

广州地区紫外辐射特征和模式对比分析

蒋承霖^{1,2}, 吴兑^{2,3*}, 谭浩波³, 邓雪娇³, 李菲³, 范绍佳² (1.广东省气候中心, 广东 广州 510080; 2.中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275; 3.中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘要: 根据中国气象局广州热带海洋气象研究所的紫外观测数据,研究了广州的紫外辐射季节变化,结果表明,2005 年和 2006 年广州各月份紫外辐射强度的极值的最大值都出现在 7 月,2006 年的达到了 55.48W/m²,极值的最小值也都出现在 1 月,2005 年最小只有 23.17W/m².利用 NCAR(美国大气研究中心)的 TUV 模式,模拟研究了 2005 年 11 月 16~29 日一次从清洁到灰霾过程的典型个例,模拟的结果与实际观测基本一致,模式研究表明,在污染较轻时,TUV 模式能够很好的模拟晴天紫外辐射的日变化,模式与实测之间有约 7%~15%的误差.随着污染的加剧,模式的偏差也变大.气溶胶对紫外辐射的影响相当大,在气溶胶污染严重时可使紫外辐射降低 40%,气溶胶对紫外辐射的短波谱也有较大的影响,随着污染的加重,对紫外辐射的短波衰减会加强.

关键词: 紫外辐射; 气溶胶; TUV 模式; 衰减; 广州

中图分类号: X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2012)03-0391-06

Observational characteristics of ultraviolet radiation in Guangzhou and its comparison with model results. JIANG Cheng-lin^{1,2}, WU Dui^{2,3*}, TAN Hao-bo³, DENG Xue-jiao³, LI Fei³, FAN Shao-jia² (1.Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China; 2.School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3.Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China). *China Environmental Science*, 2012,32(3): 391~396

Abstract: This paper analyzed the seasonal variations of ultraviolet radiation in Guangzhou, based on the ultraviolet radiation observation by the Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou. The peak of the monthly maximum of ultraviolet radiation appeared in July, both of 2005 and 2006, with 55.48 W/m² in 2006. The minimum of the monthly maximum of ultraviolet radiation appeared in January, was only 23.17 W/m² in 2005. The influence of haze on ultraviolet radiation in Guangzhou was conducted by using NCAR(National Center for Atmospheric Research) TUV model for a typical case from extremely clean to haze from 16th to 29th, November, 2005, indicating that the model results were consistent with the actual observations. When the pollution was not serious, TUV model could simulate the daily variation well in sunny day with a residual about from 7% to 15% between modeled and observed results. As the pollution was intensified, the residual of the model increased as well. Aerosol had a strong impact on ultraviolet radiation, which could be reduced by 40% when the aerosol pollution was extremely serious. Besides, aerosol could affect on the shorter spectrum of ultraviolet radiation as well. With the pollution intensified, the effect on the shorter spectrum of ultraviolet radiation was strengthened.

Key words: ultraviolet radiation; aerosol; TUV model; attenuation; Guangzhou

紫外(UV)辐射在太阳辐射光谱中的谱区范围是 100~400nm,其能量仅占太阳辐射总量的 8%,按照不同波长的紫外线所起的生物作用,可分为三部分:紫外线 A 段(UV-A),波长 320~400nm,约占太阳辐射总量的 6%;紫外线 B 段(UV-B),波长 290~320nm,约占太阳辐射总量的 1.5%;紫外线 C 段(UV-C),波长 100~290nm,约占

太阳辐射总量的 0.5%,几乎完全被臭氧层吸收而不能到达地面^[1-2].紫外辐射对生物体有着各种

收稿日期: 2011-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40375002,40775011, U0733004); 国家“973”项目(2011CB403403); 国家“863”项目(2006AA06A306,2006AA06A308)

* 责任作者, 二级研究员, wudui@grmc.gov.cn

生物效应,对人体的胃肠道、循环系统、代谢系统、内分泌、神经系统都有影响^[3-4].紫外辐射能够驱动大气光化学反应,形成中间产物臭氧,会强烈刺激人的呼吸道.随着经济的发展,城市车辆增多的同时,也导致了排放的增加,为光化学反应的发生提供了充足的前体物,臭氧也逐渐变成了低层大气的主要污染物之一^[5].

气溶胶对气候有着复杂的影响.气溶胶颗粒物悬浮在空气中,成云至雨时可充当凝结核,污染加剧使得大气中凝结核增多,云滴的数量增加、体积减小,直接导致了云生命周期的延长,云对太阳辐射有着很强的反射能力,云的增加会导致到达地面的太阳辐射减小,从而影响全球气候^[6-7].另一方面,气溶胶中含有一些成分对光有很强的散射,会使到达地面的辐射减少,形成“凉伞效应”;还有一部分气溶胶由于吸收了辐射,温度升高,会对周围的空气加热产生辐射强迫作用,与温室气体相比,气溶胶的辐射强迫要复杂得多^[8-12].

广州位于我国南方,广东省中南部,地处珠江三角洲腹地,毗邻香港和澳门.广州存在着严重的环境污染,市区经常会出现低能见度的天气现象,灰霾天气频繁.而气溶胶的污染治理又与紫外辐射存在着复杂的关系,如果气溶胶的污染下降了,势必导致紫外辐射的增强而引起紫外光化速率的变化,而光化速率直接制约着光化学烟雾污染过程,因此需要进一步认识它们之间相互影响的本质因素.

到达地面的紫外辐射受到太阳高度角、云、气溶胶、相对湿度、臭氧、氮氧化物、二氧化硫、有机物以及其它气体等多种因素的影响,至今为止,对广州地区的紫外辐射已有一些研究^[2] 分析了广州地区紫外线辐射的气候规律,但气溶胶对紫外辐射的影响研究比较少,本文通过选取典型个例的方法,利用模式模拟一次从清洁到灰霾天气的过程,旨在了解紫外辐射与气溶胶之间的内在影响机制.

1 资料与方法

1.1 资料来源

紫外辐射的观测用的是Eppley lab的紫外辐射表^[13],型号是 TUVR,观测的紫外波段是 295~

385nm,观测位置在广东省气象局顶楼天台.观测数据经过了质量控制.

主要气溶胶观测资料来自于中国气象局广州热带海洋气象研究所大气成分观测站番禺子站,包括气溶胶的散射系数、吸收系数和光学厚度(AOD),测量仪器分别是黑碳仪(Magee Scientific Aethalometer AE-31-ER)、浊度计(Nephelometer M9003)和太阳光度计(Solar Light Microtop s II).由散射系数和吸收系数可计算得到单次散射反照率(SSA).计算公式如下:

$$SSA = b_s / b_e \quad (1)$$

$$\text{其中} \quad b_e = b_s + b_a \quad (2)$$

式中: b_e 表示消光系数, b_s 表示散射系数, b_a 表示吸收系数.

1.2 研究方法

采取统计的方法分析广州地区 2005~2006 年 UV 辐射的变化规律.

选取典型个例(晴天)研究气溶胶对紫外辐射的影响,典型个例的背景气象场采用矢量和分析方法,以描述污染物在一段时间内的积累.

运用 TUV(Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiation Model)模式模拟在不同浓度气溶胶的影响下,紫外辐射及光化反应速率的变化.TUV 辐射传输模式是美国国家大气研究中心(NCAR)研究开发的计算对流层紫外线与部分可见光辐射的模式,模式波长取值范围 121~735nm,不仅可以计算紫外线辐射的生物影响和紫外辐照度,还可以计算光化学辐射通量、分子光解速率等,模式采用 2 流或 4 流方案求解辐射传输方程,并计算 73 个光化学反应的光解速率系数^[14].模式在辐射计算、化学模式、生态研究等方面已得到广泛的应用^[15-16].

2 典型个例 TUV 模式分析

2.1 2005 年~2006 年紫外辐射分析

2.1.1 紫外辐射月总量的变化 从图 1 可以看出,2005 年和 2006 年的月总量最大值都出现在 7 月,分别为 19.8、20.2MJ/m². 2005 年的最小值出现在 2 月,为 4.5MJ/m²,2006 年的最小值出现在 3 月,为 7.4MJ/m².从季节变化来看,广州的紫外辐射夏

季明显高于其他季节,是由于太阳高度角是影响辐射变化的首要因子,盛夏是紫外辐射照射最强的季节,冬季的太阳高度角最小,因此紫外辐射最弱;春季和秋季的太阳高度角接近.而从图 2 可以看出,3~5 月份的月降水量明显高于 9~11 月,春季广州受连阴雨天气的影响,到达地面的紫外辐射较弱.陈炳洪等^[17]对广州的紫外线季节变化的研究,结果与本研究基本一致.

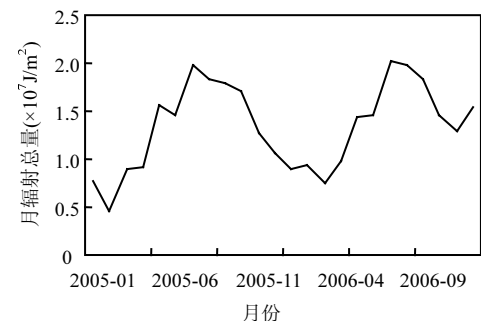


图 1 2005、2006 年广州紫外辐射月总量变化
Fig.1 Monthly variations of UV radiation quantum of Guangzhou in 2005 and 2006

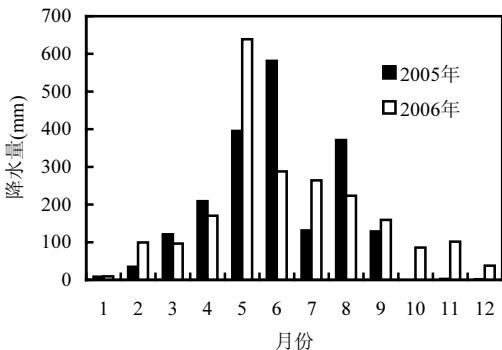


图 2 2005、2006 年广州逐月降水量
Fig.2 Monthly precipitation of Guangzhou in 2005 and 2006

2.1.2 紫外辐射强度极值分析 从表 1 可以看出,2 年的极值最大值都出现在 7 月,2006 年最大达到了 55.48W/m^2 ,6 月和 8 月出现的极值只比 7 月略低,都超过了 55W/m^2 , 2005 年最大是 51.24W/m^2 ,比 2006 年低.极值的最小值也都出现在 1 月,2005 年最小只有 23.17W/m^2 ,2006 年最小是 32.22W/m^2 .

表 1 2005、2006 年广州各月份紫外辐射强度极大值(W/m^2)

Table 1 The maximums of UV intensity at different calendar months of Guangzhou in 2005 and 2006 (W/m^2)

月份	出现日期	月极大值	月份	出现日期	月极大值
2005-01	1	23.19	2006-01	30	32.22
2005-02	28	27.14	2006-02	5	32.27
2005-03	22	39.10	2006-03	3	32.61
2005-04	29	38.58	2006-04	30	30.77
2005-05	16	47.90	2006-05	18	47.21
2005-06	28	47.80	2006-06	29	55.20
2005-07	29	51.24	2006-07	3	55.48
2005-08	10	48.90	2006-08	5	55.20
2005-09	13	50.52	2006-09	11	50.11
2005-10	4	40.15	2006-10	2	36.31
2005-11	19	30.37	2006-11	23	34.20
2005-12	12	27.36	2006-12	16	35.20

2.2 典型个例模式验证

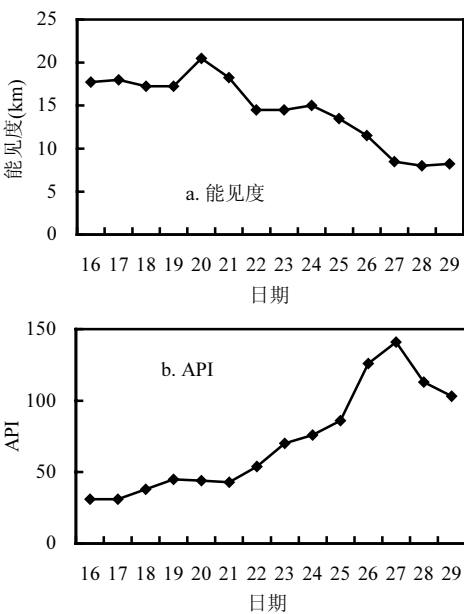


图 3 2005 年 11 月 16~29 日广州的空气污染指数和能见度变化

Fig.3 API and visibility variations of Guangzhou from 16th to 29th of November, 2005

2.2.1 典型个例背景场分析 取 2005 年 11 月 16 日~29 日在这段时间经历了由一个清洁的过程慢慢积累逐渐恶化成一个污染过程,污染严重

时的首要污染物是可吸入颗粒物,而且这段时间白天人工定时观测的总云量大部分低于或等于 2 成,以晴天为主,有利于研究气溶胶对 UV 辐射的影响效果.

图 3 中污染指数的变化可以看出,16~21 日可作为一个清洁的过程,空气质量相当好,污染指数都没有超过 50;22~25 日,是污染物的逐渐积累阶段,空气污染指数逐渐升高,能见度开始下降;26~29 日是一个污染过程,空气污染指数都在 100 以上,在 27 日达到了最高的 141,27 至 29 日的能见度也都低于了 10km,最低在 28 日,只有 8km,相对湿度都低于 70%,气象学中当空气能见度低于 10km,相对湿度低于 80%时,就定义为灰霾天气.

2.2.2 TUV 模式验证 图 4 中 SSA 由观测的散射系数和吸收系数通过式(1)和式(2)计算得到,AOD 是直接观测得到.从图 4 可以看出,在这段时间内的 SSA 有微小的波动,16 日最小,为

0.806,最大在 20 日,为 0.846,平均 SSA 为 0.827.AOD 的变化较大,最低在 17 日仅为 0.311,29 日最大,为 1.264.将 SSA 和 AOD 作为 TUV 模式的主要输入参数,25 日缺的 SSA 用前后 2 日的插值代替,得到晴天的紫外辐射模拟情况与实际对比如图 5,输入的参数值以及输出的结果与实际对比情况在表 2 中.

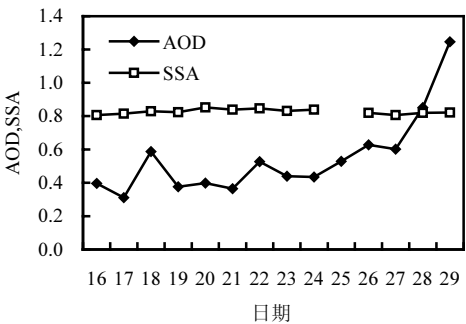


图 4 2005 年 11 月 16~29 日 SSA 变化

Fig.4 SSA variations from 16th to 29th of November, 2005

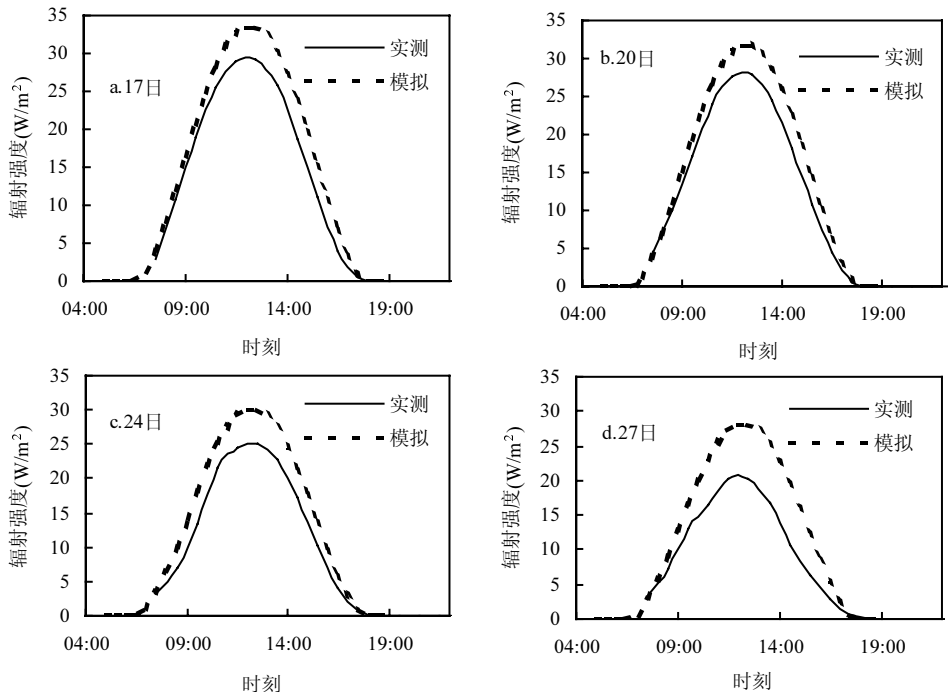


图 5 2005 年 11 月 17,20,24,27 日紫外辐射日变化实测与模拟

Fig.5 Variations in observed and simulated UV radiations on 17th ,20th,24th, 27th of November, 2005

从图 5 及表 2 中模拟的结果看,模式能够很好地模拟晴天紫外辐射的日变化,模拟的结果比

实测结果略高,这是由于模拟所得的辐射强度是 295~385nm 波长范围的积分,而实际的辐射表滤

光片透过的并非理想的这一波段,理想滤光片的光谱透射曲线应为矩形,越接近这种情况其透光型越好,但实际上一半的滤光片的光谱透射曲线远离矩形,于是光学界提出了以半峰高宽,简称半宽,作为带通滤光片透射带的宽度,所谓半峰高宽,就是以透射带光谱透射比峰值的一半作为界定透射带起始和终止波长的指标^[18],由于实测中存在半宽透射带,所以模式输出的结果略高于实测值. 17 日与 29 日的辐射最大值,29 日的辐射最大值仅为 17 日的 60%,理论上这 2 日的正午太阳高度角变化不大,太阳紫外辐射在未进入大气前应该是非常接近的,而穿过大气层到达地面后却有如此大的差异,可见气溶胶对紫外辐射的影响相当大,在气溶胶污染严重时可使紫外辐射降低 40%.在污染严重时,模式的偏差也变大.

表 2 模式中输入的参数及输出的 UV 最大值对比
Table 2 The model input parameters and its comparison with output UV maximums

日期	AOD	SSA	UV 实测最大值(W/m ²)	模式输出最大值(W/m ²)	模式偏差 (%)
16	0.396	0.806	29.16	31.29	7.3
17	0.311	0.815	29.15	32.83	12.6
20	0.398	0.852	27.86	31.71	13.8
21	0.365	0.839	28.48	31.75	11.5
22	0.527	0.846	25.28	29.28	15.8
23	0.439	0.831	26.12	30.06	15.1
24	0.435	0.839	25.01	30.18	20.7
25	0.529	0.829	22.78	28.31	24.3
26	0.628	0.819	19.42	26.36	35.7
27	0.602	0.806	20.34	26.21	28.9
29	1.246	0.821	17.46	18.05	3.4

从图 6 可以看出,在 300nm 以下到达地面的紫外光为零,这是由于平流层中的臭氧层吸收造成的,300nm 以后,辐射开始增加,在 359,374,384nm 附近有 3 个较强的吸收带,从辐射光谱比值 R (以 17 日为基准)看,在约 320nm 附近以上变化非常缓慢,可视作常数,320nm 以下 R 开始下降,与吕达仁等^[19]在长春观测的紫外光谱结果类似,从模式中可见气溶胶对紫外辐射的短波谱有一定的影响,随着污染的加重,对紫外辐射的短波吸收会加强.

我国现今的紫外观测只有紫外辐射的总体强度的观测,对紫外辐射的谱观测还较少,还需建立完善紫外辐射谱观测系统,做进一步的研究.

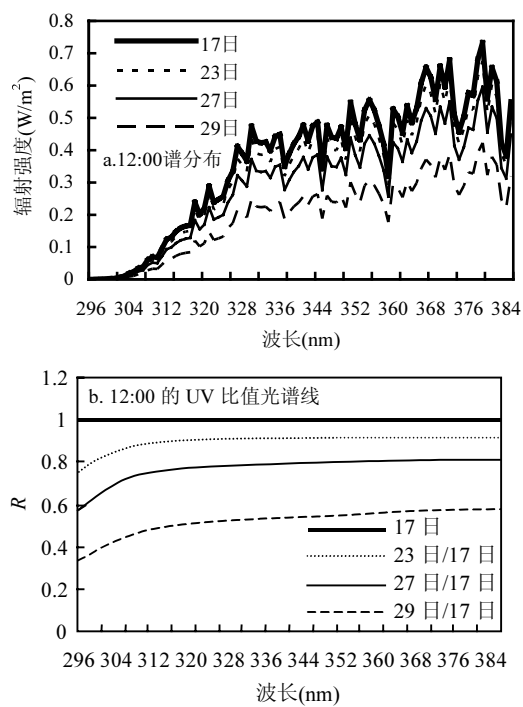


图 6 2005 年 11 月 17,23,27,29 日 12:00 紫外光谱分布及光谱比值线
Fig.6 UV spectrum distribution and its spectrum ratio curve at 12 o'clock on 17th, 23nd, 27th, 29th of November, 2005

3 结论

3.1 从季节变化来看,广州的紫外辐射夏秋两季明显高于冬春两季,主要是由于太阳高度角的季节变化引起的,盛夏是紫外辐射照射最强的季节,冬季的太阳高度角最小,因此紫外辐射最弱;春季广州受连阴雨天气的影响,到达地面的紫外辐射弱于秋季.2005 年和 2006 年广州各月份紫外辐射强度的极大值都出现在 7 月,2006 年最大达到了 55.48W/m²,极值的最小值也都出现在 1 月,2005 年最小只有 23.17W/m².
3.2 在污染较轻时,TUV 模式能够很好的模拟晴天紫外辐射的日变化,模式与实测之间有约 7%~15%的误差.随着污染的加剧,模式的偏差也

变大.气溶胶对紫外辐射的影响相当大,在气溶胶污染严重时可使紫外辐射降低 40%.

3.3 2005 年 11 月 17 日为基准的辐射光谱比值 R 在 320nm 附近以上变化非常缓慢,可视为常数,320nm 以下 R 开始下降,可见气溶胶对紫外辐射的短波谱有较大的影响,随着污染的加重,对紫外辐射的短波衰减会加强.

参考文献:

- [1] 吴 兑.太阳紫外线辐射及其生物效应 [J]. 气象, 2000,26(4): 54-57.
- [2] 邓雪娇,吴 兑,游积平.广州市地面太阳紫外线辐射观测和初步分析 [J]. 热带气象学报, 2003,19(增):118-125.
- [3] 郑有飞,钱 晶.紫外辐射增加对人类疾病影响的研究 [J]. 气象科技, 1999,2:10-13.
- [4] 吴 兑,邓雪娇.环境气象学与特征气象预报 [M]. 北京气象出版社, 2001.
- [5] 张崑峻.机动车尾气污染与臭氧 [J]. 中国环境管理, 2005, 4:45-46.
- [6] 秦世广,汤 洁,温玉璞.黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义 [J]. 气象, 2001,27(11):3-7.
- [7] 张 磊,张 镭,张丁玲,等.兰州远郊区黑碳气溶胶浓度特征 [J]. 中国环境科学, 2011,31(8):1248-1255.
- [8] 毛节奏,李成才.气溶胶辐射特性的观测研究 [J]. 气象学报, 2005,63(5):622-635.
- [9] 马晓燕,石广玉,郭裕福,等.温室气体和硫酸盐气溶胶的辐射强迫作用 [J]. 气象学报, 2005,63(1):41-48.
- [10] 韩素芹,张裕芬,李英华,等.天津市春季气溶胶消光特征和辐射效应的数值模拟 [J]. 中国环境科学, 2011,31(1):8-12.
- [11] 邓雪娇,周秀骥,吴 兑,等.广州地区光化辐射通量与辐照度的特征 [J]. 中国环境科学, 2010,30(7):893-899.
- [12] Lyamani H, Olmo F J, Alcantara A, et al. Atmospheric aerosols during the 2003 heat wave in southeastern Spain II: Microphysical columnar properties and radiative forcing [J]. Atmospheric Environment, 2006,40:6465-6476
- [13] 吴 兑.到达地面的紫外辐射强度观测 [J]. 气象, 2001,27(3): 26-29.
- [14] 邓雪娇,铁学熙,吴 兑,等.大城市气溶胶对光化辐射通量及臭氧的影响研究 (II)---数值试验分析 [J]. 广东气象, 2006,4:5-11.
- [15] 吴 兑.到达地面的紫外辐射强度预报 [J]. 气象, 2000,26(12): 38-42.
- [16] Tie X, Madronich S, Walters S, et al. Effect of clouds on photolysis and oxidants in the troposphere [J]. J. Geophys. Res., 108, 4642, doi: 10.1029/2003JD003659, 2003.
- [17] 陈炳洪,熊亚丽,肖伟军,等.广州市紫外线辐射资料分析与预报模型的建立 [J]. 热带气象学报, 2008,24(4):374-378.
- [18] 王炳忠,姚 萍,汤 洁.用 Lowtran7 进行分光辐射的计算研究 (II)---UVB 测量仪的校准方法及影响 UVB 的环境因子 [J]. 太阳能学报, 2002,23(5):610-614.
- [19] 吕达仁,李 卫,李福田.长春地区紫外光谱(UV-A,UV-B)辐射观测和初步分析 [J]. 大气科学,1996,20(3):343-351.

作者简介: 蒋承霖(1982-),男,广西桂林人,工程师,硕士,主要从事大气物理学与大气环境及气候可行性论证工作.发表论文 6 篇.

《中国环境科学》2010 年度引证指标

根据中国科学技术信息研究所 2011 年发布的《2010 年度中国科技期刊引证报告》,《中国环境科学》引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列,影响因子 1.457,学科排名第 2,综合评价总分 77.9,学科排名第 2;在被统计的 1998 种核心期刊中影响因子列第 42 位,综合评价总分列第 56 位.