

IEC 61215 标准中紫外试验的解读

Study of the UV Test of IEC 61215:2005 Standard

文 | 美国 Q-Lab 公司中国代表处 张恒 孙杏蕾

摘要: 本文详细解读了 IEC 61215:2005 标准中的紫外预处理试验。介绍了材料耐候性老化测试原理, 包括户外老化及紫外光加速老化测试原理, 从光谱的定义、辐照度的设定、温度及湿度控制等几个方面对 IEC 61215:2005 标准中的紫外试验进行分析。最后指出 QUV 运行该标准时的参数设定。

Abstract: This paper studied the UV pretreatment test of IEC 61215:2005 standard in detail. First, it explained the test principle of material ageing, including ageing both in outdoor condition and UV accelerating condition. Then, the UV test of IEC 61215:2005 standard is discussed from the aspects of the definition of spectrum, irradiation setting and the control of temperature and moisture. Finally, the setting of parameters in QUV test was recommended.

关键词: IEC 61215; 光伏组件; 紫外试验; GB/T 9535

Key words: IEC 61215; Photovoltaic (PV) modules; UV test; GB/T 9535

1 IEC 61215 标准背景及其两个版本之间的差别

1.1 IEC 61215 标准背景

IEC 61215《Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval》是国际电工委员会的一个产品测试方法。目前太阳能行业正在广泛引用这个标准, 对材料或产品进行测试。

1.2 IEC 61215 两个版本在紫外试验方面的差别

截止目前为止, IEC 61215 共发行了两个版本, 第一版是 IEC 61215:1993, 第二版是 IEC 61215:2005^[1]。而国标 GB/T 9535:1998^[2]《地面用晶体硅光伏组件 设计鉴定和定型》就是等效采用第一版 IEC 61215:1993。

第二版比第一版多了一个附录 A。而在紫外试验方面, 主要的改动是 10.10 节的标题由“UV test (紫外试验)”改为“UV preconditioning test (紫外预处理试验)”。第一版在“紫外试验”这一部分, 只说明了试验目的是“确定组件经受紫外 (UV) 辐照的能力”, 及“紫外试验正在考虑之中”, 而第二版不仅把试验目的改为“在组件进行热循环/湿冻试验前进行紫外 (UV) 辐照预处理以确定相关材料及粘连连接的紫外衰减”, 而且对

试验装置、试验程序及试验要求进行了详细描述。

在下面部分我们将重点介绍如何设置 QUV 紫外光加速老化试验机来满足 IEC 61215:2005 中 10.10 节“紫外预处理试验”的要求。

2 材料耐候性老化测试原理

在介绍 IEC 61215:2005 中 10.10 节“紫外预处理试验”之前, 我们先来简单了解材料耐候性老化测试原理。

2.1 户外老化因素

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, 它们的共同作用, 大于其中任一因素造成的危害。

2.1.1 光照

高分子材料的化学键对太阳光中不同波段的光线的敏感性不同, 一般对应一个阈值, 太阳光的短波段紫外线是引起大部分聚合物物理性能老化的主要原因。

2.1.2 高温

温度越高, 化学反应速度越快。老化反应是一种光致化学反应, 温度不影响光致化学反应中的光致反应速度, 却影响后

继化学反应速度。因此温度对材料老化的影响往往是非线性的。

2.1.3 潮湿

水会直接参与材料老化反应。露水，雨水及湿度是自然条件中水的几个主要表现形式。研究表明，户外材料每天都将长时间处于潮湿状态（平均每天长达8-12个小时）^[3]。而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，形成更为严酷的潮湿侵蚀。

2.2 紫外光加速老化测试

2.2.1 阳光模拟

QUV^[4]利用荧光紫外线灯来模拟太阳光对耐久性材料造成损害的威胁因素。这些灯在电学原理上与普通照明用的灯很相似，但它主要发射紫外线而非可见光或红外线。

对于不同的应用条件，需要不同光谱进而需要不同类型的灯。UVA-340灯管在紫外线的短波段提供最佳的模拟太阳光。UVA-340的光谱能量分布（SPD）在太阳光的截止点到大约360nm范围内与太阳光吻合的非常好。UV-B灯管在QUV中也被广泛应用。它们比UV-A灯管引起材料更快的老化，但它们的比太阳光的截止点更短的波长对许多材料可能产生不切实际的结果。

2.2.2 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型号装备有日光眼辐照度控制器。这种精确的光控系统为用户提供选择辐照度控制的优势。利用日光眼的反馈循环系统，可以连续、自动地控制且精确地保持辐照度。日光眼靠调整灯的功率来自动补偿灯的老化以及其他因素造成的光强变化。在仅仅几天或几周内，QUV能模拟在室外经几个月甚至几年所造成的损害。

2.2.3 UV控制

在QUV内部，因荧光紫外线灯固有的光谱稳定性，发光控制系统被简化。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，荧光灯的光谱不会随时间而变。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的优点。

2.2.4 温度控制

在QUV中，温度的控制也很重要，因为温度影响材料老化

的速率。紫外试验箱一般是通过黑板温度计或黑板温度计来精确控制样品表面温度。

2.2.5 潮湿模拟

在QUV冷凝循环过程中，测试室底部的水槽被加热用来产生蒸汽。在较高的温度下，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就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。这一温度差造成通过冷凝循环在样品表面液态形式的水慢慢冷凝而成。

除了标准的冷凝机制，QUV还可用水喷淋系统来模拟其它一些损害情况，比如热冲击或机械腐蚀。使用者可操作QUV来产生潮湿循环并伴随紫外线，这一模拟与自然老化非常相似。

3 IEC 61215:2005 标准中紫外试验的解读

结合第2部分几个方面的描述，我们从光谱、辐照度、湿度和湿度等方面来分析IEC 61215:2005标准对紫外试验测试条件的要求。

3.1 光谱的定义

标准中10.10.2节d)部分的描述为“紫外辐射光源，在组件试验平面上其辐照度均匀性为±15%，无可探测的小于280nm波长的辐射，能产生根据10.10.3规定的感兴趣光谱范围内需要的辐照度”。下面的图1和图2分别是UVA-340灯管和UVB-313灯管的光谱图，从图中可以看出，UVA-340灯管发出的光谱完全符合标准中10.10.2节d)部分，而UVB-313灯管发出的光谱只有少量谱线的波长小于280nm，几乎符合标准中10.10.2节d)部分。

3.2 辐照度设定

标准中10.10.3节a)部分的描述为“使用校准的辐射仪测

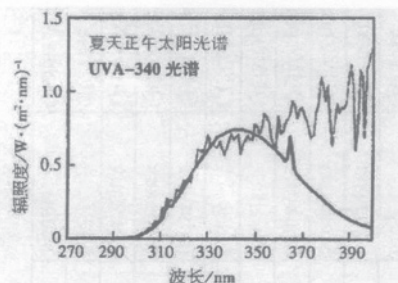


图1 UVA-340光谱与夏天正午太阳光谱比较

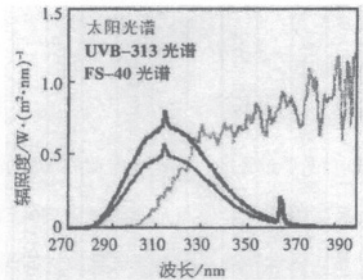


图2 UVB-313及FS-40光谱与太阳光谱比较

量组件试验平面上的辐照度，确保波长在280nm到385nm的辐照度不超过 $250\text{W}/\text{m}^2$ （约等于5倍自然光水平），且在整个测量平面上的辐照度均匀性到达 $\pm 15\%$ ”，同时10.10.3节c)部分的描述为“使组件经受波长在280nm到385nm范围的紫外辐射为 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ ，其中波长为280nm到320nm的紫外辐射为 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ ，在试验过程中维持组件的温度在前面规定的范围”。

以下我们分别对UVA-340灯管和UVB-313灯管的辐照度进行设定，并计算在设定辐照度下，运行多长时间可以达到标准中10.10.3节c)部分对辐照能的要求。

3.2.1 单独使用UVA灯管

当在340nm设定辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时，相当于在280-385nm波段的辐照度为 $35.2\text{W}/\text{m}^2$ （小于 $250\text{W}/\text{m}^2$ ，符合标准10.10.3节a)部分的要求），而在280-320nm波段的辐照度为 $3.1\text{W}/\text{m}^2$ 。我们假设UVA灯管运行X小时，组件经受波长在280nm到385nm范围的紫外辐射为 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ ，而灯管运行Y小时，波长为280nm到320nm的紫外辐射为 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ 。具体计算如下：

$$35.2\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“X” hours} = 15000\text{Wh}/\text{m}^2 \quad \text{X} = 426\text{小时}$$

$$3.1\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“Y” hours} = 5000\text{Wh}/\text{m}^2 \quad \text{Y} = 1613\text{小时}$$

由以上计算可知，当在340nm设定辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时，因为波长从280nm到320nm上的辐照度较小，所以需要1613小时，紫外辐射才能达到 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ 。也就是说，使用UVA灯管时，运行1613小时才达到标准中10.10.3节c)部分对辐照能的要求，比较费时。

3.2.2 单独使用UVB灯管

当在310nm设定辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时，相当于在280-385nm波段的辐照度为 $31.3\text{W}/\text{m}^2$ （小于 $250\text{W}/\text{m}^2$ ，符合标准10.10.3节a)部分的要求），而在280-320nm波段的辐照度为

$18.8\text{W}/\text{m}^2$ 。我们假设UVB灯管运行X小时，组件经受波长在280nm到385nm范围的紫外辐射为 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ ，而灯管运行Y小时，波长为280nm到320nm的紫外辐射为 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ 。具体计算如下：

$$31.3\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“X” hours} = 15000\text{Wh}/\text{m}^2 \quad \text{X} = 479\text{小时}$$

$$18.8\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“Y” hours} = 5000\text{Wh}/\text{m}^2 \quad \text{Y} = 266\text{小时}$$

由以上计算可知，当在310nm设定辐照度 $0.68\text{W}/\text{m}^2$ 时，只需266小时组件经受波长在280nm到320nm的紫外辐射为 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ 。而在280nm到385nm波段，需要479小时，组件经受的紫外辐射为 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ 。也就是说，使用UVB灯管时，运行479小时可以达到标准中10.10.3节c)部分对辐照能的要求，比UVA灯管快很多。

3.2.3 共同使用UVA和UVB灯管

尽管使用UVB灯管可以缩短试验时间，但是如同本文3.1节中所述，UVB灯管发出的光谱还有极少一部分的波长小于280nm，也就不完全符合IEC 61215:2005标准对紫外光谱的要求。但是如果单独使用UVA灯管，则测试时间过长。所以可以将两种灯管结合起来使用。如先使用UVB灯管，假设运行时间为X小时，再使用UVA灯管，假设运行时间为Y小时，具体计算如下：

$$18.8\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“X” hours} + 3.1\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“Y” hours} = 5000\text{Wh}/\text{m}^2$$

$$31.3\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“X” hours} + 35.2\text{W}/\text{m}^2 \times \text{“Y” hours} = 15000\text{Wh}/\text{m}^2$$

以上两式，计算所得： $\text{X} = 229$ 小时， $\text{Y} = 222$ 小时，即先运行UVB灯管229小时，再运行UVA灯管222小时，即可达到标准中10.10.3节c)部分对辐照能的要求。两种灯管一共运行451小时，比单独使用UVB灯管还快。一般情况下，我们推荐使用这种方法。

3.3 温度控制

标准中10.10.2节a)部分的描述为“在经受紫外辐照时能控制组件温度的设备，组件的温度范围必须在 $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ”。而这一温度要求完全在QUV的温度范围之内，试验时只要设定黑板温度为 $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 即可。

3.4 湿度控制（下转33页）

有效谐波频率；

(4) 根据优选出的谐波频率，以电动振动系统对工件施加步进正弦定频、随机加正弦定频或随机加正弦扫频的激振力，并以动应力测量系统实时检测工件中的动应力水平，同时依据所检测到的动应力相应调整振动控制系统的输出参数，实现对施加在工件上的激振力的调整，直至优选出适合的激振力；

(5) 在上述适合的激振力条件下，对工件进行持续的时效处理，至达到设定的时间后结束操作。

步骤(5)操作结束后，如有必要可重新测量工件的残余应力，进行振动时效效果的评定，亦可通过振动时效前后对工件进行扫频测试，参照以下评定方法进行振动时效效果的评定。

如图1，在相同的振前准备条件及扫频速率下，出现下列情况之一时，即可判断在当前状态下，工件部分区域已达到了时效效果：

- a) 振幅时间 A ~ T 曲线上升后变平；
- b) 振幅时间 A ~ T 曲线上升下降变平；
- c) 振幅频率 A ~ F 曲线峰值振后比振前升高；
- d) 振幅频率 A ~ F 曲线峰值点振后的比振前的左移；
- e) 振幅频率 A ~ F 曲线峰值带宽振后的比振前的变窄；
- f) 振幅频率 A ~ F 曲线共振峰有裂变现象发生；

电动振动系统振动时效布置框图(图2~图5)：

其中1为电动振动台或激振器；

2为振动控制采集系统(可以进行正弦扫频，随机，随机加正弦、随机加随机、也可以进行动应力的测试)；

3功率放大器；

4动应力测试系统；

5加速度传感器；

6工件；

7传力装置；

与传统振动时效技术相比，使用电动振动试验系统进行振动时效处理，操作方便，占用场地少，能耗低，且对工件进行处理时工艺简洁、运行成本低廉，对多种规格工件均适用，处理过程高效快捷，同时还节能环保。

参考文献

- [1] 陈国杰. 振动时效技术. 大学物理, 1997;
- [2] 《力学环境试验技术》，编辑委员会编著，西北工业大学出版社；
- [3] 胡晓东，振动时效的过去，今天和未来 《热处理》2010年第25卷第1期

作者简介

毛成龙，男，2007年毕业于中国矿业大学工程力学专业，毕业后在苏州长菱测试技术有限公司一直从事力学环境试验方面的工作，主管完成了神舟七号飞船、神舟八号飞船、天宫一号及嫦娥三号等高难度重大项目的振动试验，对试验夹具的设计有一定的经验。

(上接 57 页)

标准中没有对湿度加以要求，所以试验时无需设置冷凝或水喷淋循环。

4 结论及建议

IEC 61215:2005 标准在太阳能行业应用很广泛。在使用 QUV 紫外光加速老化试验机执行该标准时，可先运行 UVB 灯管 229 小时，辐照度设定 0.68 W/m²，再运行 UVA 灯管 222 小时，辐照度也是设定 0.68 W/m²。整个试验过程中黑板温度设定 60℃ ± 5℃。

虽然在标准中，目前没有对湿度加以要求，但是现在很多紫外标准^[5-6]都包含紫外光照和冷凝或水喷淋循环。所以我们建议以后标准修改时，可以加入冷凝或水喷淋循环。

参考文献

1. IEC 61215:2005, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
2. GB/T 9535:1998, 地面用晶硅光伏组件 设计鉴定和定型
3. Douglas M. Grossman, The right choice-UV fluorescent testing or xenon arc testing. PCI, March 10, 2006
4. 张恒, QUV 和 Q-Sun 两种有效测试耐候性和光稳定性方法的比较, 汽车工艺与材料, 2006 年第 8 期
5. ISO 4892-3, Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps
6. ASTM G154, Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials

作者简介

张恒：理学硕士，中国涂料、塑料、纺织、汽车标准化委员会委员。从事材料的老化测试工作十多年，已参与多项国家标准的制定，并发表了多篇相关论文。