

QUV 和 Q-Sun

两种有效的加速耐候和光稳定性测试方法的比较

测试的必要性

光照、高温和潮湿是损害涂料、塑料、油墨及其它有机材料的主要原因，这种破坏力包括：失光、褪色、黄变、开裂、脱皮、脆化、拉伸力变弱及分层等。即使室内的光照及玻璃窗透射太阳光都会使一些材料发生老化，例如使颜料、染料等褪色或变色等。

对于多数制造商来说，生产的产品能够耐老化且耐光是极其重要的。加速老化和光稳定性测试设备被广泛用于研究和开发、质量控制和材料检测，这些测试设备提供快速，并且可重复的测试结果。

两种不同的方法

近年来，价格低廉且使用方便的实验室测试设备已经开发出来，包括 QUV 加速老化试验机（符合 ASTM G154 标准）和 Q-Sun 氙灯试验箱（符合 ASTM G155 标准）。

本文研究以上两种测试设备工作原理的差别，包括光谱和潮湿模拟。还将讨论每种测试设备的优缺点，包括购买价格和运行成本。给出针对不同特殊材料或应用，选择哪种设备的建议。



QUV是世界上应用最广泛的老化测试设备。它基于的原理是：对于耐用的材料，短波紫外线引起大部分老化破坏。

Q-Sun氙灯试验箱模拟全光谱太阳光，包括紫外线、可见光和红外线。

历史观点

很显然，对许多产品来说，抗老化和光稳定性是很重要的。测试的最佳方法经常引发争议。几年来，各种各样的方法都被使用过。现在大部分研究者用自然暴露方法、QUV加速老化试验机或Q-Sun氙灯试验箱进行测试。

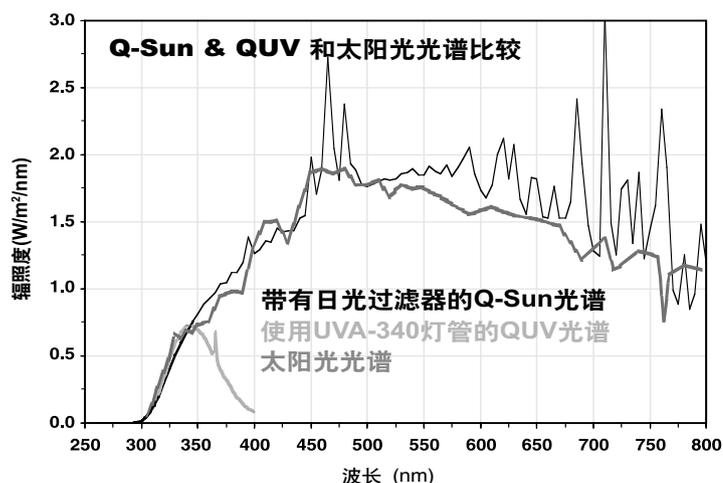
自然暴露测试方法有很多优点：真实、便宜、易于操作。然而，大部分制造商不愿意等上几年时间来观察某种新的改良产品配方是否真的改进了。

Q-Sun氙灯试验箱和QUV紫外加速老化试验机是应用最广泛的加速老测试设备。这两种测试设备的测试原理完全不同。氙灯试验箱模拟全光谱太阳光，包括紫外线(UV)，可见光和红外线(IR)。氙灯光谱在295nm到800nm波长范围内基本上与太阳光光谱相吻合(如图1所示)。



太阳光光谱由不同波长的光线组成，它们决定了户外条件下材料的老化模式。

图 1



太阳光光谱与 QUV 和 Q-Sun 光谱之间的比较。在短波紫外线区域，即从365nm到太阳光截止点，QUV都能极好地模拟太阳光。然而，对于更长的波长它将无能为力。Q-Sun模拟全光谱太阳光，它被用来测试对长波紫外线、可见光及红外线较敏感的产品。

另一方面，QUV并不试图模拟全光谱太阳光，仅模拟太阳光中300nm到400nm波段对材料的破坏作用。它基于的原理是，对暴露在户外的经久耐用的材料，短波紫外线是引起老化损害的最主要的原因（如图1所示）。

测试的最佳方法是什么？这个问题并不好回答。这要取决于您的测试需要，两种方法可能都非常有效。您应该根据被测产品或材料、最终使用条件、您所考虑的降解模式和预算来选择合适的测试设备。

为了弄清Q-Sun和QUV之间的差别，有必要先来更详细了解材料为什么会发生老化。

老化三要素： 光照、高温和潮湿

老化损害主要由三个因素引起：光照，高温和潮湿。这三个因素中的任一个都会引起材料老化。它们往往同时发生作用，造成的危害将大于其中任一因素单独作用所造成的。

光照

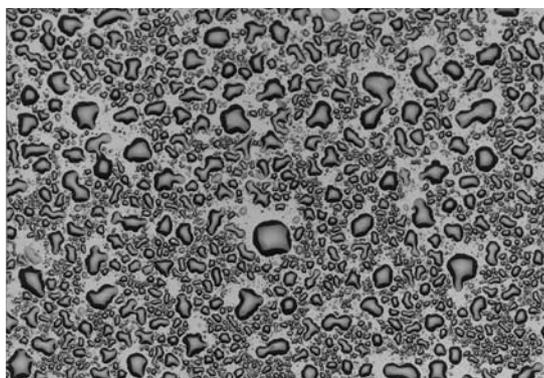
不同的材料对光的敏感性也不同。对于经久耐用的材料，如大多数涂料、塑料、短波紫外线是引起大部分聚合物老化的原因。然而，对于不是那么经久耐用的材料，如某些颜料和染料，长波紫外线甚至可见光也会对其造成严重的危害。

高温

当温度升高时，光的破坏作用也将随之增大。尽管温度不影响主要的光致化学反应，它却影响后继的化学反应。实验室老化测试必须提供精确的温度控制，通常还通过升温的方法来加速老化。



暴露在户外的产品，往往每天有8到12个小时处于潮湿状态。



露水，而非雨水是户外潮湿的主要因素。



在室内，窗玻璃透射阳光和明亮的室内照明都会使材料产生老化。

潮湿

露水、雨水及高湿度是引起潮湿危害的主要原因。我们的研究表明，放在户外的产品每天都长时间处于潮湿状态（平均每天8-12个小时）。研究发现露水是户外潮湿的主要原因。露水造成的危害比雨水更大，因为它附着在材料上的时间更长，形成更为严重的潮湿吸收。

当然，雨水对某些材料的危害也很大。雨水将引起热冲击，比如当一辆汽车在一个炎热夏日温度升高却突然因阵雨而急剧散热，以上所说的雨水会产生应力侵蚀。雨水冲刷引起的洗涤作用也会使材料发生老化，如木材涂层，因为表面老化层被冲刷，继而暴露未老化的里层，进而受到太阳光的进一步老化。

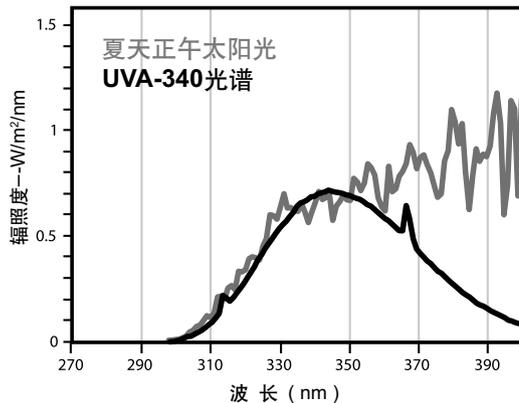
对于室内材料，潮湿的主要作用往往是物理应力。它因材料试图与周围保持潮湿平衡而引起。材料所经受的湿气越大，需要克服的应力也越大。不仅室内产品，如纺织品、油墨暴露于湿度形式的潮湿中，湿度也是户外材料发生老化的一个重要因素。在户外，环境相对湿度(RH)将影响潮湿材料变干的速度。

QUV 和 Q-Sun 以各自不同的方式来模拟光照、高温和潮湿。



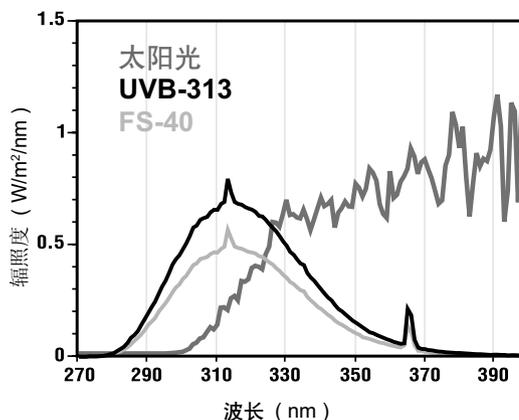
QUV使用荧光紫外灯管来模拟太阳光对经久耐用材料的破坏作用。

图 2



UVA-340灯管在短波紫外线波段可最佳模拟太阳光。

图 3



UV-B灯管利用短波紫外线达到最快加速老化的目的，对特别经久耐用材料的测试或质量控制非常有用。

QUV加速老化试验机

阳光模拟

QUV利用荧光紫外灯管来模拟太阳光对耐久耐用材料的破坏作用。这些灯管在电学原理上与普通照明用的冷白灯管很相似，但它主要发射紫外光而非可见光或红外光。

对于不同的最终使用条件，需要不同光谱进而需要不同类型的灯管。UVA-340灯管在短波紫外线波段可最佳模拟太阳光。UVA-340的光谱功率分布(SPD)在太阳光的截止点到大约360nm范围内与太阳光吻合地非常好(如图2所示)。UV-B灯管(如图3所示)在QUV中也被广泛应用。它们比UV-A灯管引起的材料老化更快，但它们比太阳光截止点更短的波长对许多材料可能产生不切实际的结果。



在仅仅几天或几周内，QUV能模拟在户外几个月甚至几年所造成的损害。

辐照度控制

为了达到精确且可重复的测试结果，有必要控制辐照度(光强)。大多数QUV型号装备有太阳眼辐照度控制器¹。这种精确的光控系统使客户可选择一定的辐照度。利用太阳眼闭环反馈系统，可以连续、自动地控制且精确保持辐照度。太阳眼靠调整灯管的功率来自动补偿灯管老化以及其他因素造成的光强变化。图4显示了辐照度控制系统的工作原理。

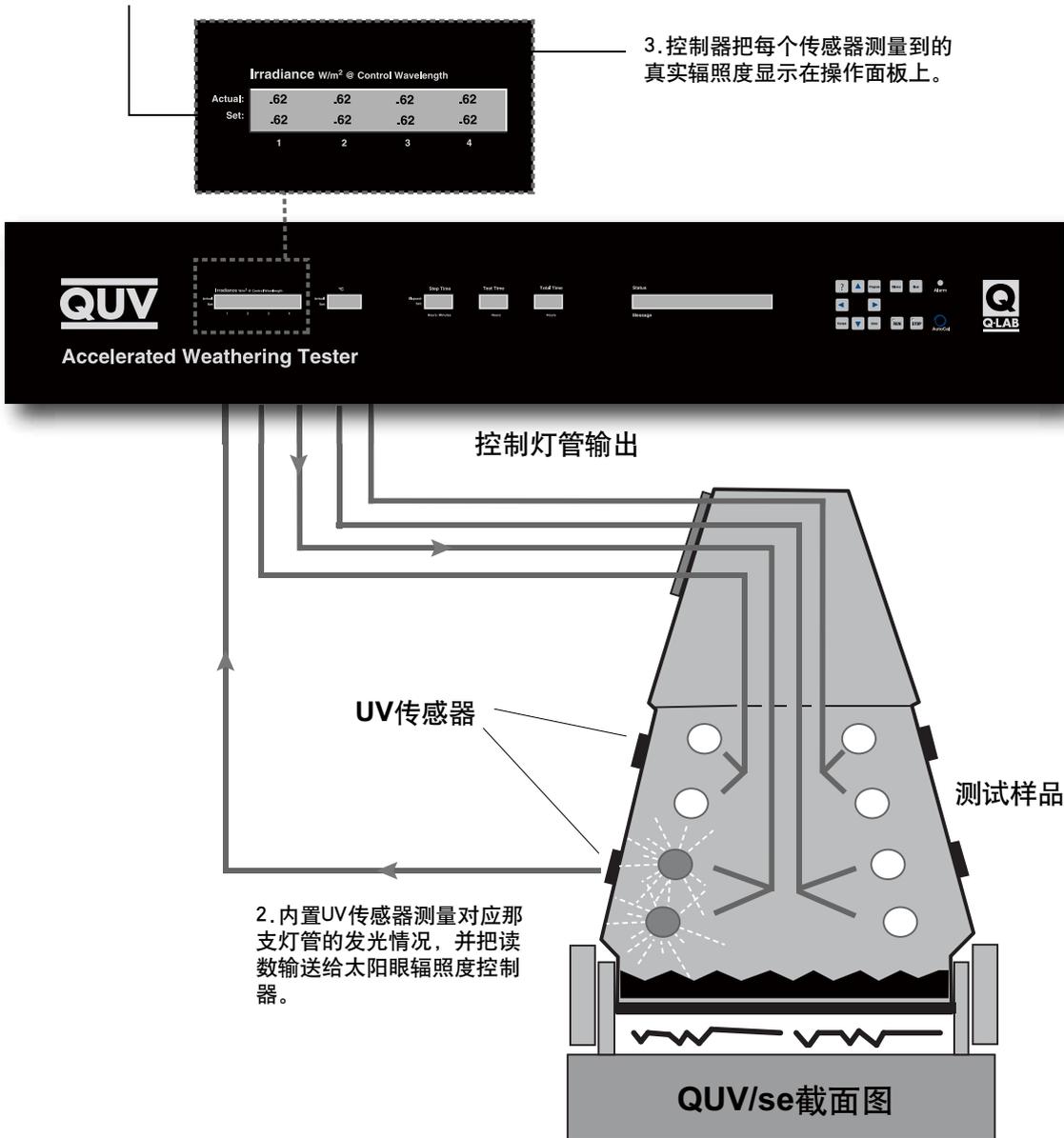
¹ QUV/se和QUV/spray型号上都有太阳眼辐照度控制器。太阳眼辐照度控制比QUV/basic中的人工辐照度控制提供再现性和重复性更好的测试结果。太阳眼辐照度控制同时也减少了维护时间，因为不必再人工轮换灯管或把输出功率低的灯管报废掉。

图 4

QUV 太阳眼辐照度控制

1. 运行某个测试程序时，操作者设定一个辐照度，也就是“设定值”。每个传感器的设定值显示在操作面板上。

4. 控制器比较真实辐照度和设定值，并相应调整灯管输出。



QUV太阳眼辐照度控制系统 装有太阳眼辐照度控制器的 QUV 比人工辐照度控制的设备的灯管寿命更长，且提供再现性和重复性更好的测试，因为这些灯管不必轮换，也简化了维护工作。

QUV 控制

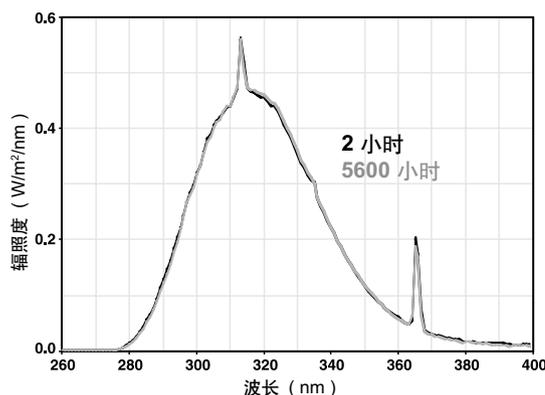
在 QUV 内部，因荧光紫外灯管固有的光谱稳定性，辐照度控制系统被简化。随着灯管的老化，所有光源的输出都会发生衰减。然而，不像大多数其它类型的灯管，荧光灯管的光谱功率分布不会随时间发生漂移。这提高了测试结果的可重复性，也是用 QUV 进行测试的一个主要优点。

图 5 所示为在有辐照度控制的 QUV 中灯管使用 2 小时和 5600 小时之后的光谱之间的比较。新灯管和长时间使用的灯管光谱输出之间的差别微乎其微。太阳眼辐照度控制器用来保持光强。另外，因为紫外灯管固有的光谱稳定性，光谱功率分布几乎保持不变。图 6 所示为相同数据之间的百分比差异。

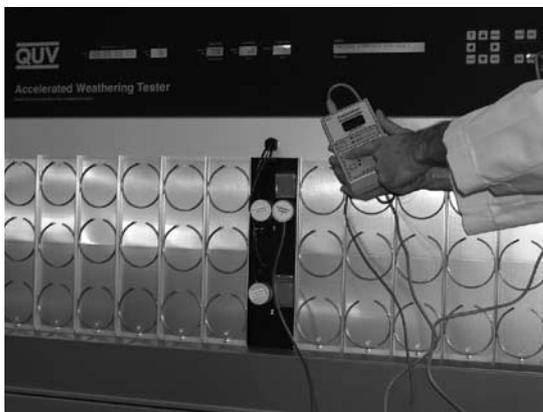
除以上优点外，专利太阳眼辐照度控制系统校准方便，可溯源至 NIST，并符合 ISO 标准。

图 5

QUV 灯管老化



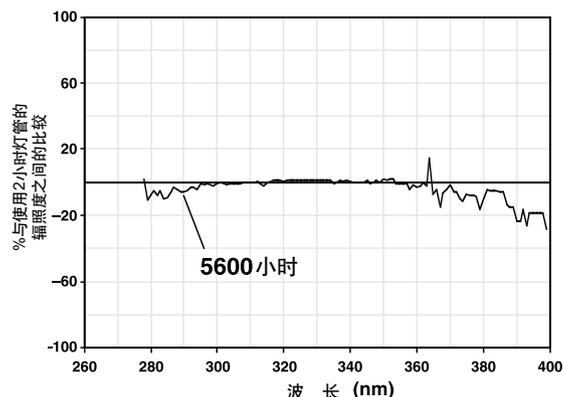
随着灯管老化，所有光源的输出都将衰减。然而，QUV 的太阳眼辐照度控制系统却能通过调整灯管输出来保持光谱稳定。



使用专利 Auto Cal系统和 CR10 进行校准，只需几分钟。可溯源至 NIST，并符合 ISO 9000 标准的要求。

图 6

% 与发生老化的 QUV 灯管之间的不同



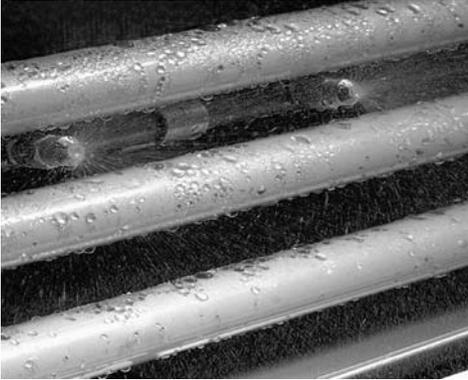
因为紫外灯管固有的光谱稳定性，QUV 的光谱变化非常小。



CR10 辐照度计需每年寄回 Q-Lab 的 A2LA 认证实验室，按 ISO 17025 进行再校准。

QUV潮湿模拟

QUV一个最大的优点是，它能最真实地模拟户外潮湿侵蚀。在户外，材料每天有12个小时处于潮湿状态。因为潮湿主要是由露水引起的，QUV用特殊的冷凝功能再现户外露水潮湿。



可选的水喷淋功能对于屋顶材料和木材涂层的测试非常有用。

在QUV冷凝循环过程中，测试室底部的水盘被加热用来产生蒸汽。在较高温度下，热蒸汽使测试室内保持100%的相对湿度。QUV中，测试样品实际上形成测试室的侧壁，样品的另一面暴露在室内周围的空气中。室内相对较冷的空气使得测试样品的表面比测试室内的热蒸汽的温度低好几度。在冷凝循环中，这一温度差使热蒸汽在样品表面形成液态的冷凝水。（如图7所示）。

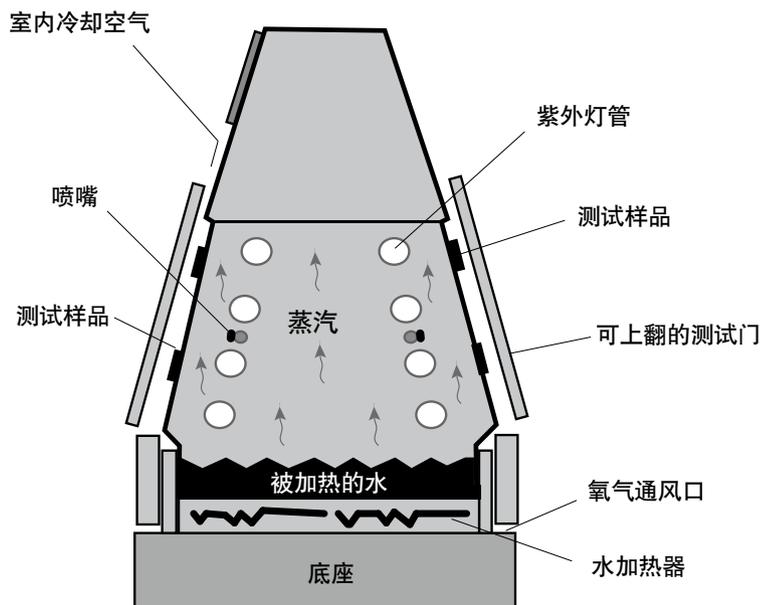
所形成的冷凝物是非常稳定、纯度很高的蒸馏水。这种高纯度的蒸馏水增加了测试结果的可重复性，排除了水的玷污问题，并简化了QUV的安装和操作。

因为材料在户外经受潮湿侵蚀的时间很长，所以QUV要达到相同的效果，冷凝循环过程至少需要4个小时。另外，冷凝过程是在一较高温度（一般50℃）下进行的，这大大加速了潮湿的侵蚀。用QUV的长时间的热凝结循环过程，来模拟户外的潮湿现象比其他一些方法，比如水喷淋、润湿或高湿度都好得多。

除了标准的冷凝功能，QUV还可用水喷淋系统来模拟其它一些损害情况，比如热冲击或机械侵蚀。操作者可设定QUV交替运行冷凝和紫外光照循环，这一模拟与自然老化非常相似。

图 7

QUV运行冷凝循环时的截面图



QUV通过真实的、热凝露系统来模拟户外潮湿侵蚀。

Q-Sun 氙灯试验箱

阳光模拟

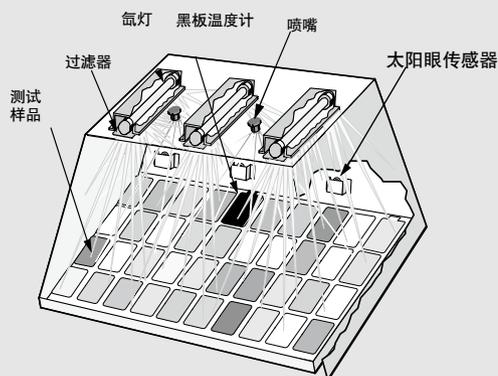
氙灯试验箱被认为可最好模拟全光谱太阳光，因为它们可产生紫外线，可见光和红外线。氙灯光谱受两个因素影响：滤光系统和光源稳定性。

氙灯产生的光谱必须经过滤来减少不必要的光谱成分。使用不同类型的玻璃过滤器可得到不同的光谱。过滤器的使用取决于被测材料和最终使用条件。不同类型的过滤器产生短波紫外线的量不同，这将在很大程度上影响老化的速率和类型。ASTM G155 中定义了三种类型经常使用的过滤器：日光、窗玻璃和紫外延展过滤器。从图8到图10展示了这些过滤器产生的光谱。日光、窗玻璃和紫外延展过滤器又分别有几个不同的类型，详细介绍请参考技术手册 LX-5060。以下图中也展示了从 295nm 到 400nm 之间的短波紫外线波段的光谱的放大图。

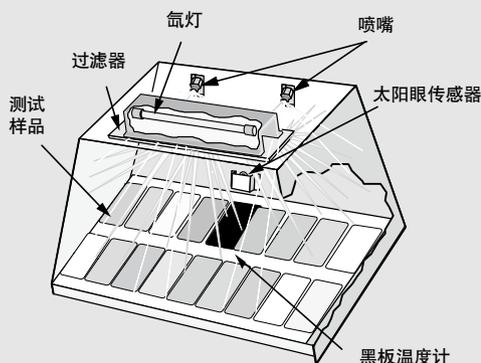


Q-Sun 氙灯试验箱既有全尺寸立式的，又有台式的，以满足您不同测试样品的需求。

平板样品架截面图



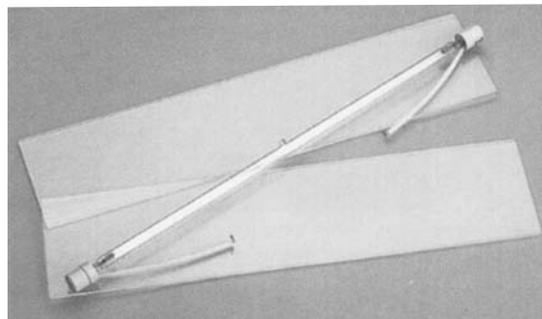
Q-Sun Xe-3 是大尺寸试验箱，安装有3支灯管



Q-Sun Xe-1 台式试验箱使用1支灯管



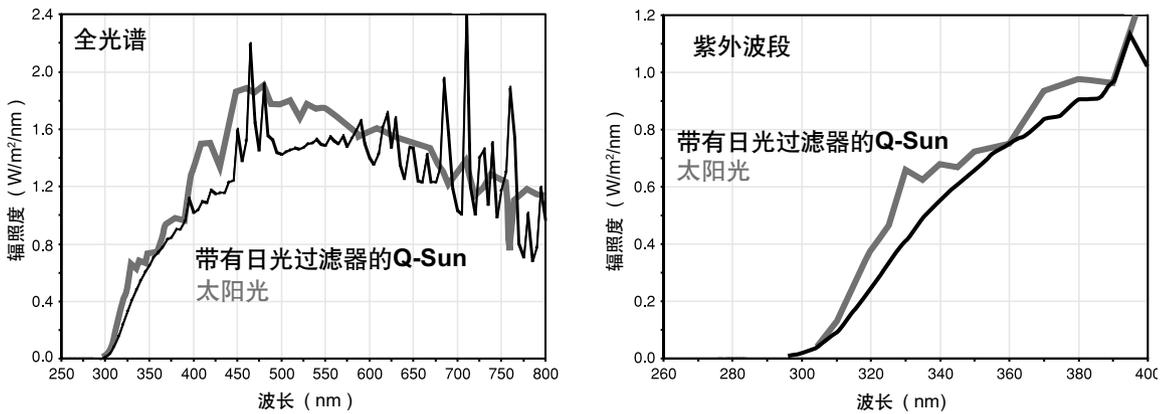
Q-Sun 氙灯试验箱模拟全光谱太阳光，并经过滤去掉不必要的光谱。



Q-Sun 价格低廉、风冷式灯管和过滤器的安装和更换都很方便。

图 8

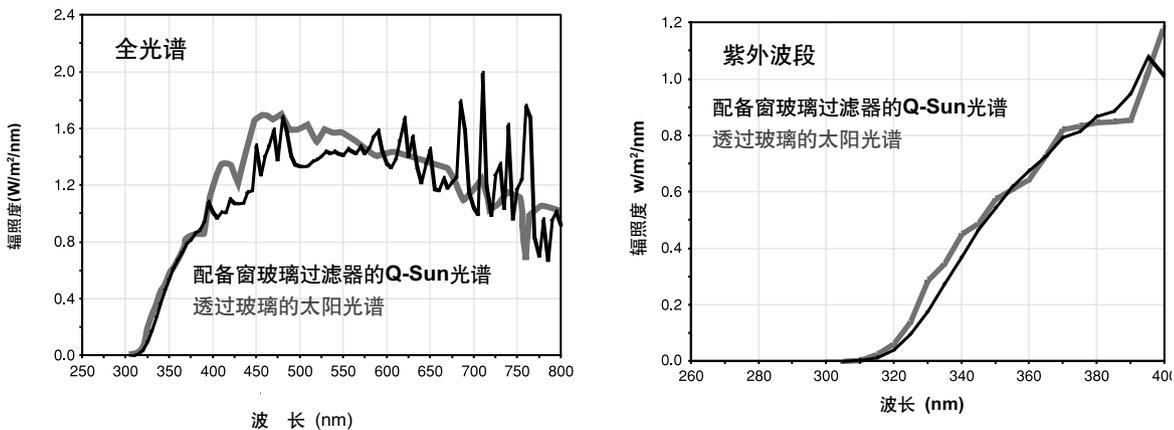
日光过滤器和太阳光



配备有日光过滤器的 Q-Sun 光谱和太阳光谱之间的比较。日光过滤器通常被用来模拟户外暴露。它们能完美模拟全光谱太阳光，并被推荐用来研究与自然老化之间的相关性。

图 9

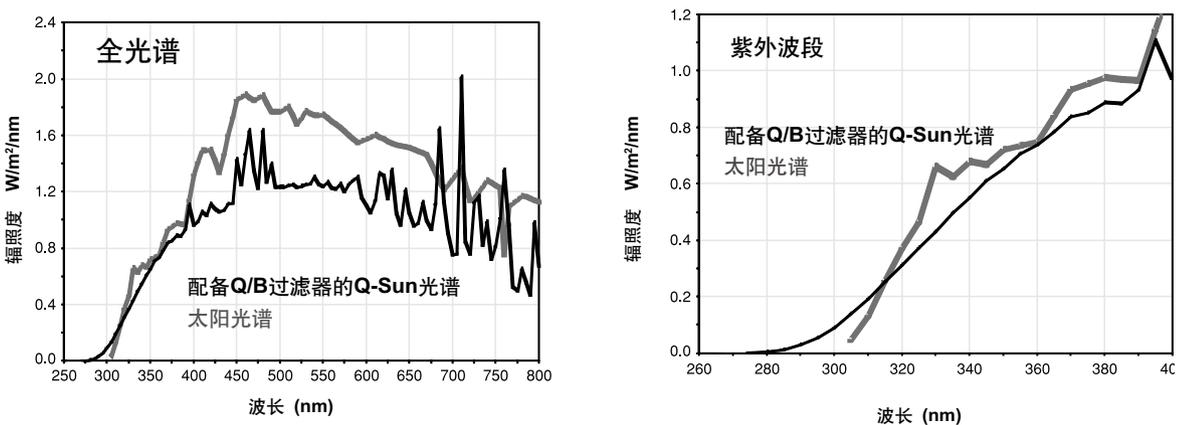
窗玻璃过滤器和透过玻璃的太阳光



配备有窗玻璃过滤器的 Q-Sun 光谱和透过玻璃的太阳光谱之间的比较。用来测试室内光稳定性，这种过滤器产生的光谱与透过玻璃的太阳光谱非常相似。这种光谱在模拟一般照明条件时也非常有用，因为它包含相同的有破坏作用的光谱。

图 10

Q/B 紫外延展过滤器和太阳光



配备有紫外延展过滤器的 Q-Sun 光谱和太阳光谱之间的比较。某些测试标准要求光谱包含短波紫外线，比太阳光截止点 295nm 还短的波长。Q/B 过滤器提供这种光谱。尽管这种过滤器提供不切实际的短波紫外线，但它们往往提供更快的测试结果。

辐照度控制

氙灯试验箱一般装备有辐照度控制系统。Q-Sun 使用的太阳眼系统如图 11 所示。

在氙灯测试系统内，辐照度控制非常重要，因为氙灯本身的光谱稳定性不如荧光紫外线灯的好。图 12 展示了一支新灯管和一支已使用过 1500 小时的灯管的光谱之间的差异。很明显，在长波段，光谱随时间发生明显的变化。然而，当这些数据描绘为随时间而变的百分比变化时(如图 13 所示)，在光谱的短波紫外线波段发生的相似的漂移也看起来很明显。不过，控制器在 340nm 控制点对光谱的维持非常好。

因灯管老化而产生光谱变化是氙灯固有的特性。然而，有些方法可用来补偿这一变化。例如，为了减少灯管老化的影响，可以更加频繁的更换灯管。同时，在 340 nm 或 420 nm 利用传感器来控制辐照度，那么在一个特定区域，光谱的变化量将达到最小。

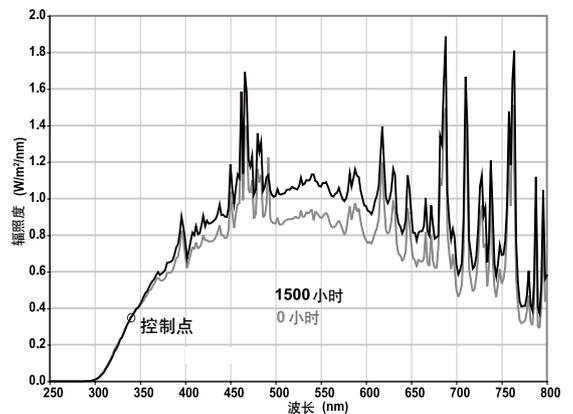
尽管灯管老化会引起光谱漂移，氙灯在抗老化和光稳定性的测试中已被证明是一种合适的且实际的光源。

除了以上优点外，专利太阳眼系统使得校准简单，并符合 ISO 标准且可溯源至 NIST。辐照度校准计和温度计应每年寄回 Q-Lab 的 A2LA 校准实验室按照 ISO 17025 标准进行校准。



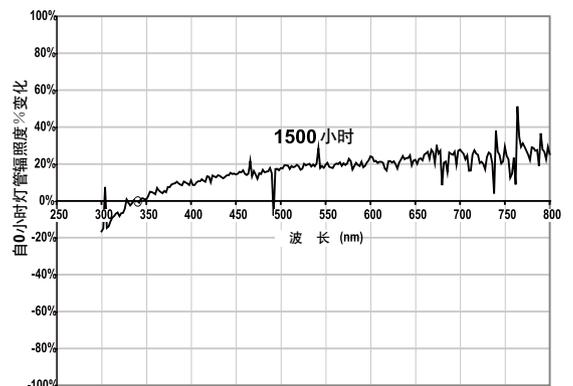
使用 CR20 辐照度校准仪和 CT202 温度校正仪可以方便地进行必要的校准。

图 12



在使用 1500 个小时以后，氙灯的光谱输出发生变化，但是控制器在控制点把辐照度保持地很好。

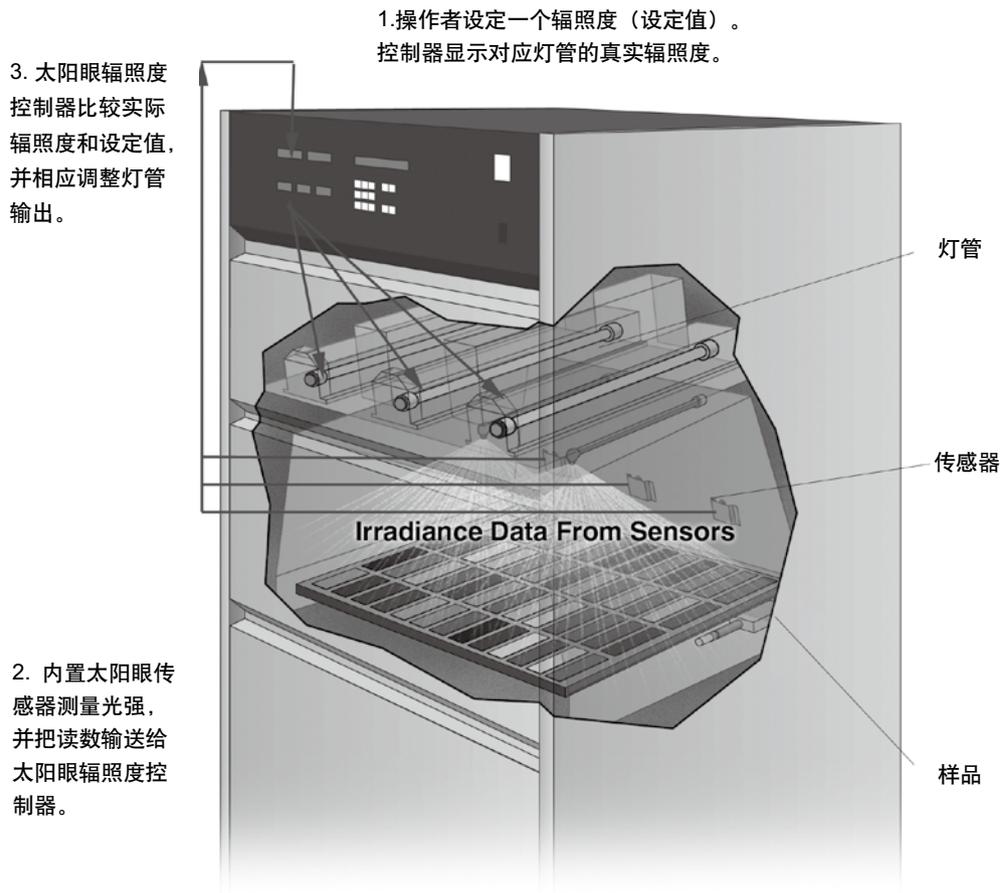
图 13



随着氙灯灯管的老化，不管在短波长还是在长波长，光谱输出都将发生漂移。

图 11

Q-Sun 太阳眼辐照度控制系统



潮湿模拟

大多数氙灯试验箱通过水喷淋或湿度控制系统来模拟潮湿的影响。水喷淋的局限性是当温度较低的水喷淋到温度较高的被测样品上，样品的温度也将随之降低，这有可能减缓老化的速率²。然而，水喷淋在模拟热冲击和机械侵蚀方面做的相当好。在氙灯测试系统中，为了防止水污染，使用高纯度的水用于喷淋是必需的。

因为相对湿度会影响某些室内产品（如一些纺织品或油墨），发生老化的类型和速率，在许多测试标准中都建议控制相对湿度。Q-Sun 氙灯试验箱可选配相对湿度控制功能。



可在光照或黑暗周期运行水喷淋循环。

² 在与之竞争的旋转式设备里，样品被喷淋的时间很短（大概每分钟只有3秒）。因为样品垂直放置，其表面的大部分水都流失了。

实际考虑

当然，无论测试设备如何有效，如果它的购买价格和运行成本太高的话，那它也没有实际应用价值。这就是为什么购买价格、运行成本、维护费用是一些不容忽视的重要因素的原因。在考虑测试设备的优点时也应考虑到这些因素。

购买价格

一般而言，QUV比Q-Sun便宜得多。举例来说，Q-Sun的价格可能是QUV的3倍，当然还要取决于设备的测试容量和功能³。

样品容量

QUV/se和Q-Sun Xe-1的价格差不多，但它们的样品容量相差很大。QUV大约是Q-Sun Xe-1容量的5倍。QUV的容量比Q-Sun Xe-3的也大，Q-Sun Xe-3的样品容量仅为QUV的72%。



QUV的样品容量是Q-Sun Xe-1的5倍，Q-Sun Xe-3的1.5倍。

样品安装

QUV的标准测试样品架可安装扁平的、相对较薄的测试板或样品，尽管也会提供特殊样品架以安装某些类型的三维样品。Q-Sun可用于测试多种类型的样品。它除了可安装平板样品，还可安装三维部件、试管及培养皿等。



Q-Sun Xe-3除了可安装平板样品，还可安装三维部件、试管及培养皿等。

³ 与之竞争的旋转式氙灯试验箱通常比Q-Sun贵很多。

易于操作和维护

QUV 和 Q-Sun 的使用和维护都很方便。这两种试验设备都是全自动的，且能一天24小时，一周7天连续工作。测试可根据设定在任何特定的时间停止。利用专利 Auto Cal 系统和辐照度校准仪来进行校准也很简单。当仪器自动测量灯管输出从而自动调整控制面板上的控制系统时按下按钮，校准即完成。在此过程中，测试样品和灯管均处于待机状态。

Q-Sun 氙灯试验箱⁴和 QUV 加速老化试验机的设计都非常人性化。从Q-Sun 的前门，QUV 两侧的翻盖门，使得灯管和样品的安装都很容易。

维护费用

QUV和Q-Sun的维护费用都较低。Q-Sun每年更换灯管的费用比QUV/se 和QUV/spray 高的多。Q-Sun耗电也较多。另外，QUV/se 和 QUV/basic 可用一般的自来水，而 Q-Sun 要求用纯的去离子水。总之，QUV 每年的运行成本比 Q-Sun 少的多。⁵



Q-Sun 的灯管更换非常容易，只需打开铰链门，断开灯座链接，即可拉出灯座。



QUV/se 不需要轮换灯管。然而，当更换灯管时，两侧都有翻盖门的设计使得更换灯管很容易。

⁴ 与之竞争的水冷旋转式氙灯试验箱，相比 Q-Sun 通常需要更多的维护。而且校准费时、麻烦。样品安装、灯管与过滤器的组合都比 Q-Sun 的复杂得多。

⁵ Q-Sun 的维护费用虽然比 QUV 高，但比与之竞争的其它氙灯试验箱要低很多。Q-Sun 的灯管比大多数氙灯管便宜，而且 Q-Sun 的过滤器无需更换。氙灯试验箱的耗电量也很重要。

技术总结：根据需要选择试验箱

到底选择哪种老化及光稳定性的测试设备令人困惑，尤其是初次选择时。哪一种更适合您呢？下面给出一些概括总结。对于概括性的结论，不排除存在例外。

QUV

QUV 在短波紫外线波段的模拟性较好

安装 UVA-340 灯管的 QUV 在关键的短波紫外线波段可很好模拟太阳光。短波紫外线通常引起聚合物的老化，如失光、强度下降、黄变、开裂、裂纹、脆化等。另外，QUV 的荧光紫外灯管光谱稳定，随着时间变化它的光谱功率分布发生很小变化，从而提高了再现性和重复性。更多信息，请参考技术手册 LU-8160 “灯管的选择”。

QUV 在模拟户外潮湿方面做的较好

QUV 的冷凝系统（相对湿度 100%）比 Q-Sun 的水喷淋和相对湿度控制系统更强烈、真实。深层渗透潮湿会引起破坏作用，如涂层表面起泡。



两者结合的方法

因为很多研究者关心聚合物的老化、潮湿退化及颜色变化，所以把 QUV 和 Q-Sun 结合使用是最佳方法。很多制造商使用 QUV 加速老化试验机测试聚合物的老化，使用 Q-Sun 氙灯试验箱测试颜色变化，从而得到划算的测试结果。

Q-SUN

Q-Sun 在长波紫外线波段和可见光波段的模拟性较好

长波紫外线甚至是可见光会使颜料和染料发生褪色和颜色变化。当涉及到颜色变化时，一般推荐使用 Q-Sun。

配备窗玻璃过滤器的 Q-Sun 对于室内产品测试一般比 QUV 要好。更多信息，请参考技术手册 LX-5060 “过滤器的选择”。

Q-Sun 在控制相对湿度这方面做的较好

Q-Sun 可以控制相对湿度。对于对湿度敏感的材料，如纺织品和油墨，Q-Sun 这一特点是一个非常大的优势。高湿度会引起变色及染色不均匀。



测试方法 (部分)

QUV 加速老化试验机

Q-Sun 氙灯试验箱

通用

- ISO 4892-1
- ASTM G151
- ASTM G154
- JIS D 0205
- SAE J2020

通用

- ISO 4892-1
- ASTM G151
- ASTM G155

涂料

- ASTM D3794
- ASTM D4587
- 以色列标准 No. 330,385,935,1086
- 韩国标准 M598-1990
- NACE Standard TM-01-84
- NISSAN M0007
- US Government, FED-STD-141B

涂料

- ISO 11341
- ASTM D3451
- ASTM D3794
- ASTM D6695

粘合剂

- ASTM C24.35.31
- ASTM C1442
- ASTM D904
- ASTM D5215
- 西班牙标准 UNE 104-281-88

粘合剂

- ASTM C1442

塑料

- ISO 4892
- ANSI C57.12.28
- ANSI, A14.5
- ASTM D4329
- ASTM D4674
- ASTM D5208
- DIN 53 384
- 西班牙标准 UNE 53.104

塑料

- ISO 4892-2
- ASTM D2565
- ASTM D4459
- ASTM D4101
- ASTM D5071
- ASTM D1248
- DIN 53 387

屋顶材料

- ANSI/RMA IPR-1-1990
- ASTM D4799
- ASTM D4811
- ASTM D3105
- ASTM D4434
- ASTM D5019
- BS 903: Part A54
- CGSB-37.54-M
- DIN EN 534

屋顶材料

- ASTM D4798

印刷油墨/画材

- ASTM D3424

印刷油墨/画材

- ISO 12040
- ASTM D3424
- ASTM D5010
- ASTM D4303

纺织

- AATCC TM 186
- ACFFA

纺织

- AATCC TM 16
- AATCC TM 169
- BIS: 2454

汽车

- SAE J2020

汽车

- SAE J2412
- SAE J2527

几乎所有的产品都能进行光稳定性和耐候性测试



油墨

纺织品



塑料

屋顶材料



化妆品

包装材料



食品

药品



建筑材料

油漆和涂料



密封材料和粘合剂

汽车配件

Q-Lab Corporation

Q-Lab

总部和仪器分部
800 Canterbury Road
Cleveland, OH 44145 USA
Phone: 440-835-8700
Fax: 440-835-8738

Q-Lab 欧洲

Express Trading Estate
Stonehill Road, Farnworth
Bolton, BL4 9TP England
Phone: 00-44-(0) 1204-861616
Fax: 00-44-(0) 1204-861617

Q-Lab 中国代表处

上海市共和新路3388号永鼎大厦
1001室
邮编: 200436
电话: 0-86-21-5879-7970
传真: 0-86-21-5879-7960



www.q-lab.com
info@q-lab.com.cn

LU-8009.1-CN
© 2006 Q-Lab Corporation.
版权所有

QUV, Q-Sun, Solar Eye, AutoCal, Q-Panel 是美国 Q-Lab 公司的注册商标