

# 喷粉铝合金建筑型材耐老化性能紫外线快速检测方法的研究

罗有雄, 李志劲

(佛山市质量计量监督检测中心, 广东 佛山 528225)

**摘要:** 为了获得适合工厂对粉末喷涂铝型材耐老化性能进行质量控制的快速检测方法, 研究了紫外线加速老化试验结果与 1 000 h 氙灯老化试验结果之间的关系, 试验样品为含有不同耐候等级的粉末涂料制成的粉末喷涂铝板, 分别测试了组合紫外线加速老化试验与 1 000 h 氙灯老化试验的光泽及颜色变化, 两种试验结果之间的相关系数为 0.85~0.89, 216 h 的组合紫外线人工加速老化试验可以近似准确模拟 1 000 h 氙灯老化试验结果, 该试验方法可以作为工厂内部质量控制方法使用。

**关键词:** 耐候性; 紫外线加速老化试验; 氙灯老化试验; 铝合金建筑型材

**中图分类号:** TQ630.7+2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2024)01-0007-04

## Study on Rapid Testing Method of Aging Resistance of Powder Coating Aluminum Alloy Building Profiles by Ultraviolet Lamp

LUO You-xiong, LI Zhi-jin

(Foshan Supervision Testing Centre of Quality & Metrology, Foshan 528225, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to obtain a fast test method suitable for the factory to control the quality of aging resistance of powder coated aluminum profiles, the relationship between the results of fluorescent UV lamp accelerated aging test and the 1 000 hours xenon lamp artificial weathering test was studied. The test samples were powder coated aluminum plates made of powder coatings with different weather resistance grades. The gloss and color changes of the combined fluorescent UV lamp accelerated aging test and the 1 000 hours xenon lamp artificial weathering test were tested respectively, and the correlation coefficient between the two results was 0.85~0.89. The 216 hours combined ultraviolet lamp artificial accelerated aging test can approximately accurately simulate the 1 000 hours xenon lamp aging test results. The test method can be used as the internal quality control method of the factory.

**Key words:** weatherability; fluorescent UV lamp accelerated aging test; xenon lamp artificial weathering test; aluminum alloy building profiles

### 0 引言

铝及铝合金是现阶段应用较为广泛的有色金属材料, 在建筑、交通等诸多领域广泛应用, 目前, 我国已成为世界上铝合金建筑型材生产第一大国。铝型材常见

的表面处理方式有氧化、电泳、粉末喷涂、氟碳漆喷涂等, 其中粉末喷涂是建筑铝型材广泛应用的处理方式, 份额占建筑铝型材的一半以上, 表面处理后的建筑铝型材的耐老化性能是一个关键的性能, 决定着型材的使用寿命。由于近几年市场竞争激烈, 粉末涂料的价格不断下降, 质量也有下降的风险。铝型材厂想控制铝型材的耐老化性能存在实际困难, 粉末喷涂铝型材的老化测试包括户外大气测试和实验室加速测试两种方

收稿日期: 2023-03-17

作者简介: 罗有雄(1966—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事材料检测工作。E-mail: nanhailx@126.com。

法,尽管户外曝晒测试比较符合实际,然而大部分铝型材企业不愿意等上几年的时间来观察一种新的产品是否符合要求。GB/T 5237.4—2017《铝合金建筑型材 第4部分:喷粉型材》中规定的人工耐老化试验是氙灯照射 1 000 h,时间虽然比耐自然气候一年短了,但对于铝型材生产企业控制老化质量来说还是时间长、成本高。工厂现实生产中的控制方法都用快速老化试验来代替,研究快速的老化性能检测方法可以极大方便企业进行研发和质量控制<sup>[1]</sup>,高分子材料常见的快速老化试验方法有 GB/T 16422.3—2014《塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯》、GB/T 16585—1996《硫化橡胶人工气候老化(荧光紫外灯)试验方法》、GB/T 23987—2009《色漆和清漆 涂层的人工气候老化暴露 暴露于荧光紫外线和水》等方法,这些方法都只规定了荧光紫外灯快速老化试验方法的常见循环暴露条件,国外标准的耐老化试验方法与国内标准基本等同,都未有具体适合铝型材老化的方法,研究获得能够与标准的耐候试验结果相近的铝型材快速检测方法很有现实意义。有人研究过各种人工加速老化试验与美国佛罗里达户外曝晒结果之间的关系<sup>[2]</sup>,本文着重研究喷粉铝型材紫外灯加速老化试验与 1 000 h 氙灯老化试验之间的关系,期望获得与 1 000 h 氙灯老化试验结果相近的喷粉铝型材快速老化试验方法,方便喷粉铝型材生产企业和粉末涂料生产企业进行研发和质量控制。

## 1 试验部分

### 1.1 氙灯老化试验

#### 1.1.1 试验仪器

XE-3HS 型氙灯老化试验机(美国 Q-LAB 公司)。

#### 1.1.2 试验条件

按 GB/T 5237.4—2017《铝合金建筑型材 第4部分:喷粉型材》规定的 GB/T 1865—2009《色漆和清漆人工气候老化和人工辐射暴露滤过的氙弧辐射》中方法 1 的循环 A 规定进行,具体为:辐射强度  $0.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \times 340 \text{ nm}$ ;光照 102 min,黑板温度  $(63 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $(50 \pm 10)\%$ ,喷淋 18 min,连续光照,使用日光滤光器,试验时间 1 000 h。

### 1.2 UVA-340 紫外灯人工加速老化试验

#### 1.2.1 试验仪器

UV/spray 型紫外老化试验机(美国 Q-LAB 公司)。

#### 1.2.2 循环试验条件

UVA-340 灯,光照 2 h,黑板温度  $(70 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ ,辐射强度  $1.30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \times 340 \text{ nm}$ ,喷淋 0.5 h,不关闭光源,黑板温度  $(25 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ ,试验时间 300 h。

### 1.3 联合紫外灯人工加速老化试验

#### 1.3.1 试验仪器

UV/spray 型紫外老化试验机(美国 Q-LAB 公司)。

#### 1.3.2 循环试验条件

前 6 d 循环试验条件为:UVB-313 灯,光照 8 h,黑板温度  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ,辐射强度为  $0.48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \times 313 \text{ nm}$ ,冷凝 4 h,黑板温度  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。后 3 d 循环试验条件为:UVA-340 灯,光照 8 h,黑板温度  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,辐射强度为  $0.83 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \times 340 \text{ nm}$ ,喷淋 15 min,冷凝 225 min,黑板温度  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 1.4 色差和光泽的检测

各种老化试验前后都将样品放置在标准温湿度状态条件下放置 24 h,然后用色差仪和光泽度计检测色差和光泽。

### 1.5 试验样品

选取两种不同耐候等级的 I 类和 II 类粉末涂料,喷涂成标准铝合金试验板,I 类粉末涂料采用不同质量水平的成膜聚酯树脂,分成 52%和 60%两种聚酯成分和白色、灰色和黄色 3 种颜色制作测试样板;II 类粉末涂料分成 56%和 70%两种聚酯成分和白色、灰色和黄色 3 种颜色制作测试样板。

## 2 分析结果及讨论

### 2.1 氙灯老化试验结果

试验样品 1 000 h 氙灯老化试验后结果见表 1,氙灯试验箱可以模拟太阳光的所有光谱,包括紫外线、可见光和红外线,氙灯光谱在 295~800 nm 范围内基本上与太阳光光谱相吻合,光谱对比见图 1 所示,GB/T 5237.4—2017《铝合金建筑型材 第4部分:喷粉型材》中规定的人工耐老化试验也是氙灯照射 1 000 h,所以用该结果作为参照基准来和其他快速老化试验结果进行对比。

### 2.2 UVA-340 紫外灯人工加速老化试验结果

UVB-313 紫外线灯管所采用的紫外短波长比目前地球表面上通常找到的紫外光波更短,能量更为强烈,波长范围为 280~315 nm,发光光谱能量主要集中在 313 nm 波长处,尽管这些比自然波长短许多的紫外光能够最大程度地加速试验,但检测结果可能与自然老化的结果不一致。UVA-340 紫外灯模拟阳光紫外线比较好,可极好地模拟临界短波波长范围阳光光谱,即波长范围为 295~360 nm 的光谱,在 340 nm 处有 1 个发射峰,因此要模拟夏天正中午日光照射后的情况,大多数试验要求推荐采用 UVA-340 型紫外灯,而需要更加快速老化速度的试验则推荐采用 UVB-313 型紫外线灯管。我们希望得到更接近氙灯老化结果的快速检测方法,就先选择 UVA-340 型紫外灯来做加速

老化试验。聚酯粉末涂料的老化与酯键的水解有关,为了快速获得变化,我们选择了高温、高能量、加上喷淋的严酷试验条件,试验时间 300 h 的结果见表 2。从表 2 可知,本方法结果与氙灯 1 000 h 的结果相差较大,两个结果相关性较差,本方法只能识别 I 类粉末涂料的光泽保持率比 II 类粉末涂料差,无法按 GB/T 5237.4—2017 要求来判断是否合格,本方法达不到实用的要求。

表 1 1 000 h 氙灯老化试验结果

样品编号	变色( $\Delta E^*$ )	光泽保持率/%
5-7042-56(II类)	0.52	87.9
5-8008-56(II类)	4.22	72.0
5-8008-70(II类)	3.56	85.4
5-9016-56(II类)	0.29	97.8
6-7042-56(II类)	0.28	90.4
6-7042-70(II类)	0.16	96.3
6-8008-56(II类)	3.03	86.5
6-8008-70(II类)	2.70	92.5
6-9016-56(II类)	0.16	96.4
6-9016-70(II类)	0.25	100.0
8-7042-52(I类)	2.73	20.8
8-7042-56(I类)	3.83	14.4
8-7042-60(I类)	2.93	19.1
8-8008-52(I类)	8.08	18.8
8-8008-60(I类)	4.80	31.9
8-9016-52(I类)	0.36	78.2
8-9016-60(I类)	0.28	58.1
S-7042-52(I类)	1.30	41.2
S-7042-56(I类)	1.22	63.4
S-7042-60(I类)	1.13	55.9
S-8008-52(I类)	4.99	55.1
S-8008-60(I类)	4.27	50.2
S-9016-52(I类)	0.10	91.6
S-9016-60(I类)	0.17	93.3

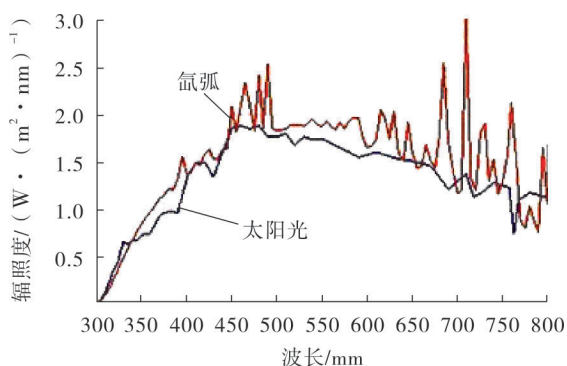


图 1 氙灯与太阳光的光谱

表 2 UVA-340 型紫外灯试验 300 h 后的结果

样品编号	变色( $\Delta E^*$ )	光泽保持率/%
5-7042-56(II类)	0.16	98.6
5-8008-56(II类)	1.38	99.1
5-8008-70(II类)	1.32	99.1
5-9016-56(II类)	0.53	90.4
6-7042-56(II类)	0.88	100.0
6-7042-70(II类)	0.46	86.2
6-8008-56(II类)	0.96	100.0
6-8008-70(II类)	1.48	91.1
6-9016-56(II类)	1.02	100.0
6-9016-70(II类)	0.69	91.4
8-7042-52(I类)	1.04	98.9
8-7042-56(I类)	1.47	86.1
8-7042-60(I类)	0.86	81.9
8-8008-52(I类)	3.97	78.7
8-8008-60(I类)	3.22	82.7
8-9016-52(I类)	0.75	82.7
8-9016-60(I类)	0.78	68.2
S-7042-52(I类)	0.37	100.0
S-7042-56(I类)	0.35	95.3
S-7042-60(I类)	1.13	91.4
S-8008-52(I类)	0.27	100.0
S-8008-60(I类)	1.22	95.1
S-9016-52(I类)	0.35	96.1
S-9016-60(I类)	0.72	85.2

### 2.3 组合紫外灯加速老化试验结果

由于 UVA-340 紫外灯人工加速老化试验变化太慢,采用 UVB-313 紫外线和 UVA-340 紫外灯组合来进行试验,组合紫外灯加速老化试验见表 3。如果按 GB/T 5237.4—2017 来判定是否合格,与氙灯老化试验的结果可能会不一致,24 个结果中有 19 个结果一致,有 5 个结果不一致,判定结果一致率 79%。

#### 2.3.1 变色的相关性

组合紫外灯老化试验与 1 000 h 氙灯老化试验的变色结果见表 4。从表 4 可知,本方法可以检验出耐老化色差的好坏,两组数据相关系数是 0.89,如果按 GB/T 5237.4—2017 来判定是否合格,24 个结果中有 21 个结果一致,有 3 个结果不一致,与氙灯老化试验结果不完全一致,但有较高的参考作用。从检测结果可分析到,不同颜色的偏差有明显差别,白色的结果比氙灯老化试验结果都偏高,而且相对偏差比其他颜色的大一些,可能是绝对值较小引起的;灰色和黄色的结果大部分偏高,相对偏差比白色小很多,说明颜色种类对本方法结果与氙灯老化试验结果的相关性有较大的影响。

本次试验的相关性仅能适用于本次试验验证过的白色、灰色和黄色,使用本方法得出的变色结果与氙灯老化试验结果比时要充分考虑颜色的因素,如果想进一步准确地得出老化变色结果,可对不同颜色做不同的系数修正。

表3 组合紫外灯老化试验结果

样品编号	变色( $\Delta E^*$ )	光泽保持率/%
5-7042-56(Ⅱ类)	1.49	94.0
5-8008-56(Ⅱ类)	4.67	93.0
5-8008-70(Ⅱ类)	3.98	87.0
5-9016-56(Ⅱ类)	0.59	97.0
6-7042-56(Ⅱ类)	1.44	100.0
6-7042-70(Ⅱ类)	0.59	100.0
6-8008-56(Ⅱ类)	4.19	90.0
6-8008-70(Ⅱ类)	3.55	90.0
6-9016-56(Ⅱ类)	0.89	97.0
6-9016-70(Ⅱ类)	0.72	96.0
8-7042-52(I类)	4.29	41.0
8-7042-56(I类)	5.39	26.0
8-7042-60(I类)	4.44	38.0
8-8008-52(I类)	9.51	44.0
8-8008-60(I类)	9.79	35.0
8-9016-52(I类)	1.59	45.0
8-9016-60(I类)	1.47	39.0
S-7042-52(I类)	4.88	44.0
S-7042-56(I类)	1.18	86.0
S-7042-60(I类)	1.58	85.0
S-8008-52(I类)	3.63	81.0
S-8008-60(I类)	4.33	80.0
S-9016-52(I类)	0.66	86.0
S-9016-60(I类)	0.86	85.0

### 2.3.2 光泽保持率的相关性

组合紫外灯老化试验与1 000 h 氙灯老化试验的光泽保持率结果见表5。从表5可知,本方法可以检验出耐老化光泽保持率的好坏,两组数据相关系数是0.85,有一定的相关性,如果按GB/T 5237.4—2017来判定是否合格,24个结果中有19个结果一致,有5个结果不一致,与氙灯老化试验结果不完全一致,但有较高的参考作用。从检测结果可分析到,不同颜色的偏差有明显差别,I类粉末涂料中白色的光泽保持率都比1 000 h 氙灯老化试验的光泽保持率偏低,灰色和黄色的光泽保持率都比1 000 h 氙灯老化试验的光泽保持率偏高,同一种树脂不同颜色时,氙灯老化试验的光泽保持率会有较大的变化,而本方法的结果变化较小,说明本方法对颜色的因素反应不够灵敏,本次试验的相

关性仅能适用于本次试验验证过的白色、灰色和黄色,使用本方法得出的光泽保持率结果与氙灯老化试验结果比时要充分考虑颜色的因素。

表4 组合紫外灯老化试验与1 000 h 氙灯老化试验的变色结果

样品编号	氙灯试验变色值	组合紫外灯试验变色值
5-7042-56(Ⅱ类)	0.52	1.49
5-8008-56(Ⅱ类)	4.22	4.67
5-8008-70(Ⅱ类)	3.56	3.98
5-9016-56(Ⅱ类)	0.29	0.59
6-7042-56(Ⅱ类)	0.28	1.44
6-7042-70(Ⅱ类)	0.16	0.59
6-8008-56(Ⅱ类)	3.03	4.19
6-8008-70(Ⅱ类)	2.70	3.55
6-9016-56(Ⅱ类)	0.16	0.89
6-9016-70(Ⅱ类)	0.25	0.72
8-7042-52(I类)	2.73	4.29
8-7042-56(I类)	3.83	5.39
8-7042-60(I类)	2.93	4.44
8-8008-52(I类)	8.08	9.51
8-8008-60(I类)	4.80	9.79
8-9016-52(I类)	0.36	1.59
8-9016-60(I类)	0.28	1.47
S-7042-52(I类)	1.30	4.88
S-7042-56(I类)	1.22	1.18
S-7042-60(I类)	1.13	1.58
S-8008-52(I类)	4.99	3.63
S-8008-60(I类)	4.27	4.33
S-9016-52(I类)	0.10	0.66
S-9016-60(I类)	0.17	0.86

### 2.3.3 方法精密度

我们做了12个样品的平行试验,相对偏差结果见表6和表7,色差的平均相对偏差16.6%,最大相对偏差38.1%,光泽保持率的平均相对偏差15.5%,最大相对偏差41.3%。GB/T 16422.3—2014等方法都没有给出精密度,无法和这些国标进行比较,我们认为精密度到达可以接受的水平。建议一个样品做3个试样,有2个达到要求可判定合格。

## 3 结语

组合紫外灯人工加速老化试验可以近似准确模拟1 000 h 氙灯老化试验结果。前6 d 循环试验条件为:UVB-313灯,光照8 h,黑板温度70℃,辐射强度0.48 W/(m<sup>2</sup>·nm)×313 nm,冷凝4 h,黑板温度50℃。后3 d 循环试验条件为:UVA-340灯,光照8 h,黑板温度50℃,辐射强度为0.83 W/(m<sup>2</sup>·nm)×340 nm,喷淋15 min,冷凝225 min,黑板温度50℃。试(下转第69页)