

户外纺织品耐候老化测试研究

摘要：为了户外纺织品的耐候老化性能，针对 7 种不同的伞用纺织面料进行实验室加速老化试验与户外暴晒试验之间的对比试验。实验室加速老化试验使用 QUV 加速老化试验机，户外暴晒试验分别在甘肃敦煌、海南万宁和浙江杭州进行，试验结果表明，对于试样的颜色变化，不管是实验室加速试验还是户外暴晒试验，颜色变化都较明显，而且两者之间的相关性较好；而对于试样的强力变化，不管是实验室加速试验还是户外暴晒试验，强力下降都很多，很难比较两者之间的相关性，不过这可能是一种有效的产品研发测试。

关键词 户外纺织品；紫外光老化；QUV 试验机；户外暴晒；相关性

1 前言

纺织品种类繁多，除包括衣服、布料等普通纺织品，还包括一些户外纺织品，如帐篷、雨布、遮阳伞、户外服装、产业用布和罩类等。对于户外纺织品，不只光照会对它们发生作用，水与高温等也会对它们发生作用。所以，在设计加速老化测试条件时需要模拟户外应用条件。户外纺织品的材料不仅有植物纤维，还包括聚酯与涂层等。为了研究户外纺织品的耐候老化性能，针对 7 种不同的伞用纺织面料进行 QUV 加速老化试验和在甘肃敦煌、海南万宁、浙江杭州进行的户外暴晒试验。

2 试验

2.1 耐候老化测试原理

耐候老化损害主要由 3 个因素引起：光照、温度和湿度。这 3 个因素中的任何一个都会引起材料老化，它们的共同作用大于其中任一因素造成的伤害。

2.1.1 光照

高分子材料的化学键对于太阳光中不同波段光线的敏感性不同，一般对应一个阈值，太阳光的短波段紫外线是引起大部分聚合物物理性能老化的主要原因，如 C-N（碳-氮）键的作用阈值是 393nm。然而，长波段紫外线甚至可见光也会对某些染料和颜料产生破坏，造成变色和褪色。

2.1.2 温度

温度越高，化学反应速度越快，老化反应是一种光致化学反应，温度不影响光致化学反应中的光致反应速度，却影响后继的化学反应速度。因此温度对材料老化的影响往往是非线性的。

2.1.3 湿度

水会直接参与材料老化反应。相对湿度、露水和雨水等是自然界中水的几个主要形态。研究表明，户外材料每天都将长时间处于潮湿状态（平均每天长达 8~12h）。而露水是户外潮湿的主要原因。露水造成的危害比雨水大，因为它附着在材料上的时间更长，形成的潮湿侵蚀更为严酷。

2.2 试验方案

为了研究户外纺织品的耐候老化性能进行对比试验，选取了 7 种伞用纺织面料作为试样；实验室加速老化试验使用 QUV 紫外试验机，户外暴晒试验地点选择甘肃敦煌、海南万宁和浙江杭州。

2.3 试样

本试验一共选取了 7 种伞用纺织面料，分别是碰击布、素色丁-A、锦纶、素色丁-B、变色龙、牛津布和涤素。试样由杭州天堂伞业集团有限公司提供均为白色。由于每种试样要进行 4 个试验、

6 次性能测定、4 种破坏性评估项目、每次评估 5 个重复样取平均值，每种样品准备了 480 个重复样。

2.4 试验仪器

QUV 紫外老化试验机利用荧光紫外线灯来模拟太阳光对耐久性材料造成的伤害。对于不同的应用条件，需要不同类型的灯管产生不同的光谱。UVA-340 灯管对太阳光的紫外短波段光线模拟效果好。UVA-340 的光谱能量分布 (SPD) 在太阳光的截止点到大约 360nm 范围内与太阳光谱能够很好地吻合 (见图 1)

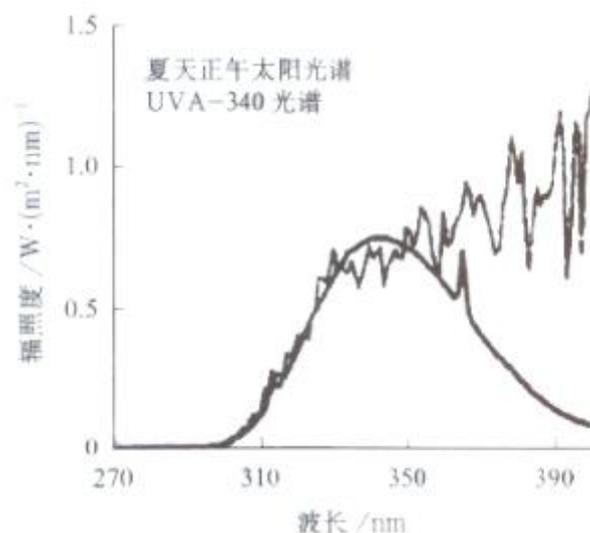


图 1 UVA-340 光谱与夏天正午太阳光谱比较

UVA-340 灯管对太阳光紫外短波段的模拟效果是最佳的。UVB-313 灯管利用紫外线的短波段达到最快加速老化的目的，对特别经久耐用材料的检定或品质控制非常有用。

QUV 通过冷凝功能来模拟露水对材料的破坏作用。用加热 QUV 测试室底部的水盘产生水蒸气。QUV 中，试样实际上形成测试室的侧壁，试样的另一面暴露在室内周围的空气中；室内相对较冷的空气就使得试样表面比测试室内热蒸汽的温度低好几度。这一温度差会产生冷凝，使试样表面液态形式的水逐渐凝结。除了标准的冷凝功能，形成凝露的机理也与户外露水的产生机理类似，QUV 还可用水喷淋模拟雨水影响，产生热冲击或机械侵蚀。

需要特别指出的是，只有 QUV 紫外试验机具有冷凝功能。前面已指出，户外材料每天都将长时间处于潮湿状态（平均每天长达 8~12h）。而露水是户外潮湿的主要原因，所以户外产品必须能抵抗潮湿的影响。QUV 以其独特的设计，真实模拟了露水对户外产品的影响。

2.5 试验条件

2.5.1 实验室加速老化试验条件

通过对 QUV 紫外试验机测试机理的描述可知，QUV 的紫外光照很好的模拟了太阳光中的短波紫外线对织物和涂层的破坏，而 QUV 的冷凝循环可较好地模拟户外露水对材料造成的破坏作用，而且 QUV 还可用水喷淋模拟雨水对材料产生热冲击或机械腐蚀。

所以选择 GB/T 31899-2015《纺织品 耐候性试验 紫外光暴晒》中的试验条件 1。具体的单循环试验条件见表 1。按此条件一共测试 300h。

表 1 试验条件

灯管类型	单循环试验条件
UVA-340	用 340 nm 处辐照度为 0.89 W/m ² 的紫外光在黑板温度为 60 ℃ 条件下曝晒 8 h,接着在黑板温度为 50 ℃ 条件下冷凝 4 h。

2.5.2 户外暴晒试验条件

户外暴晒试验选择了 3 个暴晒地点, 分别是甘肃敦煌(沙漠气候条件)、海南万宁(亚热带气候条件)和浙江杭州(城市湿地气候条件)。户外暴晒采用无背板直接连续暴晒, 45℃ 朝南。一共暴晒 6 个月。

2.6 操作过程

在试验过程中, 不但测试试样颜色的变化, 而且测试试样的撕破强力(经向、纬向)和断裂强力(经向、纬向)。

QUV 加速老化试验一共测试 300h, 每 50h 对试样进行评估; 户外暴晒试验一共暴晒 6 个月, 每 1 个月对试样进行评估。

3 结果与讨论

3.1 试样颜色的变化

试样的颜色变化参照 ASTM D2244, 选用 CIE L*a*b* 色空间, D65 光源、10° 观察者和镜面反射包含条件进行测定。不管是 QUV 加速老化试验, 还是户外暴晒试验, 大部分试样的颜色变化都非常明显。所有试样的颜色变化见图 2。

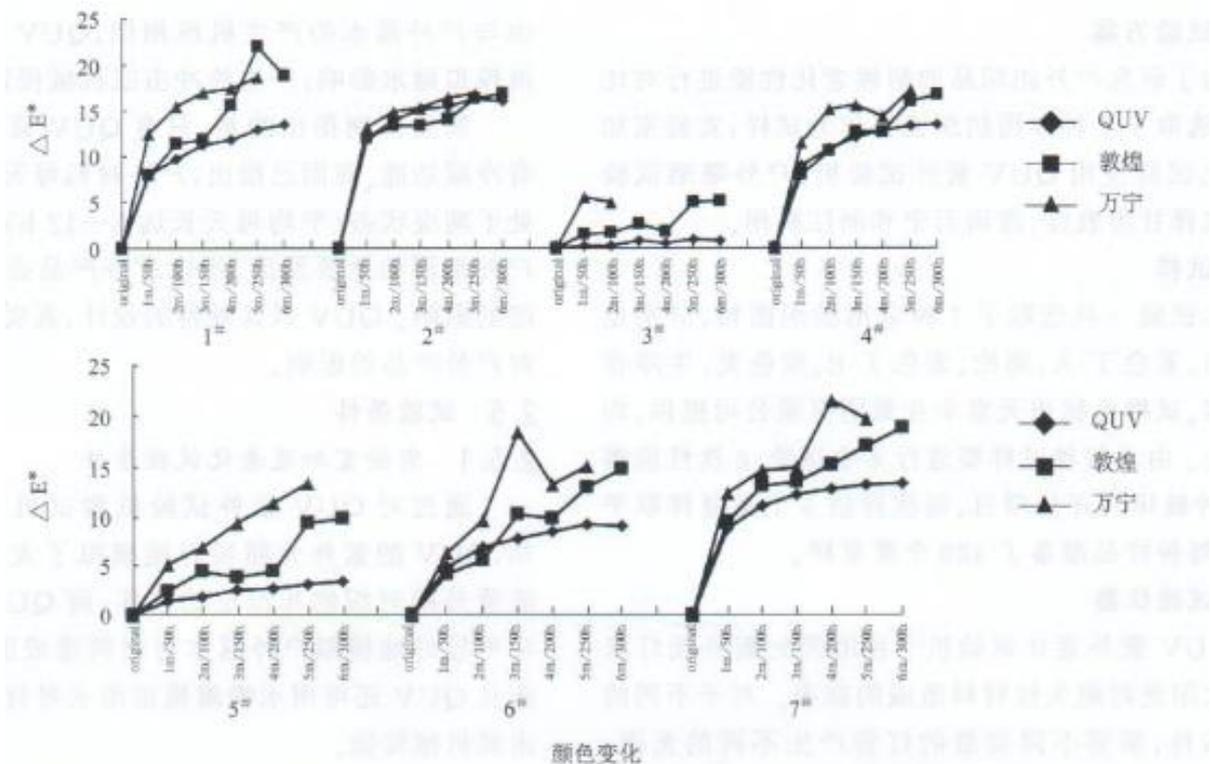


图 2 试样的颜色变化

3.2 分析与讨论

QUV 加速老化试验与户外暴晒试验之间的相关性研究可参考 ASTM G 169 中的 spearman 排序方法，相关系数 (rs) 指的是利用两种不同的测试方法对一组样品进行测试，所得试验结果之间的相关性。相关系数 (rs) 的计算公式为：

式中：

N——样品的个数

Di——两列排序中每一组排位之间的差值

不管是 QUV 加速老化试验还是户外暴晒试验，都按照颜色变化 ΔE^* 的数值从小到大进行排序。根据相关系数 (rs) 的计算公式，得到试样颜色变化的 QUV 加速老化试验与户外暴晒试验之间的相关性。相关系数见表 2。

除了 spearman 排序方法，还可以用“通过/失效” (pass/fail) 方法来分析 QUV 加速老化试验与户外暴晒试验之间的相关性。如果以 $\Delta E^* < 5.0$ 作为“通过”，以 $\Delta E^* > 5.0$ 作为“失效”。QUV 加速老化试验的结果见表 3。比较 QUV 加速老化试验与户外暴晒试验试样颜色变化的“通过/失效”，得到相关性见表 4。从表 2 和表 4 可以看出对于试样颜色的变化，QUV 加速老化试验与户外暴晒试验之间的相关性较好。不过本试验用的 7 种试样都为白色，在以后的试验中也要考虑不同颜色的试样。

表 2 spearman 排序方法之间的相关系数

曝晒条件	QUV 速老化试验时间 (h)					
	50	100	150	200	250	300
敦煌-1 m	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
敦煌-2 m	0.92	0.92	0.92	0.92	0.94	0.94
敦煌-3 m	0.97	0.97	0.97	0.97	0.94	0.94
万宁-1 m	0.91	0.91	0.91	0.91	0.96	0.96
万宁-2 m	0.92	0.92	0.92	0.92	0.95	0.95

表 3 试样颜色变化的“通过/失效”

试样	测试时间 (h)					
	50	100	150	200	250	300
1 [#]	失效	失效	失效	失效	失效	失效
2 [#]	失效	失效	失效	失效	失效	失效
3 [#]	通过	通过	通过	通过	通过	通过
4 [#]	失效	失效	失效	失效	失效	失效
5 [#]	通过	通过	通过	通过	通过	通过
6 [#]	通过	失效	失效	失效	失效	失效
7 [#]	失效	失效	失效	失效	失效	失效

表 4 两种试验之间的相关性

曝晒试验	QUV 加速老化试验时间 (h)	
	50	100
敦煌-1 m	7 种试样全部一致。	6 种试样一致, 1 种试样户外通过而 QUV 失效。
敦煌-2 m	6 种试样一致, 1 种试样 QUV 通过而户外失效。	7 种试样全部一致。
万宁-1 m	4 种试样一致, 3 种试样 QUV 通过而户外失效。	5 种试样一致, 2 种试样 QUV 通过而户外失效。
万宁-2 m	5 种试样一致, 2 种试样 QUV 通过而户外失效。	6 种试样一致, 1 种试样 QUV 通过而户外失效。

3.3 试样强力的变化

参照 GB/T 3917.1 测试试样的撕破强力，分别测试经向撕破强力和纬向撕破强力；参照 GB/T 3923.1 测试试样的断裂强力，分别测试经向断裂强力和纬向断裂强力。对于大部分试样，不管是 QUV 加速老化试验还是户外暴晒试验，试样的强力变化都非常明显。不过试样的经向撕破强力、纬向撕破强力、经向断裂强力和纬向断裂强力这 4 个指标的强力变化差别不大（见图 3）。所以本文重点讨论经向断裂强力。

对于试样的经向断裂强力保持率见图 4。

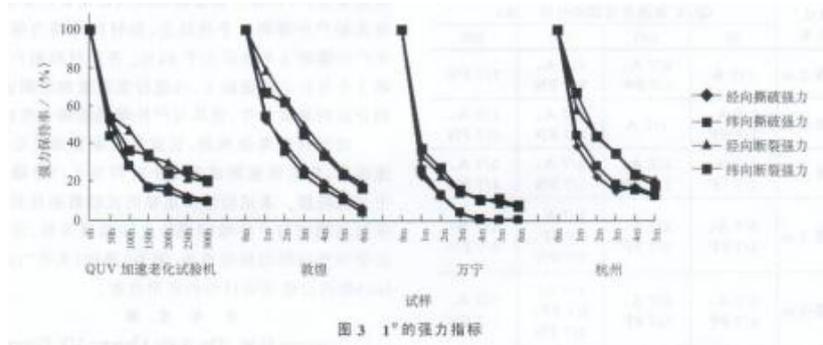


图 3 1# 的强力指标

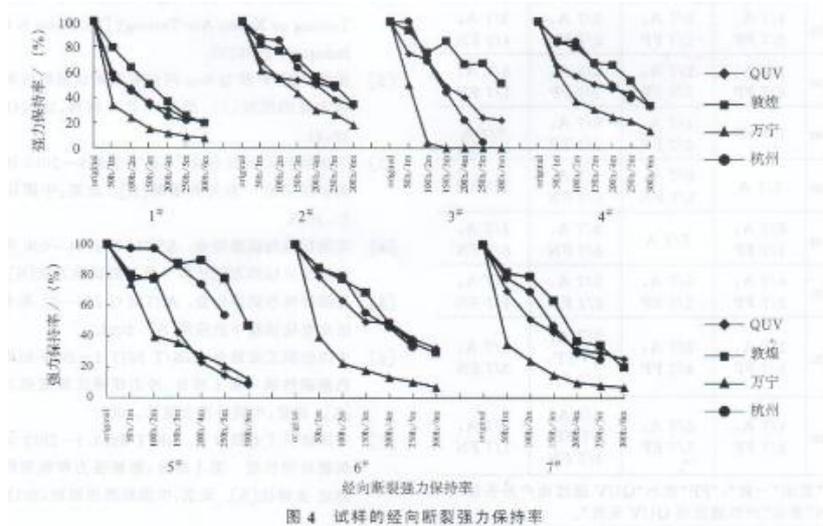


图 4 试样的经向断裂强力保持率

对于试样的经向断裂强力保持率，使用“通过/失效”（pass/fail）方法来分析 QUV 加速老化试验与户外暴晒试验之间的相关性。如果以强力保持率>50%作为“通过”，以强力保持率<50%作为“失效”。QUV 加速老化的试验结果见表 5。

表 5 试样强力保持率的“通过/失效”

试样	QUV 加速老化试验时间 (h)					
	50	100	150	200	250	300
1#	通过	失效	失效	失效	失效	失效
2#	通过	通过	通过	失效	失效	失效
3#	通过	通过	失效	失效	失效	失效
4#	通过	通过	通过	失效	失效	失效
5#	通过	通过	失效	失效	失效	失效
6#	通过	通过	失效	失效	失效	失效
7#	通过	通过	失效	失效	失效	失效

比较 QUV 加速老化试验与户外暴晒试验的试样强力保持率的“通过/失效”（pass/fail），得到相关性（见表 6）。

表 6 两种试验之间的相关性

通过/ 失效	QUV 加速老化试验时间 (h)			
	50	100	150	200
敦煌-2 m	7/7 A	6/7 A, 1/7 FN	2/7 A, 5/7 FN	7/7 FN
敦煌-3 m	6/7 A, 1/7 FP	7/7 A	3/7 A, 4/7 FN	1/7 A, 6/7 FN
敦煌-4 m	4/7 A, 3/7 FP	5/7 A, 2/7 FP	5/7 A, 2/7 FN	3/7 A, 4/7 FN
敦煌-5 m	3/7 A, 4/7 FP	4/7 A, 3/7 FP	4/7 A, 1/7 FP, 2/7 FN	4/7 A, 3/7 FN
敦煌-6 m	1/7 A, 6/7 FP	2/7 A, 5/7 FP	4/7 A, 2/7 FP, 1/7 FN	6/7 A, 1/7 FN
万宁-1 m	4/7 A, 3/7 FP	5/7 A, 2/7 FP	5/7 A, 2/7 FN	3/7 A, 4/7 FN
万宁-2 m	1/7 A, 6/7 FP	2/7 A, 5/7 FP	6/7 A, 1/7 FP	6/7 A, 1/7 FN
万宁-3 m	7/7 FP	1/7 A, 6/7 FP	5/7 A, 2/7 FP	7/7 A
杭州-1 m	7/7 A	6/7 A, 1/7 FN	2/7 A, 5/7 FN	7/7 FN
杭州-2 m	6/7 A, 1/7 FP	7/7 A	3/7 A, 4/7 FN	1/7 A, 6/7 FN
杭州-3 m	4/7 A, 3/7 FP	5/7 A, 2/7 FP	5/7 A, 2/7 FN	3/7 A, 4/7 FN
杭州-4 m	2/7 A, 5/7 FP	3/7 A, 4/7 FP	5/7 A, 1/7 FP, 1/7 FN	4/7 A, 3/7 FN
杭州-5 m	1/7 A, 6/7 FP	2/7 A, 5/7 FP	4/7 A, 2/7 FP, 1/7 FN	6/7 A, 1/7 FN

注：“A”表示“一致”；“FP”表示“QUV 通过而户外失效”；
“FN”表示“户外通过而 QUV 失效”。

从以上数据可看到，不管是 QUV 加速老化试验还是户外暴晒试验，试样的强力下降都很明显。虽然这样是很难比较两者之间的相关性的，也很难对材料进行筛选。但是这也可能是一种有效的产品研发试验。

4 结论

老化测试有几种类型或测试目的，图如材料筛选、材料认证和材料寿命预测。

在本试验中，对于材料的筛选，可能不需要户外暴晒 3 个月的时间。而实验室加速测试可通过提高辐照度等试验条件快速得到结果。

对于材料认证，因为所有试样在户外暴晒中都快速退化，所以客户首要解决的问题是研发新材料，使其耐户外暴晒 3 个月以上，如材料的强力保持率在户外暴晒 3 个月后大于 80%。在新材料耐户外暴晒 3 个月以上的基础上，再进行实验室加速测试，找到合适的测试条件，使其与户外暴晒的相关性较好。

对于材料寿命预测，也就是大家普遍关心的加速因子，即实验室测试多少小时相当于户外暴晒几个月的问题。本试验没有足够的试验数据找到实验室加速测试与户外暴晒之间的相关性，而且没必要预测材料的使用寿命，因为“通过/失效”（pass/fail）数据已能说明材料的使用性能。

声明：以上部分内容均来自互联网，如不慎侵害您的相关权益，请留言告知，我们将尽快删除

上海罗中科技发展有限公司

地址：上海市江场西路 299 弄中铁中环 4 号楼 906B

Tel: +86-21-61485255 Fax: +86-21-61485258

E-mail: office@roachelab.com www.roachelab.com

RoacheLab

TEST EQUIPMENT SOLUTIONS

