

了解、优化和测试水在汽车外饰件涂层氙灯加速老化测试中的作用

目前测试涂层老化的最佳加速方法是SAE J2527。该方法规定在氙灯箱内进行老化试验，经滤光片过滤后，氙灯光源产生与太阳光相似的光谱功率分布（SPD）；而且氙灯试验箱内的温度、湿度和在油漆样品上喷淋的液态水都能得到控制，希望能在短时间内模拟与佛罗里达户外曝晒相当的涂层失效状况。为了探究水在加速老化测试中的作用，保证水的类型（湿度或液态水）和水侵蚀时间必须与户外规定地点的水的类型和水侵蚀时间相一致，本文介绍了油漆样品在佛罗里达及其他地区户外曝晒条件中的水的量和类型的细节分析，还介绍了油漆样品在执行SAE J2527测试标准的老化设备中曝晒时的水喷淋量，并将这些结果进行相互比较，得出不同油漆体系的最大理论用水量，从数据可以分析出使用不同老化设备对油漆样品进行测试时的用水量是不同的。我们得出的带有建议性的结论是，通过改进加速老化的测试条件，可以在较短时间内提供更精确的结果。

- 福特研究开发工程 M. Nichols & T. Misovski
- 拜耳材料科学 K. Henderson & D. Smith
- 巴斯夫公司 J. Boisseau & L. Pattison
- Q-Lab公司 J. Quill
- Q-Lab公司 张 恒 孙杏蕾 译

1 前言

客户对涂层耐候性和外观质量的要求不断提高，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，因此在新涂层体系投产前需要做大量的试验，这需要耗费大量的时间和资源，以减少因涂层失效而带来的风险。通常在将一个的涂层体系投入实际应用之前，汽车制造商需要对其进行5年的佛罗里达户外曝晒试验。如果汽车行业有一项可靠的加

速测试方法，能够快速且准确地评定汽车涂层体系的长期抗老化性，那么可以明显缩短新涂层体系的投产时间。

目前最佳的涂层加速老化方法是SAE J2527（替代已废止的J1960）。该方法规定在氙灯箱内进行老化试验，经滤光片过滤后，氙灯光源产生与太阳光相似的光谱功率分布（SPD）；而且氙灯试验箱内的温度、湿度和在油漆样品上喷淋的液态水都能得到控制，希望能在短时间内模拟与佛罗里达户外曝晒相当的涂层失效状况。与佛罗里达户外曝晒试验相比，氙

灯试验箱的辐照度、温度、潮湿时间或液态水侵蚀强度都有所增加,这被认为是进行加速测试。如果试图改进加速测试方案,则这些变量都可以进行适当的调整,以提高氙灯老化试验与实际条件的相关性^[1]。

也有人认为,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。由于气候的差异性,在一个地区观测到的潜在失效在其他地区或许无法观测到^[2, 3]。另外,任何地区的气候每年都会发生变化(比如在佛罗里达南部,每年的气候变化是很明显的),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。近年来的气候数据为用实验室加速老化设备再现实际条件下的曝晒提供了支持,在很好地控制实验室曝晒条件的前提下,考察涂层体系基本性能变化的研究取得了重大进展。可以将这些曝晒试验中获得的结果应用到这些涂层体系在不同曝晒条件下的性能统计预测中,实验室加速老化方法显示出预测涂层体系在自然曝晒条件下的使用寿命的前景,但前提是要求有庞大的数据做支撑,而现代添加了稳定剂的高耐候涂层体系在不同系列环境中的曝晒情况仍需验证^[4, 5]。

对于具有实际测试经验的涂料技术人员来说,短期内最大的愿望是,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,来改进现有的加速测试方法。以前的工作结果显示,加速测试设备中光源的光谱功率分布对加速测试结果的精确性有极大的影响。Gerlock et. al已经指出,只有那些使用了能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光学过滤器投入市场,该光学过滤器能精确模拟太阳光的光谱功率分布,使用这种光学过滤器后涂层发生的化学变化精确地再现了涂层经户外曝晒后发生的变化。

先不考虑曝晒因素的可变性,精确的加速测试必须能再现涂层在户外曝晒过程中能观测到的化学变化,大量的分析和研究已开发出多种方法来检测这些

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]。我们希望加速测试应该不仅能够再现涂层发生的化学变化,而且还可以再现涂层在户外曝晒过程中能观测到的物理失效(开裂、起泡、分层、失去光泽和颜色变化等)。

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

以前的工作结果已经证明了在涂层老化过程中水的作用的多样性^[9]。首先,水可以塑化涂层,并因此改变涂层的力学性能。第二,这种塑化作用可以增加存在于涂层结合链中的小分子的活性,而这些小分子对涂层体系是有害的。第三,由于多层油漆体系中的基底和每层涂层具有不同的收缩率,从而影响曝晒结果。第四,涂层失去光泽是因为涂层表面经过户外(雨水)或加速测试中(水喷淋)的液态水冲洗后,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,油漆是容易产生此类老化的涂层体系。

为了探究水在加速老化测试中的作用,保证水的类型(湿度或液态水)和水侵蚀时间必须与户外规定地点的水的类型和水侵蚀时间相一致,本文报道了油漆样品在佛罗里达及其他地区的户外曝晒条件中的水的量和类型的细节分析,还介绍了油漆样品在执行SAE J2527测试标准的老化设备中曝晒时的水喷淋量,并将这些结果进行相互比较,得出不同油漆体系的最大理论用水量,从数据中可以分析出使用不同老化设备对油漆样品进行测试时的用水量是不同的。我们得出的带有建议性的结论是,通过改进加速老化的测试条件,可以在较短时间内提供更精确的结果。

2 试验

2.1 材料

这项研究使用的油漆体系是标准的汽车油漆体系;基底是冷轧钢,所有的试板都经过磷酸锌预处理,并被涂上阴极电泳漆;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。所有试板制备过程中的每一涂层都遵守标准工艺流程。

2.2 测试方法

2.2.1 户外老化

所有试板都在佛罗里达南部进行户外自然老化曝晒。依据SAE J1976要求，试板都朝南、与水平面成 5° 放置。

2.2.2 加速老化

把试板曝晒在两种设备里进行加速老化对比测试，一种是转鼓式加速试验箱（Ci5000，Atlas公司制造），另一种是平板式试验箱（Q-Sun Xe-3-HS，Q-Lab公司制造），两种试验箱都按照SAE J2527标准进行加速老化测试。

2.2.3 水的收集

喷淋到试板上的水量是通过一系列方法来测量的。其中一种方法是通过喷嘴附近的杯子来测量从设备喷嘴里喷淋出的水量（见图1）——在规定时间内收集水，然后测量其数量。在试验开始前，喷嘴要经过检查和清理。



图1 转鼓式试验箱收集水的装置

通过在转鼓设备中的样品架底部安装1个杯子来测量喷淋到单块试板上的水量，喷淋到试板上的水沿着试板滴落到杯子里（见图2），一定时间后，测量杯子中的水量。平板式试验箱里安装了经过改良的、可以安装35个杯子的样品架（见图3），该样品架能够在喷淋循环中收集水，然后测量每个杯子里的水量。这个方法不仅可以测量任何一次喷淋循环的水量，而且可以测试喷淋水量的均匀性。



图2 转鼓式试验箱在加速老化测试期间收集从标准油漆试板上流下的水量的装置

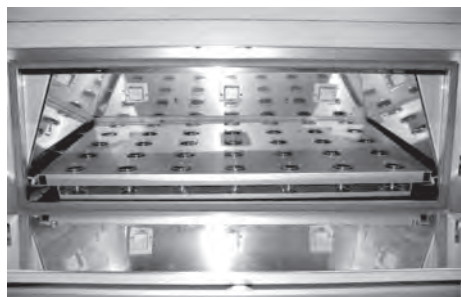


图3 平板式加速老化试验箱中的水收集装置

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，1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（75 mm × 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（见图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。

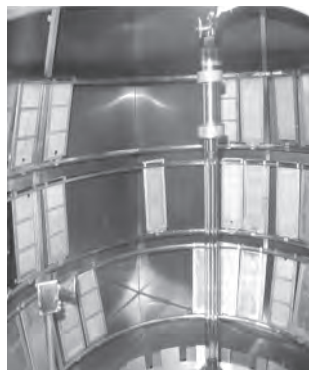


图4 转鼓式加速老化试验箱里的合成纤维海绵

2.2.4 户外水侵蚀

暴露在户外的试板受到水侵蚀，可以通过定制的装置来测量试板上凝结的水量，这种装置为水平暴露

在佛罗里达的杰克逊威尔的油漆试板提供实时的质量数据（见图5和图6），这一方法的详细描述已在其他杂志上发表^[10]。简而言之，采用1块附带电子称重元件的油漆试板可以测量试板的质量及任何由水引起的额外质量，水有可能停留在试板表面，也可能被油漆系统吸收。每5 min测量1次样品的质量并记录在电脑中。这种装置必须进行周期性校准，测量时要避免因鸟停留在试板上而对数据产生干扰。使用这一装置，油漆试板的质量可以在某段时间内被连续记录，而且雨水和露水很容易被区别开来。另外，同一位置的温度、湿度、太阳辐照量和风力也同时被记录下来。



图5 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)

2.2.5 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。

2.2.6 吸水性

用分析天平称量试板在水侵蚀前、后的质量，经计算得到吸水的百分率。吸水率的计算公式如下。

$$\frac{m_2 - m_1}{\rho_1 \times V} \times 100\%$$

式中， m_1 为试板经水侵蚀前的质量，g； m_2 为试板经

水侵蚀后的质量，g； ρ_1 为水的密度，g/cm³； V 为涂层的体积，cm³。

3 结果与讨论

3.1 自然曝晒条件

为了解水对涂层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承受的水侵蚀的量。一般地，曝晒地区仅有每月或每年的降雨量数据，但仅有这个数据还不充分，为了准确模拟自然环境中的干/湿循环，必须测量试板在自然曝晒过程中每日的潮湿状态。最后，于2004年在佛罗里达的杰克逊威尔设立了气象站（见图5和图6）。有多种刊物已经描述、概括了气象站的测量能力^[3, 4]，包括称重装置更具体的测量水的功能和水对涂层的作用^[10, 11]。在杰克逊威尔气象站获取的数据用于建立一种佛罗里达的杰克逊威尔的湿度模型，以评估从杰克逊威尔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。可以假设：杰克逊威尔地区的水模型与佛罗里达南部的模型相似。也就是说，杰克逊威尔的降雨量与佛罗里达南部的降雨情况相似，可以将杰克逊威尔的降雨情况用于佛罗里达南部地区。为了验证这个假设，将过去用于收集杰克逊威尔的数据的装置安装在佛罗里达的Homestead，人们能够理解每年气候类型的变化会使这个假设变得不可信，当更精确、更长期的气候数据产生后，这个模型可被改良而用于不同场所。水模型能够精确地描述水侵蚀情况，包括露水和降水的实际数量或体积。简单的潮湿时间数据不能够区别轻的露水和大的降雨，因为涂层体系达到水饱和和时间要求，所以能够区别露水和降雨非常关键。

为了用公式表示曝晒在佛罗里达的试板的潮湿时间或类型的精确模型，需要4年以上的相关数据，以减弱降雨量和温度的年度差别。模型中的可变因素包括：环境温度、试板温度、该地区或曝晒场的露点、风速、降雨量和太阳辐照量。下列参数已被确定。

- a. 停留在测试板上的最大水量。

b.露点和试板温度与露水最低形成速率和露水最高形成速率之间的关系。

c.水的风蒸发速率。

d.水的太阳辐射蒸发速率。

这个模型的复杂之处不在于它的数学部分，而在于评估水侵蚀之前对环境条件进行合理的设置，因此应该使用更加直接、易懂的运算公式来表述这个模型。以下的简单逻辑表述将有助于预测停留在测试板上的水量。

a.降雨时的停留水量被设置为最大。

b.如果试板温度低于最高露点或高于最低露点时，应使水量增加以达到最大量。

c.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。

d.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。

e.如果试板温度高于40℃，累积的停留水量将设置到零。

运用上述法则，预测的累积停留水量十分接近被测试板上的实际水量。通过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：

总水量=∑总时间(试板水量)

试板水量=降雨量+露水-风蒸发量-太阳蒸发量

a.降雨量：如果降雨量能被雨量器观测到，将试板水量设置为70g。

b.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0.005g的露水低点或0.2g的露水高点(通过温度分布(高、低空气温度差)来确定高点和低点)，用于叠加到试板水量。

c.风蒸发量：如果风速高于设定值，同时还存在试板水量，那么将从试板水量中减掉一个常数。水的风蒸发量设定为1.0g。

d.太阳蒸发量：如果太阳辐射强度高于设定值，同时还存在试板水量，将从试板水量中减掉0.15g。

这一水侵蚀模型在加速老化测试中检测水侵蚀的量是有效的。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2，不同的油漆体系对水侵蚀的反应是非常不同的，例如水性涂层显然要比溶剂涂层吸收更多的水；第3，涂层的表面状态或老化程度会影响涂层的吸水量。

3.2 加速老化

对自然曝晒条件下的水侵蚀进行精确的描述后，就可以开始设计加速测试中的水侵蚀方案了。在设计一套具体的水侵蚀方案时，一定要协调好加速老化与水侵蚀之间的矛盾。佛罗里达户外曝晒数据清楚地显示：水饱和时间要求超过1h。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。因此要协调好这两个因素，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都是符合新的SAE J2527的测试要求。这个标准是不指定设备的，转鼓式测试设备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而且测试的重复性好。表1的数据显示，在相同条件(6h、50℃)下正常运行时，任何类型的老化设备都可以达到相似的喷淋量。之前的工作已经证明了当执行SAE J2527时，与转鼓式设备相比，平板式设备可以给样品提供更多的水。为了模拟转鼓式喷淋体系的结果，平板式测试设备在1个喷淋循环中，水喷淋体系运行5s、关闭55s，大体上提供最大供水量的1/12^[12]。而且加速

表1 两台加速老化设备的吸水量

测试项目	转鼓式	平板式
试板质量/g	开始	59.325 9
	结束	59.341 0
	差值	0.015 1
	增加量/%	1.35
涂层体积/cm ³	1.118 5	1.133 8

试验中水侵蚀试验的结果与水模型的预测值一致，模型的建立以实验室进行的试验和佛罗里达实际吸水量的数据为基础^[1]。

如之前的报告所述^[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湿润天气条件的吸水量少5倍。溶剂底漆/清漆体系 (SBBC/SBCC) 的吸水性如图7所示, 无论是在黑暗或光照条件下的喷淋都达不到与经过额外的 (16 h, 75 F (约24 °C)) 水浸泡或16 h的QCT潮湿测试后相同的吸水率水平。

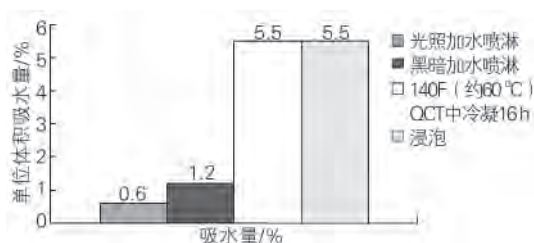


图7 经不同的水侵蚀处理后，SBBC/SBCC 油漆体系的吸水量

以佛罗里达夏天的水数据为基础, 与其他户外曝晒地点一样, 可以尝试对加速测试中的水循环进行改进以模拟佛罗里达的情况。在特定的测试场所, 水侵蚀随地点和小气候条件的变化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模拟与佛罗里达南部相似的水条件呢? 之前的工作已经证明, 对相同的油漆体系而言, 佛罗里达的老化条件将产生与亚利桑那完全不同的化学变化和物理变化。已经有假设是由于曝晒在两个地点的油漆体系中液态水数量的不同而导致了一些差异^[9], 曝晒在佛罗里达的样品趋向是更快地失去光泽, 而老化的表面材料被雨水和露水冲走了; 相比之下, 曝晒在亚利桑那的样品保持光泽的时间更长, 而老化的材料只被冲掉掉很少部分。曝晒在佛罗里达和亚利桑那的样品的老化结果显示: 曝晒在亚利桑那的油漆体系的表面老化更多的是由于水分缺失造成的, 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于佛罗里达模型 (光泽缺失和化学成分变化) 的加速户外曝晒的效果。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。

鉴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。为实施正确的水侵蚀而开始改变加速循环时会出现很多问题, 例如如何定义目标吸水性、如何控制和供应设备的喷淋水、以及作为加速老化测试的一个常规项目如何来校准喷淋水量。SBBC/SBCC油漆体系中的底漆和清漆的吸水性如图8所示, 水被吸收的体积在黑暗喷淋循环时是随喷淋时间而不断增加的, 试验温度和喷淋类型与SAE J2527中描述的相同, 只是喷淋时间增加了, 被测涂层体系大约需要6 h可以达到户外的吸水量。到目前为止, 所有被检测的涂层都要求1 h达到在佛罗里达曝晒中呈现的饱和状态。采用6 h黑暗喷淋循环, 另外一种油漆体系 (HSBC清漆体系) 在转鼓式设备和平板式设备中测试, 并与佛罗里达南部夏季期间的测试数据比较 (见图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。

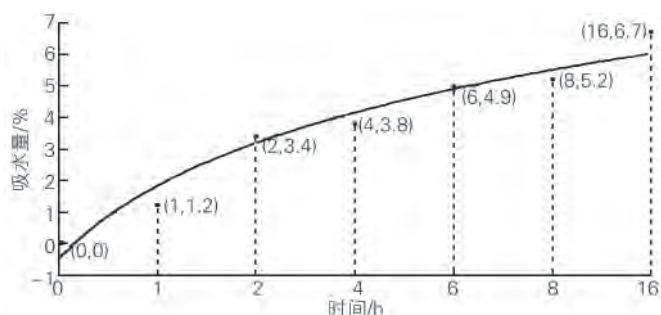


图8 在转鼓式加速老化设备里，SBBC/SBCC 油漆体系的吸水量与水侵蚀时间之间的关系

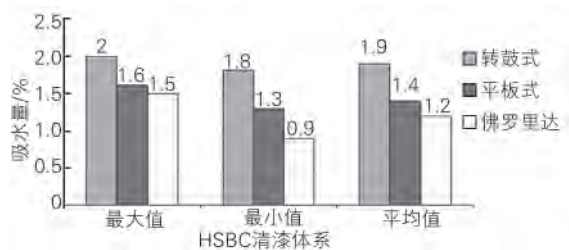


图9 在转鼓式和平板式加速老化设备里，HSBC 清漆体系经6 h水侵蚀后的吸水量

这个结果是异常的, 可能是由于SBBC/SBCC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前显示的在平板式设备里更高的吸水性数据相反, 这可能是由于在平板式设备里减少了设定的水喷淋量 (以达到转鼓式里的水喷淋量, 转鼓式设备里喷淋到转鼓上的水量

无法调节)造成的。

在证明了加速老化设备能够向油漆体系喷淋足够的水后, 试验的重复性和受控的问题被提出来了, 因此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的转鼓式试验箱, 在黑暗喷淋循环5 min后测量由喷嘴喷淋的水量, 结果如表2所示。测试结果全部来源于同一实验室里两台不同转鼓式设备的实际测试。已经证实, 不同实验室会因为供水条件和加速老化设备不同而产生不同的喷水量^[13]。即使能够确保特定机器喷嘴喷淋的水量不变, 但也不能保证喷淋到涂层表面的特定水量是固定的, 因为喷嘴可能喷淋不均匀或向机器四壁喷水。

喷淋到试板的水量可以用试板底部附带的杯子测量。经5 min的黑暗喷淋循环后, 测量和记录在图1的转鼓式试验箱不同位置收集的水量。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。

平板式设备所使用的收集系统显示了较强的一

表2 黑暗循环期间, 两台转鼓式设备在5 min 喷淋过程中从喷嘴收集的水量

转鼓设备1		转鼓设备2	
测试点	水量/mL	测试点	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	315	平均	297

致性, 对确定和调整喷嘴喷淋的均匀性也很有效, 在黑暗喷淋循环的5 min期间收集水并测量(结果见表3), 而这更接近水控制所需要的。由于杯子间存在间隙使得喷淋到该处的水没有被测量到, 因此这个方法不适用于垂直曝晒设备(比如转鼓式设备)。

表3 在两个不同的试验室里, 3台平板式加速老化设备5 min喷淋所收集到的水量

设备	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
平板设备1	13.4	23.7	35.9	34.1	20.2	25.5
平板设备2	24.7	29.3	21.4	21.9	18.6	23.2
平板设备3	25.3	23.4	21.7	19.4	14.4	20.9

注: 每列有7个收集点, 共有35个; 喷淋体系被设置为一直喷淋, 即60 s开启、0 s关闭。

海绵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。在5 min黑暗喷淋循环期间, 在转鼓式老化设备的不同位置进行测试, 得到的测试数据(见表4)确实随着测试位置的不同而有所差异, 这证明了设备内部水喷淋的不均匀性, 用平板式设备所进行的测试中也有类似的报告。然而, 考虑到平板设备和转鼓设备都可以做到样品的轮换, 那么水喷淋不均匀性的影响将会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、中部和底部之间进行轮换, 以进行均匀的水侵蚀和光曝晒^[13]。表4显示了使用海绵方法测量转鼓设备的水量获得数据的一致性, 表5显示的是使用与表4相同的测试

程序的平板式设备得到的水量的一致性。一个新的测试方法的想法是, 使用由指定制造商提供的特定的海绵做水喷淋量的校准, 海绵测试要求在平板加速老化设备和转鼓加速老化设备的不同位置来测试最小水量和平均的水量。

这项工作的目的是要找到与涂层老化相一致的结论, 使加速测试再现与户外相同的失效。为了达到这个目标, 需要提供有证明文件的涂层体系在户外曝晒的已知历史数据, 而且这些涂层体系需要新的加速测试中再进行测试。这些涂层体系的失效必须包含所有已知的涂层失效模型, 如失去光泽、腐蚀和不同涂层界面之间的分层、起泡、潮湿变白及多种类型的开

表4 在5 min喷淋循环期间，使用合成海绵收集到的转鼓式加速老化设备的水量的所有数据 mL

设备及 测量位置	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		

表5 在5 min喷淋循环期间，使用与表4完全相同的样品架和合成海绵收集到的平板式设备的水量的所有数据 mL

喷淋条件及 测量位置	连续喷淋			喷淋10 s、关闭30 s		
	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

裂老化（见图10），开裂和不开裂的涂层体系已经在图10中标明。开裂的原因已经确定是残余应力和光致氧化作用导致了涂层的脆性，由于湿热压力而引起开裂，水也会导致涂层起泡（见图11）。在这种老化模式中，涂层体系吸水引起涂层起泡。因为增加了水侵蚀的强度，使底漆层中的水泡变大，清漆在哪个点被顶开，哪里就会出现开裂。

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。其中的3种方法已经根据J2527标准进行了修改，以强化水侵蚀条件，本文中的结果被用于设定加速老化条件和设备控制参数。被测油漆体系代表了很多不同的涂料体系，由于对不同方式的加速老化有所反应而被熟知。同时，这些涂层体系被曝晒在佛罗里达户外，以确认这些涂层体系已知的长效老化表现，这项研究结果应该已经清楚地提供了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，以期在一个新的测试循环中能得到最大加速且产生合适的涂层失效。



图10 在佛罗里达南部曝晒后，开裂和未开裂的涂层样品

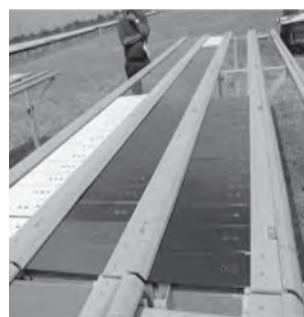


图11 曝晒在佛罗里达南部的油漆试板上的水泡

4 结束语

通过仔细观察佛罗里达户外曝晒过程中和标准加速老化设备测试过程中的水侵蚀情况，使得了解水及

其对汽车涂层老化的影响有了重大进展。新方法已经被确定用来测量户外曝晒及加速老化设备测试中的水量。这些方法显示，在与佛罗里达户外水侵蚀进行比较时，不同的加速老化设备和测试方法会产生不同量的水侵蚀。既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., Spitler, 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). AT&M

(上接第58页)

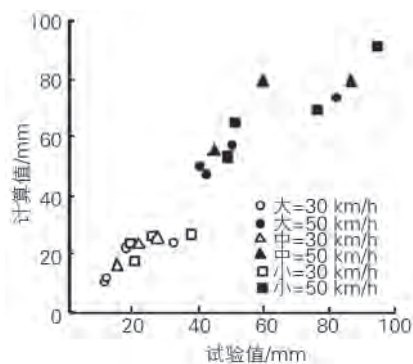


图17 冲击压溃量的计算值和试验值

c.应变速率为 $2 \times 10^3/s$ 时，随着马氏体体积分数的增加，双相钢的抗拉强度和屈服强度同时增大；应变速率为 $2 \times 10^3/s$ 时，双相钢的 n 值随着铁素体与马氏体相界面积的增加而增大。

d.高速变形过程中，具有 $\alpha+M+\gamma$ 结构的双相钢比具有 $\alpha+\gamma+B+M$ 结构的TRIP钢具有更高的能量吸收能力，且双相钢的变形强度对应变速率的敏感性更高。

e.用FEM模拟方法可以预测帽型截面试样的高速冲击压溃量。 AT&M