

了解、优化和测试水在汽车外饰件涂层的氙灯加速老化测试中的作用

作者: M. Nichols, T. Misovski (福特研究开发工程Ford Research & Advanced Engineering)

K. Henderson, D. Smith (拜耳材料科技Bayer Material Science)

J. Boisseau, L. Pattison (巴斯夫公司BASF Corp.)

J. Quill (美国Q-Lab公司)

翻译: 张恒 孙杏蕾 (美国Q-Lab公司中国代表处, 上海 200000)

0 前言

客户不断要求高耐候且外观漂亮的涂层, 这促使汽车制造商和油漆供应商开发新的涂层体系以迎合客户的需求。然而, 由于引进新涂层体系存在潜在的风险, 在涂层体系投产前需要做大量的实验。不幸的是, 试验项目需要大量的时间和资源, 以减少涂层长期失效的风险。通常汽车制造商在将一个新的涂层体系投入实际应用之前, 需要通过5年佛罗里达曝晒实验。如果业内有一项可靠的加速测试方法, 快速且准确地评定汽车涂层体系的长期抗老化性, 那么这个时间限制可以明显缩短。

目前最佳的氙灯加速老化方法是SAE J2527(替代已废止的J1960), 它需要在一个氙灯箱内进行老化试验, 通过过滤的光源产生与太阳光相似的光谱功率分布。而且, 温度、湿度和在油漆样品上喷淋的液态水都得到控制, 希望在短时间内模拟与佛罗里达相当的涂层失效状况。与佛罗里达相比, 辐照度、温度、潮湿时间或液态水侵蚀强度的增加, 被认为是加速测试。试图改进加速测试方案, 这些变量都可以适当调整, 以提高与实际条件的相关性^[1]。

另外一部分人认为, 在加速老化设备中试图再现实际条件下的潜在失效是没有意义的, 因为任何市场区域(例如北美)的气候变化范围是非常大的, 在一个地区观测到的潜在失效, 由于气候的差异性, 在其他地区或许无法观测到^[2-3]。另外, 在任何地区气候每年都会发生变化, 比如在佛罗里达南部, 每年气候变化也是很明显的。所以在加速设备里再现所有相关环境的变化因素是不可能和徒劳的。近来的气候数据为这一方法提供了支持, 在很好控制曝晒条件下, 考察涂层体系的基本性能变化取得重大进展。从这些曝晒实验中获得的结果, 其数据可以应用到这些体系在不同曝晒条件下的性能的统计预测中。这个方法显示了预测

体系在自然曝晒条件下的使用寿命的前景。但是要求庞大的数据, 添加现代稳定剂的高耐候涂层体系曝晒在不同系列环境变化中的情况仍需验证^[4-5]。

对于具有实际工作经验的涂料技术人员来说, 短期内最好的期望是, 通过仔细检查和改善影响测试精确性和加速因素的测试条件, 来改善现有的加速测试。以前的工作显示, 在加速测试设备中光源的光谱功率分布 (SPD) 对加速测试的精确性有极大的影响。Gerlock et. al.已经指出, 只有那些使用精确再现地面太阳光紫外波段光谱光源的试验, 才能使涂层发生的化学成分变化与户外曝晒的相同^[6]。最近, 一种新的氙灯老化设备的光学过滤器投入市场, 它能精确模拟太阳光的光谱功率分布。使用这种光学过滤器曝晒后涂层发生的化学变化, 精确再现了户外曝晒后涂层发生的变化。

先不考虑曝晒可变性, 精确的加速测试必须能再现户外曝晒在涂层上观测到的化学变化。大量的分析研究已开发出多种方法来测量这些化学成分的变化。这些方法比涂料行业常用的标准光泽测量有了很大进步。光泽测量被证实不能充分描述底漆和面漆体系的长期老化性能^[7-8]。理想上, 加速测试不仅能够再现化学变化, 而且可以再现户外曝晒涂层上观测到的物理失效(开裂、起泡、分层、失去光泽、颜色变化等)。

除光源之外, 其它必须被精确再现的主要环境变化参数是温度和湿度。温度的作用被认为主要产生热应力, 及影响老化过程中发生的化学变化的速度。

以前的工作已证明在涂层老化中水的作用的多样性^[9]。首先, 水可以塑化涂层, 因而改变它的机械性能。第二, 这样的塑化可以增加存在于涂层结合链中小分子的活性, 而这些小分子对涂层体系是有害的。第三, 由于在多层油漆体系中的基底和各种各样的层次具有不同的收缩率, 关键的吸湿力能够在涂层曝晒

在水中时产生作用。第四，涂层失去光泽是因为涂层表面经过户外(雨水)和加速测试中(水喷淋)液态水冲洗后，已降解的材料脱落所导致的。最后，水的存在导致涂层的水解，这可以变得很重要，油漆是容易产生此类老化的涂层体系。

为了精确获得在加速老化测试中水的作用、类型(湿度或液态水)和水侵蚀时间，必须符合户外规定地点的水的类型和水侵蚀时间。在本文中，我们报道了油漆样品在佛罗里达及其它地区的户外曝晒条件中的水的量和类型的细节分析。此外，我们还描述了油漆样品在运行SAE J2527测试方法的标准老化设备的曝晒中水的量。这些结果相互比较，并得出不同油漆体系中最大的理论用水量。从数据中可以分析出不同仪器对油漆样品的测试的用水量是不同的。我们得出的带有建议的结论是，如何改进加速老化测试条件，能够在较短时间内提供更精确的结果。

1 实验

1.1 材料

在这项研究中使用的油漆体系是标准的汽车油漆体系。基底是冷轧钢。所有的试板都利用磷酸锌预处理过，并被涂上阴极的电泳漆。然后试板被喷上水性聚酯纤维底漆。面漆体系是水性底漆和高纯水性清漆。所有试板的制备中每一涂层都按照标准工艺流程。

1.2 测试方法

(1) 户外老化

所有试板都曝晒于佛罗里达南部进行户外自然老化。试板都依据SAE J1976的要求，朝南、与水平面成5度角曝晒。

(2) 加速老化

试板曝晒在两种设备中的一种里进行加速老化测试。第一种是转鼓式加速试验箱(Ci5000, Atlas公司制造)。第二种是平板式试验箱(Q-Sun Xe-3-HS, Q-Lab公司制造)。两种试验箱都以SAE J2527标准进行加速老化测试。对于水喷淋循环持续时间的更多调整，在具体实验结果描述中将详细介绍。

(3) 水的收集

喷淋到试板上的水的流量是通过一系列方法来测量的。作为一种基准，从设备喷嘴里喷淋的水的流量，通过喷嘴附近的杯子来测量(图1)。在规定时间内收集水，然后测量。在试验开始前，喷嘴要通过检查和清理。



图1 在转鼓式加速老化设备的测试过程中，从喷嘴收集水的试验装置

喷淋到单块试板的水量，通过在转鼓设备的样品架的底部安装一个杯子来测量。喷淋到试板上的水沿着试板滴落到杯子里(图2)。一定时间后，测量杯子中水的量。在平板式装置里，箱中安装了改良过的、可以安装35个杯子的样品架(图3)，在喷淋循环中收集水。然后测量每个杯子里水量。这个方法不仅可以测量任何喷淋循环的水量，而且可以测量水量的均匀性。



图2 在转鼓式装置里，收集在加速老化测试时从标准油漆试板上流下的水量

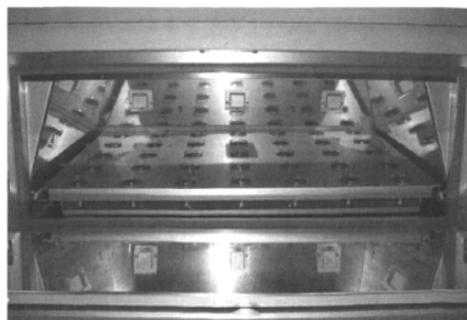


图3 平板式加速老化设备中的水收集装置

另外一种测量喷淋到试板上的水量的方法是使用海绵来吸附试板区域的水。在这个试验里，一块合成纤维的海绵(脯氨酸，专业纤维清洁海绵，型号K-10P)被切割成与试板同样的尺寸(75mm x 150 mm)。然后将海绵浸湿，挤掉多余的水分。将海绵称重，放置在试板支架上(图4)。一定时间后，拿开海绵，重新称重来估算喷淋到试板区域的水量。

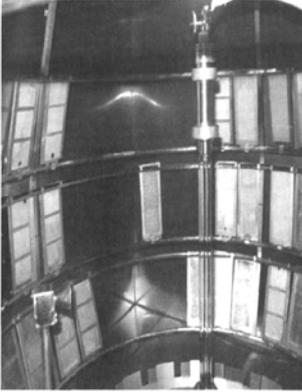


图4 旋转鼓式加速老化设备里的合成纤维海绵装置
(4) 户外水侵蚀

暴露在户外的试板受到水的侵蚀，可以通过定制的装置来测量，它提供水平暴露在佛罗里达的杰克逊威尔的油漆试板重量的实时数据(图5和6)。这一方法的详细描述已在其它杂志发表^[10]。简而言之，一块附带电子称重元件的油漆试板，可以测量试板的重量及任何由水引起的额外重量，水有可能停留在试板表面也可能被油漆系统吸收。样品重量每5min测量一次，并记录在电脑中。必须进行周期性校准。测量时要保证不因鸟停留在试板上而干扰数据。使用这一装置，油漆试板的重量可以在某段时间被连续记录。水和露水很容易被区别开来。另外，同一位置的温度、湿度、太阳辐射和风力也被记录下来。



图5 在佛罗里达测量水侵蚀的试验场
(注意在样品架旁边是气象站)

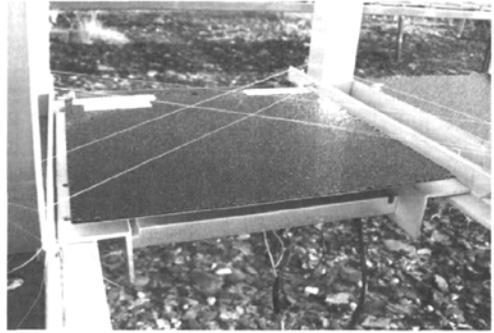


图6 用于水侵蚀研究的带有称重装置的油漆试板
(称重装置在水平油漆试板的下面)

(5) 试板评估

使用光泽计(BYK 公司的micro TRI-gloss)测量选定试板的光泽度。

(6) 吸水性

在水侵蚀前、后，用分析天平称量试板来得到吸水的百分率。吸水率的计算如下：

$$\frac{(m_1 - m_2) \times \frac{1}{\rho}}{V} \times 100$$

m_1 ——湿的质量，g

m_2 ——干的质量，g

ρ ——水的密度，g/cm³

V ——涂层的体积，cm³

2 结果与讨论

2.1 自然曝晒条件

为了解水的侵蚀作用需要进行加速测试。首先必须确定油漆体系在自然老化中水侵蚀的量。一般，不同曝晒地区仅有每月或每年的降雨量数据。这个数据还不充分，为了准确模拟自然的干、湿循环，自然曝晒中必须测量试板的每日潮湿量。最后，于2004年在佛罗里达的杰克逊维尔设立了气象站(图5和6)。多种刊物已经描述、概括了气象站的测量能力^[3-4]，包括装置的更具体的测量水的功能和它对涂层的作用^[10-11]。在这个气象站获取的数据用于产生一种在佛罗里达的杰克逊维尔的试板湿度模型。评估从气象站获取的数据和从佛罗里达南部试验场获取的传统数据，似乎可以假设：代表杰克逊维尔的水模型与佛罗里达南部的模型相似。也就是说，杰克逊维尔的降雨量与佛罗里达南部的降雨情况相似，可以使用杰克逊维尔的降雨量用于佛罗里达南部地区。为验证这个假设，将过去用于收集杰克逊维尔的数据的装置安装在佛罗里达的Homestead，因为人们理解气候类型的每年变化会使

这个假设变得不可信。当更精确、长期的气候数据产生时，这个模型可被改良用于不同场所。水模型能够精确地描述水侵蚀，包括露水和降水的实际数量、体积。简单的潮湿时间数据不能够区别轻的露水和大的降雨。因为涂层体系水饱和有时间要求，所以这样的差别非常关键。

为了用公式表示曝晒在佛罗里达的试板潮湿的时间或类型的精确模型，需要4年的数据来减弱降雨量和温度的年度差别。模型中的可变因素包括：周围温度、试板温度、露点、风速、降雨量和太阳辐射。下列的参数已被确定：

- (1) 停留在测试板上的最大水量。
- (2) 露点和试板温度与最低和最高露水形成速率之间的关系。
- (3) 风蒸发速率。
- (4) 太阳辐射蒸发速率。

这个模型的复杂之处不在于它的数学部分，而在于在理解水的形成与测试条件的逻辑关系之前所要求的测试条件的逻辑。因此，这个模型的描述是更加直接、易懂的运算公式表述。

以下的简单逻辑表述将预测停留在测试板上的水量：

- (1) 降雨时的停留水量被设置为最大。
- (2) 如果试板温度低于最高或最低露点时，会使水量增加以达到最大量。
- (3) 如果风速高于蒸发风速极限值，累积的停留水量将作相应减除。
- (4) 如果太阳辐射高于太阳辐射设定值，累积的停留水量将作相应减除。
- (5) 如果试板温度高于40℃，累积的停留水量将设置到零。

运用上述的运算法则，预测的累积停留水量将十分接近测试板上的实际水量。使用气候统计数据来确定上面表述中的设定值。数学方程式如下：

$$\text{总水量} = \Sigma \text{总时间}(\text{试板水量})$$

$$\text{试板水量} = \text{降雨量} + \text{露水} - \text{风蒸发量} - \text{太阳蒸发量}$$

降雨量：如果降雨量能被雨量器观测到，试板水量设置为70g。

露水：如果试板温度低于露点，依据温度分布，露水常数被设置为0.005克的露水低点或0.2克的露水高点，用于叠加到试板水量。[通过温度分布(高、低空气温度差)来确定高点和低点]。

风蒸发：如果风速高于设定值，同时出现试板水量，那么将从试板水量中减掉一个常数。风蒸发设定

为1.0克。

太阳蒸发：如果太阳辐射高于设定值，试板水量出现，将从试板水量中减掉0.15克。

这一水侵蚀模型在需求水侵蚀的加速老化测试中检测水侵蚀的量被证明是有效的。需要特别指出的是，必须注意模型的特殊性。首先，该模型仅详细描述了在美国佛罗里达的某些地区所进行的曝晒条件。第二，不同的油漆体系对水侵蚀的反应是非常不同的。例如，水性涂层比溶剂涂层显然吸收更多的水。第三，涂层表面状态或老化程度会影响吸水量。

2.2 加速老化

对自然曝晒条件下的水侵蚀进行精确的描述后，加速测试中的水侵蚀方案就可以开始设计了。开发一项具体的水侵蚀方案，加速和水吸收之间的冲突一定要协调好。佛罗里达曝晒户外数据清楚地显示：水饱和和时间要求超过一小时。然而，加速测试中长时间的水循环要求关闭光源。于是，以辐照量确定的老化时间将被延长。因此，要协调这两个因素，从而实现既精确又有效的加速测试。

任何新的加速老化测试的目标是符合新的SAE J2527的测试范围。这个标准是不指定设备的，其中无论是转鼓式或平板式测试设备均可以使用，只要它们符合合适的控制条件和重复性。表1的数据显示在相同条件(6h、50℃)下正常运行时，任何类型的机器都可以达到相似的喷淋量。之前的工作已经证明了当运行SAE J2527时，平板式与转鼓式设备相比，给样品提供更多水。为了模拟转鼓式喷淋体系的结果，平板式测试设备在一个喷淋循环中，水喷淋体系运行5秒、关闭55秒。大体上，提供最大供水量的1/12^[12]。此外，这些水侵蚀试验与水模型预测的值一致。模型的建立是从实验室进行的试验和在佛罗里达实际吸水量数据的基础上得到^[1]。

表1 两台加速老化设备的吸水量

试板重量/g	转鼓式	平板式
开始	59.3259	59.1582
结束	59.341	59.1726
差值	0.0151	0.0144
涂层体积(cm ³)	1.1185	1.1338
增加量/%	1.35%	1.27%

如之前的报告^[1]，典型的汽车外饰件涂层的加速测试(SAE J2527)的吸水量比佛罗里达南部夏天的湿润天气条件下的吸水量少5倍。溶剂底漆/清漆体系的吸

水性如图7所示。无论是在黑暗或光照条件下喷淋都达不到与经过额外的(16小时, 75° F)水浸泡或16小时的QCT潮湿测试后相同的吸水率水平。

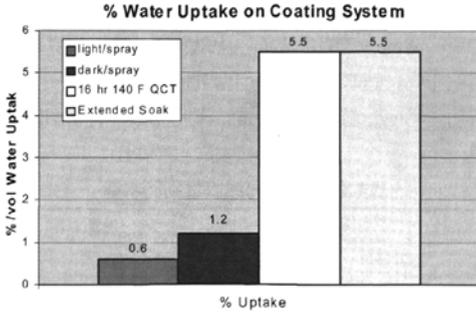


图7 在不同的水侵蚀处理后, SBBC/SBCC油漆体系的吸水量

利用佛罗里达夏天水数据作为一个基础, 与其他的户外测试一样, 也可以尝试进行一些改变以符合加速测试中的水循环。在特定的测试场所, 水侵蚀随地点和小气候条件而有所变化是众所周知的。例如, 与佛罗里达南部相比, 亚利桑那是明显的干燥曝晒场所。有没有可能在亚利桑那制造一个与佛罗里达南部相似的模拟水条件呢? 之前的工作已经证明佛罗里达的老化条件对相同油漆体系产生与亚利桑那完全不同的化学和物理变化。已经假设这些差异是由于曝晒在两个地点的油漆体系中液态水的数量不同所致[9]。曝晒在佛罗里达的样品趋向是更快地失去光泽, 而退化的表面材料被雨水和露水冲走了。曝晒在亚利桑那的样品保持光泽时间更长, 而退化的材料只被冲洗掉很少部分。曝晒在佛罗里达和亚利桑那的样品的测量显示: 曝晒在亚利桑那的油漆体系更多的表面老化是由于水分缺失。这项工作还证明在水里浸润过夜的试板在亚利桑那可以产生接近佛罗里达模型(光泽缺失和化学成分变化)的加速户外曝晒。这样, 额外的水浸润能够使亚利桑那曝晒更像佛罗里达曝晒。

由于之前提到的水侵蚀和加速之间的平衡问题, 严格地说, 试图在加速老化设备中完成佛罗里达模型的水侵蚀更具挑战性。为达到正确的水侵蚀而开始改变加速循环, 很多问题被提出来, 例如如何定义目标吸水性, 如何控制和供应设备的喷淋水, 及如何作为加速老化测试的一个常规项目来校准水。油漆体系的底漆/清漆的吸水性如图8所示。水吸收的体积在黑暗喷淋循环中, 随喷淋时间而不断增加。温度和喷淋类型与SAE J2527中描述的不同。只是喷淋时间增加

了。对于被测涂层体系, 大约需要6h可以达到户外的吸水量。到目前为止, 所有被检测的涂层要求1h来达到在佛罗里达曝晒中呈现的饱和条件。使用6h黑暗喷淋循环, 一种不同的油漆体系在转鼓式和平板式设备中测试, 并与佛罗里达南部夏季期间测试数据比较(图9)。无论是平板式, 还是转鼓式设备都能在佛罗里达曝晒期间完成比最大值更高的吸水量。这个结果是异常的, 可能是由于这种特殊涂层体系对温度或表面张力作用的敏感性造成的。在转鼓式设备里更高的吸水性也与之之前显示的在平板式设备里更高的吸水性数据相反, 更可能由于在平板式设备里减少设定的水喷淋量, 以达到转鼓式里的水喷淋量, 因为在转鼓式设备里喷淋到转鼓上的水量无法调节。

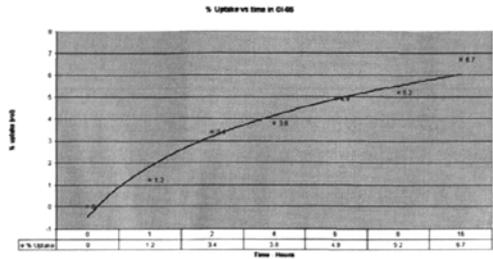


图8 在转鼓式加速老化设备里, SBBC/SBCC油漆体系的吸水量与水侵蚀时间之间的关系

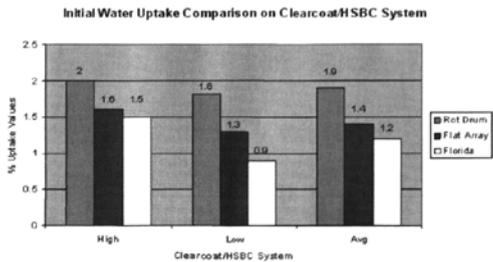


图9 在转鼓式和平板式加速老化设备里, 经6h水侵蚀后的吸水量

图9所示的这个结果与佛罗里达曝晒进行比较。从实验室和户外测试获得的高、低和平均数值。

在证明加速老化设备向油漆体系喷淋足够的水的可能性后, 重复性和控制的问题被提出来了。产生了许多关于在加速老化设备里测量和定量水量的最新想法。使用图1中的设备由喷嘴喷淋的水如表2所示。黑暗喷淋循环5min后收集水, 并测量。同一实验室里两台不同转鼓式设备所得结果完全一致。实际上, 在运行这些试验时, 不同实验室会因为供水条件和加速老化设备的不同而产生不同的喷水量^[13]。这项技术能够用

了解、优化和测试水在汽车外饰件涂层的氙灯加速老化测试中的作用

于确保从特定机器的喷嘴喷淋的水量，但还不能保证接触到涂层表面的特定水量。例如，喷嘴可能喷淋不均匀或向机器四壁喷水。

表2 黑暗循环期间，两台转鼓式设备在5min喷淋过程中从喷嘴收集的水量

转鼓设备#1	水量/mL	转鼓设备#2	水量/mL
1)	317	1)	274
2)	315	2)	298
3)	320	3)	304
4)	313	4)	314
5)	315	5)	298
6)	308	6)	308
7)	310	7)	287
8)	314	8)	297
9)	318	9)	296
10)	314	10)	293
平均	315mL	平均	297mL

喷淋到试板的水量，可以用试板底部附带的杯子测量。5分钟的黑暗喷淋循环后，测量和记录在机器不同位置收集的水量(图1)。从这个测试得到的结果并不一致，而且不能代表实际喷淋到试板表面的水量。

平板式体系所使用的收集系统显示了较强的一致性，对确定和调整喷嘴的均匀性也很有效。在黑暗喷淋循环的5分钟(表3)期间收集水。而这更接近水控制所需要的，杯子间存在间隙使得这部分水没有被测量到，这个方法不适用垂直曝晒设备，比如转鼓式装置。

表3 在2个不同的实验室里，3台平板式加速老化设备5分钟喷淋所收集到的水量 单位：mL

	第1列 平均值	第2列 平均值	第3列 平均值	第4列 平均值	第5列 平均值	设备 平均值
平板#1	13.4	23.7	35.9	34.1	20.2	25.5
平板#2	24.7	29.3	21.4	21.9	18.6	23.2
平板#3	25.3	23.4	21.7	19.4	14.4	20.9

注：每行有7个收集点，共有35个。喷淋体系被设置为一直喷淋，60s开启，0s关闭。

使用海绵的方法提供了最易重复和一致的测量喷淋到试板表面的水量的方法。再次，在5分钟黑暗喷淋循环(表4)期间，在老化设备不同位置进行测试。在转鼓式设备不同位置得到的测试数据确实随着位置的不同而有所差异。这证明设备内部水喷淋不均匀。在平板式设备所进行的类似测试中也有报告。然而，考虑到在水平和垂直设备里都可以做到样品的轮换，

那么差异将被减小到较低的水平。这就是说，转鼓式设备里的样品需要在转鼓顶部、中部和底部之间轮换，以进行均匀的水侵蚀和光曝晒[13]。表4显示使用海绵方法转鼓设备获得的水的一致性。表5显示使用表4相同测试程序的平板式设备得到的水的一致性。一个新的测试方法的想法是运用从指定制造商提供的特定的海绵，做水校准。使用海绵测试要求在水平和垂直加速老化设备不同位置，来测试最小和平均的水量。

表4 使用合成海绵收集到的水量

	转鼓设备#1			转鼓设备#2		
	顶部	中间	底部	顶部	中间	底部
1	8	16	11	7	13	7
2	7	18	16	6	8	8
3	7	16	11	7	12	7
4	7	16	17	5	10	8
5	7	17	17	7	12	7
总和	36	83	72	32	55	37
总量	191			124		

注：在5min喷淋循环期间，转鼓式加速老化设备收集到的所有数据。

表5 使用合成海绵收集到的水量

	连续喷淋			喷淋10秒，关闭30秒		
	最左边	中间	最右边	最左边	中间	最右边
上部	54	54	50	33	31	32
中间	54	56	51	32	44	39
下部	53	55	52	32	48	39

表5与表4一样，在完全相同的样品架上使用尺寸完全相同的合成海绵收集到的水量。在5min喷淋循环期间，平板式设备收集到的所有数据。

这项工作的目的是要找到与涂层老化相一致的水平，在加速测试中再现在户外看到的相同的失效。为了达到这个目标，需要提供有证明文件的涂层体系户外曝晒取得的已知历史数据，而且，这些体系需要在新的加速测试中再测试。这些体系必须包含所有已知的涂层失效模型，包括失去光泽、腐蚀、和不同涂层界面的分层、起泡，潮湿变白及多种类型的开裂老化(图10)。开裂和不开裂涂层体系已经在图10中标明。开裂的原因之前已经确定是残余应力、光致氧化作用导致脆性，由于湿热压力引起的开裂。水也会导致起泡(图11)。在这种老化模式中，由于涂层体系中的水而引起起泡。因为增加水侵蚀，在底漆中的水泡变大，清漆在哪个点被顶开，哪里就会出现开裂。



图10 在佛罗里达南部曝晒后,开裂和未开裂的涂层样品

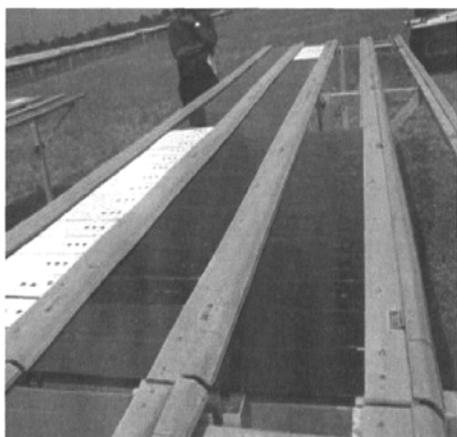


图11 曝晒在佛罗里达南部的油漆试板上的水泡
(起泡是由于油漆体系吸水造成的)

未来我们将报告一系列测试项目的结果,在这些测试里,使用4种不同的加速老化方法对大量已知老化性能的油漆体系进行测试。3种方法已经根据J2527标准进行修改,以增加水侵蚀条件。本文中的结果被用于设定加速老化条件和设备控制参数。被测油漆体系代表很多不同的涂料化学成分,由于对不同方式的加速老化有所反应而被熟知。同时,这些油漆体系被曝晒在佛罗里达户外,来确认它们已知的长效老化表现。这项研究结果应该清楚指出汽车涂料体系的新的加速老化测试方法。之后的方法将提供最小要求的水侵蚀,以期试图在一个新的测试循环中达到最大加速而产生合适的涂层失效。

3 结论

通过仔细观察佛罗里达和标准加速老化设备测试中的水侵蚀,了解水及它对汽车涂层老化的影响有了

重大改进。新方法已经被确定用来测量户外及加速老化设备测试中的水量。这些方法已经显示,在与佛罗里达户外水侵蚀作比较时,不同的加速老化设备和测试方法会产生不同量的水侵蚀。与佛罗里达户外水侵蚀相符,又要保持足够的加速是很困难的,因为大部分涂层体系达到完全饱和和需要很长的黑暗喷淋循环时间。

致谢

作者感谢R. Hunt, M. Garner, D. Barber, M. Crewdson, D. Campbell, C. Peters, and A. St. Pierre对于本文的技术支持。

参考文献

- [1] J. Boisseau and L. Pattison, K. Henderson and R. Hunt, PCI, June 2006.
- [2] Nguyen, Tinh, Martin, Jonathan, Byrd, Eric, Embree, Ned., Polym. Deg. and Stab.,(2002), 77(1), 1-16.
- [3] Nguyen, Tinh, Martin, Jonathan, Byrd, Eric, Embree, Ned, J. Coat. Tech., (2002),74(932), 65-80.
- [4] Chin, Joannie, Byrd, Eric, Martin, Jonathan, Nguyen, Tinh, J. Coat. Tech. Res., 2,(2005), 499.
- [5] Tinh Nguyen, Tinh, Martin, Jonhathan, Sung, Li-Piin, Jasmin, Joan, Gu, Xiaohang, Martin, David, Rezig, Aziz, J. Coat. Tech. Res., (2006), 3, 173.
- [6] Gerlock, J. L., Peters, C. A., Kucherov, A. V., Misovski, T, Seubert, C. M., Carter, R.O. III, and Nichols, M. E., J. Coat. Tech., 75, 35, 2003.
- [7] Gerlock, J. L., Smith, C. A., Nichols, M. E., Tardiff, J.L., Kaberline, S.L., Prater, T. J.,Carter III, R.O., Dusbiber, T.G., Cooper, V. A., and Misovski, T., proceedings of the 2nd Conference on Service Life Prediction of Organic Coatings, Monterey, CA, November, 1999, ACS, Washington D.C.
- [8] Gerlock, John, Kucherov, Alexi, and Nichols, Mark, J. Coat. Tech., 73, 45-54 (2001).
- [9] Misovski, Tony, Nichols, Mark, and Hardcastle, Kelly, proceedings of the 4th Conference on Service Life Prediction of Organic Coatings, Key Largo, FL, November, 2006, Springer.
- [10] Henderson, K., Spittler, K., Hunt, R., Bayer Material Science and Boisseau, J., BASF, Technology Today, July 2005.
- [11] Boisseau, J. and Pattison, L., BASF, Henderson, K., and Hunt, R., Bayer Material Science, Coatings Tech., September 2008.
- [12] Vesey, D. and Luxgrandt, R., Chrysler, Pattison, L. E., BASF Corp., Roberts, R. and Quill, J., Q-Lab Corp, Automotive Xenon Arc Test Methods: A Correlation Study.
- [13] Brennan P. and Fedor, G., Q-Lab Corporation, Pausch, G., Pausch Messtechnik GmbH., Within-Chamber Uniformity of Xenon Test Chambers (Rotating & Static Specimen Mounting Systems Compared).