

## 塑料的耐候性测试



图 1 Q-Lab 所研制的 Q-Rack 便携式室外曝露架系统。使用者可以通过该套工具获得包括屋顶在内的所有地方的老化数据

对用于建筑、汽车等领域需要常年暴露于户外环境中而遭受阳光、雨水等侵蚀的塑料制品，进行耐候性测试是十分必要的。因为通过测试可以预测产品的寿命，找出所用材料的不足，然后再加以改进，从而最终使产品的耐老化性得以完善。本文分别介绍了三种关键的老化测试方法，并阐明了它们的优缺点和适用性。

塑料在建筑产品中越来越广泛的应用，以及人们希望汽车部件能够更少地被喷漆，增加了对于可靠预测塑料光稳定性及耐候性技术的需求。虽然实验室的加速老化设备以及室外加速测试方法都是可以相对快速地为研发部门、质量控制部门以及材料认证部门提供测试结果的工具，但是专家们坚持认为自然条件下的室外测试才是最为准确的方法，即使这需要花费很多的时间。

将塑料暴露于热的、冷的、潮湿的以及紫外线照射的环境中时，会发生颜色变化、表面龟裂、粉化以及脆化等现象。如果不能采用适当的测试方法来了解这些因素对塑料的影响，那么将会导致产品失败、承担担保费用及引发诉讼案件，并且会对品牌声誉造成影响。

根据来自 Intertek 塑料技术实验室、Bodycote 测试小组以及 Atlas 材料测试技术公司、Q-Lab（专门从事制造加速老化/紫外测试设备以及提供测试服务）等公司专门从事老化测试服务的专家的说法，要想避免上述情况的发生，需要采取两种防范措施：一是，生产商需要了解在老化过程中存在的影响因素有哪些，以及这些影响因素是怎么相互作用的；二是，

生产商应当将树脂和添加剂考虑在内，仔细地设计实验方案来评估老化条件、持续时间以及材料组成等对材料性能的影响。

### 真实与模拟

老化测试的三个关键方法包括：将材料长时间自然曝露于室外、实验室加速老化以及室外加速老化。在很多情况下，标准测试方法都是按照一定的规则或者工业标准（例如：ASTM、SAE、ISO）来确定的。同时，生产商通常也需要在决定是否投入生产之前考虑试样测试时间以及测试成本。



图2 图为 Atlas 公司的新型 SolarClimactic 室内老化测试单元。该系列设备可以进行较大规格产品的实验室加速测试。其中最大的型号可以容纳整个汽车保险杠或者仪表板

专家认为“理想”的测试方法是将材料曝露于目标环境中，但是从时间和物质条件上考虑，这样做是不切实际的。另一个最好的方法就是根据产品的终端使用条件选择相应的曝露场所和方式，在“基准”气候条件下（例如亚利桑纳州或者佛罗里达州）进行测试。但是这也需要至少一年、通常 2~5 年的时间去完成。

Atlas 材料测试技术公司老化科学方面的高级顾问 Allen Zielnik 认为：第三种最好的方法就是使用真正的日照和天气条件，另外加上镜子和其他设备来加强对样品的曝露处理，从而完成室外加速测试实验；第四种方法则是在室外实时曝露之后，再进行实验室加速测试。很多学者都提倡这个方法，并且已经在汽车、建筑等特定市场中广泛使用。

Allen Zielnik 认为还有一种选择就是对样品仅仅进行实验室加速测试，但是这样有可能造成所有的环境因素和材料都使用单一的测试标准，从而使结果出现误差。

绝大多数的老化损害都是由光、热以及潮湿环境所引起的。而这些因素通常会协同作用以造成大于任一因素单独作用所引起的损害。由于塑料在热带/亚热带气候条件以及沙漠环境中的性能最差，所以在全球范围内人们一般以上述两种气候条件作为老化测试的基准。类似于 Q-Lab、Atlas 以及 Bodycote 这样从事老化测试服务的公司，通常会选择靠近迈阿密、佛罗里达的地方作为室外曝露测试的场所，这是由当地强烈的日光、常年高温、高年均雨量以及高湿度所决定的。这些公司有时候也会选择具有高温、干燥、强紫外线照射、温度波动范围大的菲尼克斯州、亚利桑那州附近的地方作为测试场所。将塑料放在上述强化的“自然”环境中所进行的测试相当于在更温和的环境中所进行的“加速”测试实验。例如，汽车公司就可能会考虑在佛罗里达州进行一年老化测试实验，因为如果在美国北部的话，该测试就需要两年的时间。

加速老化实验通常是塑料曝露于强光、强热以及模拟雨水喷洒的可控制循环过程中进行的。Zielnik 认为，通常来讲，将塑料放在“基准”环境中进行室外曝露测试需要花费 12 个月的时间，而如果通过加速老化测试来进行模拟，那么只需要花费 1/6 的时间。例如，如果在迈阿密室外进行测试的话，需要 5 年的时间，但是如果进行实验室模拟老化的话则只需要 7.5~10 个月。

然而上述测试手段却无法加速所有的老化条件。这就好比我们可以通过使用 1 个月的高强度的紫外线照射来模拟 6 个月的普通室外照射，但是却无法将温度或者湿度通过扩大 6 倍的方式来模拟相应的实验结果。每种塑料的老化速率在玻璃化转变温度(Tg)附近是有很大区别的。Zielnik 认为，许多加速测试方法（例如使用氙弧灯）中的温度都是接近许多塑料的玻璃化转变温度的，而这一点对于测试来说是非常危险的。工业专家认为，没有任何一种加速测试方法可以精确预测塑料在真实环境中使用时所表现出的性能，而这些可控测试方法只是可以为材料性能的终端认证能否通过提供相对有价值的参考。



**图 3 图为 Q-Lab 的新型 Q-Trac II 自然光聚集器。与传统的室外曝露架相比，该装置通过镜子使得试样受到更为集中的阳光照射。该装置使佛罗里达州 5 年的户外曝露等同于亚利桑那州 1 年的户外曝露**

Zielnik 认为测试方法的选择是和产品的预期寿命有关的。“对于要使用 20 年的屋顶用膜就不能使用和测试眼科镜头或是其他包装相同的方法进行测试，它需要使用一种不同的方法来进行测试，从而看其是否满足各种预期要求。”

专家建议，对于要在室外使用的耐用品，应该通过长期的室外测试获得相应的加速老化测试数据来证实产品的性能。虽然理想条件下的“自然”老化测试是不现实的，但是专家们提倡在不同测试条件下至少采用两种加速测试实验，也就是使用两种不同的氙弧测试条件：一个氙弧检测器和一个荧光紫外检测器；或者一个氙弧装置和一个室外加速老化装置。

汽车工业通常在等待长期（2~5 年）室外测试结果作为最终结果的同时，使用短期加速老化的结果作为选择材料的临时基准。例如通常认为，对于一些材料而言，3~4 个月的加速测试结果与 2 年的迈阿密室外测试结果是差不多的。而这个方法也被包括建筑材料行业在内的其他行业所认同。

对于消费品包装而言，例如医药品、家庭清洁用品、个人护理用品及软饮料的包装，加速老化测试通常需要 24~96h 去完成，甚至会需要 5 天的时间；对于建筑材料而言，例如屋顶、墙板、铁路侧线以及窗口剖面等，加速老化测试则需要花费 3~6 个月甚至更长的时间。

### **实验室加速测试**

室外自然光照射测试是实际的、易操作的，也是至今为止最便宜的测试方法，每个试样在基准地点进行测试所需的月成本在\$1 以下。然而许多公司却没有办法做到为测试结果而等待若干年的时间。与真实气候条件的不可控制以及多变性不同，实验室加速老化测试不单可以提高测试的速度，以及根据要求复制老化的条件，而且还可以保证实验的精确度和可重复性。

最为常用的室内加速老化测试器是氙弧仪器以及由 Q-Lab 所率先开发的荧光紫外装置。诸如 Atlas 的 UV-2000 装置和 Q-Lab 的 QUV 装置都是基于短波紫外辐射原理，因为短波紫外线被认为是对曝露于室外的塑料造成严重损害的首要因素。其特别设计的荧光灯可以复制波长在 295~365nm 范围内的太阳光对塑料造成的损害效果。将试样置于密封的盒子中，通过强制冷凝的方法来提供湿度，并且通过加热器来控制温度。

Atlas 生产的 Ci4000、Ci5000 系列氙弧老化仪以及 Q-Lab 生产的 Q-Sun Xe-1 或 Xe-3 氙弧装置，则都是采用氙弧灯复制紫外、可见以及红外整个光谱。这些装置通过使用玻璃滤光器减少多余的辐射以及热量从而更好地模拟自然光，滤光器则以透过短波紫外线的多少而具有多种规格。这些氙弧测试装置通过加热装置以及水冷却装置来控制温度，通过直接水喷洒装置和湿度控制器来模拟湿度效果。

荧光紫外测试仪被公认的一大好处是它们的冷凝装置可以对湿气侵蚀进行最为逼真的模拟。在氙弧装置中，当相对较冷的水喷洒在相对较热的测试样本上时，试样就会冷却下来，这样可能会延缓塑料的降解过程，这一点可以算作水喷洒装置的某种局限性。然而，水喷洒装置对于模拟热量冲击和机械侵蚀却是非常有用的。为此，可以为荧光紫外测试仪配上水喷洒装置。同时在一些测试条件下，也可以对氙弧装置通过程序设定的方法而使之达到与荧光装置相同的冷凝效果。

Atlas 的 Ci4000、Ci5000 系列氙弧设备是将试样置于旋转鼓上完成测试的；Q-Lab 的 Q-Sun 氙弧测试器以及 Atlas 的小型 Suntest 空气冷却装置则是将试样固定平铺排列而进行测试。

不同的加速老化设备的价格是有很大差别的。荧光紫外测试仪的价格通常在\$10000~14000 之间，而类似于 Atlas 的 SunTest 和 Q-Lab 的 Q-Sun Xe-1 的低端氙弧测试仪的价格一般在\$12000~15000 之间。它们主要用于测试在限定的湿度条件和温度条件下，少量试样（通常在 50 以下）在室内的耐光性能。医药品、软饮料、漱口水以及织物清新剂的外包装的光降解性能和颜色变化都是通过上述装置进行测试的。



图 4 Atlas 的 Ci4000 型氙弧老化仪

最为广泛使用的氙弧测试仪可以对曝露湿度和温度进行更好的控制，而这类测试仪器的价格通常在\$30000~100000 之间。这些更大的测试仪器可以测试更多更大的样品，并且有着更为精确的控制系统和传感器，可以对光照、温度、湿度进行更好的控制。Q-Lab 的 Q-Sun Xe-3 可以同时测试 50~100 个 51×102mm 的样品，而 Atlas 的 Ci4000 以及更大的 Ci5000 老化仪则可以同时测试 65~111 个 76x152mm 的样品或者同时测试 185~333 个 51×76mm 的样品。

实验室加速测试的服务成本也是千差万别的。荧光紫外测试的月花费大概在\$800~2800 之间，而具体的价格则由样品的数量所决定；氙弧测试的价格是由样品数量以及所进行的测试是标准测试还是定制测试所决定的。例如，5~10 个样品的月花费会在\$1200 左右，而如果是对大量试样进行为期 3 个月的测试时，月花费则在\$25000 左右。

那么在什么样的情况下，自己购买加速老化测试仪会比使用测试服务更合适呢？Zielnik 认为，只有当你的样品所需要的测试时间达到 1 年时，购买测试装置和使用测试服务所需要的花费才是相同的。

#### 室外加速老化试验

室外加速老化测试是由菲涅尔（Fresnel）阵列日光集中系统所完成的。该系统由一系列的巨型并可机械控制的镜子所组成，这些镜子可以一年四季从早到晚地追随太阳的运动，并且将日光反射在样品板上。20 世纪 60 年代，Atlas 公司老化服务集团的 DSET 实验室使用他们的 EMMA（Equatorial Mount with Mirrors for Acceleration，镜反光加速）以及 EMMAQUA（Equatorial Mount with Mirrors for Acceleration with Water，带水的镜反光加速）设备率先采用这种方法进行测试。现在，Atlas 公司正在使用他们的第三代 Emmaqua 系统并且加入了温度和湿度控制部分。2007 年，Q-Lab 则推出了 Q- Trac II，它的性能和第一代接近，但是容量却是第一代的两倍。

由于这些装置只可以在沙漠环境中正常使用，因而两家公司通常都在他们各自的亚利桑那州实验地点使用这些装置。他们通过将试样曝露于有风力和水作用的室外环境中完成测试。Atlas 的 Zielnik 指出，在更好地控制曝露因子方面，实验室加速测试显然优于室外加速测试。

使用室外老化测试仪可以测试一些大面积试样，例如汽车尾灯、住宅用小型照明灯、防弹车及飞机的安全玻璃，以及玻璃纤维复合物。由于这些测试系统可以将塑料部件置于玻璃下方，所以也可用来测试汽车的内饰件。在室外加速测试服务中，一块 76x152mm 大小的试样的月测试成本超过了\$55。

## 自然老化

老化测试服务是根据材料或产品的应用范围，选择不同的曝露方法和装置来完成室外测试的。对于在使用过程中会经受大量日光照射的样品，通常会选择将其对准赤道方向进行照射而完成测试。测试试样所接受的日光辐射量的多少是由试样的曝露角度所决定的。在一个典型的 1.5×3.7mm 的曝露架上既可以放置实验平板也可以放置 3D 产品。

“开放式非支持曝露”是一种直接的老化测试方法，通过将试样末端固定在架子上，来模拟大多数材料所处的完全曝露在周边空气中的应用环境；“支持式曝露”也是一种直接的老化测试方法，是将试样固定在纸质贴面的夹板底层，以模拟只是其中一面曝露在外的终端制品的应用环境，这些制品包括屋顶用膜和汽车部件等；“玻璃下曝露”是将试样置于玻璃下进行测试，这是一种间接的老化测试方法，主要用来模拟测试汽车内部、家庭用地毯以及室内装潢用品等并不是直接曝露在室外环境的产品。

在美国，塑料行业所使用的曝露架主要是由 William Harrison、Hialeah、Fla. 以及一些其他公司生产的，它们的价格大概在\$1300~2000 之间。

由于许多公司都在室外有自己的曝露地点或者在他们自己楼层顶部就可以进行测试，所以 Q-Lab 向市场投放了一种非常类似于 Harrison 架的 Q-Rack 便携式曝露架系统。据报道，这套工具可以达到 ISO、ASTM、SAE 对于室外测试的要求。

Atlas 公司现在有一种新的、定制的、“即插即用”的便携式老化数据收集仪。该仪器被称为“Atlas 老化工作站”，可以帮助客户根据自己的测试地点或者产品可能使用的气候条件收集数据。该装置的价格在\$25000 以上，标准配置包括：1 个工作台、紫外和全光谱辐射计、数据收集系统以及日光电池组。另外还有一些可选装置，例如温度和湿度探测器、雨量测量表以及可以测定风速和风向的装置。

### 使用者的选择

Q-Lab 的 Roberts 指出，研发部门以及质量认证部门经常使用荧光紫外以及氙弧测试仪来评估材料性能。二者都可以达到 ASTM、ISO 或是 SAE 标准。通常来讲，荧光紫外测试更适合测试物理性质的变化，而氙弧测试装置则更适合测试颜色的变化。

Roberts 认为荧光紫外测试仪可以更好地测试老化作用对样品的拉伸性能和冲击性能的影响。同时，该仪器也适用于木塑复合材料的测试。Roberts 指出，木塑材料的最佳老化测试标准是 ASTM6662，该标准规定使用带有 UVA-340 长波紫外灯的荧光装置，而利用 UVA-340 长波紫外灯可以最大程度地模拟日光光谱的短波部分。而且标准还规定测试装置必须具有冷凝装置，因为这可以很好地模拟室外由于露水所造成的潮湿状况。

Bodycote 公司工程技术部的技术经理 Rocco Rizzo 很欣赏荧光紫外测试仪在检测整块木塑板材以及 PVC 管材和型材性能时所表现出来的优良性能。同时，Rizzo 也看到了市场对于采用氙弧装置进行木塑材料的紫外光曝露和热冲击实验的需求正在增长。

Intertek 塑料技术实验室的总经理 Jim Galipeau 指出，绝大多数的客户都要求使用可对辐照进行控制的氙弧测试设备，但是他的公司有时也会为了可以对两种材料进行快速的比较而使用荧光紫外测试仪。

氙弧装置更适合用来测试塑料颜色的变化，特别是对于塑料中的有机颜料和着色剂而言更是如此。因为它们对紫外、可见以及红外光谱特别敏感。从事有机颜料和着色剂生产的 Ciba 公司的技术人员 Joe Fay 表示，氙弧老化测试仪已经广泛地被用于新化合物的研发以及提高现有添加剂的性能。但是他同时提请人们注意，在进行加速老化测试时，你必须小心谨慎，同时你必须结合好的经验和判断以及户外曝露产品制造的专有技术，去解释得到的数据。

Ampacet 公司颜料和添加剂实验室的技术服务经理 Phil Pickett 同时使用荧光紫外装置以及氙弧装置，结果发现弧测试装置尽管需要较长的测试时间，但是数据却可以更好地与自然条件下的室外老化结果相吻合。同时他还发现在比较一组试样的相对稳定性时，使用两种仪器的测试结果进行分析是非常有用的。

光降解塑料是 **Ciba** 公司和 **Ampacet** 公司研究的一大领域。**Fay** 介绍说：“为对促降解剂的配方进行老化测试，我们先使用氙弧测试仪进行初步测试，以对若干候选配方进行筛选，然后再进行实地测试。”

**Ampacet** 公司的 **Picket** 说，他是通过结合室内加速老化和在不同气候条件下曝露于室外来完成公司光降解母料测试的。这些测试可以为材料的性能提供一个标准，但是通常情况下，仍然存在许多变量可能会影响到最终的性能结果。而这些变量包括阳光、雨量、干燥度以及潮湿程度等等。

为测试汽车产品，**LyondellBasell Industries** 公司（前身为 **Solvay Engineered Polymer**）的 TPO 汽车内外饰件实验室服务经理 **Edmond Lau** 用氙弧装置来评估研发中的材料，以及比较和分析紫外稳定剂和着色剂的使用效果。同时他也在质量控制部门使用该装置来确保产品可以达到 **OEM** 所规定的对于色彩和光泽度的要求。**Lau** 指出：“通常来讲，我们发现由氙弧测试装置得到的数据可以更好地表征材料曝露在日光中的性能好坏。”**Lau** 也会在亚利桑那州和佛罗里达州使用老化服务设施对样品进行长达两年的室外老化测试。

**Bodycote** 公司过去常常在佛罗里达州完成汽车老化测试，不过现在也在亚利桑那州进行。**Bodycote** 公司的 **Rizzo** 说：“我们通常需要 24 个月的时间来完成测试，并且每 6 个月取出一批试样。”他也留意到关于汽车产品氙弧测试的 **ISO** 标准正在朝着使用更长波长光波的方向转变，显然亚利桑那州的曝露与此更接近。

**John Deer** 公司（**Moline, Ill.**）技术创新中心工程师 **Bill Briggs** 指出，他们公司的绝大部分加速老化测试都是使用氙弧装置来完成的。他们使用这些氙弧测试装置基于 **SAE J1960** 标准对汽车外部零件进行测试。而在进行相对比较时，**Deer** 更多的是使用荧光紫外测试仪。“我们并不是把加速测试与室外实验进行直接相关，而是以其作为一种快速审查的工具，来初步确认材料已通过户外测试以及确任材料的性能。”**Deer** 补充说。

**Deer** 公司通过 **Atlas** 公司在佛罗里达州的户外老化服务对其产品进行为期两年的测试，其中每隔 3 个月，他们会将样品取出来以评估其颜色和光泽度的变化。“我们在佛罗里达州所进行的室外测试已经有了很好的结果。同时，我们决定终止在亚利桑那州使用 **Emmaqua** 设备所进行的加速老化测试，因为我们发现使用 **Emmaqua** 进行测试时所产生的光密度和高的环境温度会导致样品扭曲变形，而这种情形与样品曝露在真实环境中是不相符的。”