

# 车身涂层的自然曝晒和人工加速老化试验

王纳新 周胜蓝 廖大政

(中国第一汽车集团公司技术信息中心 长春 130011)

**摘 要:**探讨车身涂层自然曝晒和人工加速老化试验的相关性及不同颜色面漆的自然曝晒规律。  
**关键词:**涂层 自然曝晒 人工加速老化试验

## 1 前言

汽车车身涂层在实际使用过程中,由于受到环境因素(如光、水和温度)的影响,其物理性能和机械性能会劣化,甚至丧失,出现失光、变色、开裂、粉化、起泡等现象,称之为气候老化。为了预知材料的耐气候老化性能,目前常用的试验方法有两类:户外自然曝晒试验和人工加速老化试验。

户外自然曝晒试验是在典型的自然环境条件下进行的,虽然耗时比较长(一般需要 1~2 年的时间),但因试验条件真实,试验结果与实际使用过程中发生的老化结果之间的一致性较好,是采用最早、目前广泛使用的方法。但这就使汽车制造商在应用新的面漆材料时处在两难的境地,一方面,市场需要新颜色涂料“由设计到市场”的生产周期和“由使用到淘汰”的寿命周期都很短,另一方面,针对涂装新工艺、新材料的选择的试验周期却相对漫长。

人工加速老化试验通过模拟自然环境条件,用具有人工光源的设备来加速涂料的老化过程。虽然试验结果的重现性好,但与实际使用过程中发生老化结果的相关性(即与自然曝晒结果间的相关性)显得尤其重要。

本文根据大量的试验数据,总结此两类试验方法的规律性和相关性。

## 2 试验部分

### 2.1 自然曝晒试验条件

我国海南省属亚热带和热带气候,由于阳光辐射强、日照时间长、雨水充足,对涂层老化有明显促进作用。本次自然曝晒试验地点选在海南汽车试验研究所,其所在地的气候特征见表 1。

表 1 海南琼海的气候特征

| 类 型     | 纬 度       | 经 度       | 海拔高度/m  | 年平均温度/℃                            |
|---------|-----------|-----------|---------|------------------------------------|
| 湿热气候    | 19°15',N  | 110°28',E | 10      | 24.0                               |
| 年平均湿度/% | 年平均最高温度/℃ | 年平均最低温度/℃ | 年降雨量/mm | 45°角年太阳<br>辐射能量/MJ.m <sup>-2</sup> |
| 82      | 37.7      | 6.7       | 2108    | 4748                               |

### 2.2 人工加速老化试验条件

美国 ATLAS 公司生产的 Ci5000 型氙灯气候试验机,辐照度(340nm)0.5w/m<sup>2</sup>,干燥期间的相对湿度 60~80%,黑标准温度(65±2)℃,降雨周期 18min/102min,试验时间 1000h。

2.3 试验标准

无背板式直接暴露于大气中的自然曝晒试验标准为 GB/T9276-1996(IDT ISO2810)《涂层自然气候曝露试验方法》;人工加速老化试验的试验条件满足 GB/T1865-1997《色漆和清漆人工气候老化和人工辐射暴露》;两种试验的评价标准为 GB/T1766-1995《色漆和清漆涂层老化的评级方法》。

2.4 样品准备

试验样品均按传统的三涂层结构“底漆层—中涂层—面漆层(基色漆+罩光漆)”制备,主要施工工艺为:白板—磷化—阴极电泳—烘干—中涂—烘干—面漆(基色漆—闪干—罩光漆)—烘干。

2.5 试验结果

(1)4 种颜色不同涂料体系面漆的两年自然曝晒结果见表 2、图 1~图 4,1000h 人工加速老化结果见表 3,自然曝晒与人工加速老化试验结果的对比见图 5~图 8(A、B、C 分别代表不同的涂料厂商提供的样品)。

表 2 不同涂料体系面漆的自然曝晒结果

| 材料及颜色编码    | 老化时间/个月 | 失光等级/级 | 变色等级/级 | 其他老化现象及等级 | 综合等级/级 | 材料及颜色编码     | 失光等级/级 | 变色等级/级 | 其他老化现象及等级 | 综合等级/级 |
|------------|---------|--------|--------|-----------|--------|-------------|--------|--------|-----------|--------|
| A 黛绿黑 8410 | 6       | 0      | 0      | —         | 0      | A 红棕驼 2047  | 0      | 0      | —         | 0      |
|            | 9       | 0      | 0      | —         | 0      |             | 0      | 0      | —         | 0      |
|            | 12      | 0      | 1      | 沾污,1      | 1      |             | 0      | 1      | 沾污,1      | 1      |
|            | 15      | 1      | 1      | 沾污,1      | 1      |             | 1      | 1      | 沾污,1      | 1      |
|            | 18      | 1      | 2      | 沾污,1      | 2      |             | 2      | 1      | 沾污,1      | 1      |
|            | 21      | 2      | 2      | 沾污,1~2    | 2      |             | 2      | 2      | 沾污,2      | 2      |
|            | 24      | 2      | 3      | 沾污,2      | 3      |             | 3      | 2      | 沾污,2      | 2      |
| B 黛绿黑 8410 | 6       | 0      | 0      | —         | 0      | B 红棕驼 2047  | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 9       | 0      | 0      | —         | 0      |             | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 12      | 1      | 0      | —         | 0      |             | 2      | 0      | —         | 1      |
|            | 15      | 2      | 1      | —         | 1      |             | 4      | 2      | —         | 3      |
|            | 18      | 2      | 2      | —         | 2      |             | 5      | 2      | 沾污、发      | 4      |
|            | 21      | 2      | 2      | 沾污,1~2    | 2      |             | 5      | 2      | 粉化,2~3    | 4      |
|            | 24      | 3      | 2      | 沾污,2~3    | 3      |             | 5      | 2      | 粉化,2~3    | 4      |
| A 花岗白 9389 | 6       | 0      | 0      | —         | 0      | A 滇藏蓝 4544  | 0      | 0      | —         | 0      |
|            | 9       | 1      | 0      | 沾污,1      | 1      |             | 0      | 0      | —         | 0      |
|            | 12      | 2      | 0      | 沾污,2      | 2      |             | 0      | 0      | —         | 0      |
|            | 15      | 3      | 0      | 沾污,2      | 2      |             | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 18      | 4      | 0      | 沾污,2      | 3      |             | 2      | 1      | 沾污,1      | 1      |
|            | 21      | 5      | 0      | 沾污,2      | 4      |             | 2      | 1      | 沾污,1      | 1      |
|            | 24      | 5      | 0      | 沾污,3      | 4      |             | 3      | 2      | 沾污,1      | 2      |
| B 花岗白 9389 | 6       | 1      | 0      | —         | 0      | B 滇藏蓝 45441 | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 9       | 1      | 0      | —         | 0      |             | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 12      | 2      | 0      | —         | 1      |             | 1      | 0      | —         | 0      |
|            | 15      | 4      | 0      | 粉化,1~2    | 3      |             | 2      | 0      | —         | 1      |
|            | 18      | 4      | 0      | 粉化,1~2    | 3      |             | 2      | 1      | —         | 1      |
|            | 21      | 5      | 0      | 沾污,1~2    | 4      |             | 2      | 1      | 沾污,1~2    | 1      |
|            | 24      | 5      | 0      | 粉化,3      | 4      |             | 2      | 1      | 沾污,1~2    | 1      |

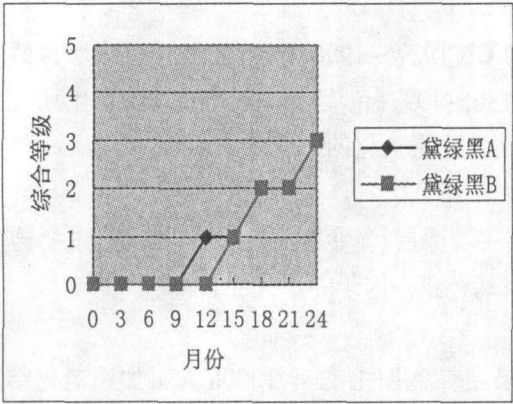


图1 两种黛绿黑样品的自然曝晒结果

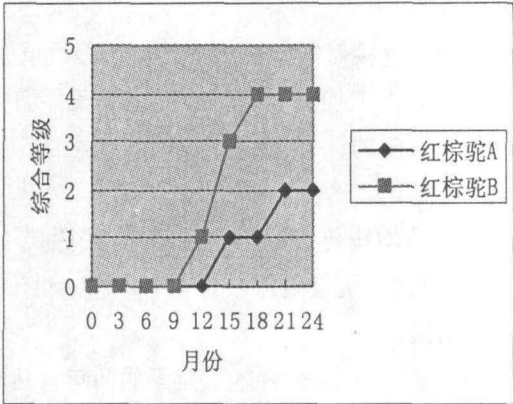


图2 两种红棕驼样品的自然曝晒结果

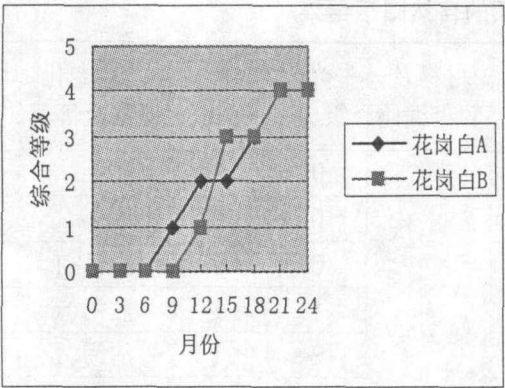


图3 两种花岗白样品的自然曝晒结果

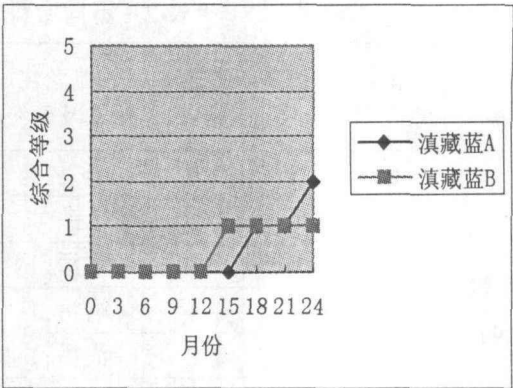


图4 两种滇藏蓝样品的自然曝晒结果

表3 不同涂料体系面漆人工加速老化 1000h 的试验结果

| 材料及颜色编码    | 失光等级/级 | 变色等级/级 | 其他老化现象 | 综合等级/级 | 材料及颜色编码    | 失光等级/级 | 变色等级/级 | 其他老化现象 | 综合等级/级 |
|------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|
| A 黛绿黑 8410 | 0      | 0      | 无(0)   | 0      | A 红棕驼 2047 | 1      | 0      | 无(0)   | 0      |
| A 花岗白 9389 | 0      | 0      | 无(0)   | 0      | A 滇藏蓝 4544 | 0      | 0      | 无(0)   | 0      |
| B 花岗白 9389 | 0      | 0      | 无(0)   | 0      | C 花岗白 9389 | 0      | 0      | 无(0)   | 0      |

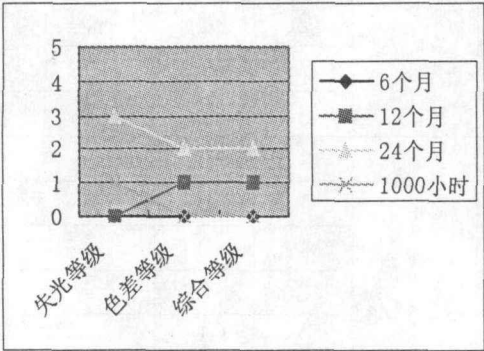


图5 红棕驼样品的自然曝晒与人工老化试验结果

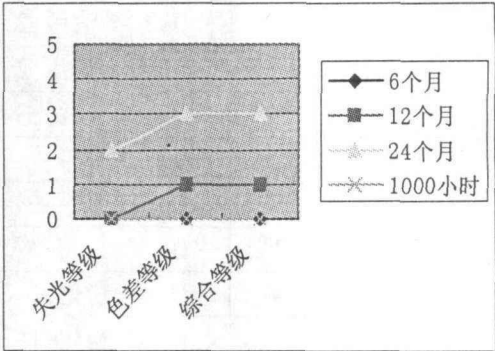


图6 黛绿黑样品的自然曝晒与人工老化试验结果

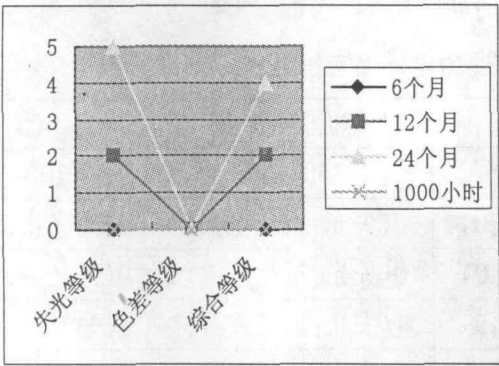


图 7 花岗白样品的自然曝晒与人工老化试验结果

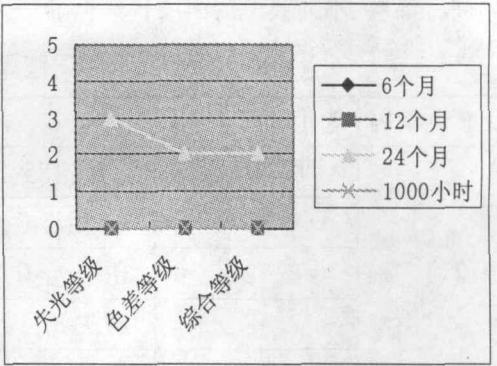


图 8 滇藏蓝样品的自然曝晒与人工老化试验结果

(2)同一涂料体系相同,蓝色系不同色调的面漆的两年自然曝晒结果,分 4 个生产厂家统计,见表 4。

表 4 同一涂料体系的同色系面漆的自然曝晒结果

| 材料及颜色<br>编码 | 老化时间 /<br>个月 | 综合等级/级 |        |        |        |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
|             |              | 生产厂家 A | 生产厂家 B | 生产厂家 C | 生产厂家 D |
| 滇藏蓝 4544    | 6            | 0      | 0      | 0      | 0      |
|             | 12           | 1      | 0      | 0      | 0      |
|             | 18           | —      | 0      | 1      | 1      |
|             | 24           | 3      | 0      | 2      | 1      |
| 明竹蓝 5944    | 6            | 0      | 0      | 0      | 0      |
|             | 12           | 1      | 0      | 0      | 0      |
|             | 18           | —      | 0      | 1      | 1      |
|             | 24           | 2      | 0      | 2      | 2      |
| 晶石蓝 6927    | 6            | 1      | 0      | 0      | 1      |
|             | 12           | 2      | 0      | 0      | 2      |
|             | 18           | —      | 0      | 1      | 3      |
|             | 24           | 3      | 0      | 1      | 3      |

(3)同一色系和色调的金属闪光漆和本色面漆的两年自然曝晒结果,分两个生产厂家统计,见表 5。

表 5 同色系的金属闪光漆和本色面漆自然曝晒结果

| 材料及颜色编码  | 老化时间 /个月 | 综合等级/级 |        |
|----------|----------|--------|--------|
|          |          | 生产厂家 A | 生产厂家 B |
| 岩浆铜金属闪光漆 | 6        | 0      | 0      |
|          | 12       | 0      | 0      |
|          | 18       | —      | 0      |
|          | 24       | 1      | 0      |
| 红棕驼本色面漆  | 6        | 0      | 0      |
|          | 12       | 0      | 0      |
|          | 18       | —      | 0      |
|          | 24       | 3      | 1      |
| 金琉璃金属闪光漆 | 6        | 0      | 0      |
|          | 12       | 0      | 0      |
|          | 18       | —      | 0      |
|          | 24       | 0      | 0      |
| 绿琉璃本色面漆  | 6        | 1      | 0      |
|          | 12       | 1      | 0      |
|          | 18       | —      | 1      |
|          | 24       | 3      | 1      |

(4)同种涂料、不同膜厚的面漆自然曝晒结果统计,见表 6。

表 6 不同膜厚的面漆的自然曝晒结果

| 材料及颜色编码 | 老化时间 /个月          | 综合等级/级       |              |              |
|---------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 绿琉璃     | 膜厚/ $\mu\text{m}$ | 185~200      | 130~140      | 100~120      |
|         | 6                 | 0(失光:0;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 12                | 0(失光:0;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 18                | 0(失光:1;色差:0) | 1(失光:1;色差:1) | 1(失光:1;色差:1) |
|         | 24                | 1(失光:1;色差:1) | 1(失光:1;色差:1) | 1(失光:1;色差:1) |
| 金琉璃     | 膜厚/ $\mu\text{m}$ | 166          | 140          | 85           |
|         | 6                 | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 12                | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 18                | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 24                | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) | 0(失光:1;色差:0) |
| 岩浆铜     | 膜厚/ $\mu\text{m}$ | 150~162      | 100~90       | 80~85        |
|         | 6                 | 0(失光:1;色差:0) | 1(失光:1;色差:1) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 12                | 0(失光:1;色差:0) | 1(失光:1;色差:1) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 18                | 0(失光:1;色差:0) | 1(失光:1;色差:1) | 0(失光:1;色差:0) |
|         | 24                | 0(失光:1;色差:0) | 1(失光:1;色差:1) | 0(失光:1;色差:0) |

(5)同种涂料、不同时间投试的面漆自然曝晒结果统计,见表 7。

表 7 同一面漆的不同时期的自然曝晒结果

| 材料名称    | 老化时间 /个月 | 综合等级/级                              |                                     |
|---------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|         |          | 1 年太阳辐射总能量 5222.27MJ/m <sup>2</sup> | 1 年太阳辐射总能量 4528.68MJ/m <sup>2</sup> |
| 红凤凰本色面漆 | 6        | 1(失光:0;色差:1)                        | 5(失光:0;色差:5)                        |
|         | 12       | 3(失光:1;色差:3)                        | 5(失光:2;色差:5)                        |
| 明竹蓝本色面漆 | 6        | 1(失光:2;色差:1)                        | 1(失光:1;色差:1)                        |
|         | 12       | 2(失光:3;色差:2)                        | 1(失光:2;色差:1)                        |
| 绿琉璃本色面漆 | 6        | 1(失光:0;色差:1)                        | 2(失光:1;色差:2)                        |
|         | 12       | 2(失光:1;色差:2)                        | 3(失光:2;色差:3)                        |
| 岩浆铜金属漆  | 6        | 1(失光:0;色差:1)                        | 0(失光:0;色差:0)                        |
|         | 12       | 2(失光:1;色差:2)                        | 0(失光:0;色差:0)                        |

2.6 结果分析

(1)自然曝晒试验可确切评价各类涂料和涂层的耐光性和耐久性,是人工加速试验的基础。由表 2 所列每 3 个月检测一次的数据可知,样品的老化等级会逐渐增加,一般 12 个月至 18 个月老化等级会突变。所以,自然曝晒试验一年至一年半的期间是材料发生各种老化现象的关键期,失光、色差等级突然增加,同时会伴随出现沾污、发白和粉化等其他老化现象。装饰性涂层的试验周期应定为 2 年,检测频次宜定为每 3 个月一次。

(2)由表 2 可知,装饰性三涂层体系一般先出现失光和色差现象,并伴随有沾污和粉化现象,起泡、长霉和生锈等老化现象出现较少。

(3)由表 2 可知,一般自然曝晒 12 个月结果为优级和良级的,24 个月的老化结果才有可能达到中级。

(4)由表 2 可知,同一种颜色、不同涂料体系的产品,曝晒结果会相差很大;同一涂料体系的不同颜色的产品,曝晒结果间没有可参照性。

(5)由图 5~图 8 可见,高级装饰性面漆涂层人工老化 1000h 试验结果与大气曝晒 6 个月结果吻合较好,人工老化 1000h 试验不能反应出沾污、起泡、发白和粉化等其他老化现象。

(6)由表 4 可知,同涂料体系的同一色系不同色调的面漆,曝晒结果会有较大差异,检测结果不能相互替代,但出现老化现象的先后时间和加速规律可以借鉴;同涂料体系,同一色系和色调,仅仅明度有差异的面漆,曝晒结果才有参考价值。为缩短检验周期,可以在自然曝晒试验的同时进行人工加速老化试验,以预测最终结果。

(7)由表 5 可知,同一色系和色调的金属闪光漆和本色面漆的曝晒结果相比较,金属闪光漆要好于本色面漆。

(8)由表 6 可知,对同种涂料的不同膜厚的面漆两年大气曝晒结果进行比较,发现膜厚差别很大会导致实测色差值差别很大,干扰每次检测的色差值。虽然膜厚增加在曝晒初期对失光率、色差评定有利,但不会对最终结果有所改善。所以,有的厂商为了追求好的耐候性结果,制板时一味地增加膜厚是不可取的。大气曝晒投试的样品应按材料施工工艺的要求,膜厚均匀、平整光滑、无漆膜弊病。

(9)由表 7 可知,自然气候条件下的大气曝晒试验非人力可控,因为环境中的光、水、温度随时会发生改变,所以,在不同时间开始的试验很难获得一致的结果。只有严格制板,同期投入试样才有可比性,对比试验的结果可以作为评定样品耐候性好坏的依据。

(10)建议表述人工加速老化对比试验结果用以下两种方法:到达试验周期,样品评定等级的对比表述。例如:1000h,试样 1 综合等级评定为 0 级;试样 2 综合等级评定为 1 级。样品到达某一老化等级时,试验周期的对比表述。例如:1000h,试样 1 综合等级 0 级;2000h,试样 2 综合等级 0 级。

### 3 结论

自然曝晒试验与汽车运行工况相吻合,可确切评价涂料和涂装产品的防腐蚀性和耐久性,是人工加速试验的基础。

虽然人工加速老化试验的试验条件可控,但因为引起涂层老化的因素很多,环境与材料之间的相互作用非常复杂,只是模拟和强化了自然界中影响材料老化的主要因素,如太阳辐射、温度和湿度等,而试图寻找一种普遍适用的方法或公式来计算加速因子是不科学的。

人工加速老化试验对于同期投放、性质相同的样品的对比试验有利,可以缩短新颜色涂料的开发和选择周期,预知有问题的涂料,减少汽车制造商的损失。

#### 作者简介:

王纳新(1969-),女,高级工程师,从事涂料与涂装专业研究工作。E-mail:wangnaxin@rdc.faw.com.cn