



粉末喷涂铝型材的实验室加速耐候老化测试方法研究

作者：罗川（阿克苏·诺贝尔粉末涂料（宁波）有限公司）
张恒（美国 Q-Lab 公司中国代表处）

摘要：本文介绍了粉末喷涂铝型材老化测试的国内外发展现状及测试方法，重点研究了三种实验室加速耐候老化测试 UVA、UVB 和 Q-Sun 与佛罗里达户外测试之间的比较。试验样品为 6 种不同的粉末喷涂铝板，采用 UVA、UVB、Q-Sun 及在佛罗里达分别测试了样品的光泽及颜色变化，并研究了在 UVA、UVB 或 Q-Sun 中测试多长时间样品发生的光泽变化或颜色变化相当于在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果。而且，我们还研究了三种加速老化试验方法与佛罗里达户外曝晒结果之间的相关系数。

关键词：老化 测试 UVA UVB Q-Sun 佛罗里达 铝型材

1. 引言

近年来，随着我国建设步伐的加快，铝合金建筑型材市场有了长足的发展。目前，我国已成为世界上铝合金建筑型材生产第一大国。与其他材料一样，当铝合金建筑型材处在大气条件下，受到光照、温度、潮湿等因素的侵蚀，会产生褪色、粉化、开裂、起浮泡、表面剥落等老化现象，从而影响到产品的性能和美观。因此铝合金建筑型材的耐候性是产品开发和质量控制的一个重要指标。

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法。国内外都长期开展了户外大气老化测试。国内在海南、广州、敦煌等地都有规模不等的户外曝晒场，国际上通常作为基准曝晒地点有美国的佛罗里达和亚利桑那，Q-Lab 公司在上述地方都建有标准曝晒场。国内有专门的铝型材行业的大气老化标准 GB5237.4-2004^[1]，国际上常用的户外曝晒标准有欧洲 Qualicoat 第 10 版^[2]、美国建筑制造业协会 AAMA2603-02^[3]、AAMA2604-02^[4]、AAMA2605-02^[5]、英国 BS6496^[6]等。尽管户外曝晒测试有很多优点：实际，便宜，易于操作，然而大部分制造商不愿意等上几年的时间来观察一种新的改良的产品设计是否确实得到改进，所以有必要进行实验室加速老化测试。

在加速老化测试方面，除少数的日本企业仍沿用碳弧灯外，主流的测试方法有紫外(UV)和氙灯(Q-Sun)两种，其中紫外又分为 UVA 和 UVB。本文实验目的就是比较 UVA、UVB、Q-Sun 三种实验室加速老化测试方法与佛罗里达户外曝晒之间的关系，并通过观察实验数据及数学计算，找到三种加速老化试验方法最接近佛罗里达户外曝晒效果的时间，也就是回答人们通常比较关心的一个问题——在 UVA、UVB 或 Q-Sun 中测试多长时间样品发生的光泽变化或颜色变化相当于在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果。除此之外，我们还计算三种加速老化试验方法与佛罗里达户外曝晒结果之间的相关系数。

2. 实验室加速老化原理及我们采用的三种加速测试方法

氙灯和紫外这两种检测设备的测试原理完全不同，氙灯试验箱模拟太阳光的所有光谱，包括紫外线(UV)，可见光和红外线(IR)。氙灯光谱在 295nm 到 800nm 范围内基本上与太阳光光谱相吻合。而 QUV 不能模拟全光谱太阳光。它基于的原理是，对曝晒在户外的经久耐用的材料，紫外线的短波段 300~400 nm 是引起老化损害的最主要的原因。氙灯和紫外两种加速耐候老化测试方法的侧重点不同，一般选择 QUV 模拟材料的物理性能老化，Q-Sun 氙灯模拟颜色老化。

利用 Q-Lab 公司的 QUV 紫外和 Q-Sun 氙灯两种测试设备对阿克苏·诺贝尔粉末涂料(宁



波)有限公司提供的6种粉末喷涂铝板进行了测试。这6种铝板分别编号为A、B、C、D、E、F。具体地,我们进行三种实验室加速老化测试,分别是UVA、UVB和Q-Sun,三种测试的具体标准如表1、2、3所示。

Cycle no. 程序号	Exposure period 循环周期	Lamp type 灯管型号	Irradiance 光强	Black standard temperature 黑板温度
ASTM G154-2006 cycle 6	8h dry 4h condensation	UVA 340	1.55W/m ² /nm @340nm	60±3℃ 50±3℃

表1 UVA 测试程序

Cycle no. 程序号	Exposure period 循环周期	Lamp type 灯管型号	Irradiance 光强	Black standard temperature 黑板温度
ASTM G154-2006 cycle 2	4h dry 4h condensation	UVB 313	0.71W/m ² /nm @310nm	60±3℃ 50±3℃

表2 UVB 测试程序

Cycle no. 程序号	Exposure period 循环周期	Filter 过滤器	Irradiance 光强	Black standard temperature 黑板温度
ISO 11341 cycle A, method 1	102min light 18min light & water spray	Daylight 日光过滤器	0.51W/m ² /nm @340nm	63℃

表3 Q-Sun 测试程序

3. 三种加速测试方法的结果与在佛罗里达测试结果之间的比较

利用UVA、UVB、Q-Sun和在佛罗里达均测试了6种粉末喷涂铝板样品的光泽、颜色变化及浮泡、粉化、开裂、裂缝等情况。为了得到加速老化测试与佛罗里达户外曝晒实验结果之间的关系,也就是通常人们比较关心的一个问题——在UVA、UVB或Q-Sun中测试多长时间相当于在佛罗里达户外曝晒1年的效果,我们不但对比观察实验数据,而且做了相关的数学计算,具体过程如下:

我们假设在三种加速测试方法中测试t小时最接近在佛罗里达户外曝晒1年的效果,时间t对应材料的变化与佛罗里达测试结果之间的差值为 δ ,然后求二次函数 $f(t) = \sum_{i=1}^6 \delta_i^2$ 的

最小值,最小值所对应的t值就是我们所要求的最佳测试时间。

求出最佳测试时间,还要求几种测试方法间的相关系数 r_s (spearman's correlation),它指的是利用两种不同的测试方法对一组样品进行测试,所得实验结果之间的相关性。相关系数 r_s 的计算公式为: $r_s = 1 - 6 \sum d_i^2 / [n(n^2 - 1)]$,其中n指的是样品的个数, d_i 指的是两列排序中每一组数据之间的差值。

3.1 UVA 与佛罗里达测试结果之间的比较

● 光泽变化

对每个样品,UVA均作用了1000小时,每200小时取一次数据,分别在200小时、400小时、600小时、800小时和1000小时,而在佛罗里达是对样品测试了1年,每3个月取一次数据,分别在第3个月、第6个月、第9个月和第12个月。不管是在佛罗里达户外曝晒,还是利用UVA进行实验室加速老化测试,样品的光泽均发生退化。利用前面所述方法,我



们对 UVA 测试和佛罗里达户外曝晒结果进行了计算, 计算结果表明, 二次函数 $f(t) = \sum_{i=1}^6 \delta_i^2$

取得最小值时所对应的 t 值为 400 小时, 这就说明在 UVA 中测试 400 小时样品的光泽变化最接近在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果 (如图 1 所示)。

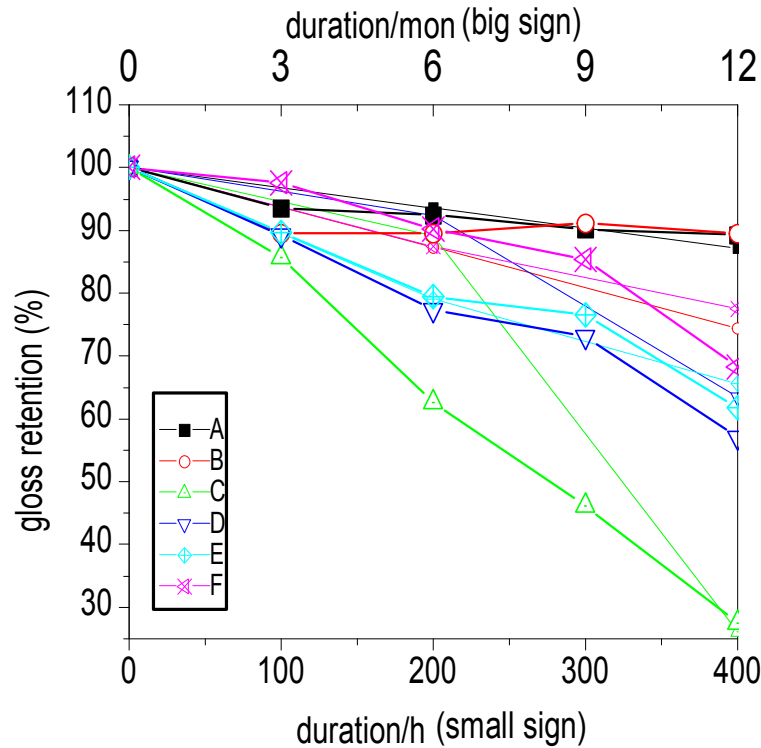


图 1 UVA 400 小时与佛罗里达 1 年样品保光率之间的比较

通过数据分析及数学计算, 得出 UVA 与佛罗里达之间的相关系数如表 4 所示。从表中可知, 利用 UVA 测试 400 小时与在佛罗里达测试 1 年之间的光泽退化相关系数为 0.90。

r_s (gloss)	佛罗里达 3 个月	佛罗里达 6 个月	佛罗里达 9 个月	佛罗里达 12 个月
UVA 200 小时	0.01	0.14	-0.14	-0.01
UVA 400 小时	0.84	1.00	0.83	0.90
UVA 600 小时	0.90	0.94	0.77	0.81
UVA 800 小时	0.76	0.94	0.77	0.84
UVA 1000 小时	0.59	0.83	0.66	0.73

表 4 光泽退化时 UVA 与佛罗里达之间的相关系数

● 颜色变化

如同样品的光泽会发生退化, 经过 UVA 测试或佛罗里达曝晒, 样品的颜色也会跟着发生变化。但是通过对对比观察实验数据, 我们发现在测试颜色变化时 UVA 的结果不是很好, ΔE 的值出现了明显的下降现象 (如图 2 所示)。

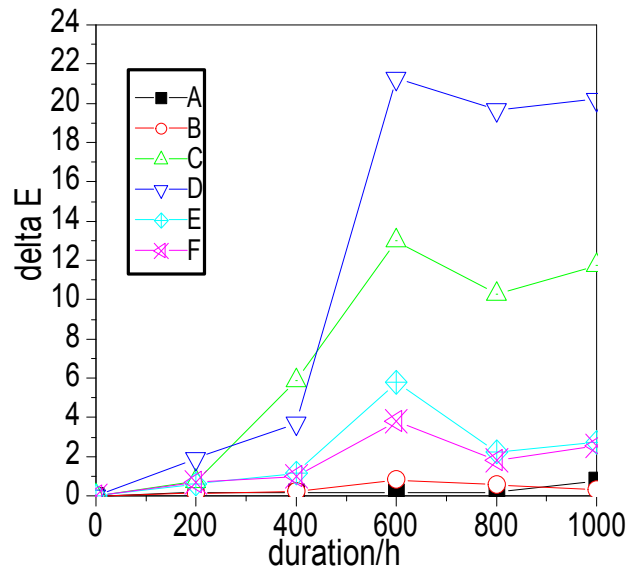


图2 测试颜色变化时 UVA 的结果

从以上数据分析可知，利用 UVA 进行测试，样品发生的光泽退化和颜色变化是不同的，利用 UVA 测试 400 小时与在佛罗里达测试 1 年之间的光泽退化相关系数为 0.90，而 UVA 测试的颜色变化的结果不是很好。

3.2 UVB 与佛罗里达测试结果之间的比较

● 光泽变化

对每个样品，UVB 分别在 200h、250h、296h、318h、342h 和 384h 对样品进行了测试，通过对比观察实验数据及相关数学计算，得到利用 UVB 测试 350 小时最接近在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果（如图 3 所示）。

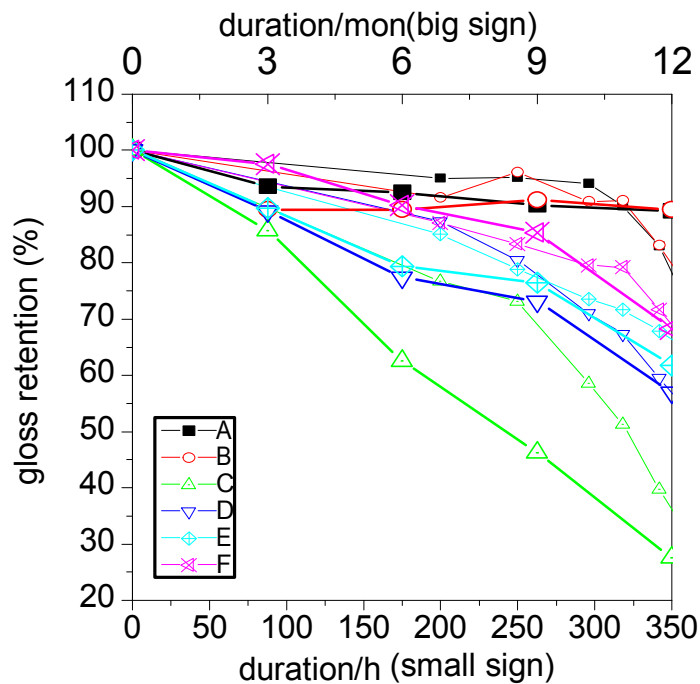


图3 UVB 350 小时与佛罗里达 1 年样品保光率之间的比较



UVB 与佛罗里达之间的相关系数如表 5 所示。从表中可知，利用 UVB 测试 350 小时与在佛罗里达测试 1 年之间的光泽退化相关系数为 0.99。

r_s (gloss)	佛罗里达 3 个月	佛罗里达 6 个月	佛罗里达 9 个月	佛罗里达 12 个月
UVB 200 小时	0.36	0.71	0.77	0.81
UVB 250 小时	0.41	0.77	0.94	0.93
UVB 296 小时	0.64	0.94	0.94	0.99
UVB 318 小时	0.50	0.83	1.00	0.99
UVB 342 小时	0.50	0.83	1.00	0.99
UVB 350 小时	0.50	0.83	1.00	0.99
UVB 384 小时	0.33	0.54	0.83	0.79

表 5 光泽退化时 UVB 与佛罗里达之间的相关系数

- 颜色变化

经过 UVB 测试样品的颜色也会发生变化，但有几个样品 ΔE 的值相比佛罗里达的小很多，这就说明由于 UVB 的波长较短而且不能模拟全光谱太阳光，所以出现了光泽变化能与佛罗里达效果接近但颜色变化达不到佛罗里达测试结果的现象。

3.3 Q-Sun 与佛罗里达测试结果之间的比较

- 光泽变化

对每个样品，Q-Sun 分别在 174h、412h、600h 和 792h 对样品进行了测试，通过对比观察实验数据及相关数学计算，得到利用 Q-Sun 测试 600 小时最接近在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果（如图 4 所示）。

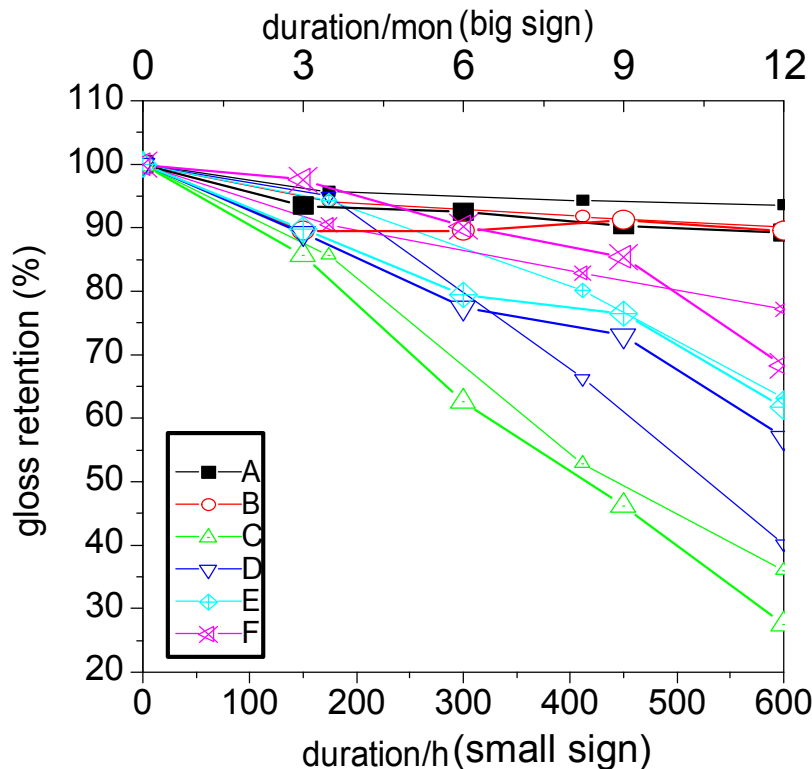




图 4 Q-Sun 600 小时与佛罗里达 1 年样品保光率之间的比较

Q-Sun 与佛罗里达之间的相关系数如表 6 所示。从表中可知，利用 Q-Sun 测试 600 小时与在佛罗里达测试 1 年之间的光泽退化相关系数为 0.99。

r_s (gloss)	佛罗里达 3 个月	佛罗里达 6 个月	佛罗里达 9 个月	佛罗里达 12 个月
Q-Sun 174 小时	0.33	0.43	0.31	0.41
Q-Sun 412 小时	0.64	0.94	0.94	0.99
Q-Sun 600 小时	0.64	0.94	0.94	0.99
Q-Sun 792 小时	0.64	0.94	0.94	0.99

表 6 光泽退化时 Q-Sun 与佛罗里达之间的相关系数

● 颜色变化

通过对比观察实验数据及相关数学计算，得知利用 Q-Sun 测试 500 小时最接近在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果（如图 5 所示）。

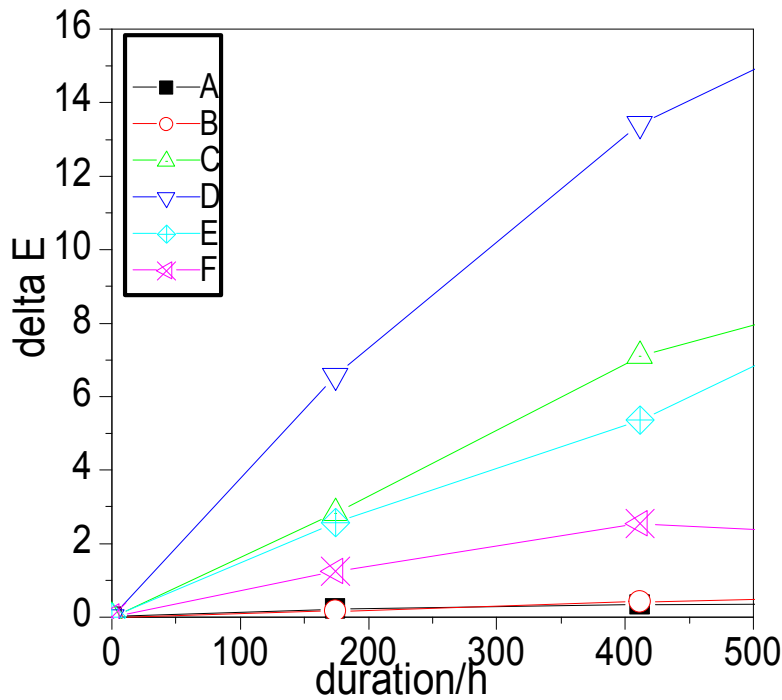


图 5 测试颜色变化时 Q-Sun 500h 的结果

颜色变化时 Q-Sun 与佛罗里达之间的相关系数如表 7 所示。从表中可知，利用 Q-Sun 测试 500 小时与在佛罗里达测试 1 年之间的颜色变化相关系数为 0.79。

r_s (gloss)	佛罗里达 3 个月	佛罗里达 6 个月	佛罗里达 9 个月	佛罗里达 12 个月
Q-Sun 174 小时	0.26	0.26	0.70	0.70
Q-Sun 412 小时	0.37	0.37	0.79	0.79
Q-Sun 500 小时	0.37	0.37	0.79	0.79
Q-Sun 600 小时	0.37	0.37	0.79	0.79
Q-Sun 792 小时	0.37	0.37	0.70	0.70



表 7 颜色变化时 Q-Sun 与佛罗里达之间的相关系数

4. 总结与建议

1. 积极开展粉末喷涂铝型材的户外老化测试，这是一项长期的工作，是实验室加速老化测试的基础。
2. 通过对比试验得知，在光泽退化方面，利用 UVA 测试 400 小时、利用 UVB 测试 350 小时、利用 Q-Sun 测试 600 小时均接近于在佛罗里达户外曝晒 1 年的效果，而且相关系数

也都较高。不过，利用不同方法所得到的函数 $f(t) = \sum_{i=1}^6 \delta_i^2$ 的最小值和最佳时间对应的

保光率的标准方差不同，其中 UVB 的均最小。因此我们建议利用 UVB 来测试材料的光泽变化。

3. 在颜色变化方面，QUV 不如 Q-Sun 的测试结果好，所以我们建议采用 Q-Sun 来进行测试。

4. 需要特别指出的是，文中利用求二次函数 $f(t) = \sum_{i=1}^6 \delta_i^2$ 的最小值来求最佳时间的方法只

是寻求在加速试验中测试多长时间最接近在佛罗里达户外曝晒的效果，而并不能保证所有样品都达到在佛罗里达曝晒的程度。为了确保所有样品都达到或超过在佛罗里达测试的结果，建议对最佳时间作一修正，即在所得时间的基础上再乘以一个系数，这个系数可以是 1.1，可以是 1.5，也可以是其它的数值，视具体情况具体分析。

5. 由于测试过程中采用的测量仪器不同就会导致试验数据之间存在偏差，所以本文数据只是针对本次试验而言，仅供参考。

参考文献:

- [1] GB5237.4-2004 《铝合金建筑型材 第 4 部分：粉末喷涂型材》
- [2] 欧洲 Qualicoat 第 10 版《建筑用铝型材表面色漆、清漆和粉末涂层的质量控制规范》
- [3] 美国建筑制造业协会 AAMA2603-02 《铝型材、板材，有色有机聚合物涂层的性能要求与试验方法》
- [4] AAMA2604-02 《铝型材、板材高性能有机聚合物涂层的性能要求与试验方法》
- [5] AAMA2605-02 《铝型材、板材超高性能有机聚合物涂层的性能要求与试验方法》
- [6] 英国 BS6496 《建筑外部件用铝表面有机粉末涂层》

Accelerated weathering study of powder coated aluminum profile

Luo Chuan (Akzo nobel Powder Coatings (Ningbo),. Ltd)
Zhang Heng (Q-Lab corporation China office)

Abstract: This article introduced the domestic and international status and testing methods of the powder coated aluminum profile. And the comparison between UVA, UVB, Q-Sun and Florida were studied, especially. The specimens are six different powder coated aluminum panel. The change of gloss and color of the specimens were tested by UVA, UVB, Q-Sun and Florida and



佛山市翁开尔贸易有限公司
H.J.UNKEL (FOSHAN) LIMITED

studied “How many hours in UVA, UVB or Q-Sun is equal to Florida one year”. Also we have studied the spearman’s correlation between UVA, UVB, Q-Sun and Florida.

Keywords: Weathering, Testing, UVA, UVB, Q-Sun, Florida, Aluminum profile