

# 太阳辐射试验

## 引言

太阳辐射试验是一种人工模拟环境试验,它模拟产品在地面或较低大气层中使用或无遮蔽贮存期间暴露在日辐射条件下受到的影响。太阳辐射对产品的影响主要是由加热效应和光化学效应产生的。

加热效应主要是由太阳辐射能中红外光谱部分产生的,主要引起产品短时高温和局部过热,造成一些对温度敏感的元器件失效,结构材料的机械破坏和绝缘材料的过热损坏等。

光化学效应主要是由太阳辐射能中紫外光谱部分产生的,紫外光谱提供的光能量足以激发有机材料分子使其键断裂、降解或交互,从而使材料老化变质。当太阳辐射与温度、湿度等气候因素综合作用时,它的破坏更为明显。最易发现的损坏是变形、变色、失去光泽、粉化、开裂等表面损坏,同时,其内在的机械性能和电气性能也会随之降低,从而使材料的使用价值降低,甚至报废。

一般加热效应多采用循环方式:8小时连续照射,16小时保持黑暗,此24小时为一个循环。而光化学效应多采用连续照射,光化学效应试验用于研究长期暴露于日照对试验样品的影响。通常试验样品表面接收大量日光(以及热和湿气)后才开始产生光化学效应。因此,该试验是一种加速试验,试验温度及辐射强度均采用热气候极值条件,每循环照射时间(20h以上)远远高于每天太阳照射的实际时间(约12h)。若采用热效应循环来考核试品的光化学效应,可能要数月之久才能见效。因此,采用加速的方法,可以缩短再现长期暴晒累积效应的时间。本文仅针对太阳辐射试验中的光化学效应进行解读。

## 1 术语

### 1.1 辐照度 E Irradiance

也称为辐照强度,所有波长入射辐照的总量,以 $W/m^2$ 表示,因为辐照是按不同的波长分布的,不同的光谱造成的光化学效应差异很大,所以不应采用不同的光源做比较。

也可以理解为:就是指地面上的单位面积单位时间内接收到的太阳辐射。

### 1.2 室内光 Indoor light

采用可减少波长320nm以下光谱辐照度的滤光器来模拟透过玻璃滤光后的日光。

### 1.3 室外光 Outdoor light

为了模拟直接的自然暴露,辐射光源必须经过过滤,以便提供与地球上的日光相似的光谱能量分布。

### 1.4 黑标温度 Black panel temperature

是指黑标表面所测到的温度,它表示产品表面可能达到的最高温度。

### 1.5 暴露辐射能 H The Energy of Irradiance

试样已经受暴露的辐射能的一种量度,可以由下式算出:

$$H=E*dt$$

式中: E—辐照度,  $W/m^2$ ;

t—暴露时间, s;

H—暴露辐射能,  $J/m^2$ ;

如果产品受辐射时,辐射度不变,则辐射能等于辐射度乘以辐射时间。

## 2 暴露光源选择

## 2.1 辐射光源的种类

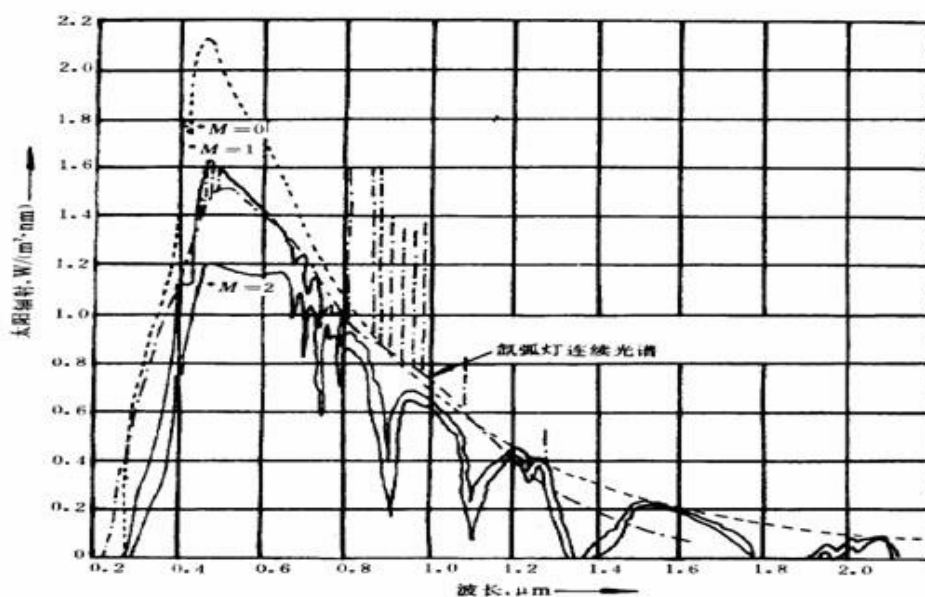
太阳辐射试验主要有氙灯、荧光紫外灯（荧光灯）、碳弧灯三种类型的试验设备，他们都是从光能、温度、降雨或凝露这几种主要气候因素进行模拟和强化的试验。

## 2.2 三种光源的优缺点

- 1) 氙灯可以很方便地模拟白天光照，夜间凝露或降雨的反复交变试验条件，其中氙灯模拟太阳光谱较佳（见图 1）；
- 2) 荧光灯也可以很方便地模拟白天光照，夜间凝露或降雨的反复交变试验条件，荧光灯气候老化是模拟太阳光紫外光谱较接近的设备，加速老化效果更显著；
- 3) 碳弧灯在某些情况下，经滤光器校正紫外辐射后，碳弧灯的辐射光谱分布可以接近地表的自然光谱，但是碳弧灯的定位精确性差和寿命较短，并且存在碳弧体容易烧毁的缺陷，即使采取先进的碳弧体移动机构，连续点燃时间仍低于 5h，因此此方法将逐渐被淘汰。

## 2.3 辐射光源过滤

直接从氙灯、碳弧灯和紫外荧光灯发出的辐射中含有大量的自然阳光中所没有的短波紫外辐射，那就需要选择合适的滤光器进行滤光，有下图可以看出氙灯的光谱最为接近自然阳光，故一般选用氙灯进行光照老化试验。



M=空气质量；M=1（当太阳在头顶时）

图 1 典型高压氙灯辐射和太阳辐射比较

## 2.4 氙灯试验光谱选择

氙灯光谱范围包括波长大于 270 nm 的紫外光、可见光和红外辐射。

为了模拟直接的自然暴露，氙灯辐射经适当滤光后，以减少紫外短波辐射，并尽可能去掉红外辐射，其光谱能量分布与阳光中紫外、可见部分最相似，可模拟室外光，见表 1；也可以进一步滤掉短波，采用可减少波长 320nm 以下光谱辐照度的滤光器来模拟透过玻璃滤光后的日光，可模拟室内光，见表 2。

表 1 自然暴露的相对光谱辐照度(室外光)

波长 $\lambda$ nm	相对光谱辐照度 I) %
--------------------	-----------------

$290 < \lambda \leq 800$	100
$< 290$	0
$290 \leq \lambda \leq 320$	$0.6 \pm 0.2$
$320 \leq \lambda \leq 360$	$4.2 \pm 0.5$
$360 \leq \lambda \leq 400$	$6.2 \pm 1.0$

注 1: 290~800 nm 间的光谱辐照度定为 100%。

表 2 透过窗玻璃的日光的相对光谱辐照度（室内光）

波长 $\lambda$ nm	相对光谱辐照度 <sup>1)</sup> %
$300 < \lambda \leq 800$	100
$< 300$	0
$300 \leq \lambda \leq 320$	$< 0.1$
$320 \leq \lambda \leq 360$	$3.0 \pm 0.5$
$360 \leq \lambda \leq 400$	$6.0 \pm 1.0$

注 1: 300~800 nm 间的光谱辐照度定为 100%。

## 2.5 控制方式

光源辐射光谱的控制方式有三类：

- 1、0.3~0.8  $\mu\text{m}$  波段 ( $550 \pm 10\%$ )  $\text{W}/\text{m}^2$ ；
- 2、0.3~0.4  $\mu\text{m}$  波段 ( $60 \pm 10\%$ )  $\text{W}/\text{m}^2$ ；
- 3、室外模拟点控为 0.32  $\mu\text{m}$  ( $0.6 \pm 10\%$ )  $\text{W}/\text{m}^2$ ；室内模拟点控为 0.42  $\mu\text{m}$  ( $1.2 \pm 10\%$ )  $\text{W}/\text{m}^2$ ；

最新控制方式为第3种，因为此类控制方式相比1和2更为准确。

## 3 太阳辐射试验参数特性分析

太阳辐射试验成功的关键取决于试验条件的准确性和试验方法的合理性。试验中主要考虑总辐射强度及其谱能分布、试验温度、风速、湿度和持续时间等试验参数。

### 3.1 总辐射强度

辐射强度是太阳辐射试验的一个重要参数，只有严格控制辐射强度在规定的容差范围内，才能确保辐射的均匀性。众所周知，太阳辐射是太阳以电磁波形式传到地球上的一种能量。从太阳表面射出的能量中，有 20 亿分之一到达地球大气外层。太阳辐射在通过大气层时，会

遇到各种粒子(如水汽、云雨滴、灰尘)和气体(氧气、二氧化碳、臭氧等),辐射线将被吸收和散射,其中波长较短的部分会被空气分子与大气中浮游的灰尘所散射,其结果是部分朝向天空,其余到达地面。因此,地球上某一点接受太阳的能量,一部分来自直接辐射,另一部分则是散射辐射,两者之和称为总辐射。之前,各国太阳辐射试验标准中均规定总辐射强(1120 ± 10%) W/m<sup>2</sup>。它是模拟太阳在天顶时,对地球表面的总辐射。对太阳辐射试验而言,1120 W/m<sup>2</sup>包括试验样品接收到的所有辐射能,既包括光源直接发射的辐射能,也包括试验箱壁反射和散射的辐射能。最新标准都更改为0.3~0.8 μm 波段(550 ± 10%) W/m<sup>2</sup>。去除红外线的影响(因为红外线主要作用为加热,其影响了加热效应,而不是光化学效应,故在新系列标准中都不予考虑)。

### 3.2 谱能分布

各国标准均采用类似的光谱能量分布,如表3所示。从表中可以看出,该光谱包括紫外线、可见光和红外线,它们的波长范围在0.28~3.0 μm 之间。因为在自然条件下,太阳辐射可到达地球表面的大多数能量的波长在0.3~4 μm 范围内,涉及紫外、可见和红外三大光谱区。其中99%的太阳能是以低于4 μm 波长发射的。波长低于0.3 μm 的大部分能量被大气臭氧层所吸收,因此,到达地球表面而波长小于0.3 μm 的辐射量是很少的,但是它材料的破坏作用却是严重的。因而,国际推荐的波长范围在0.28~3.0 μm 之间。而大于0.8 μm 的为红外线,由于光化学效应主要由紫外及可见光影响,故采用滤光罩滤掉了。故之前标准控制的是全辐射段(1120 ± 10%) W/m<sup>2</sup>,最新标准都更改为0.3~0.8 μm 波段(550 ± 10%) W/m<sup>2</sup>。去除红外线的影响。在每个波长范围,不同模拟器的模拟值不同,因此各国都对光谱能量分布及容差进行规范,提出了太阳模拟器性能等级的要求,表3为国军标的简易要求一览表。

表3 国军标规定的光谱能量分布及容差

光谱区	紫外线		可见光	红外线
波长(μm)	0.28-0.32	0.32-0.40	0.40-0.78	0.78-3.0
辐射强度(W/m <sup>2</sup> )	5	63	517-604	492
容差(%)	±35	±25	±10	±20

### 3.3 风速

各类标准对此均有规定,且量值较低,均在0.25~1.5m/s范围内。风速模拟是太阳辐射试验成功的关键,试验期间必须考虑试样上方气流可能产生的冷却影响,即使流量小到1m/s的气流也能使温升降低20%以上,因此,在保证温度控制的前提下,应使气流速度尽可能小。

### 3.4 温度、湿度

湿度、温度和太阳辐射的综合能对产品和材料产生有害的影响。湿度和温度都能加速光氧化过程,起到催化剂的作用。在不同湿度条件下,各种材料、涂料和塑料等物质的光化学劣化效应相差极大,并且它们对湿度的敏感程度各不相同,因此,各类标准中规定的值不同,我们公司采用时需根据试验样品实际使用环境,参照全球不同地区的温度-湿度数据来确定。

粗略的估计,温度升高10℃,化学反应速度会提高两倍。温度方面,主要控制两个:环境温度及黑标温度,黑标温度是模拟产品的实际情况,实际情况中产品是有一定的吸热率,故导致其温度与环境温度不同,因此一般使用黑标及黑板两种温度计模拟产品的温度。

湿气对产品的化学反应与物理效应有:侵蚀、吸收、冻解、热冲击,其表现形式有三种:雨、露、湿度。

降雨的影响:表面效应(冲刷表面、粉化、去污)、热冲击(由于降雨导致内外表面温度不均匀,从而收缩力不同)因为外饰件有此现象,故外饰件试验中需要增加喷水润湿模拟

降雨效果，注意此处的水质为了统一试验效果，用于润湿的蒸馏水应符合GB 6682实验室用水二级水的要求，电导率低于 $2\mu\text{S}/\text{cm}$ ，而且蒸发残留物少于1ppm，为了防止水中的杂质对产品表面产生非此项试验的影响。

露水的特征是含有富氧，且在产品的表面停留时间长，一般昼夜温差在 $7^{\circ}\text{C}$ 以上时，才会凝露，而下雨天的温差一般 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ ，故下雨天的露水时间较一般天气为短。部分试验标准中的黑暗周期加高湿度的目的是为了形成露水（例如：SAE J2527）。

产品在其寿命期间，接触露水的时间远远大于接触雨水的时间，影响外饰件潮湿的主要原因是露水而不是雨；影响内饰件的则是相对湿度。

### 3.5 持续时间

光化学效应试验持续时间均为100小时以上。太阳辐射试验持续时间的长短取决于试验目的和受试产品的使用环境，通常以试验循环次数来计，一个循环为24h。光化学效应试验持续时间，这类试验的目的是考核产品经受长期日晒导致有害的光化学效应的影响，因此试验时间较长。对偶尔在户外使用的设备，如便携式设备等，试验持续时间可选择10个循环；对于连续在户外使用的设备，试验持续时间可选择56个循环或更多个循环。汽车内饰件试验周期与其暴露在太阳光下的时间有关，汽车外饰件统一标准，一般选择为一年的干热气候考核及一年的湿热气候考核。

## 4 内饰件氙灯老化方法

### 4.1 各类标准比对：

表4 各汽车厂商对内饰件的氙灯类老化方法比对表

公司名称	产品名称	老化要求		参考标准
菲亚特	阳光直接照射部件：如仪表板、方向盘	氙灯 300h	无变色 无褪色	FIAT 50451/01 (温度 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $75\pm 5\%$ )
	阳光不直接照射部件：如座椅装饰件、座椅扶手	氙灯 150h		
	黑暗区或不照射部位：如灯装饰件、行李舱内部、顶内饰	氙灯 75h		
大众 (TL495)	内饰件	5周期不允许颜色转移. 光泽变化参照认可样品. 无可塑性沉积		PV1303
现代	直接照射仪表板上部及周边	126MJ/ $\text{m}^2$		ISO105 (黑标 $89\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\pm 5\%$ )
	立柱、顶蓬及座椅周边	84MJ/ $\text{m}^2$		
	行李箱装饰	42MJ/ $\text{m}^2$		
三菱	仪表板及后行李架上 部、仪表板周围零件及方向	氙灯 152MJ/ $\text{m}^2$	无明 显变色，裂	ES-X60210 (等同 ISO

	座椅周围零件、支撑柱 周围零件、遮阳板、顶灯、	氙灯 84MJ/m2	纹, 灰色度 3 级以上	105-B06)
	行李箱内部件	氙灯 42MJ/m2		
日产	仪表板上面、转向盘、 内侧镜	氙灯或碳 弧 1000h	评价 外观及物理 特性	NES M 0135 (黑标温度 83± 3℃)
	仪表板斜面、门内饰上 面、前后柱	氙灯或碳 弧 600-800h		
	仪表板垂直面、门饰板 中部、中心柱、遮阳板	氙灯或碳 弧 400-600h		
	车顶内衬、底板	氙灯或碳 弧 200h		
马自达 (MES)	A 级	碳弧 100h, 色差≥4 级		MES PW PT001G
	B 级	碳弧 300h, 色差≥4 级 碳弧 400h, 色差≥3 级		

汽车内饰件由于安装部位不同, 受阳光照射的程度也不相同, 耐氙灯老化时间(辐射量)要求也不相同。一般要求耐氙灯老化时间在 150-1000 小时。

#### 4.2 推荐试验方法

所采取的光照射法为时约 45 h/周期, 或者说约 10 MJ/周期的光照. 这里要注意的是, 通过周期数来观察汽车上的构件与位置相关的应变. 光照照射周期的终点按 DIN 75 202 的附件确定, 1 个光照周期: 标准羊毛灰色度降为四级所需的光照时间。

由于采用不同的氙灯及滤光系统, 其控制方式不一样, 表 5 为不同氙灯试验仪时选择的具体调整参数。

表 5 不同氙灯及滤光系统的照射剂量选择

仪器	照射剂量	滤光系统
1200CPS 型氙灯试验仪	10MJ/m2	3 块 1/3 护板宽的车窗玻璃
a 型氙灯试验仪	10MJ/m2	铬化氙 320
a HE 型氙灯试验仪	10MJ/m2	10 块窗玻璃
β 型氙灯试验仪	10MJ/m2	铬化氙 320
CI 35A 型老化试验仪	280KJ/m2	硼硅酸盐/碱石灰
CI 3000 型老化试验仪	280KJ/m2	硼硅酸盐/碱石灰
CI 4000 型老化试验仪	280KJ/m2	硼硅酸盐/碱石灰
CI 5000 型老化试验仪	280KJ/m2	硼硅酸盐/碱石灰

下面应用 1200CPS 型氙灯试验仪(调节辐射强度)在同步状态下进行光照照射设置:

黑标标准温度: (100±3) °C;

试验箱环境温度: (65±3) °C;

试验箱环境湿度: (20±10) %;

辐射强度(在 0.3~0.4 μm 情况下测定) 60 W/m2;

滤光系统参加表 5, 氙灯管寿命一般为 1500H, 运行寿命到达之后进行更换;

试验时间参加表 6 推荐值。

表 6 不同部件推荐试验周期及暴露辐射能推荐值

结构件	周期数	辐射时间 (H)	暴露辐射能 (MJ/m <sup>2</sup> )
顶棚行李架(倾斜的汽车后玻璃, 汽车阶梯式尾部)	10	450	900
货舱--各种各样客、货两用汽车	8	360	700
行李室外壳--各种各样客、货两用汽车(敞开式的)	8	360	700
行李室外壳--汽车短结构尾部(顶棚行李架、活动的或栏杆式的)	2	90	200
行李室配件 汽车的短结构尾部	8	360	700
配电盘(ZSB 和薄膜)	5	225	450
转向柱、开关和衬里	5	225	450
方向盘	5	225	450
车内后视镜	5	225	450
车门护面, 操纵杆-- 直接照射, 织物或薄膜	5	225	450
车门护面, 操纵杆 --间接照射, 织物或薄膜	3	135	300
支柱护面 --直接照射	5	225	450
支柱护面 --间接照射	3	135	300
遮阳罩、薄膜	5	225	450
反射镜盒	3	135	300
安全带	4	180	360
座椅套	3	135	300
成型顶盖(带有装潢的 ZSB)	3	135	300
地毯	3	135	300

如果标准中未对照射周期进行规定, 则适用下列规定:

位于阳光间接照射区域内的部件, 3 个周期

位于阳光直接照射区域内的部件, 5 个周期(例如, 上装饰板)

位于阳光照射最强区域内的部件, 10 个周期(例如, 后搁物板)

#### 4.3 试验判定

被照射过的表面与供货状态相比, 不得出现变色、粉化和/或裂纹等变化。灰色标度  $\geq 4$ , 按照 DIN EN 20 105-02。允许符合认可原始样品的光泽度改变。

### 5 外饰件氙灯老化方法

#### 5.1 各类标准比对:

表 7 各汽车厂商对外饰件的氙灯类老化方法比对表

企业名称	产品名称	老化要求	参考标准
菲亚特	带涂层塑料外饰件： 如保险杠、裙边等	氙灯750h，不允许起皮、起泡、 斑点、开裂、斑点或其它表面缺 陷。经轻微抛光，允许最大失光 5%和肉眼不易察觉的色调变化	FIAT 50451
	不带涂层：防擦条、 格栅、塑料轮罩等	氙灯500h没有颜色变化,在20倍放 大镜下不能见到的表面划痕	FIAT 50451
大众(TL495)	车身涂层 塑料外饰件	10光照周期表面无裂纹或水泡等 损害	PV3929、 PV3930
三菱	车体、外部零件（与 车体同色件）	碳弧1200h(涂层无对使用可靠性 有明显影响的缺陷)	ES-X71222、 (黑标89±3 ℃、湿度50± 5%)
日产	装在车外受太阳光影 响强的位置上的零件 (保险杠、侧围、后 饰板等)	氙灯或碳弧1200h	NES M 0135 (黑标温度83 ±3℃)
	装在车外受太阳光影 响少的置上的零件 (如轮毂防尘罩)	氙灯或碳弧600h	
现代	外部件	氙灯1200h，试验后无明显脱色及 裂纹	MS200-48 (JIS D0205)
马自达 (MES)	车身涂层	500-1000 h，试验后附着力大于3 级，色差不小于4级，无及起泡、 斑点、开裂等	MES MN 600H
	塑料外饰件	碳弧300h，色差不小于4级 碳弧1000h，色差不小于3级	MES PW PT001G

车身及塑料外饰件由于一直暴露于大气中，为了保证产品使用后不产生起泡、斑点、开裂、斑点及颜色变化等表面缺陷，一般老化时间要求较长。多数汽车企业标准要求氙灯老化时间在750-1500小时,部分标准甚至要求氙灯老化时间达2000小时。

## 5.2 推荐试验方法

外饰件的方法，需要分为两种：湿热气候的模拟（相等于佛罗里达州暴晒一年）及干热气候的模拟（相等于卡拉哈里和亚利桑那州暴晒一年）。



湿热气候模拟见表8:

表8 湿热气候模拟试验条件推荐表

氙灯型号	1200CPS 型氙灯	CI 35A 型老化试验仪
喷水周期 (min)	102min 干燥 18min 润湿	
循环模式	连续辐射	
黑标温度 (°C)	65±2	
干燥时环境温度 (°C)	35-45	
相对湿度 (%)	60-80	
辐射强度 (W/m <sup>2</sup> ) (μm)	65W/m <sup>2</sup> , 0.3-0.4 μm	0.55W/m <sup>2</sup> , 0.34 μm
测试时间	1500-1600	1600
辐射能量 (MJ/m <sup>2</sup> )	3000	3000

具体的试验操作可以参见GBT 1865 (1997) 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)。

干热气候模拟见表9:

表9 干热气候模拟试验条件推荐表

氙灯型号	1200CPS 型氙灯	CI 35A 型老化试验仪
循环模式	连续辐射	
黑标温度 (°C)	90±2	
干燥时环境温度 (°C)	50±2	
相对湿度 (%)	20±10	
辐射强度 (W/m <sup>2</sup> ) (μm)	65W/m <sup>2</sup> , 0.3-0.4 μm	0.55W/m <sup>2</sup> , 0.34 μm
测试时间	1500	
辐射能量 (MJ/m <sup>2</sup> )	3000	

### 5.3 试验判定

被照射过的表面与供货状态相比,不得出现变色、粉化和/或裂纹等变化。按照 DIN EN 20105-A02,灰度≥4.5,相应地,与供货状态相比的亮度差 ΔL ≤ 2。允许符合认可原始样品的光泽度改变。其附着力应能满足 DIN EN ISO 2409 中 6.2 的胶带去除法 GT 0-1 等级,以及 PV1503 蒸汽喷射试验中应无涂层脱落。

### 5.4 不合格描述及分级

考虑到我们公司的产品部分还未到达以上的要求,特制定下表对不良现象进行描述及判定级别。

表 10 漆膜耐候性能指标

序号	检测项目	性能要求		
		等级 1	等级 2	等级 3
1	变色	≥3 级	≥3.5 级	≥4 级
2	失光	很轻微失光 (失光率 4%-15%)	很轻微失光 (失光率	无失光 (失光率≤4%)

			4%-15%)	
3	粉化	很轻微, 仪表加压重, 或手指用力擦样板, 试布或手指上刚可观察到的微量颜料粒子	无	无
4	开裂	10 倍放大镜下有少量没有穿透涂层的表面开裂	10倍放大镜下无可见的开裂	10 倍放大镜下无可见的开裂
5	起泡	轻微起泡	10 级	10 级
6	生锈	轻微锈蚀	10 级	10 级
7	剥落	有 1mm 大小, 相对面积为 0.1% 的表面涂层剥落	10 倍放大镜下无可见脱落	10 倍放大镜下无可见脱落
8	长霉	无	无	无
9	斑点	10 倍放大镜下有稀疏少量斑点	10 倍放大镜下有很少几个可见斑点	10 倍放大镜下无可见斑点
10	泛金	刚可察觉, 很轻微泛金	无	无
11	针孔	轻微	无	无

## 6 不同品牌氙灯的转换因子

氙灯的厂家不同, 需配套相应的滤光系统 (例见 4.2), 计算暴露辐射能 H 时, 需要参考各氙灯的辐射能量转化因子表, 本文列举 ATLAS Ci3000+老化试验机供大家选择时参考使用:

表 11 ATLAS Ci3000+老化试验机辐射能量转化因子表

滤光器 (内/外)	波长 A1	波段转化因子 (300~400nm)	波段转化因子 (300~800nm)
硼/硼	340nm (0.55 W/m <sup>2</sup> )	115 (63 W/m <sup>2</sup> )	1160 (638 W/m <sup>2</sup> )
石英/硼 (或石英/石英)		110	1050/890
硼/碱石灰		120	1350
远红外/硼		130	1500
硼/硼		50	515
石英/硼	420nm	53	500
石英/石英		62	510
硼/碱石灰		44	495
远红外/硼		38	425

将波长 A1 的控制参数乘以转化因子即可得出相应波段的控制参数, 在整个波段 (300~800nm) 时的辐射强度值乘以暴露时间即为辐射能量值。

## 7 结束语

太阳辐射试验是温湿度和日辐射等因素综合的试验, 试验方法、试验设备、作用机理和效应都比较复杂。许多问题有待于进一步研究和探讨, 做好以下工作是深入进行太阳辐射试验研究的方向。

(1) 开展太阳辐射试验技术和产品响应特性研究如太阳辐射加热效应试验中产品附加温升的测量及其影响因素的研究;试验箱光源的光谱特性测量与分析;辐射强度测量及其均匀性研究等。

(2) 开展太阳辐射内外场对比试验研究如内外场太阳辐射热效应和光化学效应的对比;内外场试验结果的相关性和内场试验加速模型的确定等。开展整车及零部件的实际外场暴晒试验与实验室模拟试验的比对活动。

(3) 限于公司产品的性能,我们开展试验时可以降低一些产品的测试条件,例如,将黑标温度调整为 $83\pm 2^{\circ}\text{C}$ (内饰件)、进行外饰件时仅开展湿热气候模拟试验,因其更为接近实际使用情况,具体产品其试验参数可以通过研究进行规范,此方面需要投入大量人力物力进行研究。

本文限于篇幅未对试验光源模拟等级的要求、试验箱的要求、试验具体方法(例如:黑标温度计与黑标温度计的选择、样品的取样)等相关内容进行研讨。