

太阳光、耐候性和光稳定性测试

太阳光是造成很多材料，包括塑料、纺织品、涂料和其他有机材料降解的一个主要因素。降解的类型，如物理性能下降、粉化、开裂、起皮、褪色及颜色变化等与材料的敏感度和光谱有关。每种材料对光谱响应不同。对于耐久材料，如大部分涂料和塑料，短波紫外线是造成聚合物老化的主要原因。然而，对于不是特别耐久的材料，如很多染料和颜料，长波紫外线甚至短波可见光，造成最主要的破坏。

对于许多制造商而言，生产的产品能够经受光照是非常重要的。加速老化试验箱用于模拟自然太阳光，并广泛用于研究开发、质量控制和产品认证。这些试验箱可以提供快速、可重复、可再现的试验结果。

为了定量表示太阳光中紫外部分的巨大差异，测量了4种光谱辐照度。包括夏天直射太阳光，冬天太阳光，普通窗玻璃透射太阳光和汽车玻璃透射太阳光。

为了定量表示不同实验室测试设备的光谱，测量了不同类型加速试验箱的光谱辐照度，包括 QUV 紫外加速老化试验机（即，荧光紫外和冷凝试验机）和氙灯试验箱。另外，还计算了户外加速曝晒装置，如已知的 Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能装置的光谱。不同加速测试设备的光谱之间存在很大差异。这些测量为不同应用条件使用何种试验箱或光源提供了建议。

太阳光光谱

太阳光中的电磁辐射通常被分为紫外线、可见光和红外线，如图1所示。紫外光由低于 400 纳米的辐照组成。可见光定义为 400 到 760 纳米之间的辐照。红外能量由比可见红光更长的波长组成，从大约 760 纳米开始。

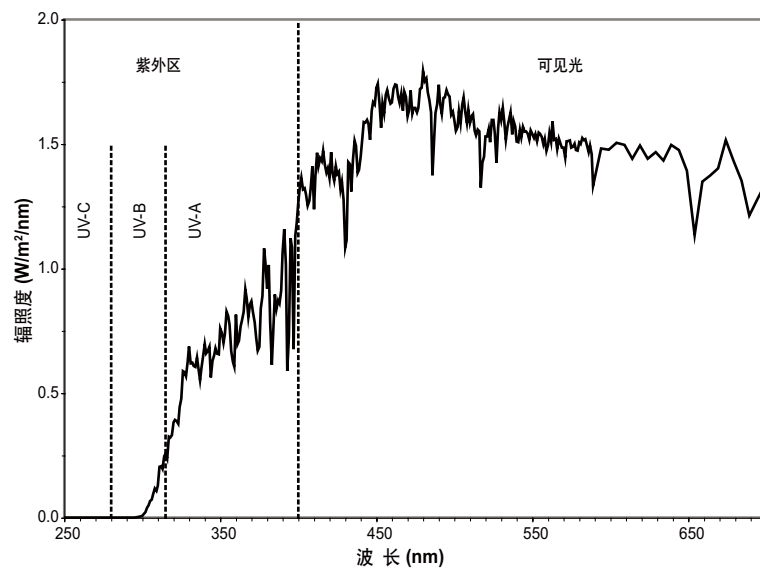


图 1- 太阳光

太阳光的可变性.

因为紫外线很容易被气团, 云层, 污染物等过滤掉, 所以自然紫外线暴露的数量和光谱是非常不稳定的。一天中太阳光每时每刻都在发生变化。图2显示了一天中不同时刻全光谱太阳光的光谱功率分布 (地点和时间)。

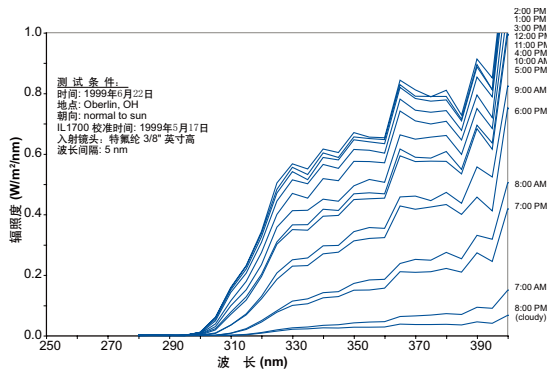


图2- 一天中太阳光的变化

太阳光的光谱功率分布还随着季节发生变化。变化最大的是紫外波段。图3显示了不同时期在美国俄亥俄州克里夫兰中午测试的太阳光中紫外波段的比较:

- 夏至 (一年中白天最长的一天)
- 冬至 (一年中白天最短的一天)
- 春分

这些测量基本上与其他研究者的数据一致。ASTM G173 中给出了有用的参照光谱。

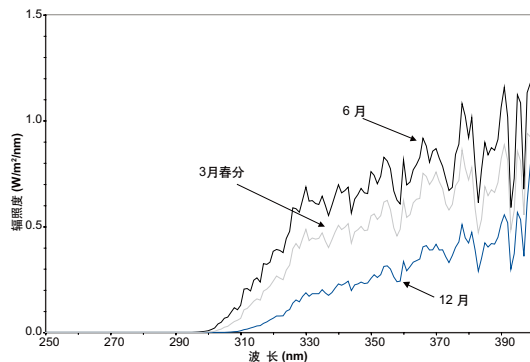


图3- 太阳光中紫外波段的季节变化

因为冬天时太阳在天空中的位置比较低, 所以被更多的大气过滤 (如图4所示)。因此夏天和冬天的太阳光之间产生了两个明显差异: 光强和光谱的变化。更重要的是, 在冬天, 较短的、更具有破坏性的紫外波长被过滤掉了。例如, 紫

外线在320纳米处的强度, 夏天和冬天的比值是8比1。另外, 短波太阳光的截止点从夏天的大约295纳米, 变为冬天的大约310纳米。因此, 对低于310纳米的紫外线敏感的材料在冬天的几个月只有轻微的降解。这些变化对聚合物材料, 如聚氯乙烯, 影响特别大。

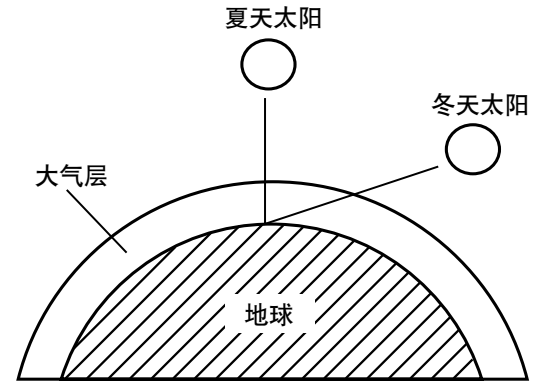


图4- 大气过滤的季节影响

光谱敏感性.

材料发生降解的程度和类型, 取决于这种材料的光谱敏感性。光谱敏感性用于测量单位光能量造成的破坏作用, 不同波长的光的破坏作用不同。每种材料的光谱敏感性都不同, 用途相似的相似材料的光谱敏感性可能差异很大。光谱敏感性决定一种材料是对短波长敏感还是对长波长敏感或者对两者都敏感。

短波长截止点的重要性.光化学反应是由光子破坏化学键引起的。每种化学键, 都对一个阈值波长, 这种波长有足够的能量使化学键发生反应。比阈值波长短的波长可以破坏化学键, 而比之长的波长无论光强多大都不能破坏化学键。因此, 光源的短波截止点非常重要。例如, 某种特殊聚合物只对波长小于295纳米 (太阳光截止点) 的紫外线敏感, 那么它在户外不会发生光化学反应。如果把这种聚合物暴露于截止点是280纳米的实验室光源中, 它将会发生老化。

长波的重要性 对于户内材料, 如油墨和染料, 长波紫外和短波可见光往往对其造成重大影响。因蛾热的形成, 外能量也会对材料造成老化。另外, 红外线也会对某些材料造成热老化。尽管

红外线不会造成光致化学反应，但由此引起的高温会影响后继化学反应的速率。

加速光源与太阳光的比较

下列加速光源的讨论只限于光谱问题。不涉及光谱稳定性、潮湿的影响、曝晒循环的影响或结果的再现性。

为了分析模拟太阳光的有效性，大部分实验室光源应该与我们称之为太阳光最大值条件进行对比：全球，中午太阳光，垂直入射，夏至。太阳光最大值是户外测试要符合的最为严酷的条件，并且正因为如此，它将决定哪些材料会失效。如果将实验室光源与所谓的“平均适合太阳光”进行比较，容易引起误解，它仅是破坏性大大减弱的春分和秋分日光数值的平均值。另一种误解是与“迈阿密平均值”进行比较，它仅表示迈阿密一年中太阳光照的平均值。本文所有图中标注的“太阳光”指的是太阳光的最大值。

尽管太阳光中紫外线存在固有的可变性，我们的测量令人惊讶地显示了不同位置太阳光最大值的微小变化。图5显示了在3个差别很大的位置所测量的结果。

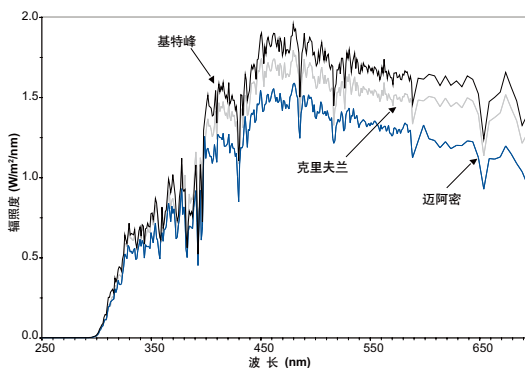


图5- 太阳光最大值，3个位置

两种不同的方法

QUV 加速老化试验机和氙灯是最常用的加速老化和光稳定性试验设备。这些试验设备基于两种完全不同的机理。

氙灯试验箱，如 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。氙灯试图模拟太阳光本身。

QUV 试验机并不试图模拟全光谱太阳光，但是，却模拟太阳光的破坏作用。通过把荧光灯管的主要辐射控制在太阳光谱的紫外波段来实现。这种方法是有效的，因为短波紫外线是造成户外材料老化的最主要因素。图6显示了太阳光、氙灯光谱和荧光紫外线之间的比较。

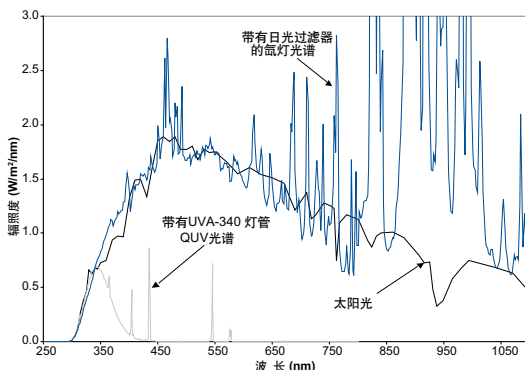


图6- 太阳光、氙灯光谱和荧光紫外线之间的比较

除了技术方面的考虑，这两种不同的方法在实际应用中也存在不同。氙灯试验箱需要很多电量输入以产生全光谱。因此，光谱中的可见光和红外线同时产生大量的热。这些热量必须由水冷或风冷系统排出。因此，这两种试验设备的运行费用相差很大。详细信息，请参考 Q-Lab 技术文章 LU-8009 “QUV和Q-Sun：加速老化和光稳定性测试的两种有效方法之间的比较”。

氙灯

全光谱氙灯 (ISO 4892-2, ISO 11341, ASTM G155, SAE J2412) 可为使用者提供由短波紫外线造成的破坏作用，也能提供长波破坏作用，如褪色和颜色变化。当使用氙灯试验箱时，需要考虑两个主要的因素：过滤器的作用和辐照度控制。

模拟户外条件的氙灯过滤器

因为未经过滤的氙灯辐射包含很多短波紫外线，而不能很好模拟地球表面的自然曝晒条件，所以氙灯试验箱配备不同类型的过滤器以减少不必要的辐射，并得到合适的光谱。大部分过滤器的作用是针对光谱中的短波段。因为紫外线的破坏作用与它的波长成反比，所以截止波长与实际应用环境是否符合非常重要。过滤器的类型和测试材料即最终应用环境有关。

有三大类过滤器用于氙灯试验箱中。在每种类型中，可能又分为几种不同的过滤器。每种过滤器都是由特殊玻璃制成的，它们的透射率也不同。

日光过滤器产生的光谱与夏天中午直射太阳光的光谱接近，并符合 ISO 4892, ISO 11341, ASTM G155, SAE J1960 和 SAE J2527 标准对光谱的要求。它被建议用来测试户外使用的材料，而且它与户外自然曝晒的相关性最好。如图 7 和 7A 所示。

紫外延展过滤器允许比地球表面自然太

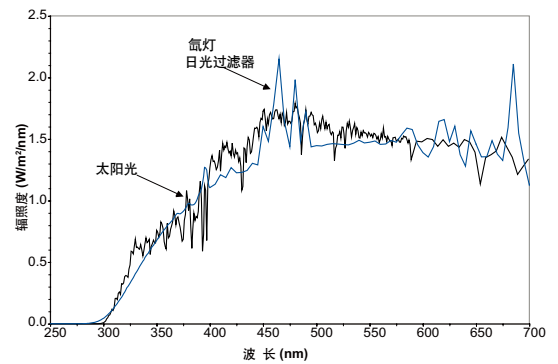


图 7- 日光过滤器产生的氙灯光谱

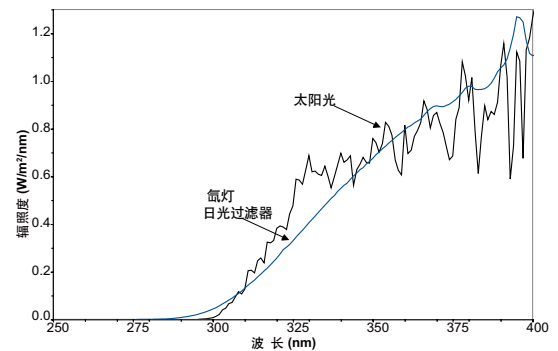


图7A-日光过滤器产生的氙灯光谱的紫外波段

阳光的截止点的波长短的紫外线透过。紫外延展过滤器常常用来产生比日光过滤器更快的老化结果。在许多汽车测试方法中，要求使用这种过滤器。它们还被用来产生太空应用环境中的宇宙谱线。如图 8 和 8A 所示。

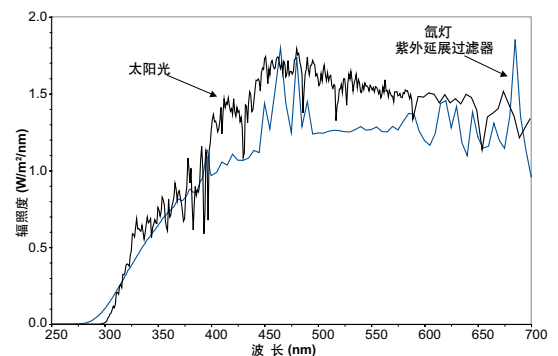


图 8-紫外延展过滤器产生的氙灯光谱

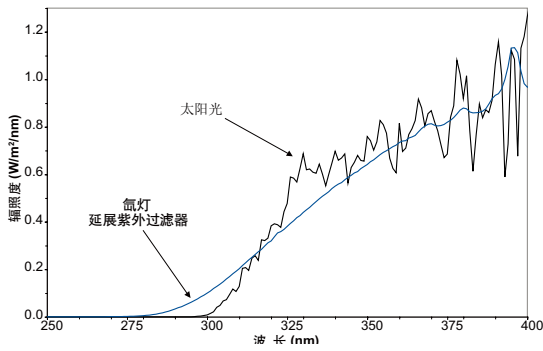


图 8A-紫外延展过滤器产生的氙灯光谱的紫外波段

辐照度控制.

为了控制光强，现在的氙灯试验箱有一个光强检测系统以补偿因灯管老化造成的不可避免的输出衰减。在 340 纳米，辐照度通常设置为 0.35 或 0.55 W/m²。图 9 显示了这两种设置与太阳光最大值之间的比较。0.55 与夏天的太阳光对照的比较，0.35 更像冬天的太阳光。然而，由于历史原因，0.35 经常被使用。

另一种可被使用的辐照度设置是，在 340nm，0.68W/m²。这一辐照度与太阳光最大值最匹配。

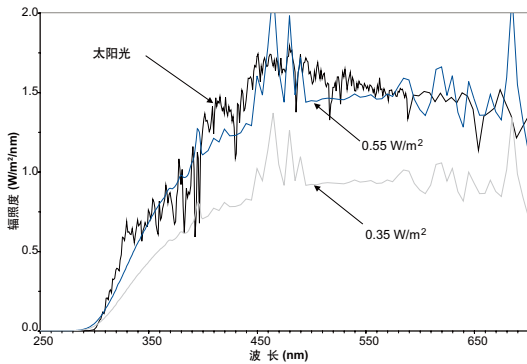


图 9-辐照度设置的影响

荧光紫外线

不像氙灯设备，QUV 试验机 (ISO 4892-3, ISO 11507, ASTM G154, SAE J2020) 使用不同类型的紫外灯管产生不同的光谱，以符合不同暴露条件的要求。

FS-40 灯管. 在二十世纪 70 年代初期，FS-40 灯管就成为第一种用于 QUV 中，并得到广泛应用的荧光紫外灯管。该灯管目前经常被列入一些汽车测试规范中，特别是汽车涂料。该灯管在测试涂料的光泽保持率及塑料的老化性测试方面，已经显示了与户外暴露结果良好的相关

性。然而，低于太阳光截止点的短波长的输出会偶尔引起反常结果，特别是在测试塑料及纺织品的色牢度的时候。

UVB-313 灯管于 1984 年问世. UVB-313 灯管实质上是第二代 FS-40。有着与 FS-40 相同的光谱功率分布，但具有更高、更稳定的输出。图 10 显示了太阳光、UVB-313 和 FS-40 的光谱功率分布的比较。对于大多数材料而言，由于 UVB-313 具有更高的输出，所以它比 FS-40 对

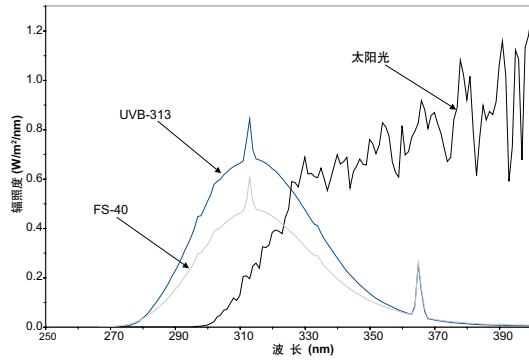


图 10- UVB-313和FS-40灯管

材料的测试更快。这种灯管尤其适合于质量控制和研究开发。

UVA-340 灯管用来增强与户外暴露结果之间的相关性。UVA-340已经广泛用于测试塑料和涂料，并且大大提高了QUV设备的相关性。图 11 显示了 UVA-340 与太阳光最大值之间的比较。这种灯管能够非常好地模拟从 370 纳米到太阳光截止点 295 纳米的太阳光。

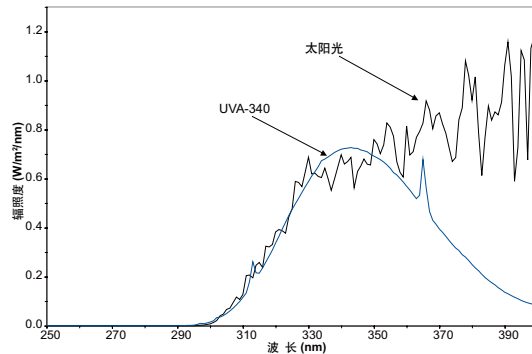


图 11- UVA-340 灯管和太阳光

Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能装置

户外加速老化装置，使用自然太阳光作为光源，已经有几十年的历史了。早期的简单装置是用来从早到晚跟踪太阳，以使户外曝晒样品获得尽可能多的太阳光。后来，增加了反射镜，把太阳光会聚到测试样品上，进一步加速老化。这种太阳光聚能加速技术已经在 ISO 877, ASTM G90 和 SAE J1961 等标准中规范化。

Q-Trac 及其它太阳光聚能装置使用10面反射镜反射全光谱太阳光。测试样品实际接收到的光谱受一个事实的影响，这种装置只反射直射太阳光，而且镜子的反射率并不是完美的。图12显示了自然太阳光和 Q-Trac 光谱之间的比较。

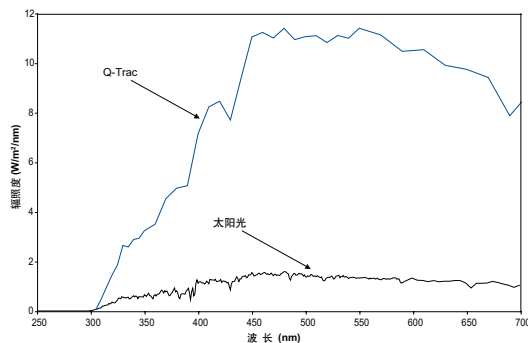


图12- Q-Trac 和太阳光

玻璃对太阳光的过滤作用

普通窗玻璃.

任何类型的玻璃都起到太阳光光谱过滤器的作用。较短的、更具破坏性的波长最易受到影响。图13显示了直射太阳光与通过普通的、密度均匀的、无色的、0.125英寸厚窗玻璃的透射太阳光之间的比较。普通玻璃对大约370纳米以上的光线实质上是透明的。但是，过滤作用随着波长的减小而逐渐明显。事实上，大多数低于310纳米的破坏性波长都被完全过滤掉。

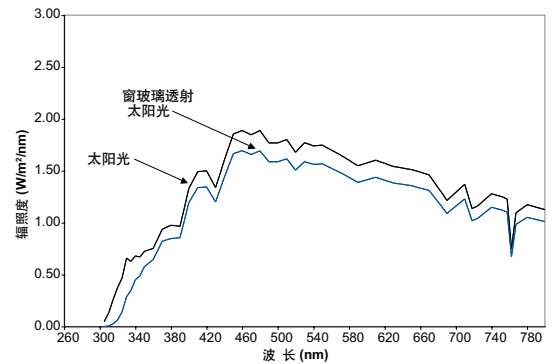


图13- 窗玻璃透射太阳光

汽车玻璃.

汽车玻璃比窗玻璃要厚。汽车玻璃通常是有色的，而且挡风玻璃常常包含塑料增强层。图14显示了直射太阳光与窗玻璃透射太阳光及挡风玻璃透射太阳光之间的比较。所有这些因素都增强了汽车玻璃的过滤作用，而且几乎所有的破坏性紫外光都被过滤掉。图15显示了4种不同类型的汽车玻璃的光谱功率分布，这些玻璃的厚度、颜色都不同。

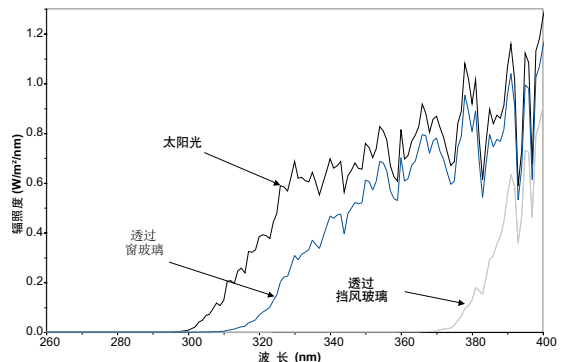


图14- 挡风玻璃透射太阳光

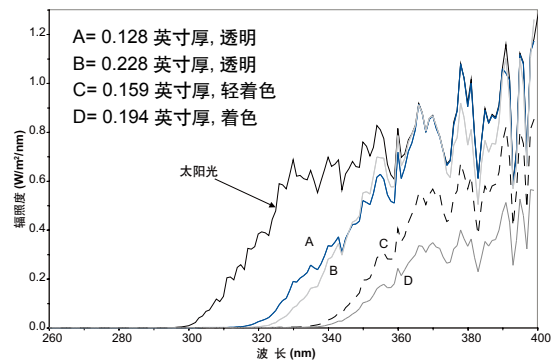


图15- 汽车玻璃透射太阳光

加速光源和玻璃透射阳光

氙灯

适当过滤的氙灯光源 (ISO 4892-2, ISO 105 B02, ASTM G155, SAE J2527, AATCC TM 16-3) 可最佳模拟窗玻璃透射太阳光。然而, 不存在“标准窗玻璃”。因为玻璃的透射率因厚度、化学成分等的不同而不同, 几种类型的窗玻璃过滤器已研发出来用于Q-Sun氙灯试验箱。

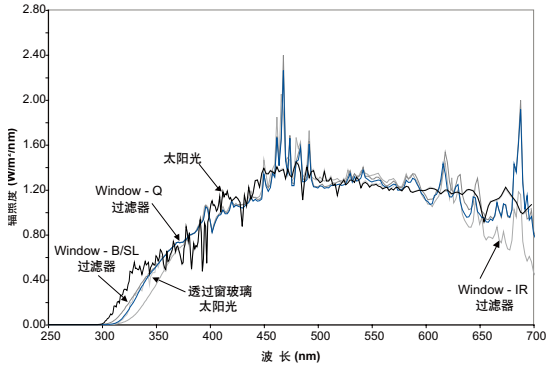


图 16- 窗玻璃过滤器透射氙灯光谱

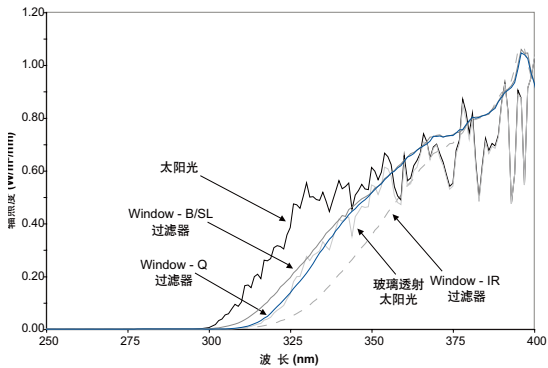


图 16A-窗玻璃过滤器透射氙灯光谱的紫外部分

配备窗玻璃过滤器的氙灯试验箱产生的光谱中也包含大部分室内人造光源中的波长 (冷白荧光灯等), 所以它也适合大部分室内应用, 如图 17 所示。

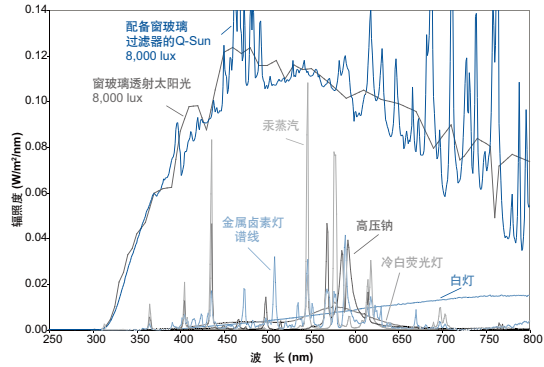


图 17- 通常室内光源与Q-Sun光源的光谱功率分布之间的比较

注意: 有些汽车内饰件, 如纺织品和柔软饰件的测试方法依然要求使用紫外延展过滤器。SAE J1885 和 SAE J2412 是其中的两个例子。图 18 显示了这种氙灯测试方法与普通玻璃透射太阳光之间的比较。显然, 紫外延展过滤器允许大量的短波紫外线通过, 与真实结果之间的相关性应该谨慎考虑。

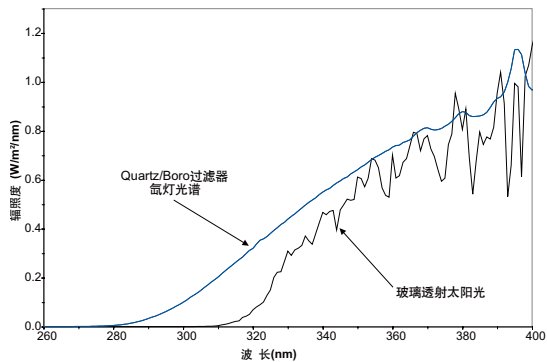


图 18- 氙灯与玻璃透射太阳光之间的比较

结论和注意事项

实验室暴露与自然暴露测试结果的相关性可能会一直存在争议。使用者必须加强自身培训，善于作出选择。

因为实验室加速设备有好几种类型，而且灯管和过滤器也有好几种选择，没有一种试验箱适合所有的应用。短波紫外线通常测试聚合物的老化，而全光谱谱线常常更适合测试颜料和染料的颜色变化。

短波紫外线加速光源能够快速给出测试结果，但是可能不总是精确的。通常它们出错的原因，是因为测试条件太严酷了。过滤掉低于太阳截止点 295 纳米的波长将给出一个更精确的测试结果，但是提高相关性的代价就是减慢测试速度。如 Fischer 指出的，测试速度和准确性之间总是存在矛盾。

另外，我们要指出，尽管目前人们对光能量比较感兴趣，但测试仪器的光谱只是整个测试的一部分。对于任意加速测试设备，都有许多测试参量：光谱、潮湿、相对湿度、温度和测试循环。另外，参量的选择在一定程度上是随意的。没有一种测试循环或仪器可以再现所有的户外暴露条件，包括不同的气候、海拔和纬度。因此，甚至是最精确的测试设备实际上也只是一种筛选设备。加速测试设备的真正作用是，在某种特殊的条件下能够给出材料性能的可靠的、相关的测试结果。

致谢

作者对本文的准确性负责，同时非常感谢以下单位的协助：

Kit Peak 国家观测站
俄亥俄光谱服务中心
3M 公司
BASF 公司
Americhem 公司

参考注释

本文之前发表在 1987 年的“Society of Plastics Engineers Automotive RETEC”上，后来又在 1994 年，作为 Q-Panel 公司技术文章“太阳光，紫外线和加速老化”发表

本文在 2007 年修改后，以“太阳光，耐候性和光稳定性测试”为题目发表。

附录 1

内置碳弧灯 (ASTM G153), 内置碳弧灯自 1918 年就已经用在加速老化和光稳定性测试设备中, 以模拟太阳光。当用这种灯管的输出与太阳光比较时, 它的一些缺点就显露出来了。图 19 显示了夏天太阳光 (太阳光最大值) 与内置碳弧灯的紫外光谱功率分布 (SPD) 的比较。内置碳弧灯的紫外输出主要由两个非常大的能量峰组成, 在低于 350 纳米时, 输出量则很小。图 20 显示了与图 19 相同的光谱功率分布的比较, 绘制于不同的纵坐标范围以包含尖峰所有输出。既然最短波长的紫外波长最具有破坏性, 内置碳弧灯对于大多数材料的测试非常慢, 并且对短波长紫外线敏感的材料的相关性很差。

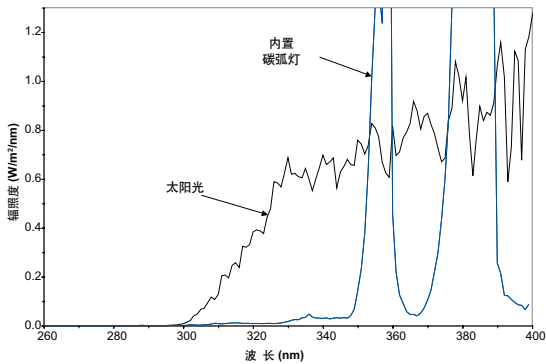


图 19- 内置碳弧灯与太阳光之间的比较

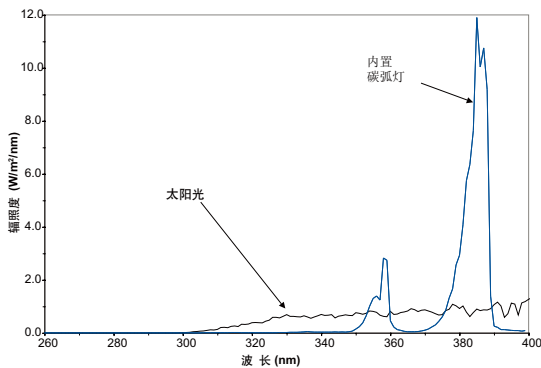


图 20- 内置碳弧灯与太阳光之间的比较

太阳碳弧灯 (ISO 4892-4, ASTM G152) . 1933年发明的太阳碳弧灯 (有时也被称作“开放式”碳弧灯) 是对内置碳弧灯的改进。图 21 显示了太阳碳弧灯 (装有透紫外线玻璃 D型过滤器) 的紫外光谱功率分布。太阳碳弧灯与太阳光的匹配优于内置碳弧灯, 在大约 390 纳米, 仍然有一个非常大的能量尖峰, 远高于太阳光。

太阳碳弧灯在其光谱的短波长处存在一个更为严重的问题。为了解释这点, 需要把短波段部分进行放大。图 22 显示了太阳光最大值在 260 纳米和 320 纳米之间与太阳碳弧灯的比较。碳弧灯在 UV-C 光谱部分发射大量能量, 远低于自然太阳光的截止点 295 纳米。这种类型的辐射在外太空是存在的, 但在地球表面还没有发现。当和自然暴露比较时, 短波长可能产生非实际的降解。

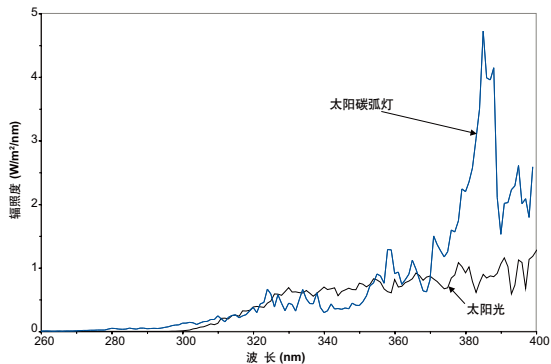


图 21- 太阳碳弧灯与太阳光之间的比较

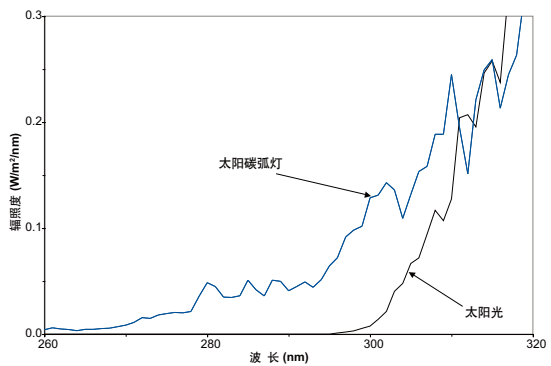


图 22- 太阳碳弧灯与太阳光之间的比较

附录 2

实验的。 用分光辐射度计来测量暴露于太阳光或加速测试设备中的样品所接收的光谱辐照度。辐照度指照射在单位面积表面上的光能量。光谱辐照度是与波长有关的辐照度分布。本文中，在相关的波长区域中测量辐照度的间隔为1纳米(nm)。光谱功率分布 (SPD) 曲线被绘制成辐照度和波长的关系曲线图。太阳光的测量是在中午进行，通过一个装在太阳光跟踪系统上的传感器来保持太阳光垂直入射。传感器面向天空，所以各个方向的太阳光都能够被测量。测量加速光源时，传感器的位置与测量普通样品一样，因此，所测得的辐照度应该与样品接收到的一样。

所有测量都使用相同设备，以保证各种光谱功率分布曲线之间可严格比较。由于分光辐射度计的输入光路不同、波长带通不同，或者仅由于校准时未考虑到散射紫外光源（如天空或荧光灯）的辐照度，试图比较由不同分光辐射度计测量的光谱功率分布曲线，是这个领域中常常会犯的错误。

所用设备是国际光学组织 IL700 分光辐射度计，NO.504，由下列部件组成，如下所示：

- **光学输入系统:**
IL-2WE Double Wide Eye,大视角的石英双精度型透镜余弦散射器。
- **单色仪:**
Kratos GM-200, 精确到1.0纳米带通的双光栅单色仪，光线偏离小于百万分之一。
- **探测器:**
PM 270C 光电倍增器，S-5 响应，从 IL760 电源供电。
- **皮可安培计:**
IL 700A 辐照度计。
- **校准:**
1微瓦/平方厘米/纳米，源于美国国家标准局。校准证:404045901。

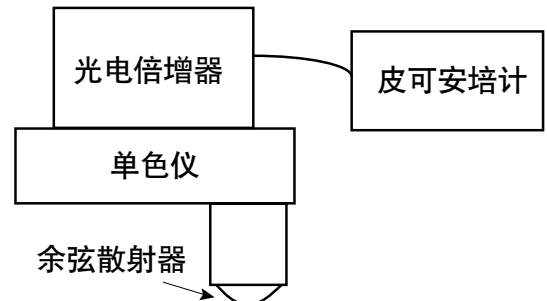


图23-分光辐射度计的示意图



Q-Lab Corporation

**Q-Lab Headquarters
& Instruments Division**
800 Canterbury Road
Westlake, OH USA
Tel. +1-440-835-8700
Fax +1-440-835-8738

Q-Lab Europe, Ltd.
Express Trading Estate
Stone Hill Road, Farnworth
Bolton BL4 9TP England
Tel. +44 (0) 1204-861616
Fax +44 (0) 1204-861617

美国**Q-Lab**公司中国代表处
中国上海市共和新路3388号永鼎大厦1001室
邮编: 200436
电话: +86-21-58797970
传真: +86-21-58797960

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

LU-0822.2-CN
© 2008 Q-Lab Corporation.
版权所有.