

人工加速光老化试验方法综述

王春川

(工业和信息化部电子第五研究所, 广东 广州 510610)

摘要: 根据光源的不同, 介绍了多种常见的人工加速光老化试验方法; 从光谱能量、试验条件、后续性能测试、与其它试验项目的组合等方面介绍了人工加速光老化试验; 对人工加速老化与自然曝晒的相关性和考察侧重点进行了评述。

关键词: 光老化; 加速试验; 相关性

中图分类号: TB24

文献标识码: A

文章编号: 1672-5468 (2009) 01-0065-05

Overview of Artificial Accelerated Light Aging Test Methods

WANG Chun-chuan

(CEPREI, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Several commonly used artificial accelerated light aging tests with different light sources were introduced. The spectrum of the light sources and test conditions used in light aging tests, performance tests after a light aging test, and the sequences arranged with other test items were discussed. The article also discusses correlation between artificial accelerated light aging tests and natural exposure tests, and the main points which should be considered in the correlation were also presented.

Key words: light aging; accelerated test; correlation

1 引言

日常生活中, 日光的照射是一种很常见的环境现象。涂层、塑料等高分子材料在受到日光照射的长期使用过程中, 经常出现变色、粉化、起泡、裂纹、脱落等现象, 严重影响产品的机械性能、外观表现等特性^[12]。因此, 在研发涂料、塑料等材料的过程中, 需要模拟自然使用条件, 即进行光老化试验对其进行评测来提供评价依据。同时, 也为了能够快速评估材料的性能, 在进行新材料的光老化试验中, 常常采用人工加速光老化的方法。目前,

普遍使用的人工加速光老化试验方法主要有碳弧灯、荧光紫外灯、氙弧灯、金属卤素灯等。本文将对上述试验方法进行介绍, 并对人工光老化加速试验与天然曝晒试验的相关性等问题进行评述, 希望能为从事材料研究、检测的相关人员提供参考。

2 光老化机理

涂层、塑料等高分子材料在受到日光照射时, 会发生一系列反应, 主要是光化学反应。发生光化学反应的物质的分子或原子首先吸收太阳光, 使其分子或原子在吸收光能后处于高能状态; 而当一个

收稿日期: 2008-09-08

作者简介: 王春川 (1984-), 男, 山东德州人, 工业和信息化部电子第五研究所可靠性与环境工程研究中心助理工程师, 主要从事电子产品环境适应性与可靠性试验研究工作。

分子或原子吸收的能量大于其键能，就会使该物质发生降解，也即老化。老化是完全的解聚反应，使高分子的末端，从原子间化学键弱的部分断裂。老化后的高分子材料，往往出现表面粉化、变色、起泡、裂纹、脱落等现象^[12]。

高分子材料对不同波长的敏感性是影响老化的一个重要因素，常见的高分子材料在波长 230~447 nm 范围的光源照射下，容易出现解聚、老化现象^[14]。

3 几种常见的人工光老化试验方法

3.1 碳弧灯

封闭式碳弧灯：1918 年首先使用在纺织品曝晒色牢度试验。碳电极的成分，决定其光谱能量分布 (SPD)。其主要能量集中在 3 个很窄的波带中，光谱上与日光灯存在较大的差异。

开放式碳弧灯（日光碳弧灯）：最早始于 1933 年，主要用于涂料工业中。其碳棒成分的改变，使 SPD 在模拟日光方面有明显的改进。但与日光的 SPD 相比，在 350 nm 和 500 nm 之间差别很大。

表 1 封闭式碳弧灯典型光谱能量分布
(通过模拟户外阳光滤光器)

光谱波长 (λ/ nm)	ASTM G152 中模拟户 外阳光的典型光谱能 量分布/%	CIE No. 85: 1989, Table 4/%
λ<290	0	0
290≤λ≤320	0	5.4
320<λ≤360	20.5	38.2
360<λ≤400	79.5	56.4
290≤λ≤400	100	100

(参考标准：ASTM G153-04。)

表 2 开放式碳弧灯典型光谱能量分布
(通过模拟户外阳光滤光器)

光谱波长 (λ/nm)	ISO 4892-4 中模 拟户外阳光的典 型光谱能量分布/ %	ASTM G152 中模 拟户外阳光的典 型光谱能量分布/ %	CIE No. 85: 1989, Table 4/%
λ<290	0 ^a	0	0
290≤λ≤320	2.9	2.9	5.4
320<λ≤360	20.5	20.5	38.2
360<λ≤400	76.6	76.5	56.4
290≤λ≤400	100	100	100

(参考标准：ISO 4892-4: 2004, ASTM G152-06。

a. 此处标准原文为 0.05，根据上下文相关数据应为 0。)

日本的一些早期标准常使用碳弧灯做为试验光源。此外，许多汽车厂商曾经在自己的相关企业标准中使用过碳弧灯作为试验光源，随着试验光源技术的发展，其中多数厂商已改用氙弧灯，或者氙弧灯与碳弧灯同时备选^[14]。常见的一些国际和国内标准有：ISO 4892-4，ASTM D152，ASTM D153，ASTM D750 (04 版更新之后除碳弧灯试验方法之外，加入了使用氙弧灯和荧光紫外灯的试验方法)，GB/T 15255 等。

3.3 荧光紫外灯

荧光紫外灯可以使许多产品加速损坏。由于它所产生的光照存在地球表面，而且是自然日光中没有的辐射能量，所以荧光装置可能引发非自然的破坏。另外，由于没有较长波长的光谱能量，对较长波长的 UV 能量敏感的材料可能不会像曝晒在自然日光下那样变化。鉴于荧光紫外灯的这些特征，适宜作为一个紫外筛选装置，在质量控制中使用。常用的 UV 灯管有 UVA-340，UVA-351，UVB-313 等几种类型。其中，UVA-340 最为接近自然光的紫外光部分，模拟状况最好；UVB-313 灯管的紫外光部分强于自然光紫外部分，并且含有部分自然光中基本没有的短波紫外光，所以 UVB-313 比较适用于对比试验。

表 3 UVA-340 灯管典型光谱能量分布 (模拟户外日光)

光谱波长 (λ/nm)	Minimum/ %	CIE No. 85: 1989, Table 4/%	Maximum /%
λ<290		0	0.01
290≤λ≤320	5.9	5.4	9.3
320<λ≤360	60.9	38.2	65.5
360<λ≤400	26.5	56.4	32.8
290≤λ≤400	100	100	100

(参考标准：ISO 4982-3: 2006, ASTM G154-06。)

常见的使用荧光紫外灯做为试验光源的国外标准有 ISO 4892.3，ASTM G154，ASTM D4329，SAE J1960 等，国内标准有 GB/T 16422.3，GB/T 14522 (方法之一) 等。

3.4 氙弧灯

首先用于塑料工业、汽车工业灯。20 世纪 50 年代首次引用使用，空冷系统，60 年代开始使用水冷。1974 年 ATLAS 研制出 6

500 W 氙弧灯，灯寿命提高，一般可达 2 000 h。未经滤光的氙弧灯光，并不能很好地模拟地球表面的自然暴露，试验箱一般通过几种光学过滤器使照射到样品的光谱模拟几种自然暴露的阳光。当使用硼硅玻璃内外滤光片时，氙灯系统发出的光谱能量分布最近似于户外自然日光；外滤光片改为钠钙玻璃，则最接近经过玻璃窗过滤后的自然日光。氙弧灯对太阳光的良好模拟性，使得它现在被广泛应用。

表 4 氙弧灯典型光谱能量分布 (通过模拟户外日光滤光器)

光谱波长 (λ/nm)	Minimum / %	CIE No. 85: 1989, Table 4/%	Maximum /%
λ<290		0	0.15
290≤λ≤320	2.6	5.4	7.9
320<λ≤360	28.2	38.2	39.8
360<λ≤400	54.2	56.4	67.5
290≤λ≤400	100	100	100

(参考标准：ISO 4982-2: 2006)

使用氙弧灯作为试验光源的国外标准有 ISO 4892.2，IEC 60068 -2 -5，ASTM G155，ASTM D2565，ASTM D4459，SAE J1885，MIL -STD -810F（方法 505.4）等，国内标准有 GB/T 16422.2，GB/T 2423.24，GJB 150.7，GB/T 14522（方法之二）等。

3.5 金属卤素灯

金属卤素灯是一种利用金属卤化物通电实现的气体放电灯^[12]。MIL-STD-810F 中描述该种光源“为要求关注热效应的试验提供了一种很好的光源”。金属卤素灯的光谱能量分布与地球表面接收到的太阳光很相似，尤其对红外区域的模拟性很

好，优于其它几种常用光源。通过放置多个该种光源进行模拟试验的试验设备规模较大，主要用于汽车整车、汽车零部件、大型电工电子设备的人工光老化试验。

使用金属卤素灯做为试验光源的国外标准有 DIN 75520 等。也有部分汽车厂商的企业标准使用该种光源。

3.6 各种人工加速试验光源的光谱能量控制

如前所述，几种人工加速光老化试验光源的光谱能量对日光的模拟性各不相同。目前各种试验标准对光源光谱能量分布进行描述时，通常会给出总辐照度和各光谱段的辐照度分布（或者各光谱段能量所占的百分比），并同时列出了各段的容差范围。部分标准会给出试验中关注点的辐照强度（如 340 nm，300 nm-400 nm），针对最关注的波长精确控制，同时也便于试验人员对试验参数的设定。

不同的研究机构 and 标准体系，对于光谱段的划分定义略有不同。

4 光老化试验中的试验条件

4.1 辐照度和滤光片

辐照强度一般在材料最敏感的区域进行辐照度监控。以氙弧灯为例，理论上，光线强度可以在氙灯光谱的任意位置进行监控，实际运用中，常选用的控制点有 340 nm（常用于针对涂料、塑料、屋面材料的试验），420 nm（常用于针对针织品中的染料和色素、纸张和油墨的试验）等^[15]。

行业与应用领域的不同，除了选用不同的辐照度控制点外，试验光源通常还需搭配使用不同的滤光片，以达到模拟户外的阳光、透过窗玻璃的阳光等目的（荧光紫外灯一般通过更换不同类型灯管实现）。

长时间使用后的灯管和滤光片，往往会发生光谱能量分布的变化，因此无论何种光源，都应该根据设备生产厂家建议的使用寿命进行更换。

4.2 温度

在较高的温度环境中，光照的破坏作用通常会增大。

光照试验设备的内部通常通过

表 5 金属卤素灯典型光谱能量分布（通过模拟户外阳光滤光器）

光谱波长(λ/nm)	Minimum /%	CIE No. 85:1989, Table 4/%	Maximum/%
280≤λ≤320	0.3	0.36	0.7
320<λ≤360	1.8	2.54	3.0
360<λ≤400	2.4	3.76	4.4
400<λ≤520	16.1	18.25	19.7
520<λ≤640	14.9	18.14	18.3
640<λ≤800	12.8	17.54	19.0
800<λ≤300 0	33.7	39.41	50.5
280≤λ≤300 0	100	100	100

(参考标准：DIN 75220: 1992。)

控制黑板（非绝缘黑板）温度、黑标（绝缘黑板）温度、试验箱内温度来控制试验条件中的温度条件。各标准一般会在试验条件中对其中一种或两种温度提出要求。

4.3 相对湿度和喷水

在户外自然条件下，露水、雨水、高湿度都会引起潮湿危害，雨水还会产生热冲击的危害、冲刷带来的机械腐蚀。而在室内，危害主要来自湿气带来的机械应力。

多数人工光老化试验设备通过控制试验箱内的相对湿度以及针对样品的水喷淋来模拟潮湿、雨水等条件。荧光紫外试验设备一般通过水蒸汽冷凝以及喷水来模拟自然条件的潮湿环境。

5 关于光老化试验后的测试

光老化试验后，除对外观进行目测检查外，经常还要对受试样品（材料）的一些性能进行后续测试。如色差、光泽度、灰度、拉伸强度试验。这些后续性能测试的目的主要是获得为人工光老化试验提供判据的性能参数。一般来说，对于应用范围广泛的材料，应尽量测试其多种性能指标；而对于限定使用范围的材料，可以根据产品的实际使用环境和要求来确定关注的侧重点，这其中也有试验进度和成本方面的考虑。

6 与其它试验组合时需要考虑的问题

将样品依次连续暴露到两种或多种环境中进行试验，为组合试验。组合试验就不能不考虑试验的顺序。光照试验通常可以安排在试验顺序的任何位置上。因为试验中的高温和光化学效应除了影响样品表面的光学性能外，也可能会影响样品材料的强度、尺寸等性能，进而影响振动、冲击等力学试验，以及低气压试验，放大有害影响。在进行力学试验（如振动试验）和低气压试验时，若要排除其它因素对结果的影响，应考虑将光照试验安排在这两个试验后进行。

7 关于人工加速老化与自然曝晒的相关性

关于受试材料或产品的构成、实际使用环境，是使得人工加速光老化试验程序实现的结果与实际使用条件下发生的结果具有良好相关性的重要依据。

从测试条件方面说，自然曝晒中包含了很多不规则的可变因素，如自然曝晒地点的地理位置和自然环境、曝晒地点的气候改变、进行自然曝晒的时期。自然暴晒并没有一个稳定的测试条件，而人工加速老化测试设备则通过那些与老化有关的测试条件来进行控制，使整个测试有高度的重复性，因此去找一个这两种测试的相关系数来计算样品的耐候年限，其实质意义并不大^[13]。

如果以试验条件中的辐照总量为考察标准，在人工试验中，使样品在短时间内所受到的辐照量达到某种典型自然气候条件下若干年的辐照积累量，可以在短时间内就知道在样品受到该种程度辐照量后性能变化如何；但是，这样对于获得耐用年限的意义依然不大。由于自然气候和人工模拟气候相比更加复杂，所以依然无法据此推算受试产品的使用年限信息。

从材料和试样的性能方面来看，各类材料均有多项性能检测项目，不仅不同材料的相同性能其加速效果不同，相同材料的不同性能在试验过程中也有不同的变化规律，据此得到的自然老化和人工加速老化的推算关系也会出现不一致。

在得到精确换算关系之外，还可以从另一个角度去考虑。试验表明，在合理制定的人工加速老化试验条件的前提下，人工加速试验和自然暴露试验所得到的材料优劣排序表现出较好的一致性。

所以，我们所说的自然曝晒老化和人工加速光老化试验的相关性，所关注的应该是次序的相关性，即材料在自然老化和人工加速老化测试中有同样的相对气候稳定性，而不是找一个换算系数，并将它乘以人工加速老化测试的时间来计算出自然曝晒使用年限。

事实上，目前已经有很多已获得普遍认同的国际标准，用户无需理会人工加速老化等于自然曝晒多长时间；按照标准上的程序和选用条件进行测试，并且达到评判合格要求，所得的结果已经具有一定的共识，达到了一般的可接受范围。如果可以结合已积累得到的天然暴露试验数据进行对比，则有利于进一步对新材料的实际使用寿命进行预计。

8 结束语

做为一种重要的加速考查手段，人工加速光老化试验已经在塑料、涂层工业的研发、量产、质量控制方面发挥着巨大的作用。现今仍在使用的人工

加速光老化试验方法多种多样, 应当根据光源特点、试验目的、受试材料的种类和应用领域来选取不同的人工加速光老化试验方法和适当的试验条件、评判参数。同时, 在需要与其它试验方法进行组合时, 合理安排试验顺序和样品分组方案, 以达到试验目的和得到便于分析判断的试验结果。

尽管目前人工加速光老化试验与天然曝晒之间的相关性不能用简单的相关系数、变换关系来表述, 但是人工加速光老化试验仍是有意义的。结合试验积累得到的数据, 通过和已知性能的材料对比, 可以为新材料的评定提供参考依据。

参考文献:

- [1] ASTM G113-2005, Standard Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Nonmetallic Materials [S] .
- [2] ASTM G152-2006, Standard Practice for Operating Open Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-metallic Materials [S] .
- [3] ASTM G153-2000, Standard Practice for Operating Enclosed Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-metallic Materials [S] .
- [4] ASTM G154-2006, Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials [S] .
- [5] ASTM G155-2005a, Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Materials [S] .
- [6] DIN 75220-1992, Ageing of Automobile Components in Solar Simulation Units [S] .
- [7] IEC 60068-2-5-1975, Test Sa: Simulated solar radiation at ground level [S] .
- [8] ISO 4892-2-2006, Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 2: Xenon-arc lamps [S] .
- [9] ISO 4892-3-2006, Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps [S] .
- [10] ISO 4892-4-2004, Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 4: Open-flame carbon-arc lamps [S] .
- [11] MIL-STD-810F-2000, METHOD 505.4, SOLAR RADIATION (SUNSHINE) [S] .
- [12] 王玲. 人工加速老化试验方法评述 [J] . 涂料工业, 2005, 35 (4): 51-54.
- [13] 梁星才. 材料与产品大气暴露与人工加速试验相关性的探讨意见 (下) [J] . 环境技术, 2001, (4): 19-23, 40.
- [14] 彭麟骅, 刘文杰, 王怡红. 光老化处理中氙弧灯替代碳弧灯的可行性研究 [J] . 汽车科技, 2007, (5): 53-56.
- [15] Patrick J. Brennan 著, 张恒 译. 人工加速老化测试-氙灯试验箱 [J] . 环境装备工程, 2005, 2 (4): 88-93.

信息与动态

Allegro MicroSystems 公司推出 3 A、2 MHz 全新降压 LED 驱动器

小型封装及高效率

2009 年 2 月 5 日, 美国马萨诸塞州伍斯特市的 Allegro MicroSystems 公司推出一种采用固定导通时间及波谷电流回授控制的全新降压 LED 驱动器 (A6210)。它可以确保实现极短的开关时间, 从而非常适合需要较高切换频率及高输入电压和低输出电压的应用。其小型尺寸及高效率令其非常适合内部小型 MR16 灯等紧凑型应用, 而其大电流及中等电压容量则适合街道照明等大功率应用。

A6210 采用 4 mm QFN 封装, 通过高达 2.0 MHz 的高切换频率, 支持小型低成本的电感器和电容器, 可降低系统成本。此外, 由于高度集成, 所需的外部组件很少, 包括 3 A 的开关。优化的驱动电路可最大限度地减小切换损耗, 在现实情况下效率高达 90 % 以上。由于输入电压调整开关时间, 切换频率始终保持不变。此前反馈控制可确保理想的线校正。控制输入电压的外部电阻器可对开关时间编程。(本刊讯)

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [羊毛织物加速光老化的比较性试验](#)
2. [漆膜人工加速老化试验及评级方法](#)
3. [人工加速光老化试验方法综述](#)
4. [自然环境加速试验技术](#)
5. [海南自然暴晒试验与人工加速光老化试验的相关性研究](#)
6. [日照参数与人工试验方法综述](#)
7. [高分子材料人工加速光老化](#)
8. [人工加速老化试验方法评述](#)
9. [轻轨车的轮对蠕滑控制](#)
10. [人工加速曝露试验方法及其问题](#)