

测试分析

# 自然老化试验和荧光紫外曝晒试验的对比： UVA-340灯管曝晒试验结果

Gregory R. Fedor (Q-Lab公司, 美国俄亥俄州)

**摘要：**将不同聚合物材料样品在美国佛罗里达、亚利桑那和俄亥俄州进行了2 a户外曝晒。将相同样品在实验室加速老化试验箱内分别用两种辐照度和两种湿度进行循环试验。然后对比人工加速老化和自然曝晒样品，除了出现霉菌外，材料在有湿度循环的实验室加速老化与户外老化的降解模式类似。在测试的15种材料中，有9种材料在人工老化试验箱中的降解速度因辐照度增加而加快。此外，研究还确认了加速因子与材料自身特性的关联程度很大。

**关键词：**老化；人工加速老化；耐候性测试；塑料；油漆和涂料

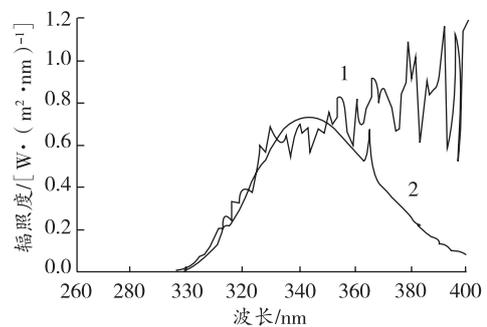
**中图分类号：**TQ 630.7+2 **文献标识码：**A **文章编号：**1009-1696(2018)06-0037-07

## 0 引言

长期以来，实验室加速老化和自然老化测试结果之间的相关性一直是人们争议的焦点。通常情况下，行业用户都希望更快地得到加速老化的测试结果，同时也希望实验室的模拟结果和真实的户外曝晒结果之间有很好的相关性。但这一诉求似乎很难得到满足。这是因为加速老化的3种主要方法（即温度比正常曝晒温度更高、光谱波长比自然光更短及辐照度比正常辐照度更高）都会降低这种相关性。

但业内似乎达成了某种程度的共识，即如果人工加速老化设备使用的光源能真实地模拟测试材料敏感光谱区域太阳光谱的能量分布，则人工加速老化通常会给出与户外曝晒更接近的结果。过滤后的氙灯能够很好地模拟太阳光谱的大部分波段，特别是可见光和波长较长的紫外线<sup>[1]</sup>。UVA-340荧光紫外灯管能够很好地模拟太阳光谱中的短波紫外线(<365 nm)部分。

如图1所示，UVA-340灯管很好地模拟了360 nm以下波长的太阳光<sup>[2]</sup>。因为UVA-340灯管可模拟破坏大多数聚合物的光谱区的太阳光，所以至少在理论上可以期望它能够获得与户外曝晒结果有合理关联的结果。为了验证该理论而制定了老化曝晒程序，从而能够使用UVA-340灯管对户外老化和实验室人工加速老化之间的测试结果进行对比。



1—太阳光；2—UVA-340

图1 UVA-340灯管与夏天正午太阳光的辐照度的对比  
Figure 1 The comparison between irradiance of UVA-340 and that of the midday sun in summer

[收稿日期] 2018-02-25

[作者简介] Gregory R. Fedor, Cleveland州立大学机械工程学士学位, Q-Lab公司研发部副总裁, 主要负责新产品的开发和改进工作。

## 1 试验部分

将 15 种不同塑料和涂料(表 1)分别在 3 个不同场所(美国佛罗里达州迈阿密、亚利桑那州凤凰城、俄亥俄州克里夫兰市)进行户外老化,在荧光紫外和冷凝装置中进行实验室加速老化。采用 3 种不同的加速老化循环方式,测量和记录户外自然老化和人工加速老化出现的光泽和颜色变化。

表 1 试验材料  
Table 1 Test materials

材 料	颜色	厚度/mm
聚氯乙烯(PVC)薄膜	透明	0.2
乙烯基聚合物薄膜(有光泽)	蓝色	0.1
聚苯乙烯平板	透明	2.8
乙烯基聚合物薄膜	绿色	0.1
环氧树脂卷材涂料	灰色	-
聚氨酯卷材涂料	灰色	-
未知汽车漆	蓝色	-
聚酯卷材涂料	黄褐色	-
丙烯酸塑料片材	透明	3.2
聚碳酸酯片材	透明	3.2
聚乙烯片材	白色	3.2
ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)片材	白色	3.2
CAB(醋酸丁酸纤维素)片材	透明	3.2
聚丙烯片材	固有颜色	4.7
尼龙片材	固有颜色	4.7

### 1.1 户外老化

佛罗里达州迈阿密为亚热带气候老化测试场所,这里的太阳光辐照强度高、年紫外线辐照强度高、全年温度高、年降雨量大且湿度高。这些气候条件经常被看作类似于“最差情况”,因此该州经常被用作户外老化测试的标杆场所。

亚利桑那州凤凰城年紫外线辐照强度高且全年温度高,是沙漠气候老化测试的标杆场所。

俄亥俄州克里夫兰市位于美国北部工业地区,具有典型的混合工业生产制造环境。

所有户外老化测试都依据 ASTM G7—2013《非金属材料大气环境曝晒试验标准规范》进行。测试试样被安装在 1 个 1.6 mm(0.25 英寸)的曝晒支架上,样

品与水平面成 45° 角,朝南放置。对于那些在实际使用中没有特定倾斜角度的材料,45° 角是最常用的。

### 1.2 加速老化

所有实验室人工加速老化都在能够调节和闭环反馈回路控制紫外线光强的 QUV®/se<sup>[3]</sup>(美国 Q-Lab 公司)设备中进行。符合 ASTM G53—1996《非金属材料暴露用光和水试验设备(荧光紫外-冷凝型)》标准操作规范的要求。使用光谱峰值为 343 nm 的 UVA-340 灯管,其截止点是 295 nm。选择单一的曝晒温度(50℃),避免任何可能的温度影响干扰。实验室老化曝晒条件如下:

循环 1: UVA-340 灯管在 340 nm 处的辐照度是 0.83 W/m<sup>2</sup>。4 h 紫外光照和 4 h 冷凝交替进行,紫外光照和冷凝循环的温度都是 50℃。

该循环中设定的紫外辐照度与没有辐照度控制的试验设备相同,与夏天正午的太阳光在波长为 340 nm 处的辐照度大体相同。

循环 2: UVA-340 灯管在 340 nm 处的辐照度是 1.35 W/m<sup>2</sup>。4 h 紫外光照和 4 h 冷凝交替进行,紫外光照和冷凝循环的温度都是 50℃。

除了增加辐照度用于测定能否加快测试而不影响相关性外,其他条件均与循环 1 相同。

循环 3: UVA-340 灯管在 340 nm 处的辐照度是 1.35 W/m<sup>2</sup>。只进行紫外光照(100% 紫外光照、无潮湿、无黑暗循环),曝晒温度为 50℃。

## 2 试验结果

降解评估分别根据 ASTM D 2244—2016《仪器测量颜色坐标中允许色差和色差的计算用标准实验规程》和 ASTM D 0523—2014《镜面光泽标准试验方法》测量试样颜色和光泽。户外老化试样分别在曝晒 12 个月和 24 个月时进行评估。根据试验材料和降解变化速度的不同,按不同时间间隔对人工加速老化试样进行测试。试验结果如图 2 所示。

由图 2a 可见,PVC 薄膜在俄亥俄州和佛罗里达州曝晒 2 a 后变化很小;在亚利桑那州老化第 1 年黄变速度较慢,略微发黄,第 2 年开始黄变速度加快,

变为棕色。

由图2A可见,无论辐照度高低,在4 h紫外光照/4 h冷凝循环的QUV设备中老化2 000 h后,PVC薄膜的变化很小。在辐照度为 $1.35 \text{ W/m}^2$ 的连续紫外光照设备中老化1 000 h后,PVC薄膜开始变黄,2 000 h后变为棕色。

对PVC薄膜,只进行紫外光照循环老化的情况与亚利桑那州的曝晒情况很吻合。在很长一段测试时间内均未观察到材料有任何变化,但随后都出现材料迅速变黄的情况。很明显,PVC薄膜需要一定量的紫外线来激发变黄过程,一旦达到一定的紫外线能量,变黄过程会加速,该点出现的时间大约是在加速老化1 200 h后。在亚利桑那州曝晒老化时,该点出现的时间大约是在老化1 a后。在佛罗里达和俄亥俄州曝晒时以及进行4h紫外光照/4h冷凝循环老化时,PVC薄膜均未出现变黄现象,这可能是由于材料尚未达到激发变黄过程所需的足够量的紫外线照射。

由图2b可见,蓝色乙烯基聚合物薄膜的光泽在户外3个不同场所曝晒2 a后都变得近乎暗淡,但样品外观仍存在一些差别,其中位于俄亥俄州的样品变黑;位于亚利桑那州的样品变黄;佛罗里达州的样品除了光泽下降外,无其它变化。

由图2B可见,在3种人工加速老化循环2 000 h后,蓝色乙烯基聚合物薄膜的光泽都从75下降至55。单一进行紫外光照循环的样品稍微变黄。

蓝色乙烯基聚合物薄膜在QUV设备中老化2 000 h后,产生与户外老化6个月相同的光泽下降。这是本研究中测试的15种材料中加速老化速度最慢的1种。在亚利桑那州出现的样品变黄现象也同样出现在实验室测试中(单一进行紫外光照循环时)。

由图2c可见,聚苯乙烯平板在3种户外曝晒中均出现材料迅速且严重变黄的现象,且变黄速度和程度几乎相同。

由图2C可见,聚苯乙烯平板在3种人工加速老化循环时都出现迅速且严重变黄的现象。其中,循环3材料的发黄速度最快,黄变程度最严重,其次是循环2,最后是循环1。

聚苯乙烯平板人工加速老化循环1和循环2的

结果与3个户外老化的结果很吻合,人工加速老化2 000 h后材料的变黄程度与户外老化2 a的结果大致相同。人工加速老化循环3比户外自然老化的材料产生更严重的黄变。

由图2d可见,绿色乙烯基聚合物薄膜在3个户外老化场所曝晒2 a后都变为绿松石颜色。这种颜色变化是向蓝色方向的变化,或是 $b^*$ 的负增量。老化1 a时很少出现,老化2 a时则变得非常明显。因此变化主要出现在第1 a和第2 a之间。在亚利桑那州和俄亥俄州,样品由于某种未知原因甚至出现发黑现象,薄膜边缘还出现卷曲并从铝板上翘起。

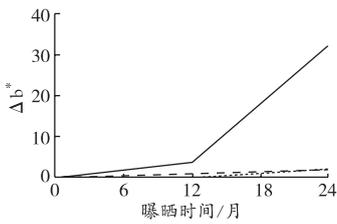
由图2D可见,绿色乙烯基聚合物薄膜经过人工加速老化循环1、2老化2 000 h后出现轻微变蓝现象。但在人工加速老化循环3中未出现该现象。

绿色乙烯基聚合物薄膜经人工加速老化循环1、2老化2 000 h时出现与户外老化1 a相同的颜色变化。加速老化速度在所研究的15种材料中排在倒数第2位。但它在人工加速老化时并未出现与户外老化类似的薄膜边缘从铝板翘起的现象,这可能是由于样品边缘被样品架遮挡所致。

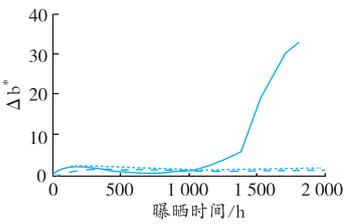
由图2e可见,环氧树脂样品在3处户外曝晒老化场所均出现光泽下降和粉化非常迅速的现象,且1 a后无光泽。此外,样品还出现生锈现象。佛罗里达州的样品上盖满了锈迹,而亚利桑那州和俄亥俄州的样品则部分生锈。

由图2E可见,环氧树脂样品在3种人工加速老化循环试验中都出现光泽迅速下降的现象。与正常辐照度循环老化相比,高辐照度循环老化使光泽完全损失的时间缩短一半。包含冷凝程序的循环老化样品发生粉化现象,只进行紫外光照循环老化的样品则无粉化现象。

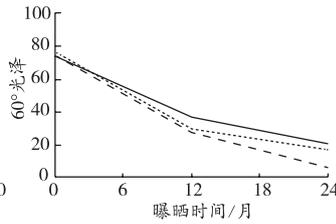
在包含冷凝程序的循环老化试验中,环氧树脂样品的光泽下降和粉化现象与户外曝晒结果很吻合。但实验室加速老化并不会产生户外老化时出现的生锈现象,这可能是由于紫外加速老化设备使用的是纯冷凝水。因此可能需要腐蚀性更强的液体进行耐腐蚀试验,这可通过采用循环腐蚀/老化程序来进行<sup>[4-5]</sup>。



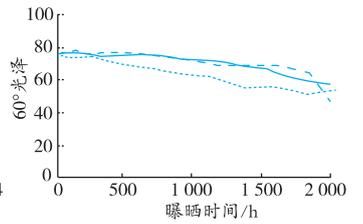
a—PVC薄膜户外老化试验



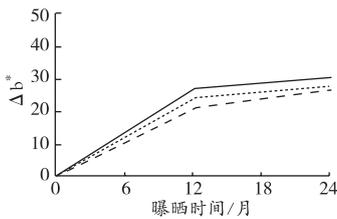
A—PVC薄膜人工加速老化试验



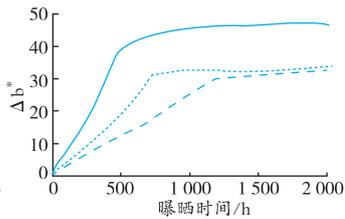
b—乙烯基聚合物薄膜(蓝色)户外老化试验



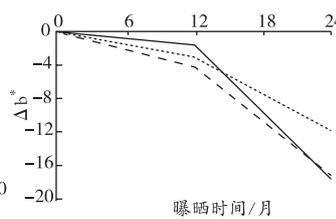
B—乙烯基聚合物薄膜(蓝色)人工加速老化试验



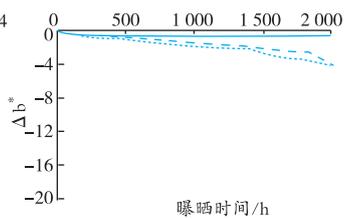
c—聚苯乙烯平板户外老化试验



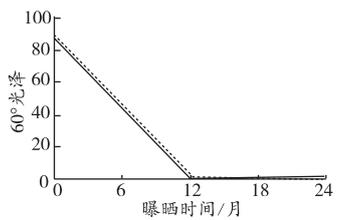
C—聚苯乙烯平板人工加速老化试验



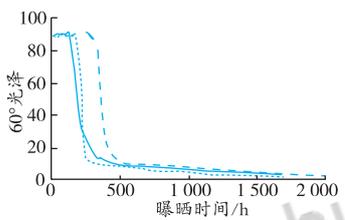
d—乙烯基聚合物薄膜(绿色)户外老化试验



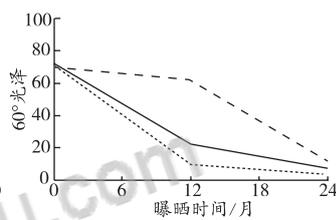
D—乙烯基聚合物薄膜(绿色)人工加速老化试验



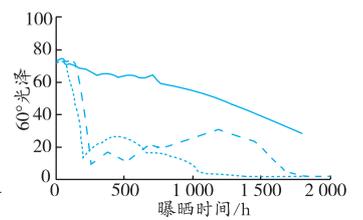
e—环氧树脂卷材涂料户外老化试验



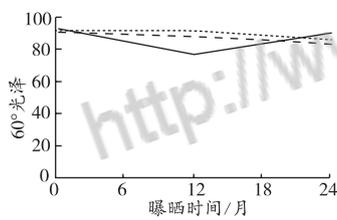
E—环氧树脂卷材涂料人工加速老化试验



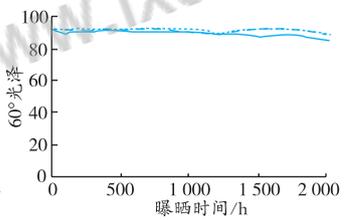
f—聚氨酯卷材涂料户外老化试验



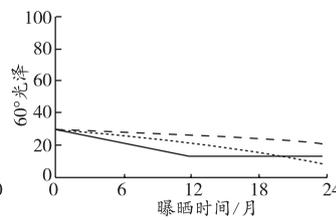
F—聚氨酯卷材涂料人工加速老化试验



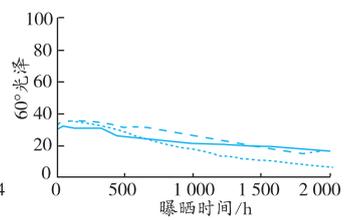
g—汽车涂料户外老化试验



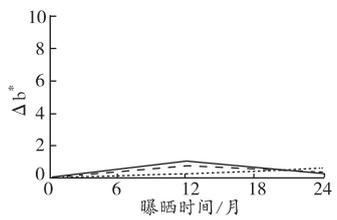
G—汽车涂料人工加速老化试验



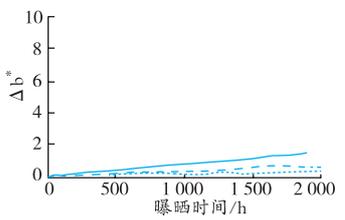
h—聚酯卷材涂料户外老化试验



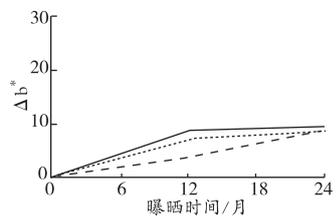
H—聚酯卷材涂料人工加速老化试验



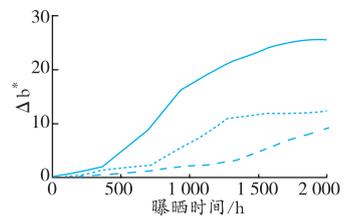
i—丙烯酸酯塑料片材户外老化试验



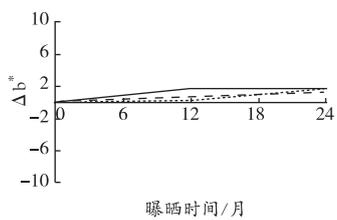
I—丙烯酸酯塑料片材人工加速老化试验



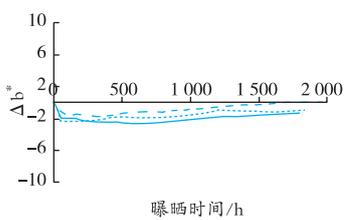
j—聚碳酸酯片材户外老化试验



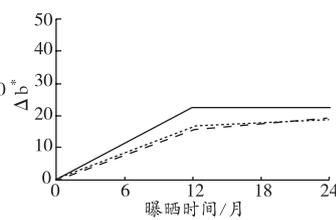
J—聚碳酸酯片材人工加速老化试验



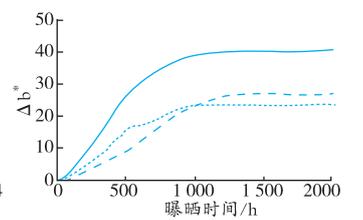
k—聚乙烯片材户外老化试验



K—聚乙烯片材人工加速老化试验



l—ABS片材户外老化试验



L—ABS片材人工加速老化试验

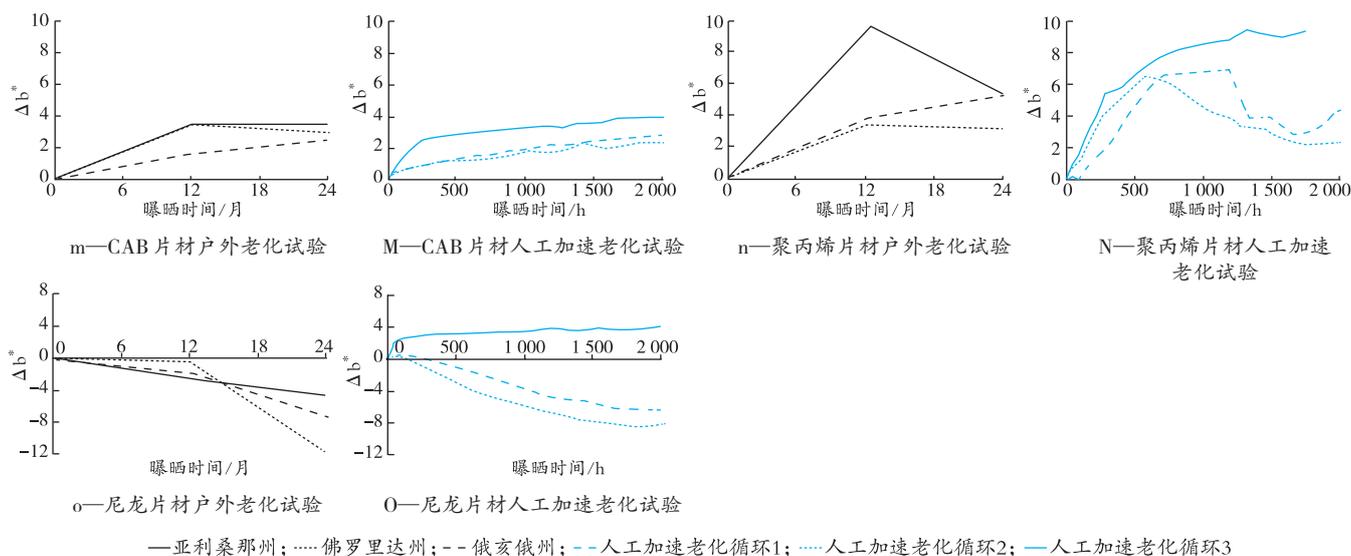


图2 户外老化和人工加速老化的试验结果

Figure 2 The test results of outdoor aging and artificial accelerated aging

由图2f可见,聚氨酯卷材涂料样板在3处户外老化场所均出现光泽下降的现象,其中以佛罗里达州和亚利桑那州样品的光泽下降速度最快。曝晒2 a后,3处老化现场的样品光泽均完全消失,并出现了粉化现象。另外佛罗里达州的样品有20%的表面出现生锈,俄亥俄州的样品则出现若干锈斑,而亚利桑那州的样品则无生锈现象。

由图2F可见,在包含冷凝程序的人工加速老化试验中,聚氨酯卷材涂料样品均出现光泽下降和粉化非常迅速的现象。只进行紫外光照老化循环的样品也出现了光泽下降的现象,但速度慢得多,且未出现粉化现象。

包含冷凝程序的人工老化循环聚氨酯卷材涂料样品出现的光泽下降和粉化现象与户外曝晒的结果非常吻合。但人工加速老化样品未出现生锈现象。

由图2g可见,汽车涂料在3处户外老化场所均未出现外观上的变化,光泽下降程度均较小。

由图2G可见,汽车涂料样品在3种人工加速老化循环试验中均未出现外观变化,光泽仅出现几个百分比的轻微下降。

因为汽车涂料样品的实验室加速老化和户外老化均未出现明显变化,故无法进行有效的对比。

由图2h可见,聚酯卷材涂料样品在3处户外老化场所均出现光泽下降的现象。处于亚利桑那州的

样品的光泽下降速度最快,其次是佛罗里达州,然后是俄亥俄州。处于亚利桑那州和佛罗里达州的样品在曝晒2 a后,光泽下降明显。

由图2H可见,聚酯卷材涂料样品在3种人工加速老化循环试验中均出现光泽下降的现象,且光泽下降都很明显,但以循环2中的样品光泽下降最快且最严重。

经紫外加速老化的聚酯卷材涂料样品与处于佛罗里达州、亚利桑那州的样品的曝晒结果非常吻合。其老化2 000 h的样品外观与佛罗里达州和亚利桑那州样品老化2 a的外观类似。聚酯卷材涂料样品的人工加速老化结果也与处于俄亥俄州曝晒的结果相吻合,但人工老化的速度更快一些。

由图2i可见,丙烯酸塑料片材样品在3处户外老化场所均未出现外观变化。 $\Delta b^*$ 检测显示材料轻微黄变。

由图2I可见,丙烯酸塑料片材样品在3种加速老化循环试验中均未出现外观变化。 $\Delta b^*$ 检测显示材料轻微黄变。

丙烯酸塑料片材样品的人工加速老化结果与户外曝晒结果相吻合。

由图2j可见,聚碳酸酯片材样品在3处户外老化场所均出现发黄现象。其中佛罗里达州和亚利桑那州样品的发黄速度比俄亥俄州更快,但曝晒2 a后,俄亥俄州样品的发黄程度赶上了佛罗里达州和亚利桑那州的样品的发黄程度。

由图 2J 可见,聚碳酸酯片材样品在 3 种人工加速老化时都出现发黄现象。但 3 种测试循环之间的黄变速度差别非常大。其中,老化循环 3 样品的黄变速度最快,其次是进行老化循环 2 的样品,进行老化循环 1 的样品的黄变速度最慢。进行老化循环 3 的样品的黄变程度也是最严重的。

包含冷凝循环的人工加速试验样品与 3 处户外曝晒样品的老化结果均很吻合。人工加速老化 2 000 h 后样品的黄变程度与户外曝晒 2 a 后样品的结果大致相同。只进行紫外光照老化循环试验的样品比户外曝晒的样品产生更严重的黄变现象。

由图 2k 可见,聚乙烯片材样品在 3 处户外老化场所均未出现外观变化, $\Delta b^*$  检测结果表明这种材料仅发生轻微黄变。

由图 2K 可见,聚乙烯片材样品在 3 种人工加速老化循环试验中均未出现外观变化。 $\Delta b^*$  检测结果表明样品颜色向蓝色方向发生轻微的变化。

聚乙烯片材样品的人工加速老化试验结果与户外曝晒结果相当吻合。

由图 2l 可见,ABS 片材样品在 3 处户外老化场所均出现发黄现象。处于亚利桑那州样品的黄变速度要比佛罗里达州和俄亥俄州样品的黄变速度稍快一些。且亚利桑那州样品曝晒 2 a 后的黄变程度更大一些。

由图 2L 可见,ABS 片材样品在 3 种人工加速老化循环试验中均出现发黄现象。只进行紫外光照老化循环的样品的黄变速度最快、程度最严重。

包含冷凝循环的人工加速老化试验结果与 3 处户外场合的曝晒结果相吻合。人工加速老化 2 000 h 时的黄变程度与户外曝晒 2 a 的结果大致相同。只进行紫外光照老化循环的样品比经户外曝晒的样品产生更严重的黄变。

由图 2m 可见,CAB 片材样品在 3 个户外场合曝晒时均发生明显的发黄现象。其中处于佛罗里达州和亚利桑那州的样品的发黄速度比处于俄亥俄州的样品更快。但曝晒 2 a 后,俄亥俄州样品的黄变程度与佛罗里达州和亚利桑那州的样品大致相同。

由图 2M 可见,CAB 片材样品在经人工加速老化循环时均出现明显的发黄现象。只进行紫外光照老

化循环试验的样品,其黄变速度要快得多,且黄变程度最严重。

经人工加速老化的样品与 3 处户外曝晒的样品的试验结果非常吻合。

由图 2n 可见,聚丙烯片材样品在 3 处户外场合曝晒 1 a 时均出现明显的发黄现象。处于亚利桑那州的样品的发黄程度是佛罗里达州和俄亥俄州样品的 2 倍。在曝晒 2 a 后,俄亥俄州的样品会继续发黄,佛罗里达州的样品开始发霉并变得非常黑,亚利桑那州样品曝晒 2 a 时比曝晒 1 a 时的黄变程度弱得多。在 3 处曝晒场,聚丙烯片材样品均降解到表面能被手指轻易划破的程度,其中处于亚利桑那州的样品的降解情况最严重。

由图 2N 可见,在 3 种人工加速老化试验中,聚丙烯片材样品均出现变黄现象。其中,只进行紫外光照老化循环试验的样品在整个 2 000 h 的加速老化过程中一直在变黄。在进行冷凝程序的 2 个循环中,加速老化约 700 h 后,材料开始变得黄色更浅,且在 2 000 h 加速老化的剩余时间内会持续这样。在 3 种人工加速老化循环试验中,样品均降解至表面能被手指轻易划破的程度,高强度辐照老化循环更是如此。

除了佛罗里达州的样品出现霉菌以外,聚丙烯片材样品在包含冷凝循环的人工加速老化试验的结果与户外曝晒结果很吻合,包含冷凝循环的加速老化样品也会变黄,然后会反向变化,黄色变得更浅,类似于亚利桑那州出现的情形。

尼龙片材样品初始颜色为浅棕色,在亚利桑那州和俄亥俄州曝晒后,样品颜色变亮或黄色变淡。在佛罗里达州样品一开始变黄,后来开始发霉,颜色变黑。曝晒 2 a 后,3 处户外场所的样品均降解至表面能被手指轻易划破的程度。

在包含冷凝循环的加速老化试验中,尼龙片材样品变得更亮(黄色变浅)。样品降解至表面能被手指轻易划破的程度。相反地,只进行紫外光照老化循环的样品变得更黄,表面未出现能被手指划破的那种降解情况。

对尼龙片材样品来说,除了佛罗里达州的样品出现霉菌以外,包含冷凝循环的加速老化试验结果

与户外曝晒试验结果很吻合,人工加速老化样品颜色变得更淡,样品表面降解程度与户外曝晒结果相同。仅进行紫外光照老化循环的加速老化结果与任一户外场所的曝晒结果都不太吻合。这表明湿度是影响尼龙片材老化的关键参数,在模拟自然老化的人工加速老化试验中必须要考虑在内。

### 3 结语

综上所述,使用UVA-340灯管的紫外加速老化设备QUV对所有15种材料均可产生与户外曝晒相吻合的降解结果。唯一不同的是,人工加速老化无法再现户外曝晒中出现的发霉和生锈现象。

为了实现人工加速老化与自然老化测试结果的一致性,人工加速老化循环试验必须要将冷凝程序包括在内。如果未将冷凝循环包括在内,这15种材料中有5种材料的人工加速老化降解模式与户外老化降解模式不同。另外,有3种材料出现非常严重的降解。因此如果不进行冷凝循环,这15种材料中只有7种材料的人工加速老化结果与户外曝晒结果能较好地吻合。

UVA-340灯管不会产生荧光UV-B灯管辐照时出现的任何与自然老化不一致的黄变。

该研究证实,加速因子与材料自身特性紧密相关。作为一种非常粗略的计算方法,1 000 h的人工加速老化降解程度约相当于1 a的户外曝晒降解程度(9:1加速老化)。然而范围可为(2:1)~(35:1)。很明显没有一个唯一的加速因子适用于该数据。

高辐照度会加速某些材料的测试结果。在测试

的15种材料中,有9种材料的高辐照度曝露比“普通”辐照度曝露产生更快的测试结果。对于该研究中的15种材料,任何情况下,高辐照度都不会影响人工加速老化结果和户外老化结果的相关性。

上述试验结果证明,只进行紫外光照老化循环不是一种好的加速老化方法。尽管实际上紫外辐照量是湿度老化循环测试的2倍。在测试的15种材料中,只有5种材料在仅进行紫外光照的老化循环中产生更快的降解结果,而有3种材料降解速度更慢。因此建议几乎所有材料的紫外加速老化试验都要进行冷凝循环似乎更加合理。

### 参考文献

- [ 1 ] Brennan, P, Fedor, C. Sunlight, UV and Accelerated Weathering[ C ]. SPE Automotive RETEC, 1987
- [ 2 ] Brennan, P. Improved UV Light Source Enhances Correlation in Accelerated Weathering, *Plastics Compounding*, 1987.
- [ 3 ] Fedor, G. R. Brennan, P. J. Irradiance Control in Fluorescent UV Exposure Testers, Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials, ASTM STP 1202, Warren D. Ketola and Douglas Grossman, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1993.
- [ 4 ] Skerry, B., Alavi, A. and Lindgren, K., Environmental and Electrochemical Test Methods for the Evaluation of Protective Organic Coatings[ J ]. *Journal of Coatings Technology*, 1988( 10 ).
- [ 5 ] Simpson, C., Ray, C. and Skerry, B. Accelerated Corrosion Testing of Industrial Maintenance Paints Using a Cyclic Corrosion Weathering Method[ J ]. *Journal of Protective Coatings and Linings*, 1991( 5 ).

## Comparison between Natural Weathering and Fluorescent UV Exposures: UVA-340 Lamp Test Results

Gregory R. Fedor ( Q-Lab, Ohio, USA )

**Abstract :** Samples of different polymers were exposed in Florida, Arizona and Ohio for two years. The same samples were exposed in a laboratory weathering chamber using two irradiance levels and two moisture cycles. The artificial and naturally weathered samples were then compared. With the exception of mildew growth, the laboratory exposures with moisture degraded the materials in a similar manner as seen outdoors. For 9 of the 15 materials tested, the rate of degradation in the artificial weathering chamber was increased by increasing the light intensity level. In addition, the study confirms that acceleration factors are highly material dependent.

**Key Words :** weathering ; artificial accelerated weathering ; weather resistance test ; plastic ; paint and coating



知网查重限时 **7折** 最高可优惠 **120元**

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: [http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>

---