

平版印刷油墨的耐光性研究 一种新的检测方法

John Lind, GATF, 研究部主任

John Stack, 化学专家, 国家职业安全与健康研究所/国家个人防护技术实验室

Eric T. Everett, Q-Lab公司

佛罗里达州和亚利桑那州户外自然曝晒

试问怎么才能知道油墨在其使用寿命内遇到的各种照明条件下是否发生褪色? 产品失效会带来什么后果? 如何在消费者购买能力与产品性能之间权衡性价比? 是否有一个快速简便的方法来确定(或决定)哪一种油墨是您的最佳选择?

本文首次以系列研究来为您解答这些问题, 并为油墨的耐久性评估提供了一种有效的方法。该系列研究分为三个部分。其中第1部分的结论是在佛罗里达州和亚利桑那州玻璃框下自然阳光曝晒所得到的。这些是国际认可的能够提供“最严苛环境”的曝晒地点, 可以使油墨处于高紫外光、高温和高相对湿度的环境下。

第2部分将展示实验室加速测试如何模拟自然曝晒的结果。第3部分将为您提供指导和建议, 帮助您确定哪一种油墨最适合您。此项研究工作目标明确, 旨在将平版印刷油墨的自然曝晒与实验室加速测试结果关联起来。

试验程序

日光是由短波紫外线, 可见光和红外线组成。而紫外线是导致油墨降解的首要因素, 温度和湿度作为次要因素也会加速降解的速率。

平版印刷油墨在靠近窗玻璃的地方会被强烈的太阳光照射, 而夏季在汽车仪表盘位置的油墨所处的环境则更加苛刻, 这些环境中高紫外线、高温和高相对湿度。本研究的曝晒地点选在佛罗里达州和亚利桑那是因为这两个地方可提供这种严酷的曝晒环境。

GATF选用了8种颜色的被广泛应用的平版印刷油墨: 黄#1、黄#2、黄#3、品红、紫罗兰、橙色、红色和紫色。试验使用Little Joe印刷打样机来确保印刷品的典型胶印膜厚。油墨印在标准的、有涂层的、70磅重的纸上。每一种颜色的样品都将进行所有类型的暴露测试。

油墨试样在佛罗里达州和亚利桑那州的Q-Lab老化研究服务中心完成测试。所有试样都安装在带玻璃框的曝晒架上, 曝晒角度为45°朝南, 为的是最大限度的接收透过玻璃的太阳光。

之所以选择透过玻璃的日光光谱, 是因为它可以模拟最严苛条件下的室内光照条件。

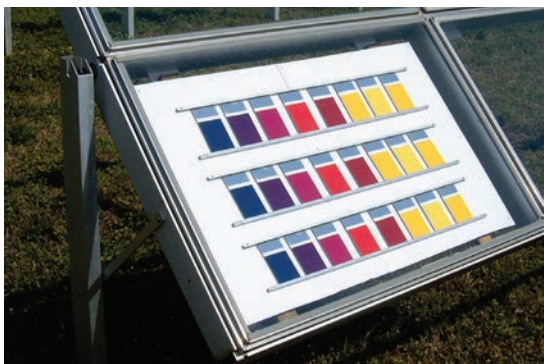
分别在曝晒前、曝晒过程中和曝晒结束后测量油墨试样的颜色变化。根据ASTM D2244标准, 使用分光光度计来测量颜色。每个试样的颜色变化都以 ΔE 的值来表示。



平版印刷油墨在极端环境下的耐光性测试由位于佛罗里达州和亚利桑那州的Q-Lab老化研究服务中心测试机构提供。



GATF的技术人员为耐光性测试选用了8种不同颜色、具有代表性的平版印刷油墨, 它们在测试中将被印刷在同种标准衬底上。



油墨试样安装在位于佛罗里达和亚利桑那曝晒场的ASTM G24带玻璃框的曝晒架上。

注：认可实验室可对油墨进行视觉颜色评估或进行仪器测量颜色评估。

佛罗里达和亚利桑那曝晒

佛罗里达曝晒测试在每个季节开始：秋分 (9/21/02), 冬至 (12/21/02), 春分 (3/21/03) 和夏至 (6/21/03)。亚利桑那曝晒测试则在秋天 (10/7/02) 开始。表1为总光照能量 (即辐照量), 单位为MJ/m², 该数值是在佛罗里达和亚利桑那曝晒90天之后通过各种户外曝晒试验所得的结论。

图1为8种颜色油墨在佛罗里达秋季试验中耐光性能的曲线图。

如图所示, 油墨的耐久相差很大。有些颜料的耐久性很好, 而有些却很差。

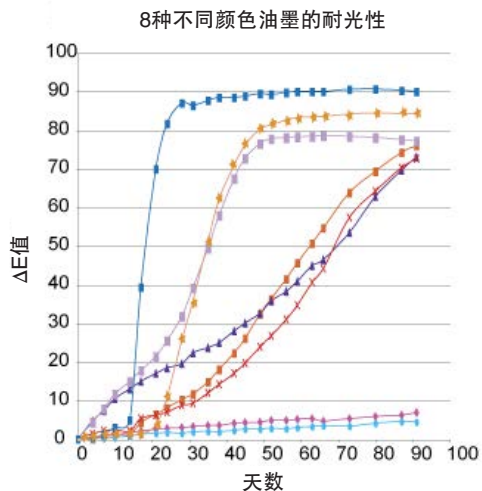


图1-8种不同颜色油墨的耐光性

90天曝晒之后, 大多数油墨试样都严重褪色到无法用于分析。然而在暴露35天时, 油墨试样的耐光性能表现开始拉开差距, 有好有坏。因此, 35天是用来评估油墨在各种户外曝晒试验中耐光性能。

曝晒	天数	MJ/m ²
佛罗里达秋季	90天	1926.17
佛罗里达冬季	90天	1541.13
佛罗里达春季	90天	1252.54
佛罗里达夏季	90天	1081.73
亚利桑那秋季	90天	1611.20

表1：户外曝晒300 - 3000nm波长范围内的总辐照量, 单位MJ/m²

图2为佛罗里达秋季曝晒试验中3种黄色油墨试样的耐久性范围图。

此图非常明显地显示了同颜色的3种不同油墨的耐久性范围。虽然颜色相同, 但它们的耐光性能却表现的完全不同。黄色A的表现明显优于黄色B和黄色C。事实上, 黄色A是一种耐光性好的黄色油墨, 适用于艺术品或者户外应用, 而黄色B和黄色C则倾向于一般的商业印刷。

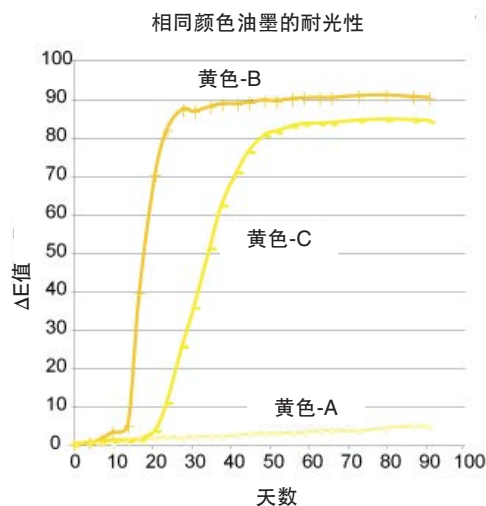


图2-相同颜色油墨的耐光性

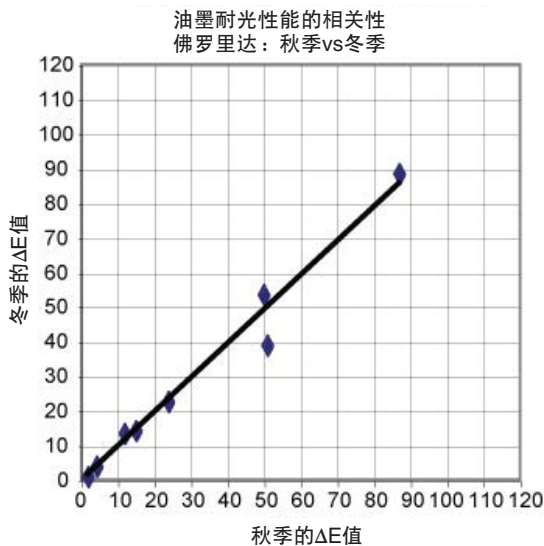


图3-油墨耐光性能的相关性

季节变化的影响

由于自然暴晒的时间很短（35天），在每个季节进行重复测试以确定一年中各个时间段对老化的影响。结果证明在一年内的不同时间进行测试对耐光性能的排序没有影响。各个季节的暴晒试验之间的排序相同，然而老化的速度有一些不同。

为了对每个季节老化速度的不同进行定量，我们对35天暴晒的 ΔE 平均值进行了比较。例如佛罗里达冬季暴晒试验所有油墨的 ΔE 平均值为21，而佛罗里达秋季暴晒试验所有油墨的 ΔE 平均值为44。在这个例子中，秋季试验的严酷程度大约是冬季试验的两倍以上。由于季节导致老化速度不同，不能在一年中的不同时间里比较试样的绝对值。这种不一致性在加速耐光性测试中可能不会出现。表2为佛罗里达不同季节和亚利桑那暴晒试验35天后所有油墨样品的 ΔE 值：

图3为佛罗里达秋季35天和冬季45天暴晒试验对比图。这两个暴晒试验结果的产品性能等级排序*相关性非常好。

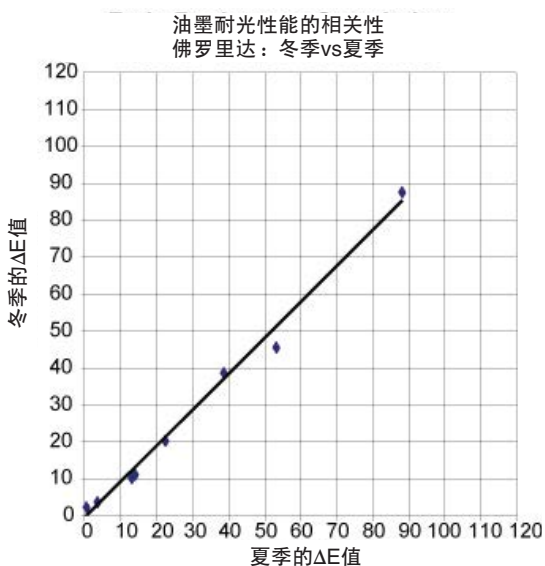


图4-油墨耐光性能的相关性

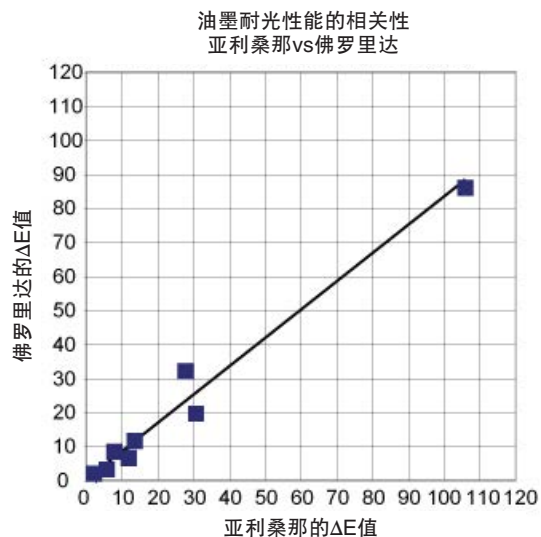


图5-油墨耐光性能的相关性

佛罗里达：秋季vs冬季

等级排序=1.0 *等级排序数值1.0表示等级排序相关性非常好。该数值为0则表示等级排序相关性零乱。数值为-1.0则表示等级排序相关性很差。

图4为佛罗里达冬季45天和佛罗里达夏季35天对比图。同样，两个季节暴晒试验的等级排序也很好，等级排序数值为1.0。

佛罗里达：冬季vs夏季

等级排序=1.0

亚利桑那暴晒

亚利桑那暴晒试验与佛罗里达暴晒试验有很好的相关性。亚利桑那试验说明了快速测试结果可以在佛罗里达试验的相同周期（35天）内获得。

图5比较了亚利桑那和佛罗里达35天的数据。

试样	佛罗里达秋季 35天	佛罗里达冬季 35天	佛罗里达春季 35天	佛罗里达夏季 35天	亚利桑那秋季 35天	ΔE 平均值
黄色A	3.78	0.94	0.56	2.03	2.80	2.02
黄色B	106.82	86.81	88.41	87.36	105.65	95.01
黄色C	89.49	10.90	39.94	38.47	13.20	38.40
品红	5.68	3.29	3.71	3.52	5.82	4.40
橙色	23.23	8.19	11.79	11.02	8.37	12.52
红色	18.21	8.38	12.60	10.06	11.65	12.18
紫罗兰	73.82	31.98	55.18	45.33	28.38	46.93
紫色	33.36	20.44	21.23	20.05	30.94	25.20
ΔE 平均值	44.30	21.37	29.18	27.23	25.85	29.58

表2 不同户外暴晒试验中油墨的 ΔE 颜色变化

亚利桑那vs佛罗里达

等级排序=0.96

如表3所示，所有户外曝晒试验的等级排序数值都非常好（0.90及以上）。

	佛罗里达夏季	佛罗里达秋季	佛罗里达冬季	佛罗里达春季	亚利桑那秋季
佛罗里达夏季	-	0.98	0.93	0.98	0.90
佛罗里达秋季	0.98	-	1.0	0.95	0.98
佛罗里达冬季	0.93	1.0	-	0.97	0.96
佛罗里达春季	0.98	0.95	0.97	-	0.93
亚利桑那秋季	0.90	0.98	0.96	0.93	-

表3 等级排序相关性列表

总结（第1部分）

1. 佛罗里达和亚利桑那玻璃框下曝晒试验提供了一种极端严酷环境，并快速区分具有良好耐光性和较差耐光性颜料的方法。
2. 所有户外曝晒之间相关性很好。
3. 所有户外曝晒都快速、有效。曝晒35天，所有油墨试样的相关耐久性已得到确定。
4. 在此试验系列中，在一年的不同测试时间里，油墨的性能排序是一致的。季节变化仅对老化速度有影响。
5. 户外曝晒对每种油墨的耐光性测试都非常有效。因为有报道称（Tobias和Everett, 2002）油墨打印的衬底可能对油墨稳定性有影响，建议使用多种衬底对油墨进行测试。

第2部分将展示实验室加速测试如何模拟自然曝晒的结果。第3部分将为您提供建议，如何开发一种快速、方便的方法来确定哪种油墨是您所需的。

第2部分

我们整体研究的目的是：（1）对典型平版印刷油墨在处于“最严苛”环境里的耐光性能进行量化；（2）建立合理的油墨耐光性测试基准；（3）确定测试方法，提供快速、简单的方法来评估油墨的性能。

在第1部分中（GATFWorld, 2004年4月），我们展示了在佛罗里达和亚利桑那以“透过玻璃框下的太阳光”方式进行的户外曝晒结果。我们在这些极端气候环境中做曝晒测试的主要原因是为了研究平版印刷油墨处在一个非常严酷的室内环境中是否能保持耐光性。

在第2部分，我们将展示同一组平版印刷油墨试样的实验室氙弧曝晒试验结果。我们有两个目标，想确定：（1）通过对真实退化模式和相对等级排序的分析，研究实验室试验模拟户外真实曝晒的结果如何；（2）与自然曝晒相比，实验室曝晒究竟能快多少？

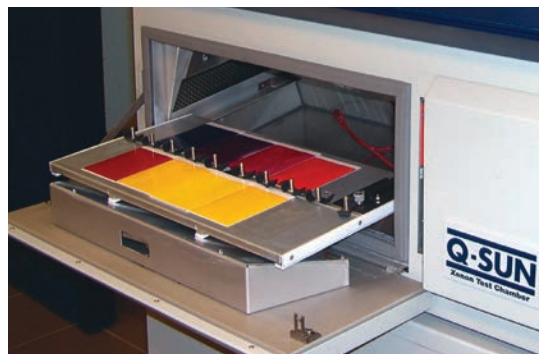
为什么选择氙灯试验？

在历史上，加速实验室测试在油墨行业已经得到应用，以求快速获得测试结果。其中氙灯试验箱已被广泛应用，因为它能通过加强关键环境影响因素而快速得出测试结果，比如光谱、光强、相对湿度（RH）和温度。

对大多数室内产品来说，透过窗玻璃的直射太阳光是最严酷的室内光照条件。柯达公司最近一项研究表明，即使透过窗玻璃的非直射太阳光仍在家中室内照明条件中占主导地位（Bugner, LaBarca等, 2003）。因此，此项GATF/Q-Lab研究使用配备“窗玻璃滤光器”的Q-SUN®氙灯老化试验箱来获得适当的光谱。

试验程序

GATF和Q-Lab老化研究服务中心使用Q-SUN氙灯老化试验箱对油墨试样进行测试。其中一台氙灯老化试验箱是体积较小，价格较低的台式试验箱，没有配备相对湿度控制（Xe-1机型），而另一种是全尺寸、全功能的氙灯老化试验箱，配备有精确的相对湿度控制功能（Xe-3机型）。我们在不同的机型中进行老化试验，看能否得到相同的结果。



GATF和Q-Lab使用Q-SUN氙灯老化试验箱对油墨进行测试



Q-SUN试验箱有台式和全尺寸两种机型

GATF挑选了8种广泛应用的平印油墨颜色作为试样，包括品红色、紫罗兰、橙色、红色、紫色、和三个不同的黄色。试验使用Little Joe印刷打样机来确保印刷品的典型胶印膜厚。油墨印在标准的、有涂层的、70磅重的纸上。每一种颜色的样品都将进行所有类型的暴露测试。

佛罗里达和亚利桑那曝晒总结

在第1部分中，透过玻璃框的太阳光曝晒为油墨试验提供了一个高紫外线、高温和高相对湿度（RH）的曝晒环境。我们在佛罗里达和亚利桑那标准曝晒场对油墨进行曝晒试验，该试验可广泛应用于测试油漆、塑料、纺织品和其它各种材料。

在大约一个月的时间里，这些极端的、真实测试环境可以迅速区分耐光性好的和差的油墨。不同曝晒季节或曝晒地点，测试都快速、有效，而且油墨的相对排序都非常相似。自然曝晒试验中唯一的差异是各种试样性能退化的速度。

氙灯试验条件

Q-SUN氙灯老化试验箱（Xe-1机型和Xe-3机型）
ASTM D3424,方法3

窗玻璃滤光器

辐照度：0.55 W/m²/nm，波长340 nm

相对湿度：Xe-1型试验箱，有效RH = 15%

Xe-3型试验箱，RH = 50%

暴露循环：在 63 ± 3°C(145 ± 5°F)温度下持续光照
测试时间：31天

总辐照量= 1473 kJ/m²，波长340 nm

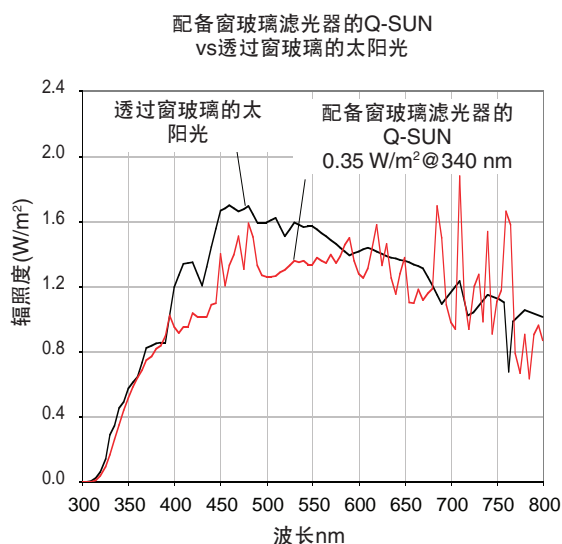


图1-配备窗玻璃滤光器的Q-SUN老化试验箱vs透过窗玻璃的太阳光

Q-SUN老化试验箱中的油墨耐光性

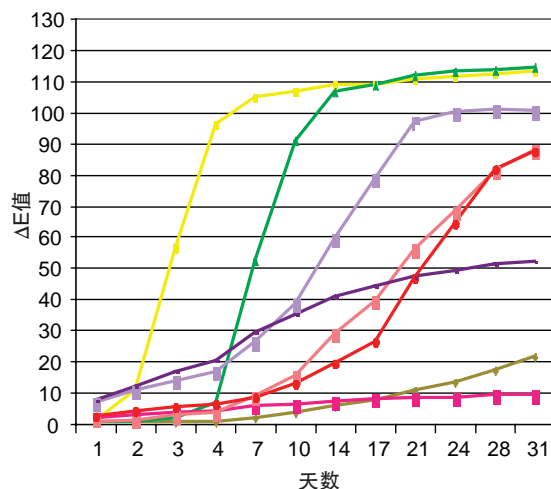


图2 - Q-SUN中8种平版印刷油墨的耐光性

分别在曝晒前、曝晒过程中和曝晒结束后测量油墨试样的颜色变化。根据ASTM D2244标准，使用分光光度计来测量颜色。每个试样的颜色变化都以ΔE的值（总颜色变化）来表示。

Q-SUN试验结果

10天之后，两台Q-SUN氙灯老化试验箱都非常好地区分了优质油墨和劣质油墨。图2为Q-SUN Xe-1试验箱中8种颜色油墨试样的耐光性能。

两台试验箱也都能挑选出耐光性好和耐光性差的黄色油墨。图3为Q-SUN Xe-1试验箱中3种黄色油墨试样的耐光范围。

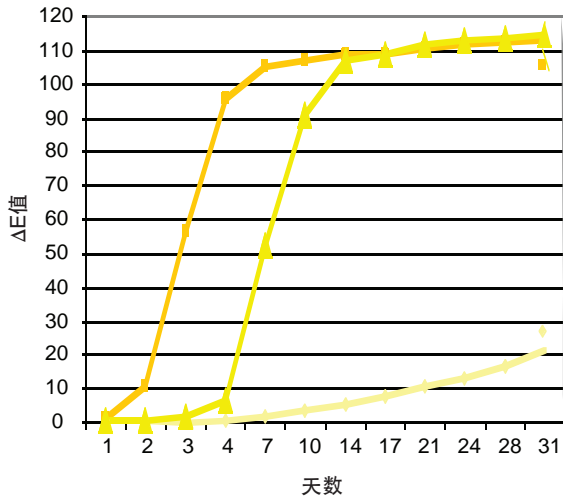
尽管他们最初的外观是相似的，但其中一种黄色油墨的耐光性能比其它的要好很多。这展示了各种油墨配方的耐光范围，同时说明了测试的价值。具有优良耐光性的黄色油墨专用于艺术品或户外应用，而其它的是用于一般商业印刷。

相对湿度

为了确定RH（相对湿度）的作用，同时使用相对湿度为50%（Xe-3-H机型）和有效相对湿度约为15%（Xe-1机型）的两种不同Q-SUN试验箱对油墨进行暴露测试。图4对暴露试验10天后的结果进行对比。

所得数据有非常好的相关性。相对湿度对这些油墨的影响非常小。

Q-SUN中3种黄色油墨的耐光性



相对湿度的影响
ΔE值

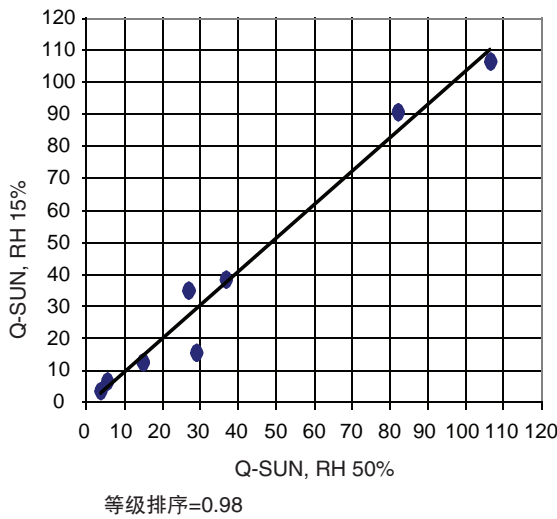


图4-相对湿度对耐光性能无明显影响

Q-SUN与佛罗里达的对比

在第1部分中，我们为在佛罗里达和亚利桑那极端气候环境下的油墨耐光性测试建立了标准。在第2部分中，我们想将Q-SUN试验箱测试结果和户外数据进行对比。图5比较了使用Q-SUN试验箱暴露10天和佛罗里达玻璃框下曝晒35天的数据。

尽管颜色变化 ΔE 的绝对值不相同，但两种暴露试验显示了完美的等级排序*一致性。在这个比较中，Q-SUN试验10天大概相当于佛罗里达曝晒35天的结果。对于这组油墨试样，Q-SUN提供了将近4倍的加速系数。

如表1所示，Q-SUN试验箱测试和户外曝晒结果的等级排序具有非常高的一致性。

*等级排序数值1.0表示完美的等级排序一致性。数值0则表示等级排序一致性比较混乱。数值-1.0表示等级排序相关性为负。

佛罗里达(35天)曝晒的ΔE值vs
Q-SUN氙灯(10天)的ΔE值

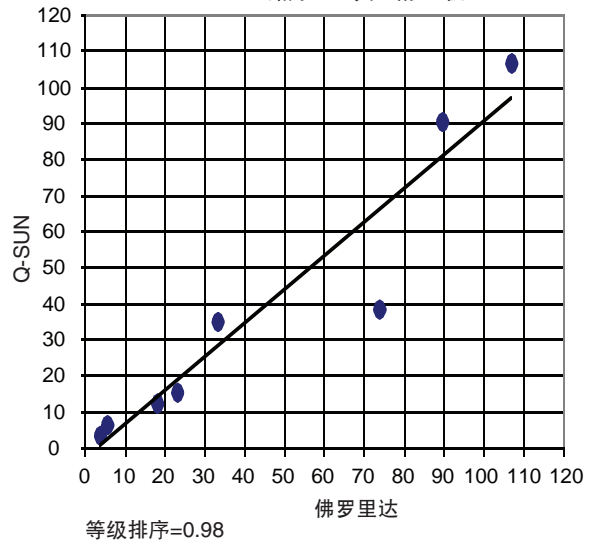
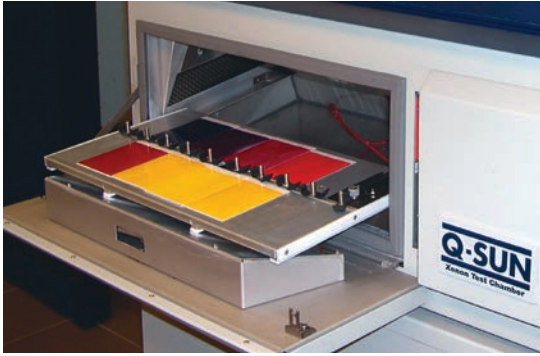


图5 - Q-SUN试验箱显示了与佛罗里达曝晒之间极高的相关性

	Q-SUN 氙灯 老化试验箱	佛罗里达夏季 35天曝晒	佛罗里达秋季 35天曝晒	佛罗里达冬季 35天曝晒	佛罗里达春季 35天曝晒	亚利桑那秋季 35天曝晒
Q-SUN氙灯 老化试验箱	—	0.98	0.97	0.83	0.95	0.88
佛罗里达夏季	0.98	—	0.98	0.93	0.98	0.90
佛罗里达秋季	0.97	0.98	—	1.0	0.95	0.98
佛罗里达冬季	0.83	0.93	1.0	—	0.97	0.96
佛罗里达春季	0.95	0.98	0.95	0.97	—	0.93
亚利桑那秋季	0.88	0.90	0.98	0.96	0.93	—

表1 等级排序相关数据



即使是最小的实验室都能负担像Q-SUN氙灯老化试验箱一类的台式试验设备

结论

第1部分已确定了这些平版印刷油墨耐光性能的真实基准数据。无论在任何季节，佛罗里达和亚利桑那玻璃框下曝晒（35天）后都可迅速区分具有良好耐光性的油墨和较差耐光性的油墨。而在第2部分我们可以得出以下结论：

1. 像佛罗里达、亚利桑那曝晒一样，Q-SUN氙灯老化试验箱也可分辨出表现良好的油墨与表现差的油墨。虽然没有一个加速实验室测试可以完全替代实际的真实环境，Q-SUN氙灯老化试验箱测试却与已有的户外曝晒基准数据有很好的相关性。
2. Q-SUN Xe-1台式氙灯老化试验箱和较昂贵的Q-SUN Xe-3氙灯老化试验箱作出的试验结果完全一致。在这个特定的研究中，RH（相对湿度）对测试结果没有显著的影响。Q-SUN Xe-1氙灯老化试验箱操作简便。
3. Q-SUN氙灯老化试验箱能够快速得到试验结果。仅仅10天时间，Q-SUN氙灯老化试验箱就可再现佛罗里达玻璃框下35天的曝晒。根据每年的曝晒时间不同，加速系数的范围从大约4倍到将近7倍。然而需要注意的是，这些加速系数可能不适用于其它类型的油墨。

更多文献

Bugner, Douglas, et. al, Research & Development Laboratories, Eastman Kodak Company, "Survey of Environmental Conditions Relative to Display of Photographs in Consumer Homes," IS&T Publications 2003.

Lucas, Julie, "Keep Your True Colors: Lightfastness and Weathering Testing," GATFWorld, May/June 2001.

Tobias, Russell H. and Eric T. Everett, "Lightfastness Studies of Water-Based Inkjet Inks on Coated and Uncoated Papers," IS&T Publications 2002.

ASTM D3424, Standard Test Methods for Evaluating the Relative Lightfastness and Weatherability of Printed Matter.

ASTM G151, Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices That Use Laboratory Light Sources.

ASTM G155, Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-metallic Materials.

第3部分

本文是平版印刷油墨耐光性能测试系列的最后一部分。我们的目标是：(1)测试典型平版印刷油墨在“最严酷”真实气候环境下的耐光性能；(2)建立一个合理的油墨耐光性测试曝晒基准；(3)使用标准化的测试方法对油墨的性能进行快速简易的评估。

在第1部分，我们介绍了佛罗里达和亚利桑那极端气候环境“玻璃框下太阳光”曝晒的结果。测试的目的是为了确定平版印刷油墨在一个严酷的室内环境条件下是否能保持耐光性。

在本文的第2部分，我们介绍了通过实验室氙弧灯设备对完全相同的一组平版印刷油墨试样进行暴露测试的结果，发现：(1)通过对真实退化模式和相对等级排序的分析，研究实验室试验模拟户外真实曝晒的结果如何；(2)与自然曝晒相比，实验室暴露究竟能快多少？

在第3部分，我们得出了最终的研究结果，针对如何建立一个帮助您确定哪种油墨真正适合您的油墨试验方案提供了指导和建议。

开发一个行之有效的试验程序

为了设计一个有效的试验程序，得到有意义的试验结果，您必须首先定义您的试验目标。也就是说，您测试您的油墨是不是为了：

- 避免产品失效
- 针对供应商宣称的油墨性能进行验证
- 找到能满足您特定需求的油墨

为了得到这些问题的答案，您需要通过定义以下4个方面对您的产品有一个清晰的了解：

1. 应用 油墨的应用？（比如：一般应用，包装或者文本印刷）
2. 使用环境 油墨是用于室内还是户外？
3. 失效模式 是哪一种类型的产品失效？（比如：褪色、变色、脱层等）
4. 失效终点 如何量化某个配方是否适用？

一旦为您的特定产品定义了以上4点，您应该了解某些有关暴露测试的一般性假设。既然你不可能模拟产品可能遇到的每一种环境，你就应该设计一个“最严酷”的测试环境。选择极端的油墨应用环境，借此建立基准来评估您产品的性能。通过这样的方式，无论您的产品的最终应用环境如何，它的性能表现都能让您满意。

注意：任何最终应用环境都会使油墨产生不同程度的退化。因此，对于使用寿命的预测是极具风险而且相当不可靠的。除了紫外光照，还有大量其他

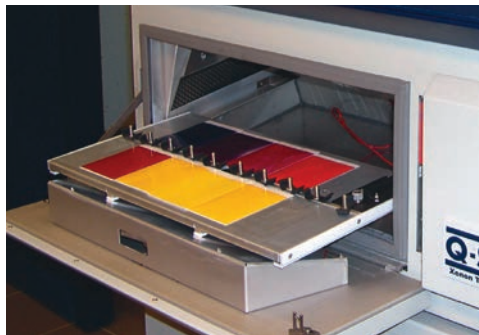
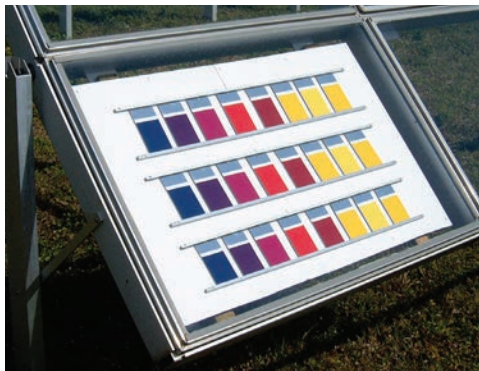
因素也可能造成产品失效：温度、潮湿、湿度和臭氧。这些环境因素可以独立起作用，也可以配合紫外光照起作用。因为这些因素，您不能简单地把试验数据输入一个数学方程来对寿命进行准确的预测。如果您真的需要对产品使用寿命进行预测，您必须在实际的使用环境下进行测试。

汇总

在您已经确定您的测试目标和对测试的一般假设后，您就可以准备开始试验了。

如第1部分所示，选择国际公认的基准曝晒场，如佛罗里达和亚利桑那，在极端而真实的环境下测试您的产品。通过此项测试，您将得到产品的基准耐候数据。

一旦您（1）在基准曝晒场通过测试确定了产品的性能；及（2）确认了您产品的失效模式，你就应该有信心进行加快测试，更快速地得出测试结果。换句话说：“先模拟后加速”。



一个理想的试验步骤包括佛罗里达或亚利桑那基准曝晒场的户外自然曝晒和实验室Q-SUN氙灯加速曝晒试验



户外曝晒非常实惠，它能为您提供真实的曝晒数据。

针对产品耐光性的实验室加速测试最好使用一个类似Q-SUN氙灯老化试验箱的测试装置来实现。合适的过滤氙灯可以良好地模拟透过窗玻璃的太阳光的光谱。这种光谱通常是室内最重要的照明条件。氙灯试验装置通过加速关键环境因素，如光强、相对湿度和温度，来为您提供更快速的试验结果。

在进行了多次氙灯试验并得到产品的耐候数据后，您可以使用统计方法来分析这些数据，例如等级排序，以评估产品间的相对性能（如“对于某些条件A的表现比B要好”）。

此时您就可以确定自然曝晒和实验室暴露试验结果之间的一致性。一旦建立了一致性，您就可以使用实验室加速测试所得到的数据来评估产品性能。这种方法可以帮您选择正确的供应商或产品配方。您应当定期进行更多的自然曝晒，用以和实验室暴露测试结果进行对比，确认实验室暴露测试结果的准确性。

结论与建议

理想的试验步骤包括：

1. 户外曝晒 在佛罗里达和亚利桑那基准曝晒场进行测试。
2. 实验室加速试验 使用Q-SUN氙灯老化试验箱进行测试，能够提供对透过窗玻璃的太阳光最好的模拟。
3. 标准试验程序 使用标准试验程序，如ASTM或ISO已被认可的试验方法，对产品进行评估。这些标准文件能够帮助卖家和供应商之间建立互信。

举个例子，对于平版印刷油墨的耐光性试验就有一个标准试验程序（ASTM D3424）。这个试验程序指定必须进行户外玻璃框下曝晒和实验室加速氙灯试验两种测试，来评估油墨性能。

4. 试验、评估、再次试验 您应该进行自然曝晒和实验室加速两种测试。自然曝晒提供真实曝晒数据，而加速测试可以快速给您答案。

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

LX-5064 CN Reprinted with permission from the 2004 *GATFWorld*. Copyright 2004 by the Printing Industries of America/ Graphic Arts Technical Foundation (www.gain.net). All rights reserved.

Q-Lab, the Q-Lab logo, QUV, Q-SUN, and Q-PANEL are registered trademarks of Q-Lab Corporation.