

美国阿特拉斯户外紫外加速试验系统跟踪研究

朱玉琴^{1, 2}, 杨华明^{1, 2}, 杨晓然^{1, 2}, 张燕¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039;

2.重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: 详细剖析了美国阿特拉斯研发的紫外加速试验系统(UAWS)的结构构成和功能, 同时通过该系统样品暴露1年接受的紫外辐射量与佛罗里达州南45°、使用SAE J2527氙弧暴露、ASTM G90标准方法之间的量值比较, 对该系统的加速性和相关性进行了阐述。

关键词: UAWS; 加速性; 相关性

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.03.018

中图分类号: TJ05 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2016)03-0111-05

Tracking Studying on ATLAS's UV-Accelerated Weathering System

ZHU Yu-qin^{1,2}, YANG Hua-ming^{1,2}, YANG Xiao-ran^{1,2}, ZHANG Yan¹

(1.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2.Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: The structure composition and function of Atlas's UV-accelerated weathering system were analyzed in detail in this paper. At the same time, by comparing the UV radiant exposure of the sample on the ultra-accelerated device in a single year exposure with that in a SAE J2527 xenon arc exposure in 45° South Florida measured using the ASTM G90 standard method, the acceleration and correlation of the system were described.

KEY WORDS: UAWS; acceleration; correlation

近年美国阿特拉斯耐候试验集团开发了一种新型户外加速试验设备——紫外加速气候系统, 该系统利用菲涅尔反射镜可聚焦自然光中的紫外部分, 聚焦后的强度是自然光的50~100倍。试验表明, 利用该装置1年接受的紫外辐照量相当于南部佛罗里达63年45°紫外辐射总量。该系统与以往反射聚能试验装置相比, 可显著提高单位时间内的紫外辐射, 且对自然光中的紫外光谱部分能量有较高保真度, 同时可减弱其中的可见光和红外光部分, 能维持样品可接受的暴露温度。

1 结构

该系统采用29块反射元件, 构成一台大约5m焦距的聚焦光学系统。样品安装在面向聚焦点, 距离聚焦点约2.5m处, 以此达到100:1直接法向聚光系数。该系统主要由反射元件、集光器、目标区及目标区均匀性检测装置等四大部分构成^[1], 如图1所示。

收稿日期: 2016-01-29; 修订日期: 2016-03-04

Received: 2016-01-29; Revised: 2016-03-04

作者简介: 朱玉琴(1983—), 女, 青海西宁人, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为环境试验与评价, 环境试验情报跟踪等。

Biography: ZHU Yu-qin (1983—), Female, from Xining, Qinghai, Master graduate student, Engineer, Research focus: environment test and environment adaption evaluation, environment test information tracking.

1.1 反射元件

每个反射元件规格为 370 mm×370 mm，每个面经过磨削和抛光，并沿四周磨成斜面，用于安装和校正的三个附着点设在反射元件的背面，反射元件结构如图 2 所示。反射元件表面均采用了基于传统电子束蒸发工艺的 96 层选择性反射涂层，涂层采用几个 1/4 波长的具有高、低折射率的材料交替组成干涉反射包系统。从这一过程中得到的绝对反射率光谱如图 3 所示。针对反射元件的失效机制、失效模式及性能演变规律，NREL 实验室的 Wesley Jones 等人已做了深入的研究^[2-7]。



图 1 紫外加速气候系统
Fig.1 UV accelerated weathering system

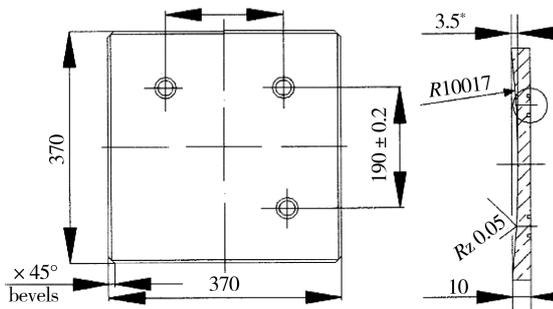


图 2 反射元件结构
Fig.2 Reflective element structure

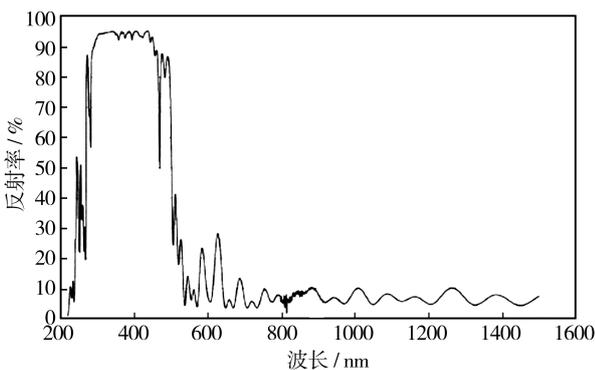


图 3 反射镜的反射光谱
Fig.3 Reflectance spectrum of mirror face

反射元件表面的聚合物镜薄膜具有 94% 的太阳-加权半球反射率，在 25mrad (1.4°) 波长为 660 nm 的全部接受角处有 94% 的镜面反射率。聚合物镜薄膜由多层银反射层组成，防止受 UV (紫外线) 而退化。该薄膜有一层可剥离的表面来保护镜面，直到反射元件最终安装成功。边缘带来用来保护镜膜的边缘，避免长期受到风吹、潮湿环境和机械的损伤^[8]。

相对于太阳光谱，反射元件薄膜的反射率如图 4 所示，薄膜在大多数太阳能可用的波长区域具有很高的反射率。抛物线槽镜面反射如图 5 所示，当叠层在铝基板上时，聚合物膜反射镜具有很高的镜面反射率。

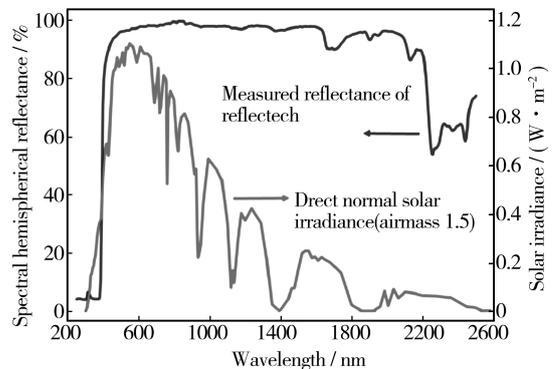


图 4 反射薄膜和太阳光谱的光谱反射率
Fig.4 Spectral reflectance of Reflectance Film and Solar Irradiance

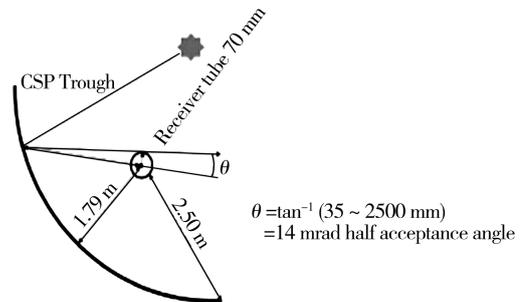


图 5 抛物线槽镜面反射
Fig.5 Specula Reflectance for Parabolic Trough

1.2 集光器

集光器是聚集太阳光、反射并聚集光能到目标区域面的组装块件。集光器的设计是把集光小块控制在一个接近 10 m 的凹球面位置，镜面支撑构架在水平和垂直方向形成圆弧的集光块。29 个反射小块使用三点固定的五金附件，安装在支撑构架上。为了避免支撑结构曲率与小块的干涉，小块的四周做了稍微修整。集光器结构如图 6 所示，在目

标平面上的聚焦光束如图 7 所示。

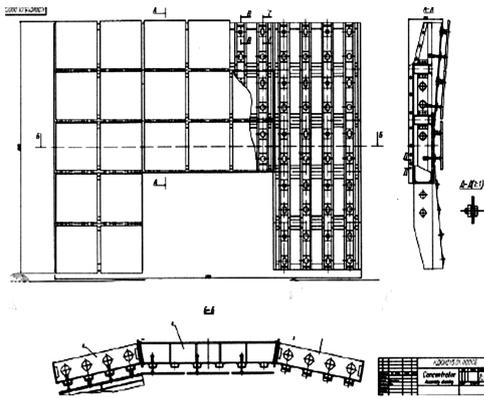


图 6 集光器支撑结构
Fig.6 Collector support structure



图 7 反射面、集光结构及样品区域的聚光束
Fig.7 Reflective facets, collector structure, and Focused beam in target area

1.3 目标区域

为了达到 100 : 1 直射法向聚光系数, 样品面向集光器安装, 距离聚焦点约 2.5 m 处。为了适应这一位置, 目标区域的支撑臂结构应能附随集光器结构, 使整个系统可以对准并跟踪太阳。上述结构使得在一个 150 mm×150 mm 的目标区域具有大约 100 : 1 直射光强度。

在面向聚焦点、距离反射镜 2.5 m 处, 目标区域的支撑臂有坚硬的附件, 以适应各种试样的安装设备。这种灵活的平台, 可以适合各种样品夹具, 从而为各种材料、安装配置以及研究项目的要求提供一个可定制的测试平台。到目前为止, 这些配置包括: 安装特定的辐射仪器、安装有背衬和无背衬样品、前置样品夹具、空气冷却标版、背面水冷安装面、多目标区域夹具和具有特殊结构的环境室等。沿目标区域的支撑臂通过配送维修线已经成功地把发电设施、温度测量热电偶丝、冷却水和一

个真空源传送到了目标区域。轴向风机和光束衰减器也已成功安装到目标区域的支撑臂上。这种灵活性对于广范围材料类型进行各种加速测试程序非常重要。

集光器与目标区域的支撑臂安装在高精度的商用太阳能跟踪系统中, 它能在整个白天对准太阳圆盘集光器的切线方向 (系统在多云条件不能操作)。第一台装置已安装完毕, 目前正在 Atlas DSET 实验室运行。

1.4 目标区均匀性检测装置

在 ATLAS 试验场亚利桑那州生成了一系列流量图来描述该系统的目标和流量分布。用一块 355 mm×460 mm 的火焰喷涂氧化铝板进行目标区域试样均匀性测试。流量绘图系统包括一台摄像机、一个镜头、一个框架接收器板以及 Coherent 的 BeamView 软件。系统提供的目标区域均匀性评估如图 8 所示。

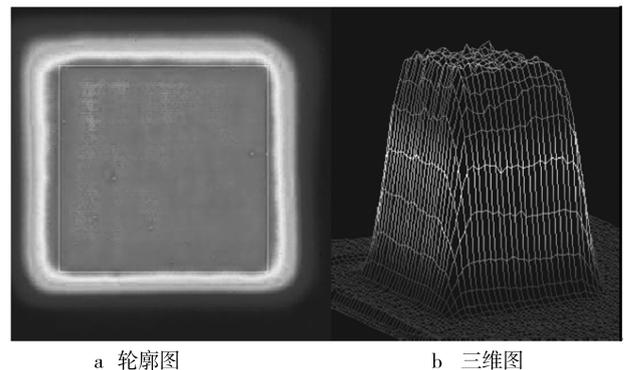


图 8 一致性流量测试图像
Fig.8 Images from flux uniformity measurements

图 8a 为目标轮廓图, 图像亮度与流量强度相关。图像中的白色正方形是 150 mm×150 mm 的样品目标区域。图 8b 为三维图像, 所有集光小块均未遮盖, 表示 100 倍的紫外光谱。使用 BeamView 软件, 计算得出在这个盒子内的光强度均匀性标准偏差是平均值的±4.6%。

2 功能

2.1 辐射量测定

材料的性能退化通常以退化曲线来表征, 其中 y 轴代表性能退化, x 轴代表紫外辐射量。目标区域的辐射量=正常的紫外线辐射量×反射镜的紫外

反射率×反射镜的个数×每个反射镜的光集中系数；
 瞬时辐射量×暴露持续时间=样品暴露在 295 ~ 385 nm 光谱区的暴露辐射量，以 MJ/m² 表示。

通过使用 UAWS 系统可计算出预期的暴露辐射量，同时对使用 UAWS 的暴露辐射、自然暴露及普通加速方法三者之间进行比较。例如，从历史统计数据看，亚利桑那州试验场紫外线正常暴露辐射量每年平均约 162 MJ/m²。按照以上的计算方法，使用 29 个集光小块，0.95 的紫外线反射率和 4 倍的光集中系数，样品在目标区域每年可能有平均约 17 852 MJ/m² 的紫外线辐照量。

相比之下，佛罗里达历史观测数据表明，在朝南 45° 方向，1 年大约有 275 MJ/m² 的紫外线辐照量。由此可知，UAWS 的紫外强化倍率约为 63 倍。类似的比较结果表明，使用 SAE J2527 氙弧暴露需要大约 13~17 年^[9]，使用现行 ASTM G90 标准方法大约需要 13~14 年，才能达到在超高加速装置 1 年的辐射量^[10]。

2.2 暴露温度

经受紫外加速耐候性试验的样品，其温度为材料特性和暴露条件的复合函数。因此，特定样品在紫外加速暴露时达到的实际温度，取决于材料和暴露条件。

某些面板在有底衬的情况下直接正对太阳安装（安装在胶合板上），而另一些被修整到约 75 mm×55 mm，安装在 UAWS 目标区，后面安装有使用冷却水的冷却盘，冷却水循环到冷却盘使黑板背面冷却。冷却水设置到系统的最低温度，以提供系统最低温度性能，以此可与黑板自然暴露温度进行比较。面板分别在 UAWS 与自然光照射下测得的温度情况如图 9 所示，数据表明，黑板温度在紫外加速暴露条件下，接近环境空气温度，并且远低于有底衬黑板的直射暴露温度。

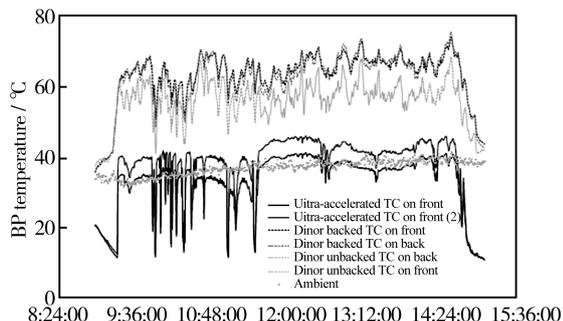


图 9 紫外加速和直射黑板温度

Fig.9 UV-accelerated and direct black panel temperatures

3 加速性和相关性

对于该系统最基本的相关性和加速性研究，使用由 EMPA（瑞士材料实验所）制定的欧洲标准参考材料 ORWET。ORWET 是一种粘附在铝基板上的彩色薄膜，它是一种 Ciba 颜色的三聚氰胺甲醛树脂涂料，因其在紫外线辐射暴露后具有很强的颜色变化特征，是专门作为耐候性测试方法的参考材料。

利用 ORWET 进行不同类型暴露的简单对比表明，相关性是辐照量的函数，加速性是暴露时间的函数。一种特定材料的退化函数高度依赖于材料的特性，所以一种标准参考材料的模型退化函数，不可能代表具有不同特性的其他材料。

按照 ASTM G7-05，于 2008 年夏季，在阿特拉斯测试服务试验场的佛罗里达州和亚利桑那州，户外朝南 5° 角，将 ORWET 样品暴露在无底衬试验架上。按照 ASTM G90-05，在亚利桑那州相同时间进行户外暴露试验。紫外线辐射量按照 ASTM G90 和 ASTM G7 标准进行测量。与此同时，在 2008 年秋季使用安装在阿特拉斯的亚利桑那州现场的 UAWS 装置对同等状态样品开展紫外加速暴露试验。

紫外加速暴露样品安装在背面带有相同冷却盘的底衬上，用于获得黑板温度。用文中前面描述的方法测量紫外线辐射暴露。在整个暴露过程中，断断续续取出样品，测量色差（ΔE）。不同暴露类型的对比如图 10 和图 11 所示。

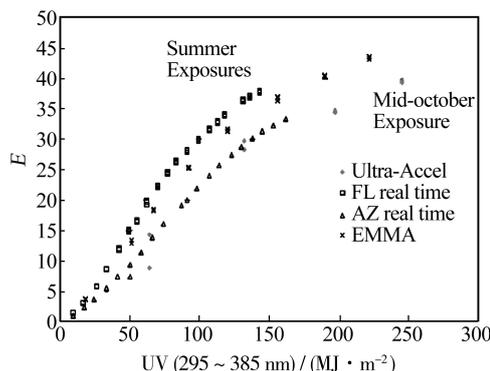


图 10 不同方式下试验样品色差随辐射量变化

Fig.10 Variation of color difference of the test samples with exposure amount in different modes

由图 10 可以看出，四种暴露类型下色差值随辐照量的变化趋势大致相同。在暴露初期，随辐射量值的增大，色差值呈近似线性增长；从紫外辐射量值为 50 MJ/m² 开始，色差值的增长趋势呈幂函数增长。整个过程表明，四种暴露类型的腐蚀动力

学规律基本相似, 利用图表法可初步判定 UAWS 系统与其他三种暴露类型均具有较好的相关性。

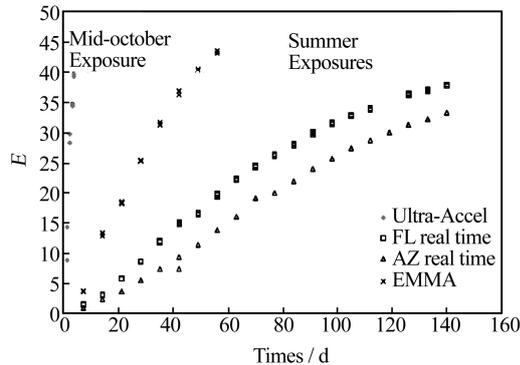


图 11 不同方式下试验样品色差随辐照时间变化

Fig.11 Variation of color difference of the test samples with exposure time in different modes

由图 11 可以看出, 利用达到相同色差值所用时间为基准计算加速倍率, 相对于 EMMA 系统, UAWS 系统的加速倍率为 8 倍左右, 相对于南佛罗里达州、亚利桑那州的自然暴露试验, 其加速倍率为 25 倍和 28 倍左右。

UAWS 已经安装并成功应用, 初始数据表明, 对某些材料而言, 紫外加速与实时户外暴露下材料的性能退化速率之间存在潜在的相关性。同时需要在考虑湿度和其他耐候性变量的情况下利用不同材料及系统修订, 使其相关性得到证实, 并计划在不久的将来实施。

4 结论

紫外加速试验系统在概念上与阿特拉斯加速 EMMAQUA 试验设备具有相似之处, 紫外加速试验系统跟踪太阳使得安装在目标区域的试验样品聚集反射太阳光。不同点在于, 在紫外加速试验系统上使用了具有新专利的镜面, 它对自然光中的紫外光和可见光光谱具有高反射性, 对红外光具有高透过性和低反射性。这一设计很好地解决了聚光造

成的样品过热问题, 使加速系数可以进一步提高而保持老化机理不变。该技术的应用将满足特定材料要求, 并达到快速暴露材料缺陷的目的。

参考文献:

- [1] HENRY K H, GARY J J, CARL E B. Ultra-Accelerated Weathering System I: Design and Functional Considerations[J]. Material Testing Product and Technology News, 2010, 44(88): 3—12.
- [2] WESLEY Jones, RYAN Elmore, JINSUK Lee, et al. Step-Stress Accelerated Degradation Testing for Solar Reflectors[C]// NREL/CP-2C00-52624, September 20-23, 2011.
- [3] JINSUK Lee, RYAN Elmore, CHERYL Kennedy, et al. Lifetime Prediction for Degradation of Solar Mirrors Using Stress Accelerated Testing[C]// 2011 Workshop on Accelerated Stress Testing and Reliability, NREL/PR-2C00-52658. 2011.
- [4] PERN F J, NOUFI R. Stability of CIGS Solar Cells and Component Materials Evaluated by a Step-Stress Accelerated Degradation Test Method[C]// PIE Optics Photonics NREL/CP-5200-54187.
- [5] BRUNNER S, RICHNER P, MÜLLER U, et al. Accelerated Weathering Device for Service Life Prediction for Organic Coating[J]. Polymer Testing, 2005, 24(1): 25—31.
- [6] GARY J, ANDY Gee, MICHAEL D. Development and Testing of Abrasion Resistant Hard Coats for Polymer Film Reflectors[C]// NREL/CP-5500-49273. 2010.
- [7] MICHAEL J D, GARY J, ANDY G, et al. Reflectech Polymer Mirror Film Advancements in Technology and Durability Testing[C]// Proceedings of the ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability. 2011.
- [8] MICHAEL D, GARY J. Reflectech Mirror Film: Design Flexibility and Durability in Reflecting Solar Applications[J]. American Solar Energy Society, 2010.
- [9] SAE J2527, Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Water Cooled Xenon-Arc Apparatus[S].
- [10] ASTM G90-05, Practice for Performing Accelerated Outdoor Weathering of Non-Metallic Materials Using Concentrated Natural Sunlight[S].