

自然老化和荧光紫外曝晒的对比： UVA-340灯管曝晒试验结果

Gregory R. Fedor 和 Patrick J. Brennan¹

参考文献

Fedor, G.R.和Brennan, P.J., “自然老化和荧光紫外曝晒的对比：UVA-340灯管曝晒试验结果”，非金属材料的耐候性测试，ASTM STP 1294, Robert J. Herling, Ed., 美国测试和材料协会，费城，1996年。

摘要

将不同聚合物材料样品在佛罗里达、亚利桑那和俄亥俄州进行了2年户外曝晒。将同样品在实验室加速老化试验箱内用两种辐照度和两种湿度循环进行试验。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。另外研究还确认加速因子与材料自身特性关联很大。

关键词：

老化、加速老化、人工老化、ASTM G53, ASTM G7、耐候性测试、塑料、油漆和涂料。

简介

实验室加速老化和自然老化测试结果之间的相关性长期以来一直是辩论和争议的焦点。通常情况下，行业用户都希望更快地得到加速老化测试结果，但也希望在实验室模拟和真实户外曝晒结果之间有很好的相关性。不幸的是，这两个目标似乎是截然相反的。这是因为加速老化结果的三种主要方法（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，因此争论尚未达成一致。

但业内似乎达成了某种程度的共识。如果人工加速老化设备使用的光源能真实模拟测试材料敏感光谱区太阳光光谱能量的分布，则人工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光谱的大部分波段，特别是可见光和波长较长的紫外线[1]。UVA-340荧光紫外灯管能够很好地模拟光谱中的短波紫外线（<365nm）部分。

如图1所示，UVA-340灯管很好地模拟了360nm以下波长的太阳光[2]。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，能够使用UVA-340灯管对户外老化和实验室人工老化之间的测试结果进行对比。

试验

将15种不同塑料和涂料在三个不同场所进行户外老化、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，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，

户外老化 众所周知，引起产品降解的因素通常被称作“老化”，这些因素在世界各地存在很大不同。为了表征本研究中的“户外老化”，特选择3处不同的户外场所：分别是亚热带气候、沙漠气候和北部工业地区气候。

1. 美国俄亥俄州 44145 Westlake, Canterbury 800号 Q-Lab公司，分别为研究开发经理和前副总裁。

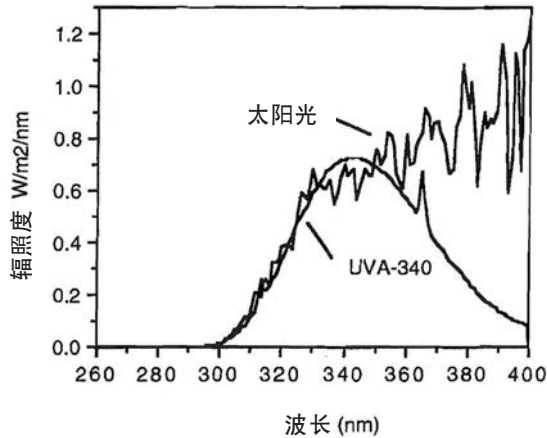


图1-UVA-340灯与太阳光的对比²

选择佛罗里达州迈阿密作为亚热带气候老化测试场所是因为这里的太阳光辐射强度高、年紫外线辐射强度高、全年温度高、年降雨量大和湿度高。因为佛罗里达州的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。

选择亚利桑那州凤凰城作为沙漠气候老化测试场所也是因为这里因年紫外线辐射强度高和全年温度高而被看作标杆场所。

选择俄亥俄州克里夫兰市作为北部工业地区老化测试场所是因为这里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。所有户外老化都根据ASTM G7-非金属材料环境曝晒试验标准规范进行。测试试样被安装在一个1.6mm(0.25英寸)的曝晒支架上，样品与水平成45°角，朝南。选择45°角和朝南是因为这通常被看作是典型的曝晒角度，是许多行业选择的测试角度。对于那些在实际使用中并没有特定倾斜角度的材料，45°角是最常用的。

试验材料 本次试验材料与上次研究中使用的材料相同，上次研究是为了量化高辐照度对各种常用塑料和涂料降解速度的影响[3]。这些材料多数都是市售产品，它们可能代表也可能不代表各自通用类型。

表1-试验材料			
聚合物	描述	颜色	厚度 (毫米)
PVC	薄膜	透明	0.2
乙烯基聚合物	有光泽薄膜	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	-
?	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	片材	白色	3.2
CAB	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

加速老化 所有实验室人工曝晒都在能够调节和闭环反馈回路控制紫外线光强的QUV[®]/se³设备中进行。符合标准ASTM G53-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343nm的UVA-340灯管，其截止点是295nm。选择单一曝晒温度(50°C)，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340nm处的辐照度是0.83W/m²。4h紫外光照和4h冷凝交替进行，紫外光照和冷凝循环的温度都是50°C。

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，与夏天正午太阳光在340nm处的辐照度大体相同。

循环2：UVA-340灯管在340nm处的辐照度是1.35W/m²。4h紫外光照和4h冷凝交替进行，紫外光照和冷凝循环的温度都是50°C。

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，其它都与循环1相同。

循环3：UVA-340灯管在340nm处的辐照度是1.35W/m²。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°C。

降解评估 根据标准ASTM D2244和标准D0523测量试样颜色和光泽。这两个标准分别是用仪器测定颜色坐标法计算颜色容差和色差的标准规范和镜面光泽测试方法。户外曝晒试样分别在曝晒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G53设备中曝晒的试样进行测试。

2. 美国俄亥俄州克利夫兰市夏天正午太阳光 (1986年6月21日)。
3. 美国俄亥俄州，Westlake, Q-Lab公司生产制造。

曝晒数据

PVC薄膜 这种材料是一种透明的不稳定薄膜，将其用压敏粘合剂粘到白色涂漆铝板上。

自然老化结果(图2) 这种材料在俄亥俄州和佛罗里达州曝晒2年后变化很小。在亚利桑那州，这种材料老化1年后略微发黄，2年后变为棕色。在亚利桑那州，第一年黄变速度较慢，第二年黄变速度加快。

人工加速老化结果(图3) 无论辐照度高低，在4h紫外光照/4h冷凝循环的QUV设备中老化2000h后，该材料变化很小。在辐照度为1.35W/m²的连续紫外光照的G53设备中老化时，该材料在1000h后开始变黄，2000h后变为棕色。

对比 只进行紫外光照循环的QUV设备与亚利桑那州的曝晒情况很吻合。测试时在很长一段时间内都未观察到有任何变化，但随后都出现材料迅速变黄的情况。很明显，这种材料需要一定量的紫外线来激发变黄过程。一旦达到紫外线能量，变黄过程会很迅速。该点出现的时间大约是在加速老化1200h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年后。在佛罗里达州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，未出现变黄现象。这可能是由于材料尚未受到激发变黄过程所需的足够量的紫外线照射。

蓝色乙烯基聚合物薄膜 这种材料是一种非透明的蓝色有光泽薄膜，将其用压敏粘合剂粘到铝板上。

自然老化结果(图4) 这种材料的光泽在户外三个不同场所曝晒2年后都变得近乎暗淡。尽管三处场所的光泽下降相同，但样品外观仍存在差别。其中俄亥俄州样品变黑，亚利桑那州样品变黄，而佛罗里达州样品除了光泽下降外无其它变化。

人工加速老化结果(图5) 这种材料的光泽在QUV设备的每种循环老化曝晒2000h后都从75下降至55。只进行紫外光照循环的样品稍微变黄。

对比 QUV设备中曝晒2000h后产生与户外老化6个月相同的光泽下降。这是该研究中测试的15种材料中加速速度最慢的。亚利桑那州发现的变黄现象也出现在了实验室测试中(只进行紫外光照循环时)，但同样是以相对较慢的加速速度。

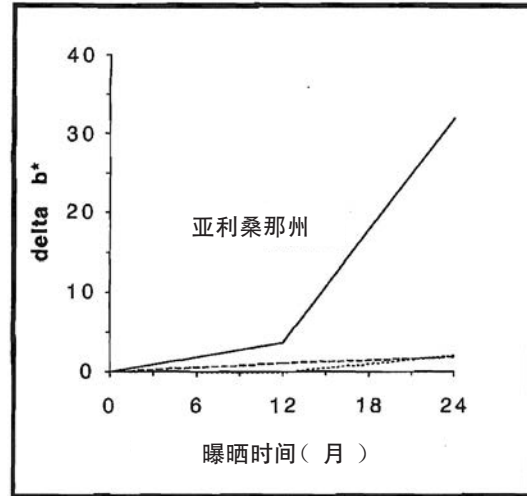


图2-PVC薄膜、户外老化

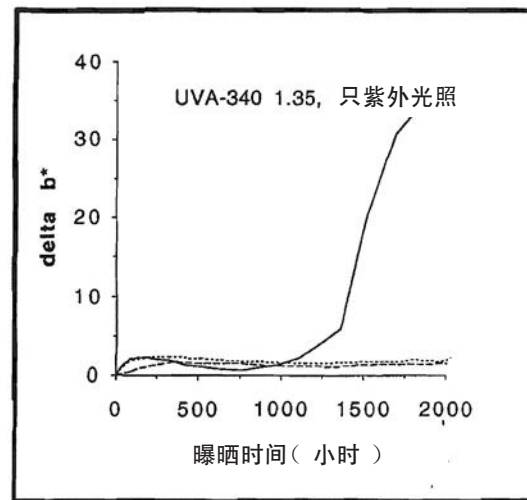


图3-PVC薄膜、实验室老化

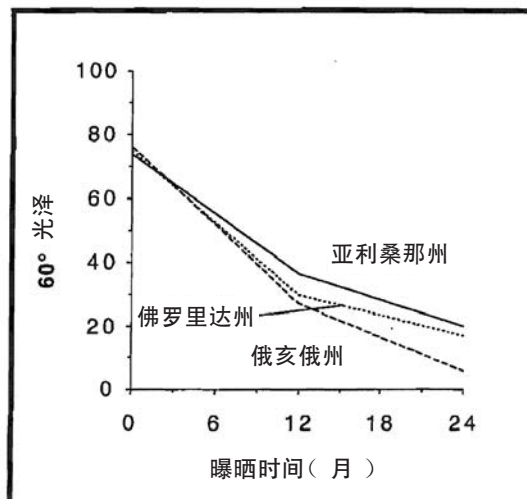


图4-乙烯基聚合物薄膜、户外老化

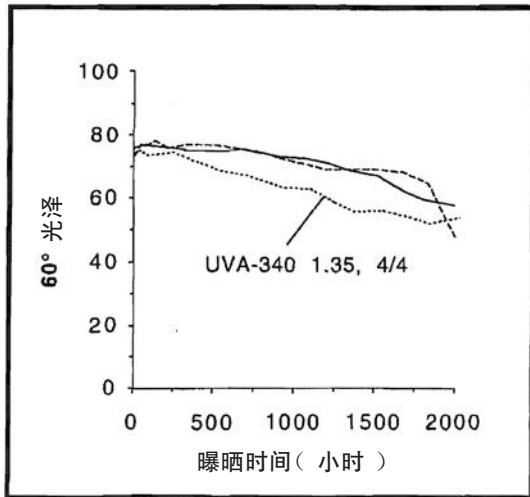


图5-乙烯基聚合物薄膜、实验室老化

聚苯乙烯平板 这种材料是厚度为2.8mm的透明塑料板。通常被用作监测加速老化试验机中紫外线辐照量的参比材料。

自然老化结果(图6) 所有三种户外曝晒中都出现材料迅速和严重变黄的现象。所有三处场所的变黄速度和程度都几乎相同。

人工加速老化结果(图7) 该材料在每种循环的实验室人工老化时都出现迅速和严重变黄的现象。只进行高辐照度紫外光照循环老化的发黄速度是最快的,其次是经过4h高辐照度紫外光照/4h冷凝循环老化,然后是4h普通紫外光照/4h冷凝循环老化。只进行高辐照度紫外光照循环也产生最严重的变黄现象。

对比 包含冷凝程序的循环与所有三个户外曝晒老化的结果都很吻合。老化2000h后的变黄程度与户外老化2年的结果大致相同。只进行紫外光照的循环比户外曝晒产生更极端的变黄。

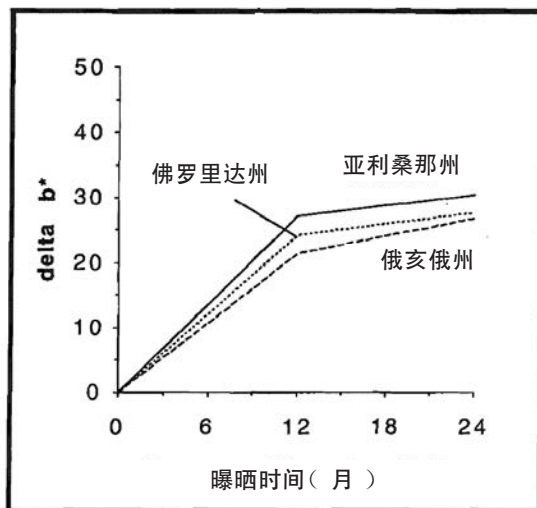


图6-聚苯乙烯、户外老化

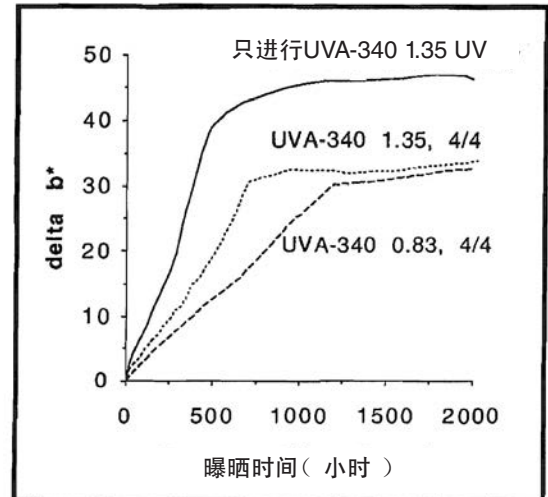


图7-聚苯乙烯、实验室老化

绿色乙烯基聚合物薄膜 这种材料是一种非透明的绿色薄膜,将其用压敏粘合剂粘到铝板上。

自然老化结果(图8) 这种材料在三个户外老化场所曝晒2年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年时很少出现,但老化2年时则变得非常明显。因此变化主要出现在第一年和第二年之间。除了亚利桑那州和俄亥俄州样品由于某种未知原因还出现发黑外,三处场所老化时出现的变化都几乎相同。薄膜边缘还出现卷曲并从铝板上翘起。

人工加速老化结果(图9) 材料经过有冷凝循环的老化2000h后出现轻微变蓝现象。但在只进行紫外光照的循环未出现该现象。

对比 包含冷凝程序的循环老化2000h时出现与户外老化1年相同的颜色变化。加速老化速度在所研究15种材料中排倒数第二。但这种材料在紫外加速设备中并未出现与户外老化类似的薄膜边缘从铝板翘离的现象。猜测可能是由于样品边缘被样品架遮盖所致。为了模拟这种现象,应该将薄膜边缘曝晒在样品架的曝晒区域。

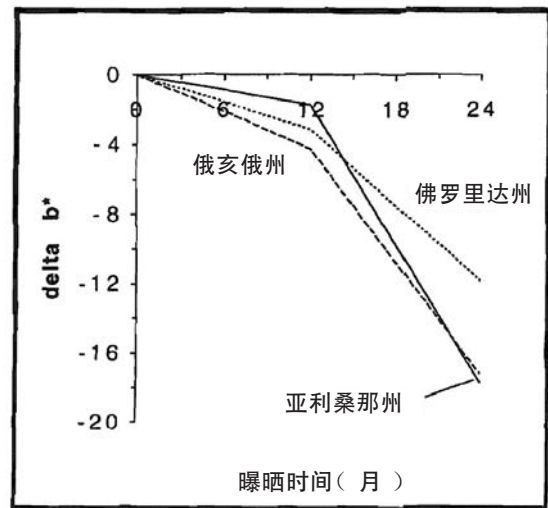


图8-乙烯基聚合物薄膜、户外

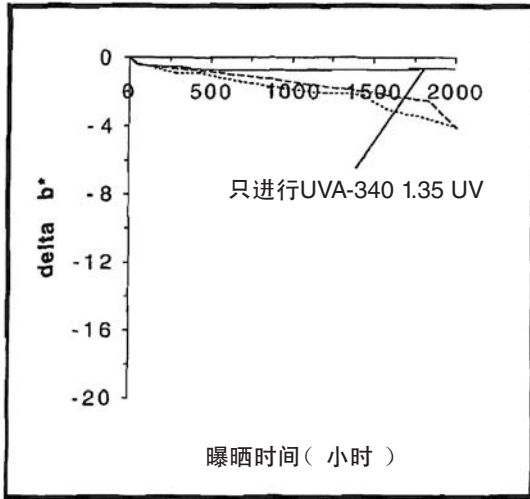


图9 - 乙烯基聚合物薄膜、实验室老化

环氧树脂 这种材料是一种涂在钢材基底上的有光泽、灰色卷材涂装底漆。

自然老化结果(图10) 所有三种户外曝晒老化都出现光泽下降和粉化非常迅速的现象。老化1年后检测到无光泽。三个试验场所的样品还出现生锈现象。佛罗里达州样品都盖满了锈迹，而亚利桑那州和俄亥俄州样品则部分生锈。

人工加速老化结果(图11) 材料在三个加速老化循环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，高辐照度循环会使光泽完全损失的时间缩短一半。包含冷凝程序的循环会产生粉化，但只进行紫外光照的循环则不会发生粉化。

对比 包含冷凝程序的循环，样品的光泽下降和粉化现象与户外曝晒结果很吻合。但实验室老化并不会产生户外老化出现的生锈现象。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。可通过采用循环腐蚀/老化程序来实现[4][5]。

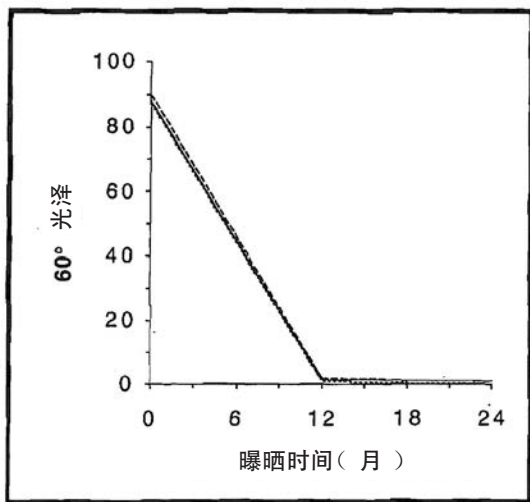


图10 - 环氧树脂、户外老化

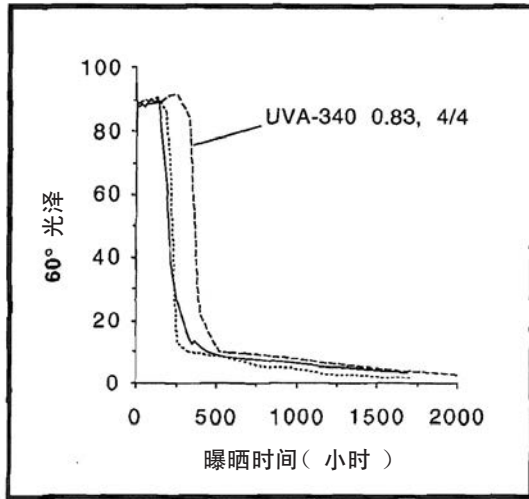


图11 - 环氧树脂、实验室老化

聚氨酯涂料 该材料是一种涂在钢材基底上的有光泽、灰色卷材涂装底漆。

自然老化结果(图12) 这种材料在所有三处户外老化时都出现光泽下降的现象。其中佛罗里达州和亚利桑那州样品出现的光泽下降速度最快。曝晒2年后，三处老化现场的试验板光泽都完全消失。所有3处老化现场的样品都出现某些粉化现象。另外佛罗里达州的试验板有20%的表面出现生锈，而俄亥俄州样品则出现若干锈斑，亚利桑那州样品则无生锈。

人工加速老化结果(图13) 包含冷凝程序的循环都出现光泽下降和粉化非常迅速的现象。只进行紫外光照的循环样品也会出现光泽下降，但速度要慢得多，而且未出现粉化。

对比 包含冷凝程序的循环光泽下降和粉化现象与户外曝晒结果非常吻合。但紫外加速老化设备中的样品未出现佛罗里达州样品出现的生锈现象。

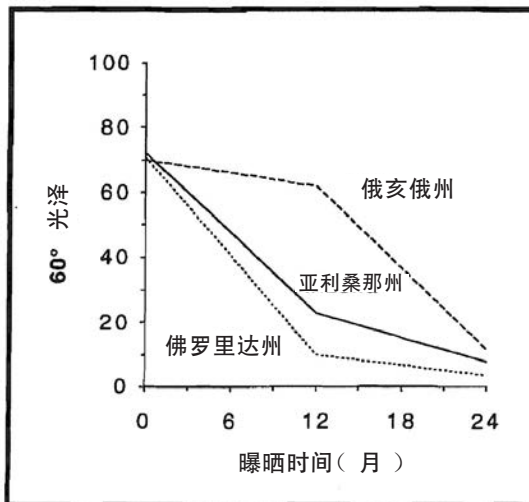


图12 - 聚氨酯、户外老化

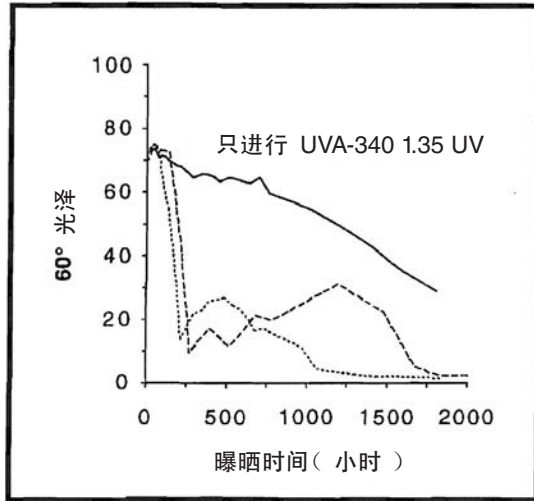


图13 - 聚氨酯、实验室老化

汽车涂料 这种材料是一种成分不明的汽车外用面漆，其为蓝色，光泽度高，喷涂在铝板上。

自然老化结果(图14) 这种材料在三处户外老化曝晒场都未出现外观变化，光泽下降都最小。

人工加速老化结果(图15) 这种材料在三种实验室加速老化循环中都未出现外观变化。光泽检测表明有几个百分比的轻微光泽下降。

对比 因为实验室老化和户外老化都未出现明显变化，无法进行有效的对比。

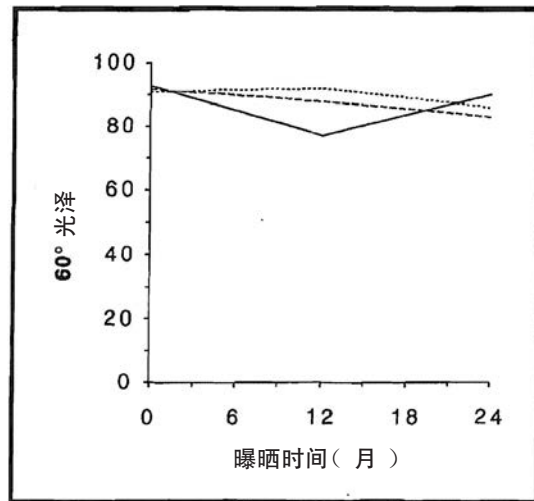


图14 - 汽车涂料、户外老化

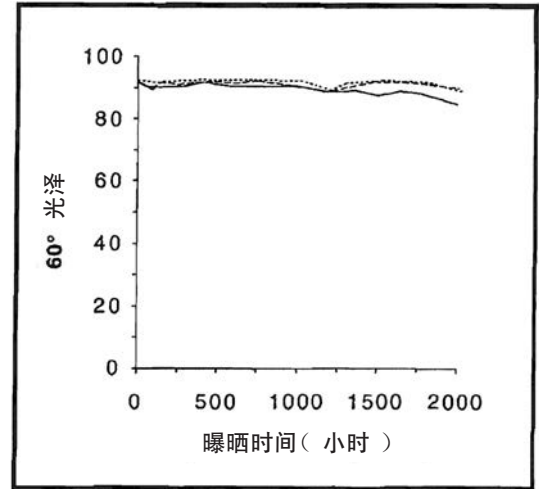


图15 - 汽车涂料、实验室老化

聚酯涂料 这是一种有中度光泽、棕褐色、喷涂铝材上的卷材涂料。

自然老化结果(图16) 这种材料在所有三处户外曝晒时都出现光泽下降的现象。亚利桑那州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。亚利桑那州和佛罗里达州样品在曝晒2年时的光泽下降明显，尽管俄亥俄州只出现微小下降。

人工加速老化结果(图17) 这种材料在所有三种实验室加速老化循环中都出现光泽下降的现象。所有三种循环的光泽下降都很明显，但高辐照度紫外光照4h/冷凝4h循环中出现的光泽下降最快并且最严重。

对比 紫外加速老化与佛罗里达州和亚利桑那州曝晒结果非常吻合。其老化2000h的样品外观与佛罗里达州和亚利桑那州样品老化2年的外观类似。实验室老化结果也与俄亥俄州曝晒结果结果吻合，但人工老化速度更快，因为俄亥俄州样品的光泽下降速度更慢。

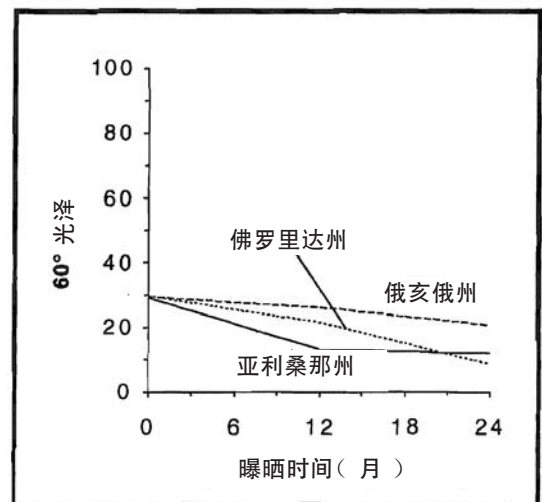


图16 - 聚酯、户外老化

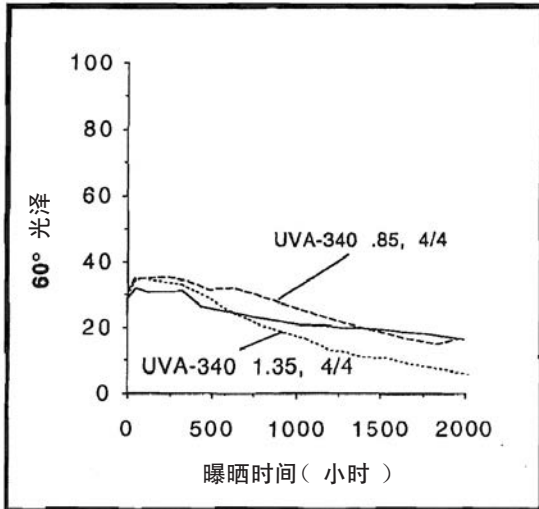


图17 - 聚酯、实验室老化

丙烯酸塑料片材 这是一种厚度为3.2mm的已商用透明片材。

自然老化结果 (图18) 这种材料在所有三处户外曝晒场都未出现外观变化。Delta b*检测显示材料出现非常少量的发黄。

人工加速老化结果 (图19) 这种材料在三种加速老化循环中都未出现外观变化。Delta b*检测显示材料出现非常少量的发黄。

对比 实验室加速老化与户外曝晒结果吻合，UVA-340灯管未产生与自然曝晒不一致的发黄现象。

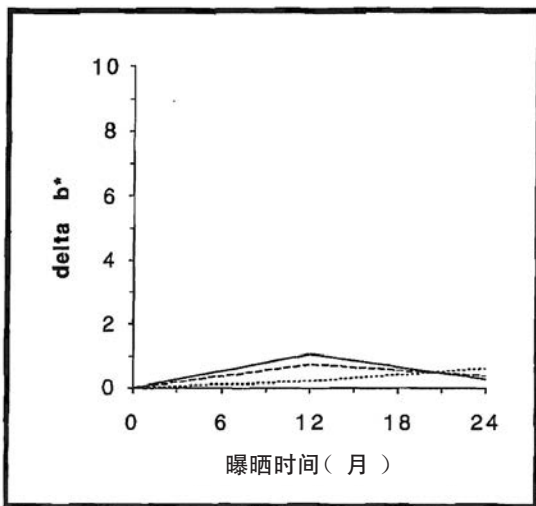


图18 - 丙烯酸酯塑料、户外老化

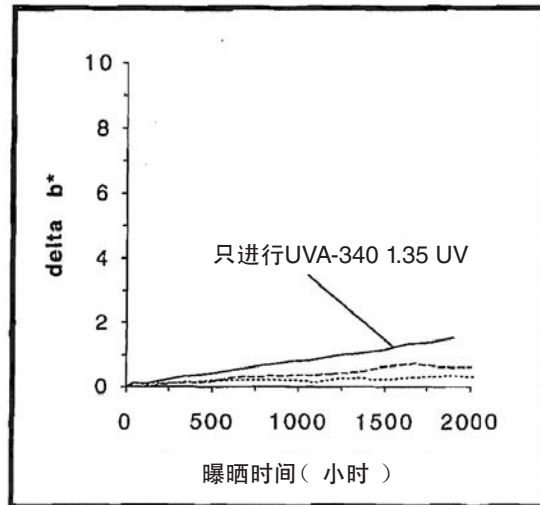


图19 - 丙烯酸酯塑料、实验室老化

聚碳酸酯片材 这是一种厚度为3.2mm的已商用透明片材。

自然老化结果 (图20) 这种材料在所有户外曝晒时都出现发黄现象。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样品更快，但曝晒2年后，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样品。

人工加速老化结果 (图21) 这种材料在所有实验室加速老化时都出现发黄现象。但三种测试循环之间的黄变速度差别非常大。只进行高辐照度紫外光照的循环黄变速度是最快的，其次是4h高辐照度紫外光照/4h冷凝循环，然后是4h普通辐照度紫外光照/4h冷凝循环。只进行高辐照度紫外光照的循环也产生最严重的黄变现象。

对比 包含冷凝循环的实验室加速试验与所有三处户外曝晒结果都很吻合。实验室老化2000h后的黄变程度与户外曝晒2年的结果大致相同。只进行紫外光照的循环比户外曝晒产生更极端的黄变。

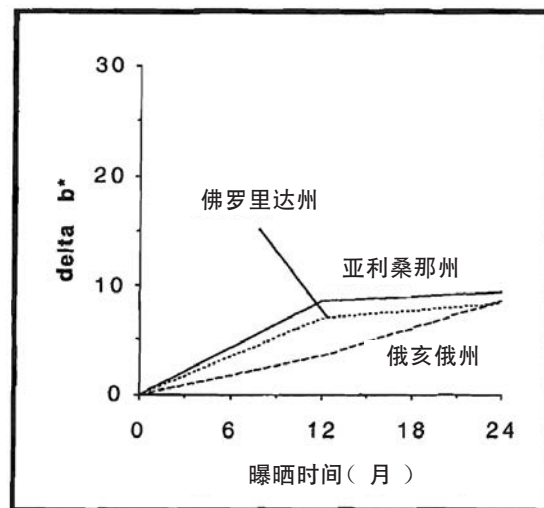


图20 - 聚碳酸酯、户外老化

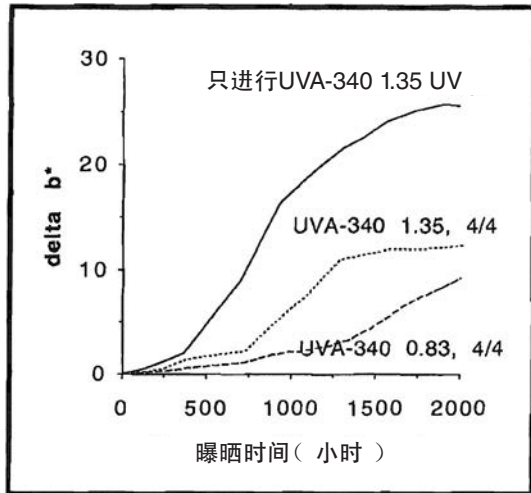


图21 - 聚碳酸酯、实验室老化

聚乙烯片材 这是一种厚度为3.2mm的已商用超高分子量白色片材。

自然老化结果(图22) 这种材料在三处户外曝晒场都未出现外观变化, Delta b*检测表明这种材料出现非常少量地发黄。

人工加速老化结果(图23) 这种材料在三种实验室加速老化循环中都未出现外观变化。Delta b*检测表明材料颜色向蓝色方向发生非常少量的变化。

对比 实验室加速老化与户外曝晒结果相当吻合。尽管颜色检测仪器的结果有些偏差, 但对人眼而言, 实验室加速老化和户外曝晒结果没有什么差别。

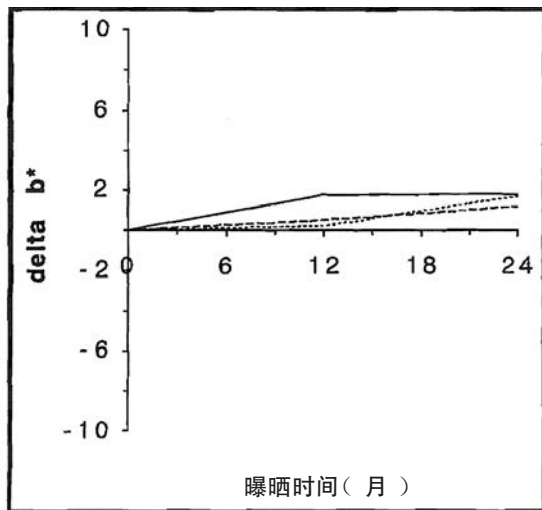


图22 - 聚乙烯、户外老化

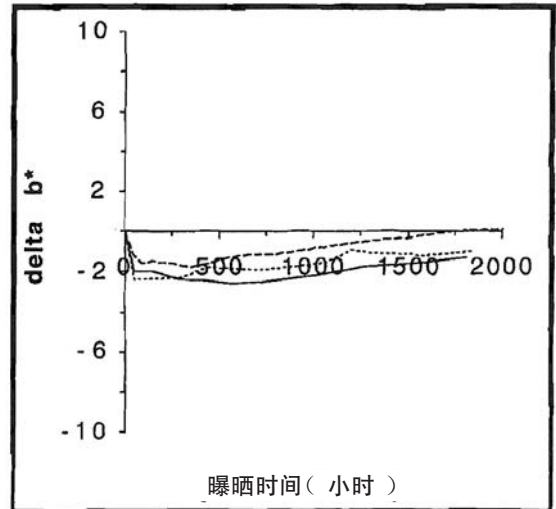


图23 - 聚乙烯、实验室老化

ABS片材 这是一种厚度为3.2mm的已商用丙烯腈-丁二烯-苯乙烯白色不透明片材。

自然老化结果(图24) 这种材料在所有户外曝晒时都出现发黄现象。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黄变速度稍微快些。而且亚利桑那州样品曝晒2年后的黄变程度要大些。

人工加速老化结果(图25) 这种材料在所有实验室加速老化循环中都出现发黄现象。只进行紫外光照的循环材料产生最快和最严重的黄变现象。

对比 包含冷凝循环的实验室加速老化试验与三处户外曝晒的结果都很吻合。实验室加速老化2000h时的黄变程度与户外曝晒2年的结果大致相同。只进行紫外光照的循环比户外曝晒产生更极端的黄变。

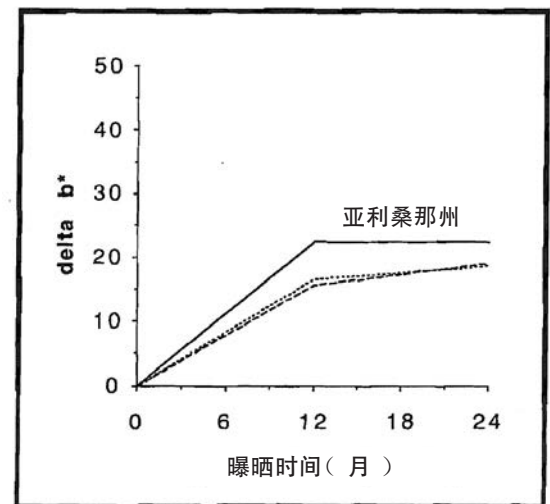


图24-ABS、户外老化

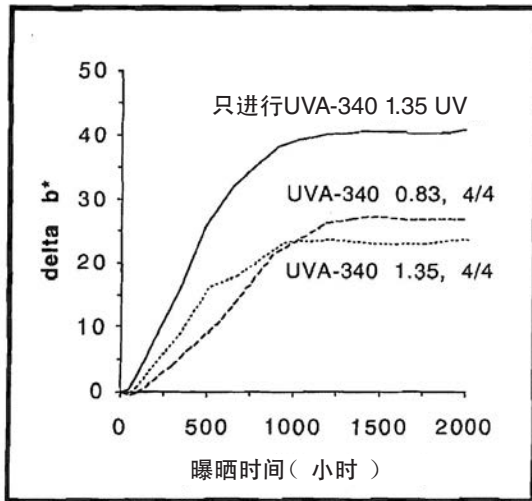


图25-ABS、实验室老化

CAB片材 这种乙酸丁酸纤维素是一种厚度为3.2mm的已商用透明片材。

自然老化结果(图26) 这种材料在所有户外曝晒时都发生明显发黄现象。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样品更快。但曝晒2年后，俄亥俄州样品的黄变程度与佛罗里达州和亚利桑那州样品大致相同。

人工加速老化结果(图27) 这种材料在每种UVA-340曝晒循环时都出现明显发黄现象。但只进行紫外光照的循环黄变速度要快得多，还产生最严重的黄变。

对比 UVA-340曝晒试验与三处户外曝晒的结果非常吻合。所有曝晒老化的黄变程度都没有明显差别。

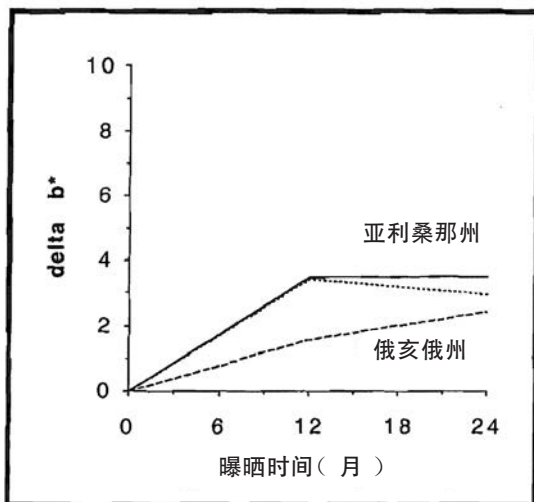


图26-CAB、户外老化

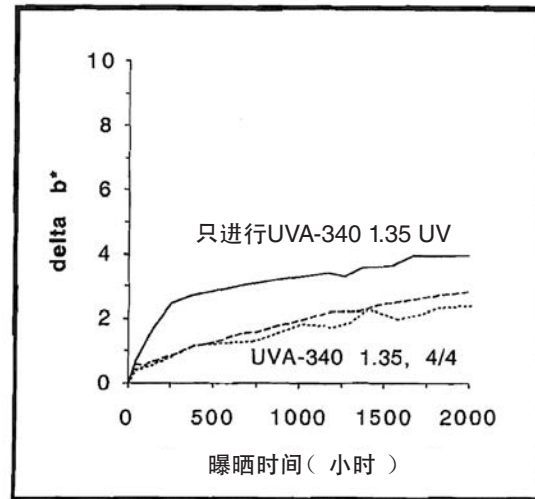


图27-CAB、实验室老化

聚丙烯片材 这种材料是一种厚度为4.7mm的已商用白色片材。

自然老化结果(图28) 这种材料在户外曝晒1年时都出现明显发黄现象。亚利桑那州样品发黄程度是佛罗里达州和俄亥俄州样品的2倍。但板材在曝晒2年后看起来有点差别。俄亥俄州样品会继续发黄，佛罗里达州样品出现发霉并变得非常黑，亚利桑那州样品曝晒2年时比曝晒1年时的黄变程度弱得多。在所有3处曝晒场，材料都降解到表面能被手指轻易划破的程度，其中亚利桑那州样品出现最严重的降解。

人工加速老化结果(图29) 所有3种实验室加速老化中的材料都开始变黄。只进行紫外光照的循环材料在2000h的整个加速老化过程中都一直在变黄。在进行冷凝程序的2个循环中，加速老化约700h后，材料开始变得黄色更浅，在2000h加速老化的剩余时间内会持续这样。材料也都降解到表面能被手指轻易划破的程度，这种情况出现在所有3种循环中，但高强度辐照循环老化更是如此。

对比 包含冷凝循环的加速老化与户外曝晒结果很吻合，除了佛罗里达州样品出现霉菌以外。在紫外加速老化设备中材料外观与所有户外曝晒样品相同。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，正如亚利桑那州出现的那样。

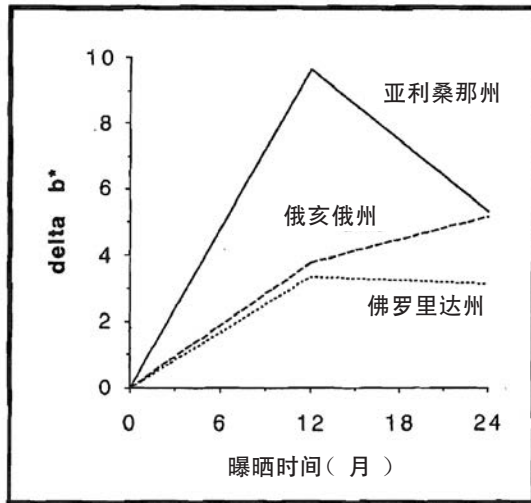


图28 - 聚丙烯、户外老化

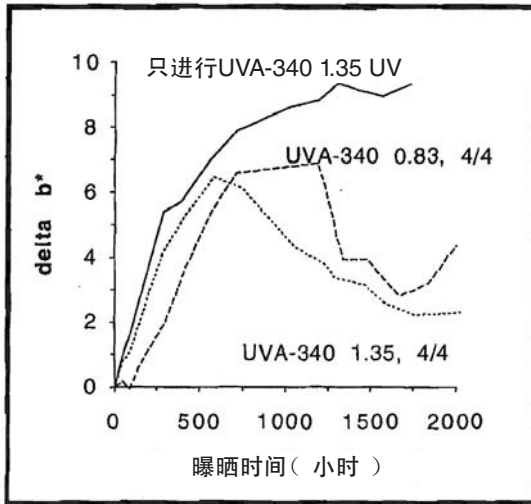


图29 - 聚丙烯、实验室老化

尼龙片材 这种材料是一种厚度为4.7mm的已商用、6/6型未染色片材(浅棕色)。

自然老化结果(图30) 这种材料初始颜色为浅棕色,在亚利桑那州和俄亥俄州曝晒后颜色变亮或黄色变淡。佛罗里达州试样一开始变黄,但后来开始发霉,颜色变黑。曝晒两年后,所有三处场所的材料也会降解到表面能被手指轻易划破的程度。

人工加速老化结果(图31) 进行2个冷凝循环的加速老化,材料变得更亮(黄色变浅)。材料降解到表面能被手指轻易划破的程度。相反地,只进行紫外光照循环的加速老化,材料变得更黄,表面未变得容易被手指划破那种降解情况。

对比 包含冷凝循环的加速老化与户外曝晒结果很吻合,除了佛罗里达州样品出现霉菌以外。实验室加速老化样品颜色变得更淡,材料表面降解程度与户外曝晒产品相同。但只进行紫外光照循环的加速老化结果与任一户外曝晒结果都不太吻合。这表明湿度是影响这种材料的关键参数,在模拟自然老化的人工加速老化时必须要考虑在内。

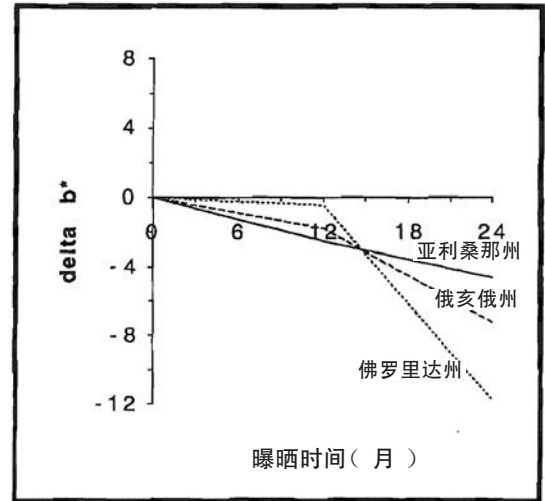


图30 - 尼龙、户外老化

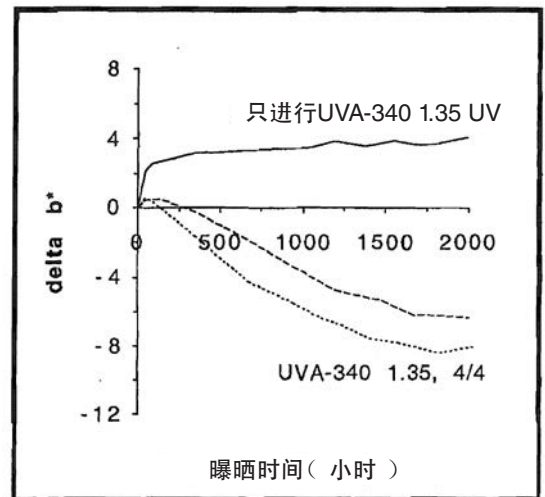


图31 - 尼龙、实验室老化

结论

对比 使用UVA-340灯管的紫外加速老化设备QUV对所有15种材料可产生与户外曝晒相吻合的降解结果。唯一不同的是实验室加速老化无法再现户外曝晒出现的发霉和生锈现象。

但为了实现这两种老化测试的一致性，曝晒循环必须将冷凝程序包括在内。如果冷凝循环未包括在内，这15种材料中有5种材料的实验室加速老化降解模式与户外老化降解模式不同。另外，其它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种材料的老化结果与户外曝晒能较好地吻合。当测试循环包括冷凝程序时，所有15种材料的实验室加速老化结果都与户外曝晒结果能够很好地吻合。

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

加速 该研究证实加速因子与材料自身紧密相关。作为一种非常粗略的计算方法，1000h的实验室加速老化降解程度约相当于1年的户外曝晒降解程度（9:1加速老化）。然而范围可为2:1至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。测试的15种材料中有9种材料的高辐照度曝晒比“普通”辐照度曝晒产生更快的测试结果。任何情况下高辐照度都不会影响实验室老化和户外老化的相关性。毫无疑问并非所有材料都如此，但对于该研究中的15种材料的确是这。

证明只进行紫外光照循环是一种不好的加速老化方法。尽管实际上紫外辐照量是湿度老化循环测试的2倍。15种材料中只有5种材料在只进行紫外光照的循环中产生更快的降解结果。奇怪的是：15种材料中有3种降解速度更慢。因此建议几乎所有材料的紫外加速老化都要进行冷凝循环似乎是合理的。

参考文献

- [1] Brennan, P., Fedor, C., "Sunlight, UV and Accelerated Weathering," SPE Automotive RETEC, 1987.
- [2] Brennan, P., "Improved UV Light Source Enhances Correlation in Accelerated Weathering," *Plastics Compounding*, March/April, 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," *Journal of Coatings Technology*, October, 1988.
- D] Simpson, C., Ray, C., and Skerry, B., "Accelerated Corrosion Testing of Industrial Maintenance Paints Using a Cyclic Corrosion Weathering Method," *Journal of Protective Coatings and Linings*, May, 1991.

Q-Lab Corporation

www.q-lab.com



Q-Lab Headquarters
Westlake, OH USA
Tel: +1-440-835-8700
info@q-lab.com

Q-Lab Florida
Homestead, FL USA
Tel: +1-305-245-5600
q-lab@q-lab.com

Q-Lab Europe, Ltd.
Bolton, England
Tel: +44-1204-861616
info.eu@q-lab.com

Q-Lab Arizona
Buckeye, AZ USA
Tel: +1-623-386-5140
q-lab@q-lab.com

Q-Lab Deutschland GmbH
Saarbrücken, Germany
Tel: +49-681-857470
vertrieb@q-lab.com

Q-Lab China 中国代表处
Shanghai, China 中国上海
电话: +86-21-5879-7970
info.cn@q-lab.com