

太阳跟踪聚光高加速老化试验系统特性研究

曾文波, 张晓东, 王受和, 陈凯文

(中国电器科学研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: **目的** 对自主研发的基于“冷光”反射镜户外高加速光老化系统特性展开研究。**方法** 利用大气环境条件监测技术获得系统样机关键性能数据。**结果** “冷光”反射镜在 295~700 nm 波长范围内的反射率达到 90% 以上, 增强了系统样机在该波长范围内的反射太阳光谱, 在 310 nm 波段处获得约 3.5 倍太阳直射辐照强度。聚光太阳辐照分布均匀, 靶板处平均辐照强度最大可达 $0.655 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$, 标准偏差为 2.6%。白天样品表面温度不超过直接暴露样品表面温度 $10 \text{ }^\circ\text{C}$, 样品周围空气湿度与大气相对湿度接近, 并可通过喷淋系统控制样品周围空气的相对湿度, 以模拟多种自然气候环境。**结论** 经过对比系统太阳光谱、辐照强度及温湿度等特性数据, 系统增强了紫外辐照强度, 并有效控制了试验样品的温度和湿度, 可为系统自然加速试验老化机理及相关性研究提供数据支持。

关键词: 冷光反射镜; 聚光; 太阳光谱; 温湿度

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.08.003

中图分类号: TB114

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)08-0012-04

Characteristics of Highly Accelerated Weathering Test System with Sun Tracking Concentrated Device

ZENG Wen-bo, ZHANG Xiao-dong, WANG Shou-he, CHEN Kai-wen
(China National Electric Apparatus Research Institute Ltd, Guangzhou 510663, China)

ABSTRACT: Objective To research on characteristics of outdoor highly accelerated photo-aging system based on "cold light" reflector. **Methods** Key performance data of the system prototype were obtained through the monitoring technology of atmospheric environmental conditions. **Results** The "cold light" reflector had a reflectance of over 90% in the wavelength range of 295 to 700 nm, which enhanced the reflected solar spectrum of the system prototype in this wavelength range, and obtained 3.5 times of direct solar radiation intensity in the 310 nm band; concentrated solar irradiation was distributed uniformly, and the average irradiation intensity at the target plate could reach up to $0.655 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$, the standard deviation was 2.6%. The surface temperature of the sample during the day did not exceed that of the directly exposed one by $10 \text{ }^\circ\text{C}$. The air humidity around the sample was close to the atmospheric relative humidity. The air relative humidity around the sample could be controlled through the spray system to simulate various natural climate environments. **Conclusion** After comparing the solar spectrum, irradiation intensity and temperature and humidity of the system, it indicates that the system enhances the UV irradiation intensity and effectively controls the temperature and humidity of the test sample. The research can prove data support for study on aging mechanism of natural accelerated test and correlation of the system.

KEY WORDS: cold light reflector; concentrator; solar spectrum; temperature and humidity

收稿日期: 2019-03-28; 修订日期: 2019-04-10

基金项目: 广州市科技计划项目(201607020033, 201804020089)

作者简介: 曾文波(1987—), 男, 广东人, 硕士, 主要研究方向为汽车环境耐候性。

高分子材料老化以及服役寿命的研究一直是材料领域的重要研究内容之一^[1]。选择合适的试验方法和设备是开展高分子材料光老化性能检测评价及服役寿命研究的基础^[2]。目前，自然暴露试验仍是最真实可靠的试验方法，但耗时一般较长，且结果具有一定的随机性。实验室加速试验时间短，试验条件可控，试验具有重复性，但其光源为人工模拟光源，与太阳光谱存在一定的差异，试验结果真实性较差^[3]。自然加速暴露试验综合了自然暴露试验和实验室人工加速试验的优点，是环境试验技术的一个重要的发展方向^[4-9]。目前自然环境加速老化试验设备的发展在国外较为成熟，而我国加速试验设备的研发起步晚，与国外差距较大。基于以上背景，实验室自主研制基于太阳光源户外高加速光老化系统，旨在为国内提供一种更为实用的自然环境加速老化试验设备。文中主要通过监测系统样靶板处环境条件因素，研究系统样机的太阳光谱特性及温湿度特性。

1 实验

1.1 “冷光”反射镜的反射率测量

采用美国 Perkin Elmer 公司 Lambda 950 紫外-可见-近红外分光光度计，波长扫描区间为 250~800 nm，带宽 ≤ 0.05 nm，入射角为 8° ，分辨率为 5 nm。

1.2 太阳光谱测量

采用美国海洋光学公司 Maya2000 Pro 光谱仪测量太阳直射光谱、聚光光谱，光谱范围为 250~800 nm。测量条件：光纤探头正对太阳测试太阳直射光谱，与系统靶板垂直测量太阳聚光光谱^[10-11]。测试地点为广州亚湿热自然环境试验站。

1.3 温湿度监测

使用温湿度传感器、温湿度记录仪每 5 min 采集一次系统靶板温度、样品表面以及周围空气温湿度。

2 结果与分析

2.1 “冷光”反射镜的反射率

太阳跟踪聚光加速老化试验系统中使用“冷光”反射镜^[12]，组成菲涅尔平面反射镜组。每块平面镜按抛物线的切线位置摆放，使得太阳光经过平面镜反射后聚焦到靶板的样品上，从而使试验样品可以接收到更多的太阳辐照。“冷光”反射镜利用金属薄膜对太阳光的选择性吸收、反射、透射等，实现对紫外可见光的反射，而红外光的透射或吸收，达到控制样品表面温度不至于过高而发生老化机理改变的目的。利用分光光度计测量“冷光”反射镜的绝对反射率，如图 1 所

示。可以看出，反射光谱波长范围主要介于 295~700 nm 之间，平均反射率达到 90% 以上，其中 310 nm 处的绝对反射率为 95.11%。

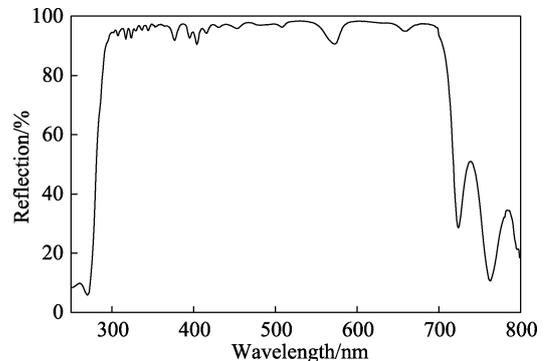


图 1 “冷光”反射镜的绝对反射率

2.2 系统靶板处的太阳光谱

太阳光经过“冷光”反射镜反射，在样品区聚集，并且可以通过气动阀控制反射镜数量，控制样品区太阳光谱及辐照强度。使用光纤光谱仪测量样品区全镜面反射聚光光谱及太阳直射光谱，如图 2 所示。可以看出，聚光光谱因反射镜的作用，在 295~700 nm 之间的太阳光谱高于太阳直射光谱，310 nm 处聚光光谱辐照强度约是太阳直射光谱的 3.5 倍，700 nm 处的聚光光谱辐照强度约是太阳直射光谱的 4 倍。在“冷光”反射镜作用下，太阳光中大于 700 nm 的太阳光红外部分逐渐减弱。在 700~800 nm 的区间内，聚光光谱辐照强度最大值约是相应直射光谱的 2.2 倍，最小值约是相应直射光谱的 0.5 倍。这就使得系统靶板处样品将获得更多的紫外辐照，同时减少了红外线的富集，从而加速试验样品的光老化，并防止了样品被烧毁。

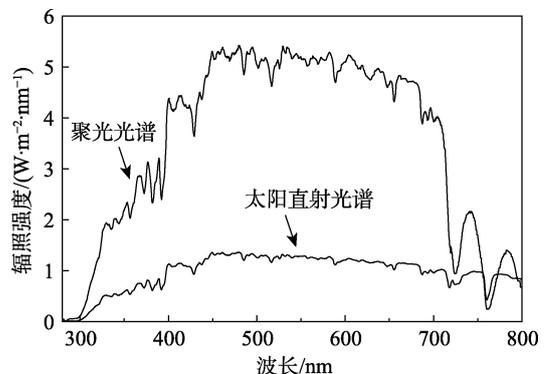


图 2 系统聚光光谱与太阳直射光谱的对比

“冷光”反射镜主要反射太阳光中的紫外及可见光部分，因此太阳跟踪聚光高加速老化试验系统在太阳紫外辐照强烈、空气洁净、湿度适宜的高原地区或干热地区同样适用，理论上能够获得更好的聚

光效果^[4]。然而，系统靶板处并非仅是一个点，而是一个长方形平面，需测试整个平面的辐照均匀度。为此，选择晴天少云的中午，在系统靶板处划分区域，快速测量聚光光谱，以 310 nm 处的辐照强度考察系统靶板处的辐照均匀度，如图 3 所示。

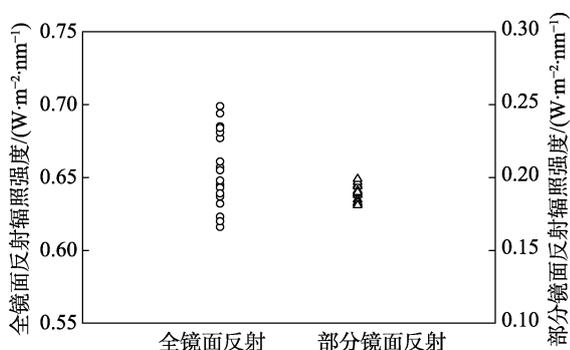


图 3 系统靶板 310 nm 处聚光辐照均匀度

由图 3 可以看出，靶板处各个测量点的平均聚光太阳辐照强度为 0.655 W/(m²·nm)，标准偏差为 2.6%，而部分反射聚光的平均太阳辐照为 0.190 W/(m²·nm)，标准偏差为 0.6%。由此可知，参与聚光的反射镜越多，靶板处的聚光太阳辐照强度均匀度越差。“冷光”反射镜的反射效率及稳定性是影响聚光太阳辐照强度的重要因素。

2.3 样品表面温度

从“冷光”反射镜的反射率测试以及靶板处的太阳聚光光谱测试结果可知，“冷光”反射镜并非将所有的红外线过滤或吸收，样品表面温度仍然会因为吸收红外线而升高。在多面“冷光”反射镜的作用下，靶板处试验样品所接收的红外线仍有可能高于直射暴露试验样品所接收的红外线，样品温度也高于直射暴露试验样品，有可能导致试验样品出现与实际服役时不一致的老化模式。为此，在靶板聚光区和非聚光区分别安装黑板温度计。以黑板温度计所记录的温度差监控试验样品的表面温度，并反馈至通风冷却控制系统，以此控制靶板试验样品的表面温度。

在晴朗或少云天气条件下，不同季节样品表面温度的监测结果如图 3 所示。可以看出，夜晚样品表面温度相近，而白天随着太阳辐照的增强，样品表面温度逐渐升高，系统靶板处的样品温度高于直射样品。在冷却系统的作用下，夏冬两季白天样品表面温度均不超过直接暴露样品表面温度 10 ℃。

2.4 样品周围空气相对湿度

由于系统样机安装在户外，系统靶板处试验样品周围的相对湿度与空气湿度相近，在靶板区安装湿度传感器，监测试验样品周围的空气相对湿度。不同季节靶板处试验样品周围的空气相对湿度监测结果如图 4 所示。可以看出，试验样品周围的空气相对湿度

随着太阳辐照的增强而降低，随着太阳辐照的减弱而升高，但冬季的空气相对湿度更低。

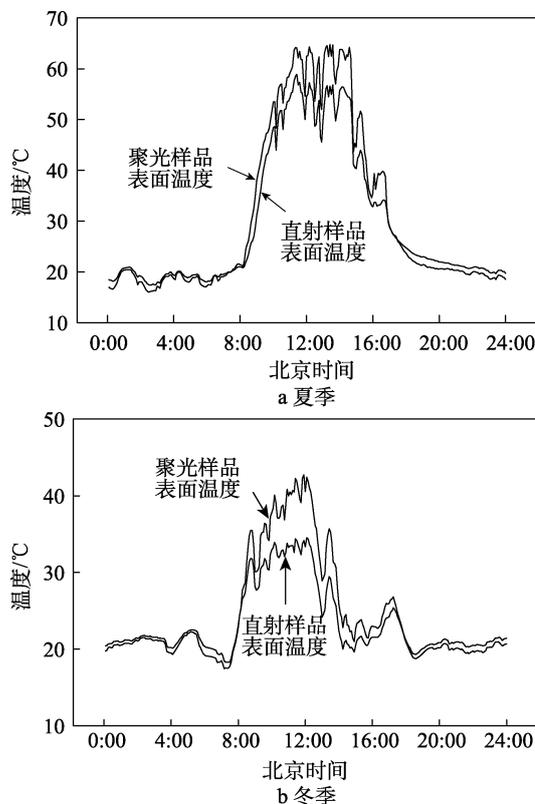


图 4 不同季节试验样品表面温度对比

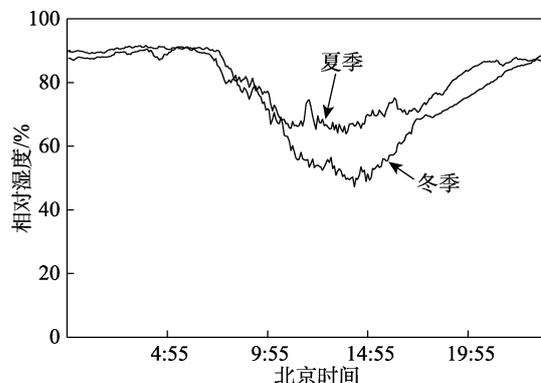


图 5 不同季节中试验样品周围空气相对湿度

此外，在系统中设计喷淋系统，使系统可模拟更多的自然环境条件。如在高温状态下喷淋，模拟湿热地区涂层材料、高分子材料等的热冲击；夜间喷淋模拟湿热地区的凝露现象。样品表面由干燥状态转为喷淋状态时，相对湿度的变化情况如图 5 所示。可以看出，在喷淋状态下，样品表面相对湿度可达到 95%±5%，接近饱和状态，并可通过控制喷淋时间，控制样品表面相对湿度。

3 结论

1) “冷光”反射镜对 295~700 nm 之间的太阳光谱

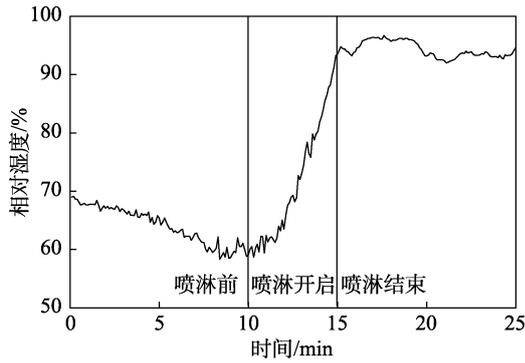


图6 喷淋状态下样品周围空气相对湿度

反射率达到90%以上,提高了该波段范围内的辐照强度,有效控制靶板区的太阳辐照分布及温度。

2) 在“冷光”反射镜的作用下,试验样品表面接收的红外辐照与直射暴露试验样品相差较小,且在冷却系统的作用下,温度不超过直射样品表面温度10℃。

3) 样品周围空气相对湿度,随太阳辐照的增强而降低,喷淋系统的设计,使系统可模拟多种自然环境。

参考文献:

- [1] 黄亚江,叶林,廖霞,等. 复杂条件下高分子材料老化规律、寿命预测与防治研究新进展[J]. 高分子通报, 2017(10): 52-63.
- [2] 张晓东,王俊,江鲁,等. 海南自然暴晒试验与人工加速光老化试验的相关性研究[J]. 汽车工艺与材料, 2012(9): 43-46.
- [3] 江鲁,周修源. 汽车常用的自然暴露试验方法[J]. 中国仪器仪表, 2009(9): 45-50.
- [4] 陆启凯,揭敢新,王俊,等. 汽车气候老化试验技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2010.
- [5] 马坚,揭敢新,刘强,等. 汽车气候老化应用技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2013.
- [6] 苏艳,何德洪. 跟踪太阳户外加速暴露试验装置探讨[J]. 表面技术, 2003(6): 72-74.
- [7] ZERLAUT G A, HARADA Y, THOMPkins E H. Ultraviolet Irradiation of White Spacecraft Coatings in Vacuum[C]. Thermal Radiation of Solids. Washington, DC: Scientific and Technical Information Division, 1965.
- [8] MOUSAZADEH H, KEYHANI A, JAVADI A, et al. A Review of Principle and Sun-tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(8): 1800-1818.
- [9] 路瑶,何秋生,苑伟华,等. 太阳跟踪方法综述[J]. 自动化技术与应用, 2014, 33(5): 1-4.
- [10] 王艳艳,陈亮,杨万均,等. 不同地域的阳光光谱分布特性[J]. 装备环境工程, 2015, 12(3): 97-101.
- [11] 曹婷婷,罗时荣,赵晓艳,等. 太阳直射光谱和天空光谱的测量与分析[J]. 物理学报, 2007, 56(9): 5554-5557.
- [12] 姚春龙,王银河,张辉. 近紫外冷反射镜的镀制研究[J]. 真空, 2007, 44(3): 9-11.