

可靠的木材涂料人工加速老化试验

加速老化在新涂料系统的开发中起着重要的作用。经过由CTBA协调并由四个木材涂料制造商和十个研究机构参与的项目，目前已经挑选出一个前景不错的测试方案。

Laurence Podgorski 木材与家具技术中心 (CTBA)
Martin Arnold 瑞士联邦材料测试与研究实验室 (EMPA)
Guido Hora 德国弗劳恩霍夫木材研究所 (WKI)

人工气候老化在改良涂料系统的开发中起着重要的作用，它能够在比自然气候老化更短的时间内提供性能评估结果。但是目前还没有适用于木材衬底的获认可的人工气候老化试验。

在1996年底，欧洲共同体批准一个大范围的欧洲研究项目，名为“Arwood”。在1996年到2000年间，十个木材研究机构 (CTBA, BRE, WKI, VTT, TRAETEK, EMPA, CC, NIT和RUG) 和四个工业合作伙伴 (Tikkurila Oy, Gori-Dyrup, ICI Paints和Cecil) 参与了该项目。该项目由CTBA进行协调。

该项目的主要目的是开发一种人工气候老化方法，以便在短时间内评估户外木材涂料的耐候性，从而加速新型涂料系统的工业开发，满足日益苛刻的环境规章要求。

试验本身的开发必须符合特别的经济标准，也就是必须使用中小型公司也能负担得起的装置。这也是让这些试验使用已经在其他行业 (钢铁、塑料) 证明切实有效的荧光灯来进行循环试验的原因。

本项目的方案必须被视作为EN 927“色漆和清漆-户外木材的涂覆材料和涂覆系统”框架内一个新CEN标准的依据，EN 927系统描述了户外木材涂料的人工气候老化试验。该标准应该是对叙述荧光紫外线人工暴露的几个现有标准的补充，但是这几个现有标准并不针对木材衬底暴露。^{1,2,3}

在该研究项目中，用不同的涂料系统和木材衬底进行了几次自然和人工循环暴露试验。本文主要报告两个系列试验的结果，这两个系列试验特别设计用于开发和测试户外木材涂料系统人工气候老化所用荧光紫外线装置的“优化”暴露循环。

材料和方法

衬底 按照prEN 927-34中所述的自然暴露试验规范对涂覆木面板进行暴露试验。试验面板由刨光无缺陷的松 (欧洲赤松: Pinus silvestris) 边材构成，年轮到暴露面的方向为0到45度。面板大小应适合放到装置特定的样品架上：在评估试验系列中，样品大小为300×75×15mm。某些实验室使用了面板尺寸为150×75×15mm的样品，以便在同一装置内相同试验系列中容纳更多的样品；对于“优化”的试验系列，使用了具有统一尺寸150×74×18mm的稍厚样品。

每个实验室对每种涂料系统的三个相同样品进行了试验，一组未暴露样品保存起来用于参考控制。为确保样品材料“一致”，试验样品由参与试验的一家实验室集中制备。

涂料系统 本研究项目的较大部分是用一个物种 (欧洲赤松 Silvestris pine) 和六种不同的涂料系统进行的，六种不同的涂料系统分别是：两种白色油漆，其中1种溶剂型的和1种水性的；两种高成膜性木材染料，其中1种溶剂型的 (EN927第3部分：自然气候老化试验中使用的ICP) 和1种水性的；1种低成膜性溶剂型木材染料；和未涂覆木材，对木材本身的气候老化进行控制。

之所以需要未涂覆样品，是为了研究裸木材上的老化效应。为了方便叙述，未涂覆样品在表1及下文中称涂料系统F。表1给出了所选涂料系统的概况。对于每一个系列的试验，通过涂刷进行涂料施用。与prEN 927-3中自然暴露试验不同，面板背面进行了涂覆。

老化试验设备 2个试验系列中有7个荧光紫外冷凝型老化试验设备，各用一个喷淋系统进行改进。

大部分设备都配备了可编程微处理器，以控制暴露循环。有几个设备配备了自动辐照度控制器，而其他的设备必须按照制造商的建议轮换并更换灯管。样品在试验箱内也要定期轮换位置，以确保暴露均匀。

性能评估 按照prEN 927-3进行性能评估，包括开裂、起泡、片状剥落、粉化、以及光泽和颜色测量。

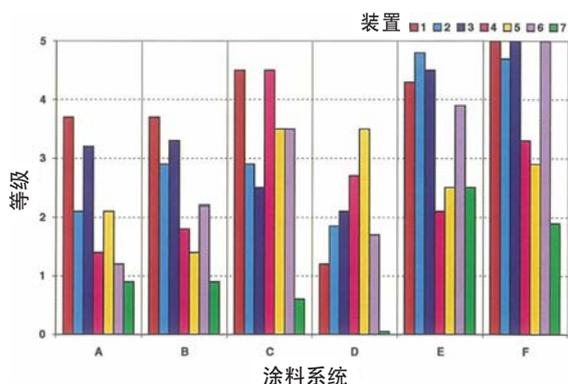


图1：7种试验循环在2,000h暴露之后的总体外观

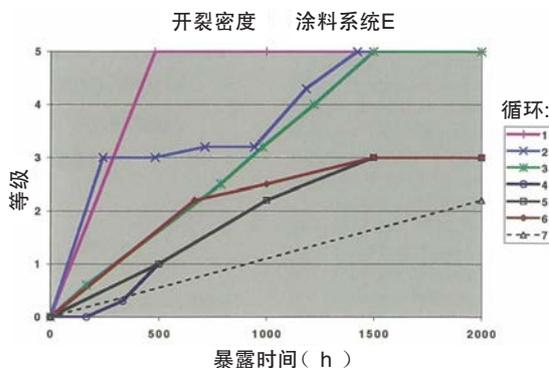


图2：7种试验循环在2,000h暴露过程中涂料系统E样品的开裂密度

引入了名为“总体外观”的进一步评估。总体外观是人眼对受测试涂料系统的总体情况的印象。与未暴露参考样品对比，总体外观在视觉标尺上进行分级，分为零级（无变化）到五级（严重变化）。在暴露过程中的评估由每个实验室进行（“现场评估”），而最终评估也由一个参与实验室的一名操作者集中重复进行（“共同评估”）。

在下面的图中，时序数据总是代表含有某些可能存在操作者偏差的现场评估。最终情况数据是以共同评估为基础的，反映由于暴露效应引起的差异。

评价试验系列

试验程序基于现有标准^{1,2,3}以及不同实验室的经验。

在此评价试验系列中，如表2所列，建立并试验了7种暴露循环。第1到第3种循环是通过早期研发工作对暴露循环的改进，所谓早期研发工作是某些合作伙伴使用冷凝和喷水两种处理方法在荧光紫外装置上进行的。这三种循环主要关注不同的曝晒时间。第4和第5种循环则遵从只使用紫外线照射和冷凝的现有标准中的建议。而它们之间的区别仅在于紫外灯管的类型是不同的（UVA-340nm和UVA-351nm）。第6和第7种循环使用不同的处理方法（浸泡、冷冻），以增加暴露应力。

图1显示了7种试验循环下样品在暴露2,000h之后的总体外观。与预期一样，不透明涂料系统A和B的外观只显示出小变化到中等变化，而最严重的变化发生于未涂覆木材（F）。丙烯酸着色料D性能明显好于醇酸着色料C，甚至稍好于两种不透明涂料A和B。

试验发现不同暴露循环之间试验结果有相当大的差异，所有涂料系统都没有明确的分级。7种暴露循环结束时样品外观的例子见照片1（涂料系统E）和照片2（涂料系统F）。使用成膜涂料的情况下（系统A到D），所有暴露循环进行2,000h之后，只发现样品有限的开裂（不高于二级）。使用丙烯酸漆A的情况下，所有样品均无任何开裂。但是使

涂料系统	A	B	C	D	E	F
涂料类型 ¹⁾	wb丙烯酸漆	sb醇酸漆 (高固含量)	sb醇酸着色料(ICP)	wb丙烯酸着色料	sb低成膜性着色料	未涂覆
蓝色着色料底漆	X	-	-	X	-	-
涂层数	2(1pr+1top)	2	3	2	2	-
颜色	白色	白色	红褐色	红褐色	褐色	-
分级(EN 927-1)	稳定	稳定	半稳定	半稳定	不稳定	-
最终使用类别	高	高	中	中	最低	-
成膜性	不透明	不透明	半透明	半透明	半透明	-
遮盖力	半消光	高光泽	高光泽	有光泽	消光	-
光泽	半消光	高光泽	高光泽	有光泽	消光	-

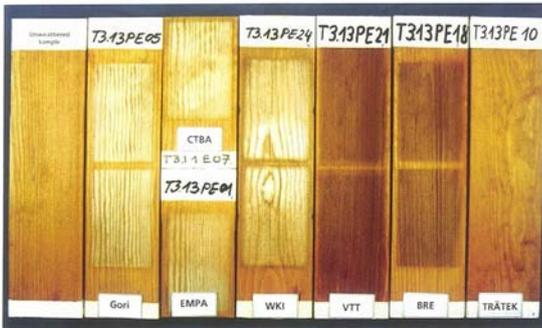
表1：所选涂料系统说明。

注：1)wb = 水性，sb = 溶剂型。

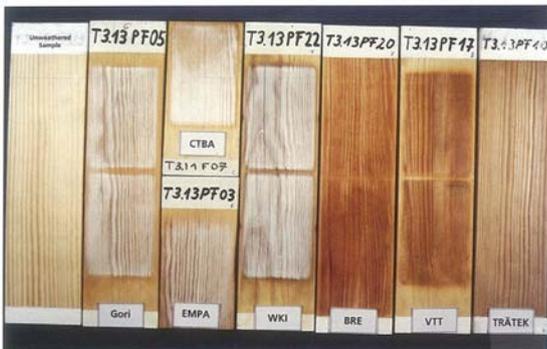
用低成膜性着色料(系统E)和未涂覆木材(系统F)的情况下,样品外观快速出现裂缝,分别如图2和图3所示。

第1到第3种暴露循环明显引起了所有试验循环中最快速和最严重的开裂。而第5到第7种循环中样品只有中等开裂。醇酸漆(即涂料系统B)的光泽随不同循环而变化的例子如图4所示。该涂料出现了快速的失光现象。至于开裂,第1到第3种暴露循环引起了所有试验循环中最严重的老化效应。根据本研究项目所获得的不同结果,得出了以下结论:

- 冷冻或浸泡等特殊处理看来似乎没有提高老化效应的严重度;
- 荧光紫外灯管UVA-340nm可以很好地模拟日光的老化作用;以及
- 在人工气候老化循环中必须包括冷凝和喷水两个步骤,以模拟气候老化过程中水分不同形式的效果。可用冷凝增加木质衬底的含水量。喷水系统有助于产生未涂覆木材的典型表面侵蚀效果(该侵蚀效果在木材的自然气候老化过程中都能观察到),并从表面冲去退化的材料。



照片1: 在7种暴露循环结束时的涂料系统E



照片2: 在7种暴露循环结束时的涂料系统F

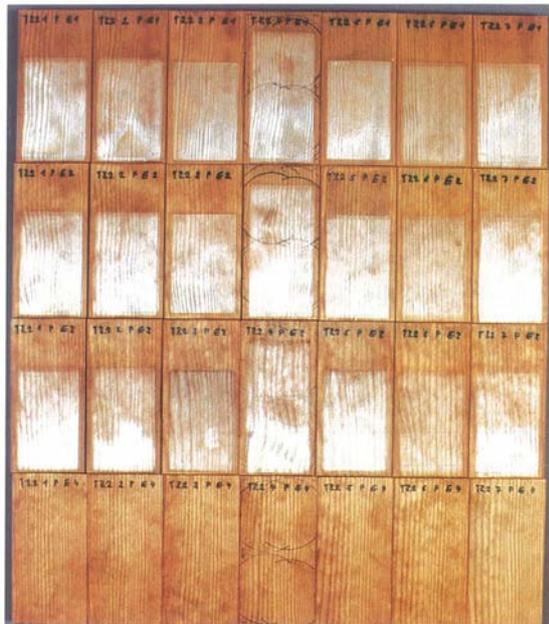
优化试验循环(再现性)的开发和研究

评价系列试验所得到的结果显示了第1到第3种循环能够产生最严重的气候老化效应。令人满意的人工气候老化必须对自然气候老化有良好的模拟以及足够的加速,因此这3种循环将被用作优化暴露循环开发的基础。

优化暴露循环试验结果与之前评价试验所获得的主要结论一致,并且具有以下特点:使用辐射峰值为340nm的荧光紫外线灯;使用冷凝和喷水两种程序;使用循环周期延长的冷凝时间,以增加木质衬底的含水量;使用频繁交替的紫外辐射和喷水,以实现主要发生在样品表面上的大量的短时间变化(喷水主要用于去除表面上退化的材料及产生频繁的冷冲击);以及2000h的试验总持续时间。

优化暴露循环试验的定义请参见表3。它包含一个长时间的初始冷凝阶段,接着是短间隔的紫外线照射和喷水。该试验相当简单,并有在气候老化装置外不要求任何特殊处理的优点。由一个实验室制备的一组新样品分配给不同的合作伙伴,以便测试优化循环的再现性。

对来自不同气候老化装置的暴露样品进行第一次肉眼观察和对比,得出的总体印象是,外观一致性总体良好。与早先结果相比,使用不同装置做实验的样品有明显更一致的老化结果。在2000h人工暴露之后,出现了不同程度和类型的缺陷,并且可以清楚看见所用涂料系统的性能水平预期差异。图5中可以看出用优化循环的7个装置进行2000h暴露之后样品的总体外观。



照片3: 在优化循环结束时的涂料系统E

合作伙伴	循环	暴露循环	1个循环的持续时间	总暴露时间
WKI	1	[-24h冷凝(45°C)] ¹ -在120h期间(3h UV-340nm, 然后1h喷水) -装置外存放48h(环境条件)	7天	1860h
EMPA	2	-24h冷凝(45°C) -在96h期间(5h UV-340nm, 然后1h喷水)	5天	2033h
GORI	3	-24h冷凝(45°C) -在144h期间(5h UV-340nm, 然后1h喷水)	7天	2016h
BRE	4	-4h冷凝(40°C) -4h UV-351nm	8h	2000h
Tikkurila 和 VTT	5	-4h冷凝(40°C) -4h UV-340nm	8h	1500h
CTBA	6	-48h冷冻(-20°C) -24h冷凝(45°C) -在96h期间(3h UV-340nm, 然后1h喷水)	7天	2016h
Traetek	7	-24h冷冻/浸泡 ² -在72h期间(4h冷凝(40°C), 然后UV-340nm) -72h浸泡	7天	2016h

表2: 评价试验循环。

注: 1. 只在暴露开始时有一次24h冷凝。2. 2h冷冻 + 2h浸泡 + 2h冷冻 + 18h浸泡。

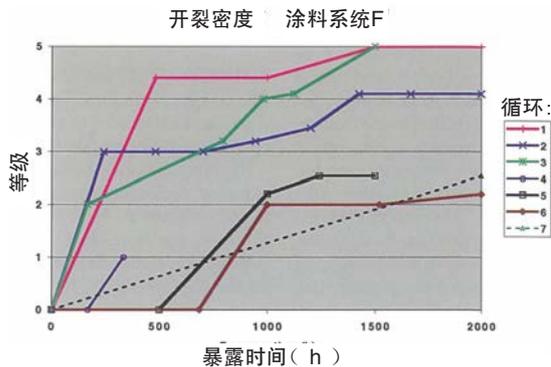


图3: 7种试验循环在2000h暴露过程中涂料系统F样品的开裂密度

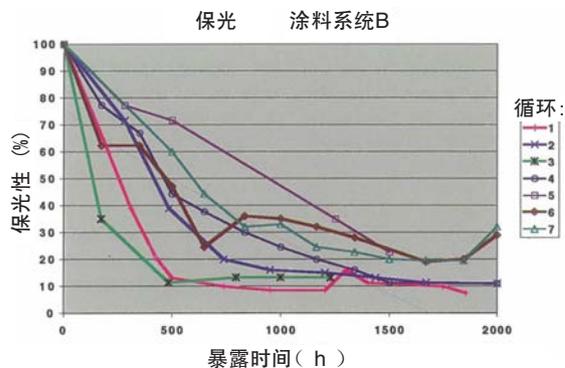


图4: 各种不同试验循环在2000h暴露过程中, 涂料系统B的样品的保光率

如预期一样, 就总体外观来讲, 与未暴露控制样品相比, 成膜涂料系统A到D在2000h暴露之后样品外观只显示出小到中的变化, 而系统E(低成膜性着色料)和F(未涂覆木材)样品外观显示出明显的变化。涂料系统A(丙烯酸漆)明显显示出最好的总体性能。丙烯酸着色料D看来似乎性能比醇酸着色料C(ICP)要好。使用涂料系统C(醇酸着色料, ICP)的情况下, 使用不同试验装置得出的试验结果的一致性看来似乎特别好, 而使用系统A(丙烯酸漆)、B(高固含量漆)和D(丙烯酸着色料)的情况下, 可以观察到不同试验装置下的结果有一些的不同。

使用系统E(见照片3)和F的情况下, 就表面侵蚀来讲, 不同装置下试验结果明显有一些差异, 没有反映出总体外观评级。对于某些装置, 样品表面的已退化材料明显没有被清除干净, 可能是由于喷淋方式不均匀引起的(喷嘴附近发生严重侵蚀, 样品周边区域的冲洗效应不足)。此观察证明了喷嘴定期清洁的重要性。这种喷淋模式的不均匀性在使用成膜涂料时可能不是这么明显, 但是仍然可能对涂料退化产生不希望有的作用。

图6显示了在七个装置中使用优化循环的情况下在暴露结束时样品的开裂密度。开裂密度和大小显示出的性能模式与总体外观评级一致。与评估试验系列中所得到的结果相反, 现在在使用系统A的情况下同样出现了开裂, 不过该涂料系统目前性能仍然是最好的。使用系统B、C和D的情况下, 开裂等级为轻微到中等。系统E和F一致出现大裂缝密布的状况。一般情况下, 开裂密度和尺寸的评级是正相关的。所有的成膜涂料系统在不同试验装置下的试验结果都存在差异。

步骤	功能	温度	持续时间	备注
1	冷凝	45°C	24h	-
2	子循环步骤3+4	-	48x	-
3	紫外线	60°	2.5h	UVA-340nm
4	喷水	-	0.5h	6-7升/分钟，紫外线灯关闭
5	到第1步	-	-	-
总计(1循环)168h • 循环重复= 12 × (即12个星期) • 暴露总持续时间= 2016h				

表3：优化的试验循环

常差异较大，所以有效的初步结果表明人工气候老化试验的再现性是“可以接受的”。再现性随不同的评估参数和涂料系统而变化。而检测到的装置效应可能主要是由气候老化箱的操作特性差异而引起的。造成操作特性差异的可能原因有：荧光灯的紫外线输出（灯管的老化）；可能影响冷凝有效性和/或喷淋温度的室内环境的水平和/或波动；喷淋模式和压力（喷嘴堵塞）；以及样品位置轮换的时间安排。

如果能够制定并遵照非常严格的试验程序，这种人工试验方法的再现性似乎可以得到提高。这方面最重要的目标之一就是确定并消除/限制所观察到的装置效应。

改进的试验程序应该主要包括以下相关的严格规定：木材衬底（如：年轮角度）；抽样计划（如：样品组的均匀性）；室内环境（温度、相对温度幅度的规定）；喷淋（水的质量、再循环系统的使用、过滤器、压力、喷嘴清洁）；暴露期间的维护（如：灯管输出的控制、喷淋、样品位置轮换）；以及评估方法（如：颜色测量）。

与自然气候老化的相关性

要验证任何一种人工气候老化试验方法，该试验方法与自然气候老化的相关性仍然是一个关键问题，同时也是预估加速系数的基础。通过将人工与自然暴露试验得到的所选性能参数的时间曲线叠放并进行目视对比，可以证明人工气候老化与自然气候老化的性能数据相关性。在使用2号装置/实验室的情况下，开裂密度和光泽的相关分析分别在图7和图8中显示。自然暴露的时间轴（不超过21个月）已经根据经验按比例缩小，使所有涂料系统有最佳的总体一致性。

在所有不同的涂料系统下，样品开裂的形成情况都保持了相当好的一致性，而可能例外的情况则是醇酸着色料（系统C），在人工暴露中样品出现了更多的开裂。根据经验估计的总体加速系数大致是5倍，但是对于不同的涂料类型可能需要一些个别调整。而失光的时间曲线的特征过程似乎也得到了很好的再现，但是明显加速系数更高，约为10倍速度。此外，醇酸着色料在人工暴露的情况下退化更大。

就与自然气候老化的相关性来讲，另一个重要因素是暴露过程中木材衬底的含水量（MC）。水分与涂料的化学变化密切相关，也与衬底大小变化而导致的开裂密切相关。之前的试验已经表明在人工暴露过程中处于荧光装置内的木材的含水量平均值低得多，而且比观察到的户外含水量范围更小。这种状况导致在每种循环开始时都必须进行一个时间加长的冷凝步骤，以增加潮湿影响。

使用优化循环试验的不同涂料系统和不同木材衬底的反应

优化循环是通过6种不同涂料系统（A到F）的试验开发出来的。为了获得更多关于优化循环的信息，在改变其中单个参数的情况下，针对涂料的各种配方进行了试验。而通过之前经验得来户外性能反应的参数已经得到特别关注。

总共有12种涂料进行了试验，其中包括醇酸、丙烯酸、透明或不透明的、含或不含紫外线吸收剂、高或低玻璃态转化温度等不同特性的涂料系统。表4显示了使用优化循环在松板上试验的12种涂料系统。醇酸涂料系统的性能表现不仅遵循以松板为样品经过户外暴露所得出的总体趋势，而且也符合在细木工制品、建筑物立面等物体上暴露所获得的经验。

对于丙烯酸涂料系统，和户外暴露相比，其性能表现取决于着色作用。不透明的涂料系统不符合从户外条件中所获得的经验。已知不透明的丙烯酸涂料系统一般拥有长时间的耐久性。在这种情况下此类涂料系统可能需用优化循环暴露比2000h更长的时间才能得到结果。因此建议对此做进一步研究。

对于半透明的丙烯酸系统，（试验性能表现）与其在户外的性能表现有良好的一致性。但是，对于整个醇酸系统，这只是基于一种丙烯酸系统的结果，可能需要使用优化循环做进一步的实验，以研究其他配方的性能。趋势很清楚，有使用优化循环的潜在可能。

优化循环是通过在松板上对6种不同涂料系统（A到F）的试验开发出来的。确定优化循环是否可用于评估不同木材衬底上的涂料系统的性能是非常重要的。

系统	溶剂	粘合剂	不透明性	变量	预期响应
1	S	醇酸树脂	不透明的	长时间油	高耐候性 保光
2	S	醇酸树脂	不透明的	中等时间油	低耐候性 开裂
3	S	醇酸树脂	半透明的	长时间油	高耐候性 光泽降低
4	S	醇酸树脂	半透明的	中等时间油	低耐候性 开裂/片状剥落
5	S	醇酸树脂 (同3)	半透明的	长时间油+ UV Abs	高耐候性 良好的保色性
6	S	醇酸树脂 (同3)	无色的	长时间油	低耐候性 开裂/片状剥落
7	S	醇酸树脂 (同3)	半透明的	长时间油 1个涂层	低耐候性 保色性差/片状剥落
8	W	丙烯酸树脂	不透明的	高PVC	良好的耐候性 开裂
9	W	丙烯酸树脂	不透明的	低PVC	高耐候性
10	W	丙烯酸树脂	不透明的	低PVC 改变补充剂	高耐候性 保光性差
11	W	丙烯酸树脂	半透明的	高Tg	低耐候性 /开裂
12	W	丙烯酸树脂	半透明的	低Tg	高耐候性

表4：优化试验循环中的涂料系统

在本次研究中，已经对6种涂料系统（A到F）在5种木材衬底上进行了研究，5种木材衬底是：山毛榉、橡木、云杉、梅兰蒂和户外用胶合板。评价包括评估人工气候老化循环之后所得结果与按照prEN927-3进行的自然气候老化试验所得结果的可比性。

结果表明该循环可以区别不同涂料系统的性能以及区别不同木材衬底上的涂料性能。而所发现的开裂量则取决于木材衬底。大部分开裂是在松木、橡木和户外用胶合板上发现的。一种木材物种上的涂料性能不能反映不同木材衬底上的性能。其他木材衬底上的性能还需要进行评价。

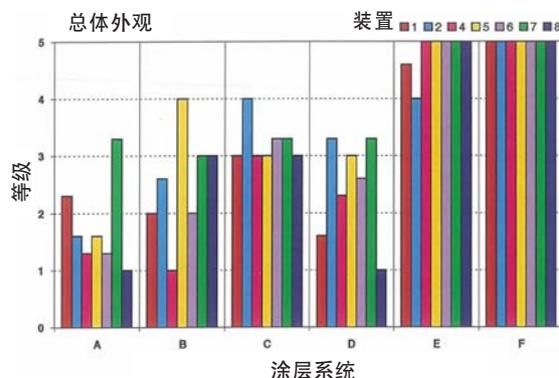


图5：在7个装置中使用优化循环暴露2000h之后样品的总体外观

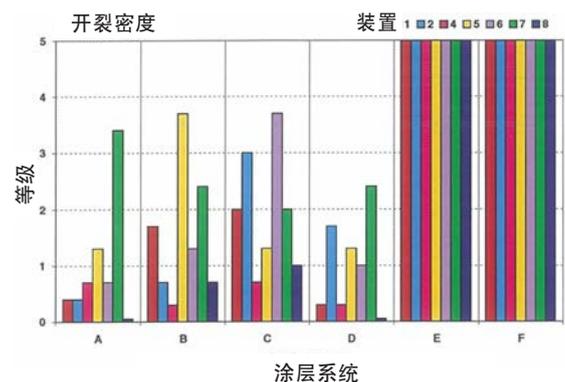


图6：在7个装置中使用优化循环暴露2000h之后的开裂密度

结论

本欧洲研究项目的主要目的是开发一种人工气候老化方法，用于在短时间内评估户外木材涂料的耐久性。

目标是让该试验方法以现代相对低成本的荧光灯设备为基础，使原有用于钢和塑料衬底的设备和操作循环适合木材衬底的需要。根据参与该项目的14个合作伙伴的经验，最终确定了几种适用的暴露循环。它们包括不同类型的紫外线照射、冷凝、喷淋、高低温、冷冻和浸泡。这些循环共针对6种涂料系统进行了测试。

而从这些循环试验所获得的结果中已经能够定义一种优化的循环。该循环包含24h冷凝，后接一个由2.5h UVA-340nm和0.5h喷水组成的子循环。经研究该循环的再现性如下：8位合作伙伴使用同样的6种涂料试验了该循环，其试验程序非常精细。即使已经确定了某些差异来源，再现性也是符合标准的。

之后又在几种涂料上进行了该优化循环的试验。这项任务的目的是研究与主要实验中所用第一批6种系统相比，户外木材上所用系统和产品的进一步变异是否符合使用优化循环时已知的性能。醇酸涂料系统的性能表现不仅遵循以松板为样品经过户外暴露所得出的总体趋势，而且也符合在细木工制品、建筑物立面等物体上暴露所获得的经验。对于丙烯酸涂料系统，和户外暴露相比，其性能表现取决于着色作用。

优化循环已经在不同木材衬底上进行了试验，以确定其是否可用于评价不同木材衬底上涂料系统的性能。6种主要的涂料系统在橡木、山毛榉、云杉、梅兰蒂和户外用胶合板上进行了试验。结果显示优化循环能够区别在不同木材衬底上的涂料性能。

在项目结束时，已经确定了标准草案的指导方针。考虑到人工气候老化试验方法应该进行改进，所以共同体同意为欧洲预备标准“prENV927-6：户外木材的涂覆材料和涂覆系统-第6部分：方法-基于荧光灯装置的木材涂料人工气候老化试验的评估和评价”而向CEN/TC139/WG2提出一个草案。

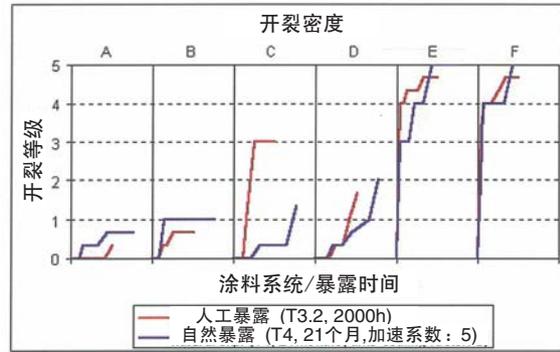


图7：开裂密度-人工（优化循环）和自然气候老化之间的相关性（以2号装置/实验室为例）

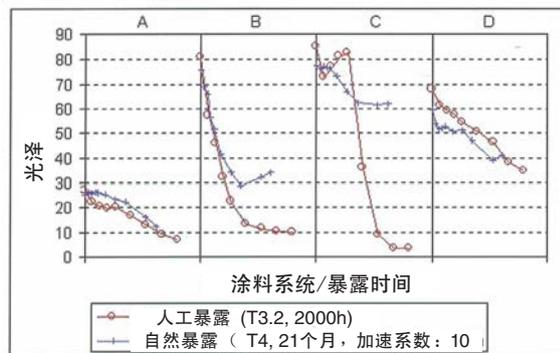


图8：失光-人工（优化循环）和自然气候老化之间的相关性（以2号装置/实验室为例）

参考文献

1. ASTM G53. 非金属材料暴露于光、水试验箱（荧光紫外冷凝型）的标准操作规程，1996年。在1998年，由ASTM G154代替。
2. BS 7664. 底漆和饰面漆规范，1993年。
3. ISO 11507. 色漆和清漆-涂层暴露于人工气候老化-暴露于荧光紫外线和水，1997年。
4. prEN927-3. 色漆和清漆-户外木材的涂覆系统-第3部分：自然气候老化试验，1997年2月。在2000年由EN 927-3代替。

本文在海牙举行的PRA（涂料研究协会）第三届国际木材涂料大会（2002年10月）上进行了宣讲。欲获取更多信息，请联系：PRA，电话：44(0) 20-8614-4811；传真：44(0) 20 8614 4182，网址：www.woodcoatingscongress.com。作者的个人信息是：Laurence Podgorski，木材与家具技术中心（CTBA）木结构集团研究部，地址：Allee de Boutaut, BP 227, F-33028 Bordeaux Cedex, France（法国波尔多），电邮：Laurence.Podgorski@ctbafr, Martin Arnold，瑞士联邦材料测试与研究实验室（EMPA）木材部，地址：Ueberlandstr. 129 CH-8600 Duebendorf, Switzerland（瑞士迪本多夫）；和Guido Hora，德国弗劳恩霍夫木材研究所（WKL），地址：Bienroder Weg 54e, D-38108 Braunschweig, Germany（德国不伦瑞克）。

感谢：“Arwood: 可靠的木材涂料人工气候老化试验”由欧洲共同体在第十二总署（SMT4-CT96-2107）的标准、测量和试验计划下进行资助。要特别感谢Jon Boxall和Wendy Thorpe (BRE, UK); Andreas Belz (WKI, D); Pirjo Ahola (VTT, FI); Ingvar Johansson (Tratek, S); Peter Svane (CC, DK); Seija Varila (Tikkurila Oy, FI); I Soren Poulsen (Gori-Dyrup, DK); Peter Collins (ICI Paints, UK); Rune Nilsen (NIT, N); Joris Van Acker (RUG, B); Fernando Peraza Sanchez (AITIM, SP); Laurence Perrin和Serge Birckener (CECIL, F); 以及Marie-Lise Raux (CTBA, F)。

This article runs by permission of the publisher. Coatings World, February 2003. www.coatingsworld.com

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