

不同地域的阳光光谱分布特性

王艳艳^{1,2}, 陈亮¹, 杨万均^{1,2}, 王玲^{1,2}

(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:目的 研究阳光的光谱能量分布特性。方法 对高原、西北沙漠、热带海洋等3个地域200~800 nm波段的阳光进行光谱测量,分析不同地区、不同天气状况、不同扫描速度下的阳光光谱能量分布特性。结果 高原地区阳光光谱中的紫外-可见波段的辐照强度明显比西北沙漠和热带海洋地区高,多云时200~800 nm波段的辐射总量与晴天相比降低1/4,200~400 nm的紫外波段的辐射总量仅为晴天时的54%。光谱测量仪的扫描速度对光谱测定结果基本无影响。结论 研究获得的阳光紫外截止点、340 nm处的辐照强度、不同波段的辐照量,可为实验室光源暴露试验中的光源选择、光谱能量控制提供参考。

关键词: 阳光光谱; 光谱测量; 光谱能量分布; 紫外截止点

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.03.018

中图分类号: TJ089 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)03-0097-05

Characteristics of Sunlight Spectral Power Distribution in Three Different Areas

WANG Yan-yan^{1,2}, CHEN Liang¹, YANG Wan-jun^{1,2}, WANG Ling^{1,2}

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

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

ABSTRACT: **Objective** To study the distribution characteristics of sunlight spectral power. **Methods** Sunlight spectral irradiation curves within the range of 200 nm–800 nm in the plateau, northwest desert and tropic areas were measured. The distribution characteristics of sunlight spectral power in different areas, weather conditions and scanning speeds were analyzed respectively. **Results** The irradiance strength within the UV and VIS wavelength coverage in the plateau area was higher than in the northwest desert and tropic areas. The total irradiance within the range of 200 nm–800 nm on cloudy days was 1/4 lower than that on sunny days, while the irradiance within the range of 200 nm–400 nm on cloudy days was only 54% of that on sunny days. The effect of the scanning speed of spectrometer on the determination results was neglectable. **Conclusion** The cut-off point of sunlight wavelength, the spectral irradiation at 340 nm wavelength and the irradiance within different wavelength coverages could be used as reference for light source selection and spectral power control in laboratory exposure tests.

KEY WORDS: sunlight spectra; spectral measurement; spectral power distribution; cut-off wavelength

收稿日期: 2015-02-05; 修订日期: 2015-02-19

Received: 2015-02-05; Revised: 2015-02-19

作者简介: 王艳艳(1980—),女,山西保德人,硕士,高级工程师,主要研究方向为环境试验与评价。

Biography: WANG Yan-yan(1980—),Female,from Baode,Shanxi,Master,Senior engineer,Research focus:environmental test and evaluation.

到达地面的太阳光是影响聚合物老化的主要因素之一^[1-3],户外使用的聚合物材料、制件都受到它的破坏^[4-10],其中的紫外光对聚合物老化的影响最大^[11-13]。在自然环境下,不同地区的阳光辐照强度有所不同^[14-15],在地点、日期、时间和天气状况(无云)不变的前提下,平均海拔1000 m处的总辐照强度比海平面上增加约10%,在3000 m处则平均增加20%~25%^[16]。

文中对我国高原、西北沙漠、热带海洋等3个太阳辐射较强、聚合物老化严重地域的阳光光谱能量分布进行了检测,分析了不同地区、不同天气状况、不同扫描速度下的阳光光谱能量分布特性。掌握这些地区的阳光光谱分布特性及规律对更好地分析聚合物的老化规律和机理具有重要意义。

1 实验

1.1 光谱测量设备

采用OL 756型便携式紫外-可见分光辐射度计(美国Optronic Laboratories公司)进行光谱测量。该仪器能测量光谱辐照度、辐射亮度、透射率或反射率,可以覆盖200~800 nm的波长范围,波长精度为 ± 0.15 nm,波长分辨率为0.025 nm,半谱带宽度为0.4~10 nm,最大扫描速率为200 nm/s(快速扫描模式),光谱辐射度准确度在UVA~可见00波0000000000段约为1%,UVB~UVC波段约为3%。

1.2 测量条件

在夏日正午对阳光光谱进行检测,将光谱仪的探头对准太阳,采集入射的太阳光,检测时间为12:30—14:00,波长范围为200~800 nm。在不同波段对测得的光谱能量分布曲线进行积分,分析紫外和可见波段的能量分布。

2 结果与讨论

2.1 不同地域晴天的光谱能量分布特性

高原地区晴天时的阳光光谱能量分布曲线如图1所示,积分球垂直于阳光入射方向,扫描速率设定为4(1 nm/s)。紫外-可见波段(200~800 nm)的总辐射能量为654.84 W/m²,峰值出现在506 nm处,该波长处的辐照强度为1.941 W/m²。其中紫外波段(200~

400 nm)的辐射总量为56.41 W/m²,占紫外-可见波段的8.6%,峰值出现在400 nm处,该波长处的辐照强度为1.282 W/m²。可见波段(400~800 nm)的辐射总量为598.43 W/m²。

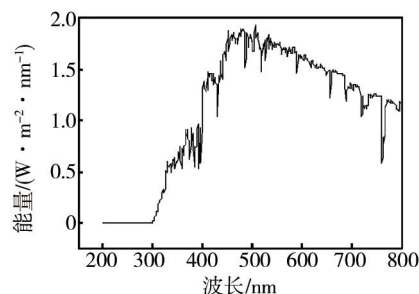


图1 高原地区阳光光谱能量分布曲线(200~800 nm,晴天)
Fig.1 Sunlight spectral irradiation curve in the plateau area (200~800 nm, sunny)

从测试数据中可以看出,该地域的阳光紫外截止点为296 nm,此波长处的辐照强度为 1.23×10^{-3} W/m²,在340 nm处的辐照强度为0.61 W/m²。

采用相同条件测得的西北沙漠地区晴天时的阳光光谱能量分布曲线如图2所示。紫外-可见波段(200~800 nm)的总辐射能量为534.39 W/m²,为高原地区的81.6%,峰值出现在506 nm处,该波长处的辐照强度为1.570 W/m²。其中紫外波段(200~400 nm)的辐射总量为40.65 W/m²,仅相当于高原地区的72.1%,占紫外-可见波段的7.6%,峰值出现在400 nm处。该波长处的辐照强度为0.968 W/m²,可见波段(400~800 nm)的辐射总量为493.74 W/m²。

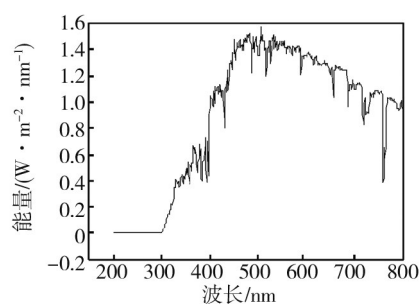


图2 西北沙漠地区阳光光谱能量分布曲线(200~800 nm,晴天)
Fig.2 Sunlight spectral irradiation curve in the northwest desert area (200~800 nm, sunny)

从测试数据中可以看出,该地域的阳光紫外截止点为297 nm,此波长处的辐照强度为 1.00×10^{-3} W/m²。

热带海洋地区晴天时的阳光光谱能量分布曲线如图3所示。紫外-可见(200~800 nm)的总辐射能量为485.67 W/m²,相当于高原地区的74.2%,西北沙漠地区的90.9%。峰值出现在506 nm处,该波长处的辐

照强度为 1.460W/m^2 。其中紫外波段($200\sim 400\text{ nm}$)的辐射总量为 37.38W/m^2 ,占紫外-可见波段的 7.7% ,仅相当于高原地区的 66.3% ,西北沙漠地区的 92.0% 。峰值 400 nm 处,该波长处的辐照强度为 0.896 W/m^2 ,可见波段($400\sim 800\text{ nm}$)的辐射总量为 448.29 W/m^2 。

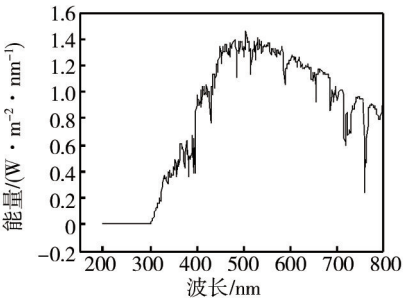


图3 热带海洋地区阳光光谱能量分布曲线($200\text{ nm}\sim 800\text{ nm}$,晴天)
Fig.3 Sunlight spectral irradiation curve in the tropic area ($200\sim 800\text{ nm}$, sunny)

从测试数据中可以看出,该地域的阳光紫外截止点为 298 nm ,该波长出的辐照强度为 $2.59\times 10^{-3}\text{ W/m}^2$ 。三地阳光光谱能量分布的对比如图4所示。可以看出,三地阳光光谱能量分布图的形状没有大的变化,但强度有明显区别。晴朗的天气状况下,高原地区的紫外-可见波段的辐照强度明显比其他两地高,在对高分子材料老化非常敏感的短波长紫外波段也是如此。西北沙漠地区的阳光的辐照强度比热带海洋地区略高。

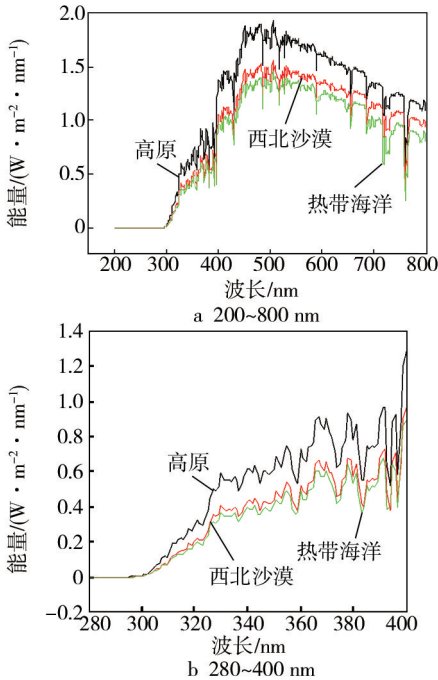


图4 三个地区的阳光光谱能量分布对比(晴天)
Fig.4 Comparison of sunlight spectral irradiation distribution in three areas(sunny)

太阳的直接辐射在穿过地球大气层时,红外波段部分被水汽吸收,紫外波段部分被臭氧吸收,大气中的氮气、氧气及其他气体的散射也会造成直接辐射的衰减。由于散射量与波长的四次方成反比(瑞利定律),因此只有较短波长会被明显散射^[16]。到达地面的辐照强度随着海拔高度增大而增强,主要是由于起衰减作用的大气厚度减小了。高原地区海拔高、空气稀薄,对紫外光的吸收和散射相对较少,到达地面的紫外光波长更短、强度更高。

2.2 天气状况对阳光光谱能量的影响

晴天和多云两种天气状况下高原地区正午阳光光谱能量分布的对比如图5所示,积分球水平放置,两次测试的设备状态和参数设置相同。

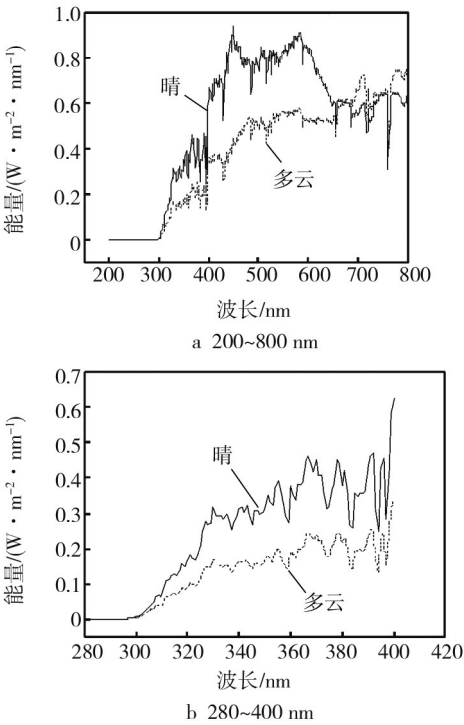


图5 不同天气情况下阳光光谱能量分布对比
Fig.5 Comparison of sunlight spectral energy distribution in different weather conditions

天空多云时,云层对太阳直接辐射的吸收量与厚度有关,且造成的散射和漫反射也随着云量的增加而增大,因此,当天空被云层遮盖时,不仅直接辐射被截止,而且漫射部分也被相当程度地削弱^[16]。从图5中可以看出,在两种天气状况下,不同波段的阳光光谱强度有明显区别。晴朗的天气状况下,紫外和可见区域的强度明显高于多云时。紫外波段多云时的辐射总量为晴天时的 54% ,紫外-可见区域($200\sim 800\text{ nm}$)范围内比晴天时降低 $1/4$ 。

2.3 扫描速度对光谱测量结果的影响

紫外-可见分光辐射度计的扫描速度分别设定为2(0.2 nm/s), 3(0.5 nm/s), 4(1 nm/s)时, 对阳光的光谱能量分布进行了测定, 结果如图6所示。可以看出, 扫描速度对测定结果基本没有影响。

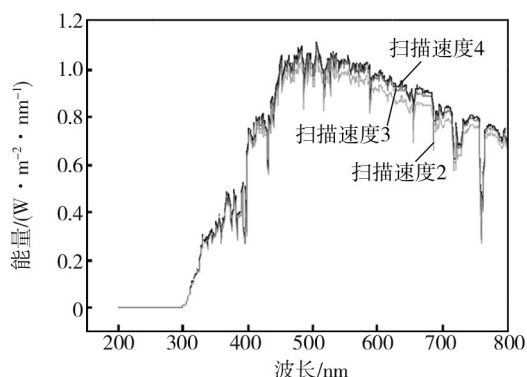


图6 不同扫描速度下的阳光光谱能量分布曲线(晴天)

Fig.6 Sunlight spectral irradiation curves with different scanning speeds(sunny)

3 结论

1) 到达地面的太阳光在不同地域的紫外截止点不同, 高原地区的阳光紫外截止点为296 nm, 西北沙漠地区的紫外截止点为297 nm, 热带海洋地区的紫外截止点为298 nm。

2) 晴朗的天气状况下, 高原地区阳光光谱中的紫外-可见波段的辐照强度明显比西北沙漠和热带海洋地区高, 在对高分子材料老化非常敏感的短波长紫外波段也是如此。

3) 高原地区多云时, 200~800 nm波段的辐射总量与晴天相比降低1/4, 但紫外波段的辐射总量仅为晴天时的54%, 天气状况对太阳光谱中紫外波段的影响更大。

4) 获得的阳光紫外截止点、340 nm处的辐照强度、不同波段的辐照量, 可为实验室光源暴露试验中的光源选择、光谱能量控制提供参考。

参考文献:

[1] 宣卫芳, 胥泽奇, 肖敏, 等. 装备与自然环境试验·基础篇[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
XUAN Wei-fang, XU Ze-qi, XIAO Min, et al. Equipment and Natural Environmental Test Part 1[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009.

[2] 化工部合成材料研究院. 聚合物防老化实用手册[M]. 北

京: 化学工业出版社, 1999.

Synthetic Materials Institute. Handbook for Anti-aging of Polymers[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999.

- [3] 朱福海. 高分子材料光降解和光稳定[J]. 合成材料老化与应用, 1999, (1): 24—26.
ZHU Fu-hai. Photo Degradation and Photo Stabilization of Polymers[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 1999, (1): 24—26.
- [4] TILLINGER R, DE WILDE B, DE BAERE L. Standard Test Methods for Polymer Biodegradation in Solid-Waste Treatment Systems[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 1992, 67: 359—360.
- [5] 闫永生, 杨旭东, 胡淳. 不同光源条件下PVC涂层膜材料的光氧老化性能[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2014, 40(1): 28—33.
YAN Yong-sheng, YANG Xu-dong, HU Chun. Photo-Oxidation of PVC-Coated Membrane Material under Different Light Sources[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2014, 40(1): 28—33.
- [6] 高伟斌, 韩世民, 杨明娇, 等. 光氧老化对聚碳酸酯结构和性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(10): 67—70.
GAO Wei-bin, HAN Shi-min, YANG Ming-jiao, et al. Effect of Photo-Oxidation Aging on Structure and Property of Polycarbonate[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2008, 24(10): 67—70.
- [7] 张立基. 聚乙烯薄膜的光氧老化及影响因素[J]. 石化技术与应用, 2000, 18(4): 191—194
ZHANG Li-ji. Photooxidative Aging of Polyethylene Film and Its Influence Factors[J]. Petrochemical Technology & Application, 2000, 18(4): 191—194
- [8] 卢琳, 石宇野, 高瑾, 等. 聚乙烯塑料在西沙自然环境中光老化行为研究[J]. 材料工程, 2011(3): 45—49.
LU Lin, SHI Yu-ye, GAO Jin, et al. Photo Degradation Behavior of Media Density Polythene under Xisha (Paracel) Islands Environment[J]. Journal of Materials Engineering, 2011(3): 45.
- [9] 李晖, 张霞, 付建农, 等. 尼龙66人工光老化性能研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(12): 65—68.
LI Hui, ZHANG Xia, FU Jian-nong, et al. Study on Photo-aging of PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(12): 65—68.
- [10] 刘金和, 张雅琴, 刘慕懿, 等. 有机涂层在模拟沙漠大气环境下的加速试验研究[J]. 表面技术, 2014, 43(4): 64—67.
LIU Jin-he, ZHANG Ya-qin, LIU Mu-yi, et al. Study on Accelerated Test of Organic Coating in Desert Atmospheric Environment[J]. Surface Technology, 2014, 43(4): 64—67.
- [11] JOHNSON B W, MCINTYRE R. Analysis of Test Methods for

- UV Durability Predictions of Polymer Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 1996, 27: 95—106.
- [12] 石巍, 张军. 聚氯乙烯的紫外光降解机理及影响因素[J]. 合成树脂与塑料, 2006, 23(4): 80—83.
- SHI Wei, ZHANG Jun. Photo Degradation Mechanism and its Influential Factors of PVC[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2006, 23(4): 80—83.
- [13] 龙俊元, 李光吉, 李超, 等. PA6在紫外光老化中的变色与结构变化[J]. 塑料工业, 2010, 38(12): 47—51.
- LONG Jun-yuan, LI Guang-ji, LI Chao, et al. Changes in the Discoloration and Structures of PA6 during the Course of Ultraviolet Aging[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(12): 47—51.
- [14] 杨希峰, 刘涛, 赵友博, 等. 太阳光和天空光的光谱测量分析[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2004, 37(4): 69—74.
- YANG Xi-feng, LIU Tao, ZHAO You-bo, et al. Measurement and Analyses of Sunlight and Skylight Spectra[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2004, 37(4): 69—74.
- [15] 胡行俊. 紫外光与合成材料的光老化[J]. 合成材料老化与应用, 2006, 35(2): 10—13.
- HU Xing-jun. UV-irradiation and Photo-aging of Synthetic Materials[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2006, 35(2): 10—13.
- [16] DEF STAN 00-35, Environmental Handbook for Defence Materiel, Part 4 Natural Environments[S].

(上接第 91 页)

- Behavior of LY12 Aluminum Alloy in Simulated Acid Rain[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2003, 23(3): 167—170.
- [8] 孙霜青, 赵予兵, 郑弃非, 等. 包铝的 7075 和 2024 合金在海洋大气环境中点蚀演化机制[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2012, 32(3): 195—202.
- SUN Shuang-qing, ZHAO Yu-bing, ZHENG Qi-fei, et al. Evolution Mechanism of Pitting of Al Clad 7075 and 2024 Aluminum Alloy in Coastal Environment[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2012, 32(3): 195—202.
- [9] WANG Zhen-yao, MA Teng, HAN Wei, et al. Corrosion Behavior on Aluminum Alloy LY12 in Simulated Atmospheric Corrosion Process[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2007, 17: 326—334.
- [10] SUN Shuang-qing, ZHENG Qi-fei, LI De-fu, et al. Long-term Atmospheric Corrosion Behaviour of Aluminium Alloys 2024 and 7075 in Urban, Coastal and Industrial Environments[J]. Corrosion Science, 2009, 51: 719—727.
- [11] SUN Shuang-qing, ZHENG Qi-fei, LI De-fu, et al. Exfoliation Corrosion of Extruded 2024-T4 in the Coastal Environments in China[J]. Corrosion Science, 2011, 53: 2527—2538.
- [12] CHENG Y L, ZHANG Z, CAO F H, et al. A Study of the Corrosion of Aluminium Alloy 2024-T3 under Thin Electrolyte Layers[J]. Corrosion Science, 2004, 46: 1649—1667.
- [13] SHI Y Y, ZHANG Z, SU J X, et al. Electrochemical Noise Study on 2024-T3 Aluminium Alloy Corrosion in Simulated Acid Rain under Cyclic Wet-Dry Condition[J]. Electrochimical Acta, 2006, 51: 4977—4986.
- [14] 王振尧, 马腾, 韩薇, 等. LC4 铝合金在模拟污染大气环境中的腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2005, 25(6): 321—326.
- WANG Zhen-yao, MA Teng, HAN Wei, et al. Corrosion Behaviors of Al Alloy LC4 in Simulated Polluted Atmospheric Environments[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2005, 25(6): 321—326.
- [15] LIU Yan-jie, WANG Zhen-yao, KE Wei. Study on Influence of Native Oxide and Corrosion Products on Atmospheric Corrosion of Pure Al[J]. Corrosion Science, 2014, 80: 169—176.
- [16] 刘艳洁, 王振尧, 柯伟. 薄液膜下铝合金与不锈钢电偶腐蚀研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 1—5.
- LIU Yan-jie, WANG Zhen-yao, KE Wei. Study on the Galvanic Corrosion of Aluminium Alloy and Stainless Steel under a thin Electrolyte Film[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(1): 1—5.
- [17] 王振尧, 于全成, 汪川, 等. 在含硫污染的海洋环境中核电用钢的腐蚀行为[J]. 科学通报, 2012, 57(31): 2991.
- WANG Zhen-yao, YU Quan-cheng, WANG Chuan, et al. Corrosion Behaviors of Steels in Marine Atmospheric Environment with SO₂ Pollution[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(31): 2991.
- [18] 郝显赫, 王振尧, 汪川. 锌在辽宁红沿河核电站的大气腐蚀研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 108—111.
- HAO Xian-he, WANG Zhen-yao, WANG Chuan. Atmospheric Corrosion of Zinc at Hongyanhe Nuclear Power Station[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(3): 108—111.