

# Q-Trac自然太阳光跟踪聚能曝晒装置

## 自然户外加速曝晒

### 背景

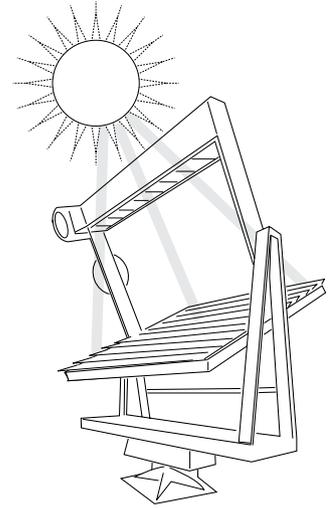
20世纪初期，研究人员通过把样品放在竖立的、朝南的架子上在户外进行曝晒，对材料的耐候性能进行评估。到了1908年，美国材料实验协会（ASTM）D-1委员会和涂料制造协会开始在新泽西州的大西洋城进行涂料的户外曝晒测试。为了缩短测试时间，他们使用了一种倾斜45度朝南的架子，以使更多的阳光照射在样品上。45度角倾斜曝晒架是第一种户外加速老化的方法。以后的几十年里，加速老化的方法在不断的改进。到了20世纪30年代，发明了一种简单的单轴的随太阳转动的装置，它可从早到晚随着太阳转动。到了50年代，这种架子才开始商业化生产。60年代，又在这种装置上加上反射镜，使阳光更多的集中到样品上来加速老化。

### Q-Trac自然太阳光跟踪聚能曝晒装置

Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能曝晒装置是一种先进的双轴自然加速老化试验机。它是一种户外曝晒装置，能自动地从早到晚跟踪太阳，且能自动补偿因季节变化而引起的不同太阳仰角的影响。同时，Q-Trac 上的反射镜可以把全光谱太阳光集中到测试样品上。这种跟踪太阳的日光聚集系统增加了照射到样品上的阳光能量。

Q-Trac 是最有效的户外加速老化方法，测试期间，它可以在短时间内对产品性能进行评估。此外，与实验室加速老化试验装置相比，Q-Trac 无需考虑模拟光源是否与自然光匹配，因为其光源本身就是自然太阳光。

尽管 Q-Trac 仅在亚利桑那使用，但它可以真实模拟很多实际应用环境。例如，佛罗里达南部的气候条件可通过附加超纯水喷淋来进行模拟。Q-Trac 快速、真实、可重复的测试结果使之成为一种引人注目的测试方法，适用于多种类型的材料测试和应用环境的模拟。



Q-Trac II 的样品容量是 Q-Trac 原型的两倍。

## 会聚自然太阳光

### 反射镜阵列

Q-Trac 采用一系列 10 个平面反射镜来获得单一曲面反射镜的效果。这种类型的反射镜阵列叫做菲涅耳聚能器 (Fresnel)。当阳光以接近 90 度角照射到这些反射镜上, 反射镜会反射太阳光, 并会聚到样品架上 (如图 1 所示)。

反射镜阵列经特殊设计, 仅反射 6 度视角太阳光, 这保证了反射到样品架上的光线是直射的光束, 而非漫射 (或散射) 光。

Q-Trac 上的反射镜反射性很强, 且每隔一段时间 Q-Lab 的技术员, 就会对其进行清洁处理以保持其反射率。一旦某块镜面上在 310nm 处的光谱反射率低于 65%, 就应更换反射镜。

### 太阳跟踪

**单轴装置:** 20 世纪 60 年代的单轴太阳光跟踪聚能曝晒装置能自动跟踪太阳的方位 (或者说是 在一天中太阳从东转向西的运动) 变化。这种曝晒装置从日出到日落水平的旋转。因为地球 24 小时自转一周, 所以方位角每小时改变 15 度。

为了全方位地跟踪太阳, 对太阳仰角或者说太阳与水平面之间的角度的跟踪也很有必要。所以对于单轴装置, 每 6-8 周必须手动调节高度。但因为太阳的仰角每天都会发生变化, 单轴装置不能够一直保持会聚阳光的最佳位置。

**双轴装置:** 新的双轴装置能自动跟踪太阳的方位角和仰角。为了跟踪太阳仰角, Q-Trac 垂直倾斜, 同时调整太阳随季节发生的仰角变化和每天的方位变化。Q-Trac 连续、自动地跟随太阳的方位角和仰角以保持太阳光沿法线方向入射到反射镜座, 或者说是镜座垂直于太阳光 (如图 2 所示)。

Q-Trac 的旋转和倾斜运动, 由安装在样品架上的感光探头 (太阳能电池) 来控制。感光探头的两个元件控制水平旋转运动, 而另一元件控制倾斜运动。感光探头的每一元件都装备有一个内置的遮光器。选择好焦点, 感光探头的两个元件会得到均等照射, 不会有任一个被遮挡。当一个元件开始被遮挡时, Q-Trac 会自动调整以保持位置适当 (如图 3 所示)。

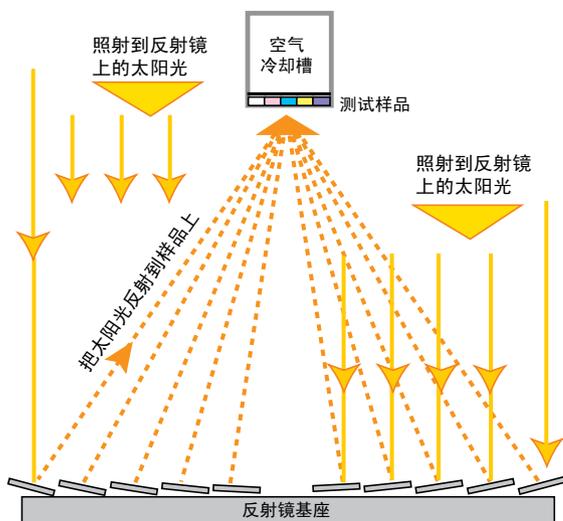


图1. Q-Trac 是菲涅耳聚能器。阳光被 10 个反射镜反射后直接聚集到样品架上。

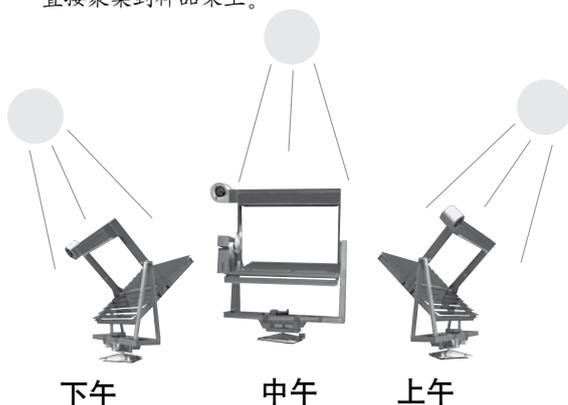


图2. Q-Trac 不仅每天从早到晚跟踪太阳, 而且为了补偿太阳仰角的变化而作季节性调整, 使得仪器永远保持聚焦, 样品可接收到大量的阳光。

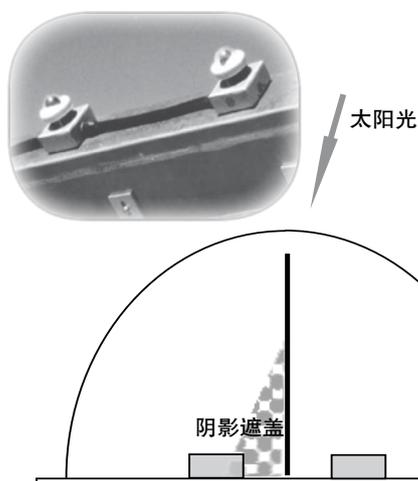


图3. 日光传感器安装在样品架上, 当一个装置被遮挡时, Q-Trac 会自动调整装置以保持聚焦方位。

### 供参考: 菲涅耳

菲涅耳镜片装置由一系列平面镜组成而非一个单一的曲面镜。它是以 Augustin Fresnel 的名字命名的, Augustin Fresnel 于 1822 年发明了一种由一系列平面镜组成的镜头。菲涅耳镜片与曲面镜片相比更小、更轻、更易于生产。

## 亚利桑那晴朗无云，阳光充足

Q-Trac 仅在天空晴朗、阳光充足的时候才能正常工作。为了使 Q-Trac 更有效地会聚阳光，要求日照时间长，云量少且光线散射小，同时空气湿度也较低。通常来说由一个 6 度直射光辐照计测量直射光束的辐射能，Q-Trac 工作时其值不能低于 75%。甚至当天空无云时，如果相对湿度很高，大量的阳光也会发生散射，而直射光束的量很可能低于 75%。在美国大陆的少数几个曝晒场，能够提供理想测试条件、阳光充足、空气湿度低的只有亚利桑那州的凤凰城。它的相关气候资料见附录 A.2。

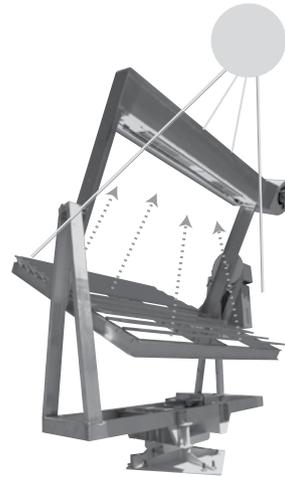


图4. 样品架位于反射镜阵列的正对面，样品朝向反射镜，而非直接朝向太阳。

## 样品的安装和冷却

### 样品架

样品架位于反射镜阵列的正对面，是安装样品的区域。在 Q-Trac 上，样品的最大长度和宽度不能大于样品架的长度和宽度 60 英寸×5.5 英寸 (152.42×13.97 厘米)。另外，样品的厚度不得大于 0.5 英寸 (13 毫米) (如图 4 和图 5 所示)。

样品的安装方式包括有背板、无背板和玻璃框下三种。当把样品直接安装在样品架上时，两者之间没有空隙，样品被认为是“有背板”。有背板样品的温度比无背板样品的温度要高。

### 空气冷却系统

从反射镜阵列产生的高度会聚的阳光可在样品架上产生高温。为了使样品保持一个适当的温度且防止热损失，样品架安装在一个空气冷却槽的下面。当空气被强制通过冷却槽时，一个空气导向装置使大量空气通过样品表面 (如图 6 所示)。大部分 Q-Trac 测试样品的温度与曝晒在传统户外测试架上的相比，大约相差 10°C 以内。

当电力不足或气流不足的情况下，一个自动故障装置的离合器会自动释放，重力使 Q-Trac 自然太阳光聚集器脱离聚焦，避免样品过热。



图5. 样品被夹住并安装在样品架上。

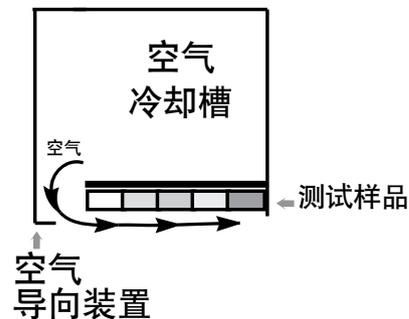


图6. 大量空气被强制通过空气冷却槽，并转向通过样品表面。

### 供参考： 更大的 样品空间

管单轴和双轴聚能加速老化试验装置上样品架的大小尺寸相同，但实际上，用于安装样品的空间在双轴聚能加速老化试验装置上要大些，因为单轴装置不能自动进行季节性调整，所以样品架的边缘会被周期性的遮挡。因此，单轴装置的可用样品空间比双轴装置的小。

## 潮湿模拟： 程控喷淋循环

有些测试要求水喷淋循环来有效的模拟实际应用环境。用 Q-Trac 微处理器控制的水喷淋循环可真实模拟热冲击和/或夜间潮湿(露水)。

用 4 个距样品架大约 18 英寸的喷嘴来喷淋高纯度水(如图7所示)。喷嘴往测试材料上均匀喷水,流速在 0.20–0.25 GPM (0.7569–0.9461 LPM)之间。

晚上, Q-Trac 旋转到 5 度倒置锁定位置,此时样品朝上(如图8所示)。这一重要设计使样品整晚处于潮湿状态,且真实模拟佛罗里达南部的潮湿时间(TOW)。老式单轴装置,没有 5 度倒置功能,显著减少了样品的潮湿时间。

用于 Q-Trac 喷淋循环的水经过反渗透和去离子净化处理。高温会引起不纯的水腐蚀样品表面。另外,不纯的水会在样品上形成污染沉积物。由腐蚀和污染物会引起通常在户外曝晒时不会发生的结果。作为预防措施,在 Q-Lab 亚利桑那,水质需要定期检查。

### 模拟佛罗里达曝晒

在佛罗里达南部,潮湿在加速材料老化的过程中起关键性的作用。通过把测试样品曝晒在白天和夜间的水喷淋循环中, Q-Trac 自然太阳光聚集器可以模拟亚热带条件的影响。有两个循环用来模拟佛罗里达南部气候条件:喷淋循环-1和喷淋循环-2。

#### 喷淋循环-1

白天, Q-Trac 向被测样品每小时喷淋 8 分钟。晚上, Q-Trac 反转到 5 度锁定位置。晚上 9 点、午夜及凌晨 3 点分别向样品喷淋 8 分钟以模拟露水的形成。喷淋循环-1 特别适合于建筑材料、粘合剂和一些塑料制品的测试(如图9所示)。

#### 喷淋循环-2: 夜间湿润

夜晚,水喷淋循环是:喷淋 3 分钟后停止 12 分钟,每小时重复 4 次,每晚整个过程从晚上 7 点持续到早上 5 点。在白天,不进行喷淋。喷淋循环-2 特别适合于一些涂料测试。



图7.四个喷嘴以0.20-0.25GPM的速率往样品上喷淋高纯度水。



图8.在5度倒置锁定位置模拟夜晚样品表面上的露水形成,锁定位置便于样品安装和测量。

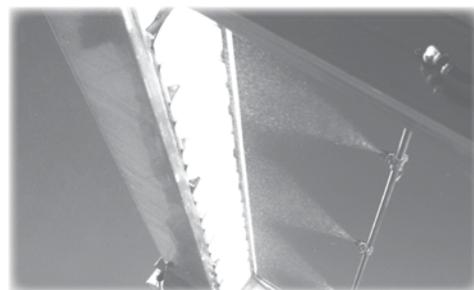


图9.水喷淋循环用于模拟如佛罗里达南部地区的气候条件。

### 供参考： 雨水 和露水

户外产品受潮湿侵害的主要因素是露水而非雨水。在有些地区,户外产品每天保持15个小时处于潮湿状态

## 测试时间的确定

有很多方法可用来确定 Q-Trac 的测试时间。当参照物的变化达到预先设定的程度，即取出试样。或者当试样本身的性能（如光泽，颜色）下降到预先设定的程度来确定测试时间。Q-Lab 推荐根据累计的紫外线曝晒量来规定测试时间，虽然规定测试时间也应考虑总的太阳光辐射曝晒。

### 累计的紫外线曝晒量.

以累计的紫外线曝晒量来规定测试时间，我们推荐这一方法的原因是，太阳光中的紫外线通常是引起材料老化的主要原因。通常，试验的终点由佛罗里达（亚热带）或亚利桑那（干旱地区）的等效太阳年确定。等效太阳年以多年实际的日照测量数据的平均值为基础（如表1所示）。

每年，Q-Trac 将产生大约 1420 MJ/m<sup>2</sup> 的总紫外线辐射。这一数值大约是在佛罗里达（亚热带）测试 5 年多累计的紫外线辐射，或是在亚利桑那（干旱地区）测试 4.25 年累计的紫外线辐射量（如图 10 所示）。但这并不意味着 Q-Trac 在一年测试中使样品发生的降解是在佛罗里达必须要测试 5 年才能达到相同结果。像所有的加速老化测试，加速老化程度与许多因素相关，如材料的成分，发生降解的模式，温度响应和潮湿等。然而一般来说，人们可期望 Q-Trac 的加速老化速度大约是佛罗里达进行自然曝晒的 3 到 10 倍。

## 辐照量的测量

到达样品架上的辐照量不能直接测量。正确的做法应该是：照射在反射镜上的太阳能乘以反射镜的数量，再乘以反射镜的平均反射率来计算累计的辐照量。

一个特别设计的，太阳跟踪装置连续监测接近法线入射处的太阳能。跟踪装置装备有一个正入射直射光辐照计中度计（NIP）和两个 Eppley 全紫外线辐照计（TUVR）（如图11所示）。

### 仅测量紫外线

两个 Eppley TUVR 测量太阳光谱中的紫外线部分（295-385nm）。一个 TUVR 装备有一个黑色的遮蔽盘，仅用来测量散射光线。另一个 TUVR 测量整个 180 度的区域，既包括直射光束又包括散射光线。遮蔽的和未遮蔽的 TUVR 之间的差值表明有多少直射的紫外线照射到 Q-Trac 的每个反射镜上。这一数据是计算累计 TUV 量的基础。

Florida & Arizona Equivalent Sun Years

Yrs.	TUV mega joules		Total mega joules	
	FL	AZ	FL	AZ
1	280	333	6588	8004
2	560	666	13176	16008
3	840	999	19764	24012
4	1120	1332	26352	32016
5	1400	1665	32940	40020

表1. 总紫外线辐照量是指从 295nm 到 385nm 之间的辐射。

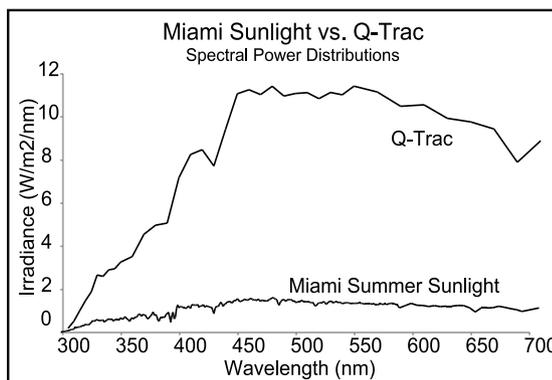


图10. Q-Trac 把自然太阳光会聚到样品上，接收到的年总紫外线辐射是在佛罗里达的5倍。



图11. 由一个装备有两个 Eppley TUVRs 和一个正入射日光辐照计的日光跟踪设备收集数据来计算辐射量。

### 测量紫外线、可见光和红外线

一个法线入射中度计（NIP）测量总的直射光束辐射（295 – 3000nm）。NIP可观测 6 度视角范围，并利用一个准直管来排除散射光。对总的辐射能的计算同计算总的紫外线辐射相类似。

通用Q-Trac测试循环总结 表 2

循环	循环概述	参考标准
沙漠	白天: 只有光照 夜间: 周围环境 不用喷淋	ASTM G90, 循环 2 ASTM D4364, 程序 A SAE J1961, 循环 2 ISO 877
Spray -1	白天: 光照, 喷淋 8 分钟/小时 夜间: 3次8分钟喷淋	ASTM G90, 循环 1 ASTM D4364, 程序 B, 循环 1 ISO 877
Spray-2 (夜间湿润)	白天: 只有光照 夜间: 每15分钟喷淋3分钟 (每小时4次), 从晚上7点 至早上5点	ASTM G90, 循环 3 ASTM D4141, 程序 C ASTM D4364, 程序 B, 循环 3 SAE J1961, 循环 1 ISO 877
冻结-解冻 (硬板)	白天: 光照, 喷淋 8 分钟/小时 夜间: 1个小时水浸泡 12个小时冷冻	ASTM G90, 循环 1 ASTM D5722
户内 (玻璃后)	白天: 只有光照 夜间: 不用喷淋	ASTM G90, 循环 2 ASTM D4364, 程序 A

#### 冻融循环或硬质纤维板 (ASTM D5722)

白天, 按照 ASTM G90, Procedure B, Cycle 1 曝晒样品。傍晚, 整个试验架 (包括样品) 从 Q-Trac 中取出。样品被浸入去离子水箱中浸泡 1 小时, 温度保持在  $21^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$ )。浸泡以后, 将此试验架 (包括样品) 放在一个冷冻装置中(温度保持  $-18^{\circ}\text{C}$  [ $0^{\circ}\text{F}$  ])放置 12 个小时。

第二天早上, 样品在实验室室温条件下解冻, 此解冻过程最少需要1小时。试验架 (包括样品) 重新安装在 Q-Trac 上, 以进行下一天的户外曝晒。这种循环被用来快速且精确地评价涂层的耐候性, 如涂层的开裂、起皮及片状剥落等。

#### Q-Trac 总结

自然太阳光跟踪聚能曝晒装置自 20 世纪 60 年代被用于自然户外加速老化试验。Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能曝晒装置是一种先进的双轴装置。它从早到晚持续跟踪太阳且自动补偿太阳仰角因季节变化引起的影响。反射镜阵列把阳光高度聚集到测试样品上。一年内, Q-Trac 样品接收到的紫外线的总量是在佛罗里达的5倍。这使得对产品的测量周期大大缩短。

因为 Q-Trac 在阳光充足的时候能最有效地会聚阳光, 所以它仅适合在亚利桑那州的凤凰城地区使用, 凤凰城的气候条件是最适合的。在白天或夜间, 水喷淋循环都能使样品变湿以模拟不同的实际应用条件。晚上, Q-Trac 旋转到 5 度倒置锁定位置, 此处能提供更长的、更符合实际的潮湿时间。

## 附录 A.1

### Q-Trac测试方法\*

**ASTM G90** 利用自然太阳光对非金属材料进行户外加速老化的测试方法。

**ASTM D4141** 涂料的户外加速老化的测试方法。

**ASTM D4364** 利用自然太阳光对塑料进行户外加速老化的测试方法。

**ISO 877** 塑料 - 直接大气暴露、玻璃透射日光大气暴露和菲涅耳反射镜  
反射日光加速大气暴露试验方法

**SAE J1961** 利用日光菲涅耳反射镜装置对汽车外饰件进行加速曝晒。

## 附录 A.2

### 亚利桑那曝晒场气候简介

纬度: 33° 23' North      经度: 112° 35' West      海拔: 1055 feet

具有代表性的每年太阳辐射能	TUV	Total	%Sun
直射, 南半球33° (纬度角):	334 MJ/m <sup>2</sup>	8,004 MJ/m <sup>2</sup>	85%

温度 (空气)	C	F
夏季平均最高温:	40°	105°
年平均最高温:	30°	86°
年平均最低温:	13°	56°
平均值:	21°	70°

相对湿度平均值	降水量	毫米	英寸
夏季最大湿度: 28% RH	月最大降水量:	28	1.1
最大湿度: 49% RH	月最小降水量:	2	0.1
最小湿度: 21% RH	月平均降水量:	16	0.6
年平均湿度: 35% RH	一年中总的降水量:	186	7.4

\*ASTM Test Methods may be purchased from: ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959 USA. Telephone: (610) 832-9585. Website: [www.astm.org](http://www.astm.org)

\*ISO Test Methods may be purchased from: International Organization for Standardization 1, rue de Varembé, Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland. Telephone: +41 22 749 01 11 Website: [www.iso.org](http://www.iso.org)

\*SAE Test Methods may be purchased from: SAE World Headquarters, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 5096-0001 USA Telephone: 1-877-606-7323 Website: [www.sae.org](http://www.sae.org)

## 开发一个更全面的测试项目的建议

预测未来往往很困难，但知道您的产品在户外能呆多久是一个非常重要的，不能靠运气来决定的问题。因为没有一种加速老化测试能模拟户外发生的一切情况。Q-Lab 公司建议所有的测试项目都应包括在佛罗里达和/或亚利桑那的自然曝晒。这些便宜的基础曝晒给研究者提供了原始的、真实的数据资料。

加速老化和光稳定性测试在很短时间内提供了相对评价和预测。用至少一种加速老化装置，如 Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能曝晒装置（或 Q-Sun 氙灯试验箱或 QUV 加速老化试验机）来进行测试能帮助您更快地把产品投入市场。您选择的加速老化测试应针对您的材料和实际应用条件进行优化。

这种结合的方法使您在以后的测试中更加自信：佛罗里达和亚利桑那的户外曝晒提供可靠的原始资料，而加速老化测试为新的产品开发提供更快的数据资料。

### 注:

Q-Trac 自然太阳光跟踪聚能曝晒装置测试可在 Q-Lab 亚利桑那进行。

Q-Lab 加速老化研究服务中心是 Q-Lab 的分支机构。

Q-Trac® 自然太阳光跟踪聚能曝晒装置，QUV® 加速老化试验机，Q-Sun® 氙灯试验箱是 Q-Lab 公司的注册商标。



LL-9031.1-CN  
© 2009 Q-Lab Corporation  
版权所有

## Q-Lab 耐候老化测试服务中心



### 户外曝晒和实验室加速老化服务

**Q-Lab Florida**  
1005 SW 18th Ave.  
Homestead, FL 33034  
USA  
Phone: 305-245-5600  
Fax: 305-245-5656

**Q-Lab Arizona**  
24742 West Durango St.  
Buckeye, AZ 85326  
USA  
Phone: 623-386-5140  
Fax: 623-386-5143

[www.q-lab.com](http://www.q-lab.com)