

利用 CCD 光学多道分析器探测太阳紫外辐射光谱

赵晓艳 汤正新 闫海涛 甄志强 王 翬

(河南科技大学物理与工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要 利用自行研制的紫外 CCD 光学多道分析器对太阳紫外辐射光谱进行探测。对太阳紫外辐射光谱进行的初步分析表明:太阳紫外辐射在一天内早晚小中午大,与太阳天顶角(SZA)变化呈相反相关;不同波段的辐射量不同,长波段的辐射量一般比短波段的辐射量大;太阳紫外辐射光谱强度受云的影响而衰减,且衰减依赖于波长,随波长的递减而减小。紫外 CCD 光学多道分析器不仅能够用于监测太阳紫外辐射总辐射量,而且可以精确分析各波长的辐射量,以及在不同大气状况下各波长辐射量的相对变化情况。

关键词 大气光学;太阳紫外辐射光谱;CCD 光学多道分析器

中图分类号 P182.3;O434.2;TH741

OCIS 010.0010 040.0040 300.0300

文献标识码 A

Optical Multi-Channel Detection on Solar Ultra-Violet Irradiation Spectrum

Zhao Xiaoyan Tang Zhengxin Yan Haitao Zhen Zhiqiang Wang Hui

(College of Physics and Engineering, Henan University of Science and Technology,
Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract We report a new type of ultraviolet (UV) CCD optical multi-channel analyzer and its application for detecting solar ultraviolet irradiance spectrum. Primary analysis on detection results of solar UV irradiance spectrum indicates that in the morning and in the afternoon the irradiance of solar UV is smaller than that at noon, and reverse correlates to the change of solar zenith angle (SZA). Radiation of different bands are different; long-wave radiation is generally higher than short wave radiation. Solar UV radiation spectral intensity is bated by the effects of clouds, and the attenuation depends on the wavelength and decreases with decreasing wavelength. UV-CCD optical multi-channel analyzer can be used to monitor the total amount of solar UV radiation, and to analyze the amount of radiation at all wavelengths and the relative charges of radiation at different wavelengths in different atmospheric conditions.

Key words atmospheric optics; solar ultraviolet irradiance spectrum; CCD optical multi-channel analyzer

1 引言

太阳紫外辐射光谱是由大气层上界的太阳辐射光谱经大气中的气体吸收,空气分子、气溶胶等散射,云的吸收和散射,地表反照等综合因素作用之后得到,其中臭氧对地面太阳紫外辐射光谱组成的改变具有重要的意义。虽然地球表面太阳紫外辐射占太阳辐射总能量的比例很小,但其强度的变化可以导致极大的环境效应和生物效应。近年来的很多研究发现,臭氧层的衰减导致地面紫外辐射增强,过多的紫外辐射[特别是短波紫外(UVB)波段的辐射]会使人的免疫系统受到抑制,导致皮肤癌和白内障病人增加,人类爆发传染病次数增加^[1]。太阳紫外辐射状况的实时监测越来越受到人们的广泛关注。

太阳紫外辐射的监测是从宽带总辐射测量开始的,主要是采用滤色片式的分波段总量测量,其中一类为宽波段通带滤光片式的紫外辐射表,该类仪器可用于测量长波紫外(UVA)和 UVB 波段总辐射量^[2,3]。美国较早是利用 Robertson-Berger 宽带紫外辐射进行全自动全天候测量。后来发展了窄带辐射量的测量,如使用窄带滤光片组合,获得更细的分波段太阳紫外辐射光谱,每一分波段带宽在 10 nm 左右。而在更多应用中(如研究太阳紫外辐射的生物学效应,特别是研究不同波长太阳紫外辐射对人体细胞、组织的不同影响),

收稿日期: 2010-04-06; 收到修改稿日期: 2010-06-04

作者简介: 赵晓艳(1975—),女,博士,讲师,主要从事大气光学探测方面的研究。E-mail: zhaoxy424@126.com

需要对太阳紫外辐射光谱进行更精确测量。已有研究^[4,5]使用光栅光谱仪分光、光电倍增管接收,测量了太阳紫外辐射光谱。但是使用光电倍增管接收方法及光栅扫描,难以实现光谱的同时实时探测。张军琴等^[6]对金属-半导体-金属结构的紫外探测器进行了模拟。而 CCD 探测器组建的光学器件,已经在可见和近红外波段得到大量应用^[7,8]。

本文利用紫外响应 CCD 探测器组建的紫外光学多道分析器,实现了对太阳紫外辐射光谱的实时快速高精度测量。

2 实验装置

紫外(UV)CCD 光学多道分析器基本结构如图 1 所示,主要由光纤连接器(由石英透镜 P,可变光阑 L 和导光石英光纤 F 组成)、光栅多色仪 G、UV-CCD 探测器(CCD, EG&G RETICON RL2048DKQ)、CCD 驱动电源(CCD driver)、模/数(A/D)变换器和微型计算机(MPC)组成。RL2048DKQ 紫外 CCD 探测器光谱响应范围 200~1100 nm,光谱探测灵敏度 0.02 lx。

太阳辐射经光纤连接器耦合太阳紫外辐射进入光栅多色仪(狭缝宽 0.2 mm),经光栅分光,光谱图像被成像于光谱仪焦平面,CCD 器件转换光谱图像信号为相应的电信号,在专用驱动电源支持下,CCD 输出信号经放大,采样保持,A/D 变换器(AC1077,16 bit,变换时间 10 μ s),进入 MPC。Visual C++ 编程的专用应用软件用于系统控制,实现太阳紫外辐射光谱的采集分析。所研制的 UV-CCD 光学多道分析器应用于太阳紫外光谱采集时,一次采集紫外光谱范围 280~400 nm,光谱分辨率为 0.05 nm/pixel。多道分析器光谱波长用紫外 Hg 光谱灯谱线 313.0 nm 和 365.0 nm 校正,光谱强度由该 CCD 器件光谱响应曲线校正。

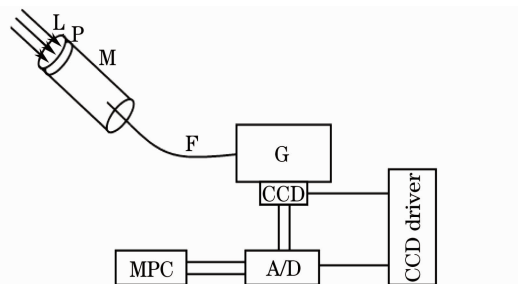


图 1 紫外 CCD 光学多道分析器基本结构

Fig.1 Instrument for UV-CCD optical multi-channel analyzer

3 光谱测量与分析

图 2 为利用紫外 CCD 光学多道分析器得到的太阳紫外辐射光谱,光谱波长已用图 3 所示 CCD 器件光谱响应曲线校正。

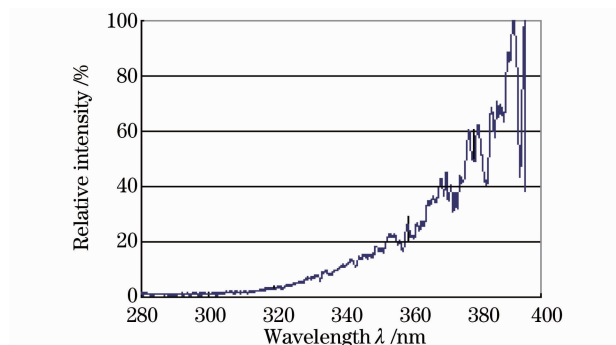


图 2 太阳紫外辐射光谱

Fig.2 Solar ultraviolet spectra irradiance

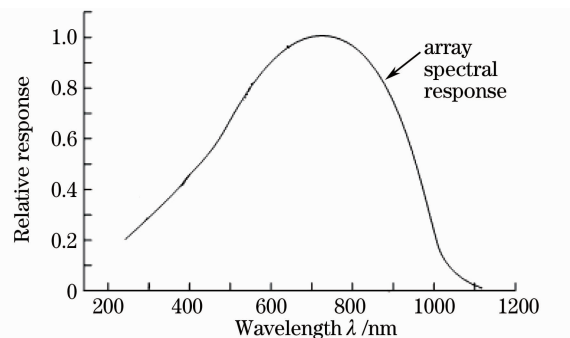


图 3 UV-CCD 器件光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response curve of UV-CCD device

3.1 紫外辐射光谱的日变化规律

图 4 为用紫外 CCD 光学多道分析器得到的一日内太阳紫外辐射光谱,5 条谱线分别是 2008 年 6 月 2 日 9:00,11:00,13:00,15:00,17:00 采集得到的。

可以看出,太阳紫外辐射光谱强度呈规律性变化:早上较弱,随着太阳天顶角逐渐增大,光谱强度逐渐增强,中午达到最强。然后随着太阳天顶角逐渐减小,光谱强度逐渐减弱。然而云会影响这种规律性。

3.2 云对紫外辐射光谱的影响

在光谱测量过程中,时常会出现光谱起伏不定的情况,这是云影响^[9]的结果。测量太阳紫外辐射穿过云层前后的光谱如图5所示,曲线1为无云时刻的光谱,曲线2为云衰减后的光谱。

研究有云之后各波长辐射强度的相对变化量,得到衰减率随波长的变化曲线如图6所示。

可以看出,云对各波长紫外辐射光谱的衰减依赖于波长,该结果与已有文献的研究结果一致。而文献[10]中认为云对UVA和UVB波段的衰减一样。本文的研究表明,衰减率依赖于波长,而且315 nm以上衰减随波长的增大而增大,315 nm以下随波长的减小而减小;315 nm以下波段,随波长的减小,衰减的差异逐渐较小。理论模型研究^[11]表明,这一结果是由云顶向上的散射、气溶胶的散射以及臭氧的吸收共同作用得到的。

4 结 论

紫外CCD光学多道分析器能够测量太阳紫外辐射光谱,可以精确分析各波长的辐射量,以及在不同大气状况下各波长辐射量的相对变化情况。从测量结果可知,太阳紫外辐射在一天内的变化规律为:从早上到中午,随着太阳天顶角的逐渐减小紫外辐射量逐渐增大,在太阳时中午(13:30左右)辐射达到最大,从中午到下午随着太阳天顶角的逐渐增大各波长的紫外辐射量逐渐减小。但是云会影响这种规律性,太阳紫外辐射光谱强度受云的影响而衰减,且衰减依赖于波长,随波长的递减而减小。

应用测量的太阳紫外辐射光谱还可反演大气中臭氧、二氧化硫等微量气体浓度,进一步对大气环境进行监测。本文的研究结果为太阳紫外辐射光谱的进一步应用提供了参考。

参 考 文 献

- 1 Guo Shichang, Yi Fang, Chen Hui *et al.*. Relation of ozone layer change and solar activity to the ECM/HP[J]. *China Environmental Science*, 2001, **21**(1): 24~28
- 2 郭世昌, 仪方, 陈辉等. 臭氧层变化与流行性脑膜炎及鼠疫流行的关系[J]. *中国环境科学*, 2001, **21**(1): 24~28
- 3 J. E. Frederick. An assessment of the Robertson-Berger ultraviolet meter and measurements: introductory comments[J]. *Photochem. Photobiol.*, 1992, **56**: 113~114
- 4 J. E. Frederick, E. C. Weatherhead. Temporal changes in surface ultraviolet radiation; a study of the Robertson-Berger meter and Dobson data records[J]. *Photochem. Photobiol.*, 1992, **56**: 123~131
- 5 Feng Zhiqing, Li Futian. Design of small sized fiber grating spectrograph measuring ultraviolet spectrum[J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2004, **18**(4): 292~295
- 6 冯志庆, 李福田. 一种紫外光谱测量的微型光纤光栅光谱仪设计[J]. *测试技术学报*, 2004, **18**(4): 292~295
- 5 Diao Lijun, Gu Songshan, Wang Pucai *et al.*. Measurements and analyses on Beijing ground surface ultraviolet radiation

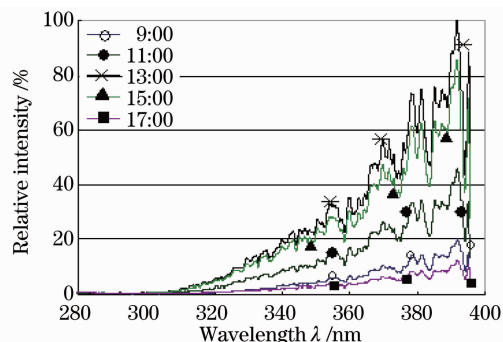


图4 一日内太阳紫外辐射光谱

Fig. 4 Solar ultraviolet spectra irradiance in a day

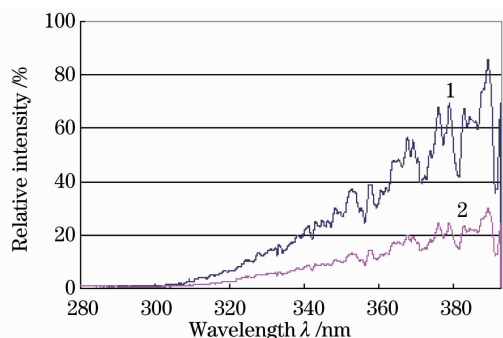


图5 云对紫外辐射光谱的影响

Fig. 5 Influence of cloudy on ultraviolet irradiance spectra

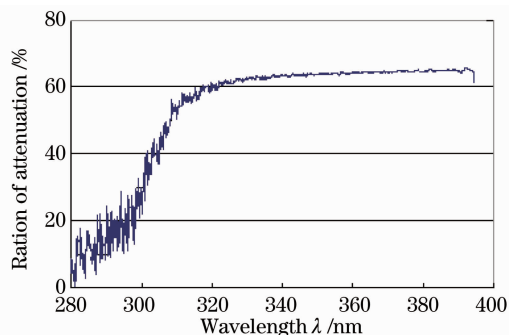


图6 云对紫外辐射衰减率随波长的变化

Fig. 6 Variety of attenuation of ultraviolet irradiance with wavelength

- (apectrum)[J]. *Sciential Meteorologica Sinica*, 2003, **23**(1): 22~30
刁丽军, 顾松山, 王普才 等. 北京地面紫外辐射(光谱)的观测与分析[J]. *气象科学*, 2003, **23**(1): 22~30
- 6 Zhang Junqin, Yang Yintang, Lu Yan *et al.*. Simulation and analysis of 4H-SiC metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetector[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 509~514
张军琴, 杨银堂, 卢 艳 等. 4H-SiC 金属-半导体-金属结构紫外探测器的模拟与分析[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 509~514
- 7 He Yinghong, Cheng Juan, Yang Jingguo *et al.*. Simultaneous and real-time collection by multi-fiber coupling and optical multi-channel analyzer[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2004, **24**(5): 624~636
贺应红, 程 娟, 杨经国 等. 利用多光纤耦合及光学多道分析器实现多对象光谱同时实时采集[J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, **24**(5): 624~636
- 8 Yang Junwei, Hu Zhongxiang, Shi Xiaojun *et al.*. Error analysis of on-line temperature-field measurement by infrared CCD [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1281~1284
杨军伟, 胡仲翔, 时小军 等. 红外 CCD 在线温度场测量误差分析[J]. *光学学报*, 2009, **29**(5): 1281~1284
- 9 L. Alados-Arboledas, I. Alados, I. Foyo-Moreno *et al.*. The influence of clouds on surface UV erythemal irradiance[J]. *Atmos. Res.*, 2003, **66**(4): 273~290
- 10 A. Kylling, A. Albold, G. Seckmeyer, Transmittance of a cloud is wavelength-dependent in the UV-range: Physical interpretation[J]. *Geophysical Research Letters*, 1997, **24**(4): 397~400
- 11 Brian L. Diffey. Sources and measurement of ultraviolet radiation[J]. *Methods*, 2002, **28**(1): 4~13