的  $\text{C=O}$  的伸缩振动,  $1633 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰对应酰胺键 ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ) 中  $\text{C=O}$  的伸缩振动,  $1540 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰对应酰胺键 ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ) 中  $\text{N-H}$  的弯曲振动,  $1462 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰对应  $\text{C-H}$  单键的弯曲振动<sup>[12]</sup>。

从红外谱图中可以看出,经过 120 d 的户外自然老化,PA6 和 PA66 的吸收峰位置基本没有发生变化,只有峰强度发生了微小的改变。

以 PA6 和 PA66 中  $\text{N-H}$  和  $\text{C=O}$  的相对吸光度对自然老化时间作图,得到图 3(a, b)。

可以看出,随着自然老化的进行,PA6 和 PA66 中  $\text{N-H}$  键的相对吸光度均呈现出下降趋势。 $\text{C=O}$  双键的相对吸光度并非单调变化,在 0~50 d 内先增后减,50 d 后继续增大。分析认为,PA6 和 PA66 中老化产生的  $\text{C=O}$  双键

的吸收峰容易受附近的酰胺键中 C=O 双键吸收峰干扰，导致测定误差较大。另外，ATR-FTIR 方法仅测定样品的表面信息，若表面由于氧化程度高而发生脱落，就会导致实际测定的是氧化程度较低的次表面，导致结果偏低。因此，用 ATR-FTIR 方法来测定尼龙样品的老化程度未必准确。

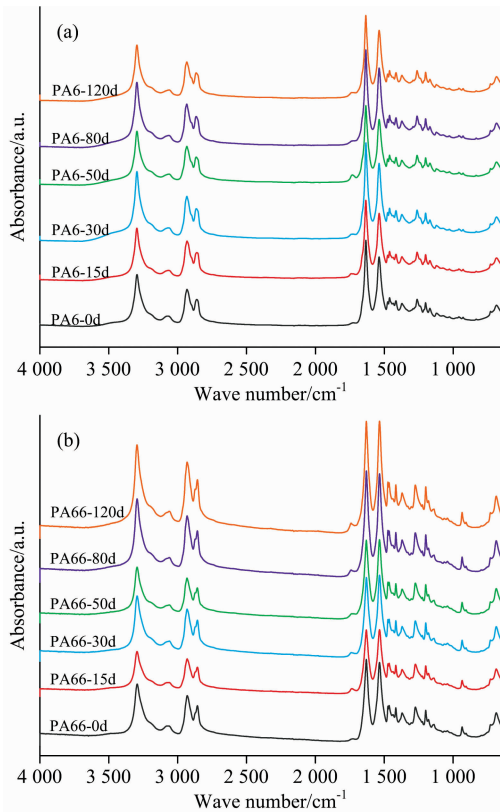


图 2 (a) PA6 和 (b) PA66 自然老化不同时长后的 ATR-FTIR 谱图

Fig. 2 ATR-FTIR spectra of (a) PA6 and (b) PA66 after natural aging different periods of time

### 2.2 原位老化系统评价结果

尼龙从老化一开始，就在发生分子链的氧化、断链等变化，产生各种小分子降解产物。将未老化的 PA6 在 120 °C，绝对湿度 AH 为  $9.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的条件下进行原位老化评价得到如图 4 的气相红外光谱图。可以看到，PA6 的降解产物以  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  为主。 $\text{H}_2\text{O}$  很容易吸附在石英池内表面或样品表面，在气相中的浓度不稳定，无法用于定量分析。因此，以  $\text{CO}_2$  吸收峰强度作为定量分析的指标。对不同自然老化时间的 PA6 和 PA66 样品在 120 °C，绝对湿度 AH 为  $9.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的条件下进行原位老化评价，得到  $\text{CO}_2$  产生量的变化分别如图 5(a,b) 所示。

在 0~30min，由于没有开启光照和加热， $\text{CO}_2$  的含量基本不变。光照和加热开启后， $\text{CO}_2$  产生量随着时间延长迅速增大。当光照和加热停止后， $\text{CO}_2$  含量的变化再次变得很缓慢。这一结果清楚地表明了样品的老化的确由外部条件引发，且原位老化评价方法能很灵敏地反映老化过程中的变化。

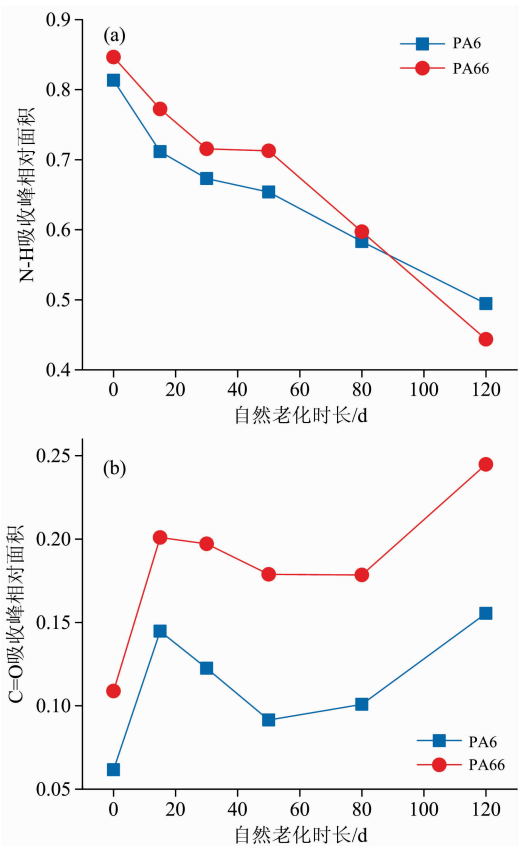


图 3 PA6 和 PA66 的 (a) N—H 及 (b) C=O 相对吸光度随自然老化时间的变化

Fig. 3 Change against natural aging time in (a) N—H and (b) C=O relative absorbance of PA6 and PA66

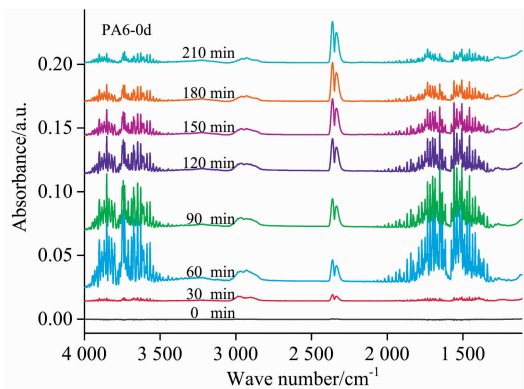


图 4 未老化 PA6 的原位老化测试红外谱图

Fig. 4 IR spectra of unaged PA6 during in-situ aging test

图 5(a,b) 的结果表明，自然老化时间长的尼龙样品，在原位老化评价过程中产生  $\text{CO}_2$  的速率会更快。这是由于尼龙在自然老化过程中原有的分子链结构被破坏，形成大量具有进一步老化反应活性的链末端，化学结构完整性不断下降，使其稳定性下降，从而在原位老化评价实验中，产生  $\text{CO}_2$  的速率会随着自然老化时长的延长而提高。将图 5 中第 210

min 时的  $\text{CO}_2$  产生量对自然老化时间作图, 得到图 6。可以发现, PA66 比 PA6 的自然老化稳定性要好。

与 ATR-FTIR 分析方法对比, 原位老化评价方法可以非常灵敏地实时在线测定样品的气相降解产物, 能够更好地表征尼龙的老化程度。

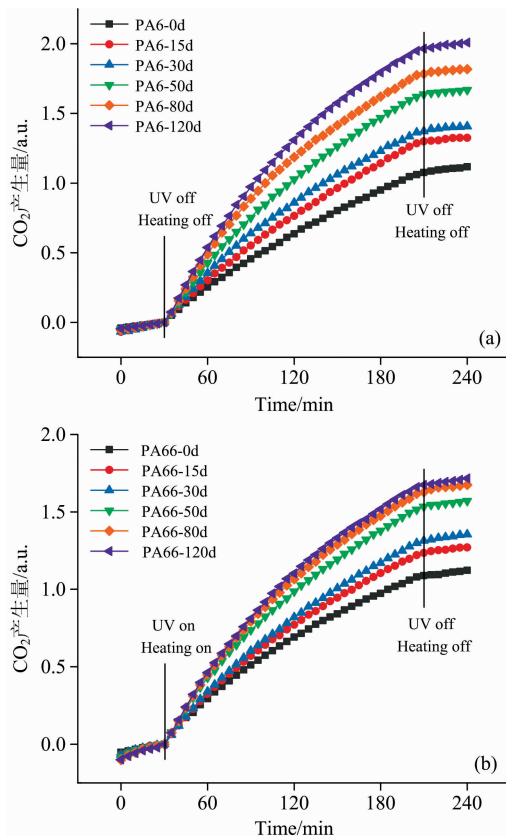


图 5 不同自然老化时间 PA6 (a) 和 PA66 (b) 的  $\text{CO}_2$  产生量随时间的变化

Fig. 5  $\text{CO}_2$  emission over time of PA6 (a) and PA66 (b) with different natural aging time

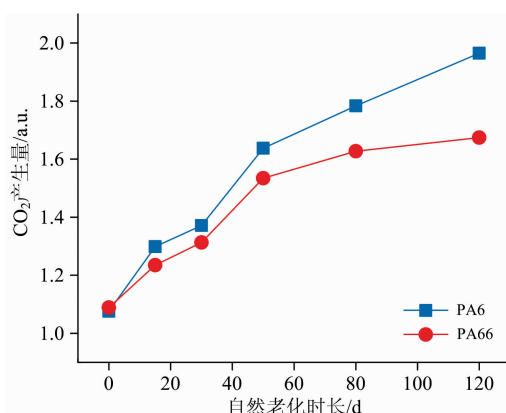


图 6 PA6 和 PA66 的  $\text{CO}_2$  产生量随自然老化时间的变化

Fig. 6 Change against natural aging time in  $\text{CO}_2$  emission of PA6 and PA66

### 2.3 湿度对 PA 老化的影响

作为常用的工程塑料, 尼龙的高吸水性, 以及水对尼龙性能的影响已经得到广泛的关注和研究<sup>[13-16]</sup>。由于湿度对尼龙结构与性能的显著影响, 可以推测尼龙的老化反应也会受湿度的影响。然而在自然老化实验中, 进行湿度的影响研究难度较大, 实验的可重复性不佳。在人工加速老化实验中, 虽然可以在老化箱中设置喷淋装置或湿度罐来控制湿度<sup>[17-18]</sup>, 但单次实验时长超过 1 000 h, 长时间控制湿度环境的难度较高、能耗较大。

原位老化评价方法则可以精确、高效、便捷、低成本地控制湿度, 只要在石英池中气氛置换时引入特定湿度的气体即可; 此外, 原位老化评价方法单次实验时长仅为 4 h, 其定量分析指标— $\text{CO}_2$  生成量的检测灵敏度很高, 使得这种方法可以很方便地用于评价湿度对 PA6 和 PA66 老化反应的影响。

分别在 40 和 80 °C 下, 绝对湿度 AH 分别为 1.15, 14.96 和 23.01  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  条件下对 PA6 和 PA66 进行原位老化评价, 得到  $\text{CO}_2$  产生量的变化如图 7(a, b) 所示。

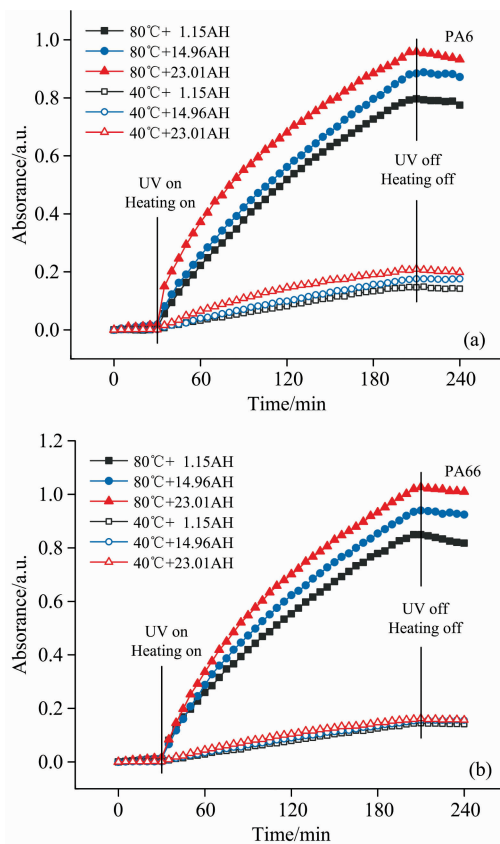


图 7 原位老化评价中 PA6 (a) 和 PA66 (b) 的  $\text{CO}_2$  产生量随温度、湿度的变化

Fig. 7 Change against temperature and humidity in  $\text{CO}_2$  emission of PA6 (a) and PA66 (b) during in-situ aging test

对于 PA6 和 PA66, 无论环境温度高 (80 °C) 或低 (40 °C), 提高环境湿度后, 原位老化反应中产生的  $\text{CO}_2$  含量都有所上升, 证明高湿度环境对尼龙老化存在普遍的促进作用。

用；当老化温度上升后，湿度促进老化反应的幅度也相应增大，证明温度和湿度对老化反应都存在影响，且这两者的影响相互耦合。

### 3 结 论

尼龙作为一种应用广泛的工程塑料，在使用过程中的老化对其性能有关键影响，而快速、便捷的评价尼龙的老化具有重要的工程价值。本工作使用自主开发的原位老化评价系统研究了 PA6 和 PA66 的老化反应，通过检测老化反应过程中产生的气相降解产物 CO<sub>2</sub>，可以快速地实现对尼龙老化稳定性的评价。对于不同自然老化时间的 PA6 和 PA66，其老

化程度与 CO<sub>2</sub> 产生量具有正相关关系，说明原位老化评价方法能够较好地反映尼龙的老化程度。进一步研究了湿度对于 PA6 和 PA66 老化反应的影响，指出湿度对尼龙老化存在普遍的促进作用，而且当温度升高时，湿度促进老化反应的幅度也相应增大，温度和湿度对老化反应都存在影响，且这两者的影响存在相互耦合。

与传统的自然老化和人工加速老化相比，原位老化评价方法可以很方便地在老化评价中引入光照、加热、湿度等环境因素，并且评价周期更短。这种高效、便捷、低成本的方法不仅限于进行尼龙的老化评价，预期也可以推广到其他高分子材料的老化评价。

### References

- [ 1 ] Bernstein R, Gillen K T. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(9): 1471.
- [ 2 ] JIA Yi-jun, BI Li, CHEN Guo-jun, et al(贾义军, 毕立, 陈国军, 等). *Engineering Plastics Application(工程塑料应用)*, 2020, 48(5): 34.
- [ 3 ] El-Mazry C, Ben H M, Correc O, et al. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98(1): 22.
- [ 4 ] White G V, Smith J N, Clough R L, et al. *Polymer Degradation and Stability*, 2012, 97(8): 1396.
- [ 5 ] Pagacz J, Leszczyńska A, Modesti M, et al. *Thermochimica Acta*, 2015, 612: 40.
- [ 6 ] Octavie O D, Emmanuel R, Jacques V, et al. *Polymer*, 2016, 82: 49.
- [ 7 ] Cannon C G. *Spectrochim Acta*, 1960, 16(3): 302.
- [ 8 ] Elsa S G, Poulsen L, Ogilby P R. *Polymer Degradation and Stability*, 2007, 92(11): 1977.
- [ 9 ] Thanki P N, Singh R P. *Polymer*, 1998, 39(25): 6363.
- [10] Roger A, Sallet D, Lemaire J. *Macromolecules*, 1986, 19(3): 579.
- [11] AN Zhen-hua, YANG Rui(安振华, 杨睿). *Acta Polymerica Sinica(高分子学报)*, 2020, 52(2): 196.
- [12] WU Jin-guang(吴瑾光). *Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy Technology and Application(近代傅里叶变换红外光谱技术及应用)*. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press(北京: 科学技术文献出版社), 1994. 621.
- [13] Mikolajewski E, Swallow J E, Webb M W. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1964, 8(5): 2067.
- [14] Pierre-Yves L G, Mael A, Maelelln L G, et al. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, 137: 272.
- [15] Behrouz A, Barend J T, Alessandro P, et al. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, 146: 260.
- [16] El-Mazry C, Correc O, Colin X. *Polymer Degradation and Stability*, 2012, 97(6): 1049.
- [17] James E Pickett, Dennis J Coyle. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98(7): 1311.
- [18] Bernstein R, Derzon D K, Gillen K T. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, 88(3): 480.

## A Novel Aging Evaluation Method of Nylon

AN Zhen-hua<sup>1</sup>, ZHAO Dong-yan<sup>2</sup>, YE Yan<sup>1</sup>, YANG Rui<sup>1\*</sup>, WANG Yu-bo<sup>2</sup>, SHAO Jin<sup>2</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, CHEN Yan-ning<sup>2,3</sup>, ZHOU Min<sup>2</sup>, WANG Wen-he<sup>2</sup>, WANG Zheng<sup>2</sup>, HUANG Hai-chao<sup>2</sup>, WANG Li-cheng<sup>3</sup>, ZHONG Ming-chen<sup>3</sup>, ZHEN Yan<sup>2</sup>, WAN Yong<sup>2</sup>

1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. National & Local Joint Engineering Research Center for Reliability Technology of Energy Internet Intelligent Terminal Core Chip, Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100089, China

3. Beijing Chip Identification Technology Co., Ltd., Beijing 102200, China

**Abstract** Nylons are widely used as engineering plastics. When used as packaging materials for power system chips, the aging of nylons in the natural environment may cause package failure, reliability deterioration of chips, or even chip failure, and finally, lead to great loss in the power industry. Therefore, aging evaluation of nylons has attracted great attention. Conventional aging evaluation methods include natural weathering and artificial accelerated aging. Both of these two methods are time-consuming. Furthermore, the effects of various environmental factors on aging of nylons can not be investigated. In this

paper a novel in-situ aging evaluation method was proposed and the corresponding system was developed to study nylon 6 (PA6) and nylon 66 (PA66)'s aging stability. The system can combine environmental factors such as irradiation, temperature, humidity and oxygen. By measuring the generation of gaseous degradation products during aging process of nylons, the stability can be compared. The results show that the gaseous degradation products of PA6 and PA66 are mainly H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>, and CO<sub>2</sub> is used as an indicator to evaluate the aging status. Nylons with different natural pre-aging times were detected. Longer pre-aging time responds to more generations of CO<sub>2</sub>, demonstrating poorer stability. Furthermore, this method was applied to study the effect of humidity on the aging of PA6 and PA66. It was proved that humidity accelerates nylon aging, and high temperature further promotes this acceleration effect. The novel in-situ aging evaluation method can evaluate aging stability of nylons under versatile environmental factors in only several hours. It is also expected to be a powerful and promising aging evaluation method for other polymer materials.

**Keywords** Nylon 6; Nylon 66; In-situ aging evaluation; FTIR

(Received Dec. 4, 2020; accepted Mar. 19, 2021)

AN Zhen-hua and ZHAO Dong-yan; joint first authors

\* Corresponding author

---

## 关于《光谱学与光谱分析》调整审稿费收费标准的通知

尊敬的《光谱学与光谱分析》广大作者、读者：我刊自 2018 年 7 月 1 日以后登记的稿件向投稿作者收取审稿费 200 元/篇，在您投稿之前，为免受经济损失，请您必须考虑：

1. 没有创新的一般性稿件，请您不要投稿。
2. 没有国家级基金资助的稿件，请您不要投稿。
3. 不是光谱专业的稿件，请您不要投稿。
4. 与其他文章重合率超过 10% 的稿件，请您不要投稿。

所投稿件经初审通过后，作者会收到缴纳审稿费的通知。请作者及时从我刊网站(<http://www.gpxygpx.com>)查询稿件是否处于交审稿费状态，在收到通知后，请及时缴纳审稿费；如在 10 天之内没有收到您的审稿费，被视为自动放弃，我刊不再受理。交费后我刊开据增值税电子普通发票，并传至作者提供的电子邮箱，作者可自行打印。

联系电话：010-62181070, 62182998

电子邮箱：chngpxygpx@vip.sina.com

感谢您多年来对《光谱学与光谱分析》的支持和厚爱！

《光谱学与光谱分析》期刊社

2018 年 6 月 30 日