

北京地区太阳紫外辐射的 观测与分析研究

白建辉 王庚辰

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

提 要

利用北京地区太阳辐射和其它常规气象观测资料, 得到了到达地面的太阳紫外辐射的计算公式, 并将计算值与观测值进行了比较, 两者吻合得比较好。最后给出了北京地区地面太阳紫外总辐射的变化趋势, 计算结果表明, 地面太阳紫外总辐射对大气浑浊度的变化比对大气臭氧总量的变化敏感得多。

关键词: 太阳紫外辐射; 太阳辐射; 大气臭氧总量。

一、引 言

虽然太阳紫外辐射在太阳辐射能的总通量中所占的百分数不大, 而且穿透臭氧层的紫外线的绝对增量也很小, 但由于其光强度变化引起的环境和生物效应, 因此受到人们的广泛关注。

臭氧层可以吸收紫外线中最有害的波长部分, 使人类及整个生态环境免受危害, 因此被称为是人类和整个地球的天然保护层。英国的哈里湾站 (Halley Bay) 的臭氧观测资料表明, 该站 10 月份平均气柱臭氧总量从 70 年代中期到 1986 年的 10 年间下降了约 40%。整个北半球全年平均气柱臭氧总量在过去的 20 年里差不多下降了 3%^[1]。一般认为, 平流层臭氧的减少, 将导致地面太阳紫外辐射增加, 这会给地球上的生命及生态环境带来灾难性的危害。由于大气臭氧和太阳紫外辐射可能引起的气候、环境变化, 所以对太阳紫外辐射的研究已经受到各国科技界和政府部门的高度重视。

本文的目的是利用地面常规气象观测资料发展计算到达地面太阳紫外总辐射量的气候学方法, 给出我国北京地区到达地面的太阳紫外辐射的长期变化趋势, 从而为估计和评价太阳紫外辐射变化导致的环境、气候效应提供最基本的科学依据。

1992 年 11 月 27 日收到, 1993 年 4 月 7 日收到修改稿。

二、太阳紫外辐射的观测结果

1. 观测概述

为了得到计算太阳紫外总辐射通量的方法,并与有关实测资料进行对比,我们于 1990 年 1 月 1 日,在北京东南 70km 处的香河综合观测站开始了对太阳分光辐射的观测,每日观测时间为从日出到日落,观测现场选在楼顶,以避免周围遮蔽物的影响。为了分析云对太阳紫外总辐射、太阳总辐射的影响,每日都有云量、云状、日照、天气情况等记录,每日的开机、观测及关机等都有固定的规范,以确保数据的可靠。

2. 观测仪器和观测量

我们观测所使用的仪器分为两部分。第一部分是三个感应辐射表头,它们的感应波段范围分别是 270—3200nm, 400—3200nm, 700—3200nm, 因此,通过简单的计算,便可以得到太阳总辐射 ($\lambda=270\text{—}3200\text{nm}$), 太阳紫外总辐射 ($\lambda=270\text{—}400\text{nm}$) 及其它波段的太阳辐射资料。三个辐射表均为国产 TBQ-4-1 型,灵敏度为 $5\text{—}10\text{mV/kW}\cdot\text{m}^{-2}$, 时间响应均为: $\leq 1\text{s}$ ($1/e$), 稳定性均为: $\leq \pm 2\%$ 。第二部分为国产 RYJ-2 型日射记录仪,整套仪器由 PC-1500 微机及接口两部分组成,其特点是多通道、功能全、精度高。其测量精度为 $\pm 0.5\%$, 即 7W/m^2 , 分辨率为: 瞬时值 1W/m^2 , 累计值 0.01MJ/m^2 , 可以显示、打印、内存各种辐射量及有关参数,如显示各通道的瞬时值、整点打印各通道的瞬时值,打印各通道小时累计值、日累计值(日总量)等,并可将数据转录到磁带上。为确保数据的可靠,该仪器在使用前再次送到国家计量部门进行了标定。从近几年的使用情况来看,该仪器在测量精度及可靠性方面还是比较好的。

3. 大气臭氧和其它气象、辐射观测资料

本文所用资料来源有两个途径。太阳总辐射曝辐量 (Q)、太阳紫外总辐射曝辐量 (Q_{uv})、大气臭氧总量 (Q_{O_3})^[2]、云量 (N) 等资料取自香河综合观测站数据;地面水汽压 (E)、水平面太阳散射辐射曝辐量 (S)、水平面太阳直接辐射曝辐量 (D) 等资料取自北京气象台常规气象观测数据。

三、晴天条件下太阳紫外总辐射的计算方法

对 1990 年 12 个月晴天条件下到达地面的太阳紫外总辐射、太阳总辐射的变化规律进行分析后,结果表明,它们的逐月变化规律基本上是一致的,区别之处仅在于太阳紫外总辐射曝辐量要较太阳总辐射曝辐量小得多,其年变化幅度也远较太阳总辐射曝辐量的年变化幅度小。

可以发现,决定太阳紫外总辐射、太阳总辐射的逐月变化规律的一个主要因素是太阳的运行规律,而这一运行规律同样决定着比值 Q_{uv}/Q 的逐月变化,它可以用天顶角

(Z) 的余弦来表达。

从物理上讲, 影响比值 Q_{uv}/Q 的因子还有: (1) 大气中臭氧对太阳紫外辐射的选择性吸收, 本文中用 $e^{-k_1 Q_{O_3} m}$ 表示, 其中 k_1 为臭氧对太阳紫外辐射 ($\lambda = 290.2 - 434.2\text{nm}$) 的平均吸收系数, $k_1 = 3.30 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{cm}^{-1}$, Q_{O_3} 为垂直气柱内总臭氧含量, 单位为 Du , m 为大气质量。(2) 水汽对太阳总辐射的吸收, 本文中用 $Ae^{-k_2 w m}$ 表示, 其中 k_2 为水汽对太阳总辐射 ($\lambda = 0.70\mu\text{m} - 2.845\mu\text{m}$) 的平均吸收系数, W 为整层大气水汽含量, 其值由地面水汽压 (E) 经经验公式计算而得。 m 为大气质量。(3) 空气分子、气溶胶等的散射, 以及地表反照率对太阳总辐射、太阳紫外总辐射不同程度的影响, 本文采用 $e^{-S/D}$ 表示, S 为水平面太阳散射辐射日总量, D 为水平面太阳直接辐射日总量。文献[3, 4]指出, 用 S/D 因子表示大气浑浊度较用林克浑浊度因子表示大气浑浊度要好。 S/D 因子及林克浑浊度因子的逐年变化如图 1 所示。

从图 1 可以发现, S/D 因子较林克浑浊度因子对气溶胶的变化要敏感一些。这种表示, 一方面是计算简单, 资料比较容易得到; 另一方面是 S/D 不但能较好地反映散射过程, 而且在一定程度上也能较好地反映地表反照率的影响。首先从晴天入手 (即天气记录中云量 $N \leq 2$ 的天气), 计算中各月物理量的取值均为所取日期数的平均值。

对北京地区 1990 年 12 个月的晴天资料进行了相关分析, 得到如下形式的计算公式:

$$\eta = A_1 \cos Z + A_2 e^{-k_1 Q_{O_3} m} + A_3 e^{-k_2 w m} + A_4 e^{-S/D} + A_0, \quad (1)$$

式中 $\eta = Q_{uv}/Q$, A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_0 等均为常数。由相关分析可以得到结论: η 与 $\cos Z$ 在置信度 $\alpha = 0.01$ 的水平上高度相关, 其 F 检验值为 $F = 1103.48$, 臭氧、水汽、气溶胶的作用大致为同一量级, 其作用程度远较天顶角的余弦作用程度小, 它们的 F 检验值分别为: 臭氧, $F = 2.554$; 气溶胶, $F = 2.314$; 水汽, $F = 0.025$ 。可见, 晴天条件下, 影响比值 η 的最主要因子是 $\cos Z$, 其次是臭氧, 然后是气溶胶, 水汽的贡献最小。

利用公式 (1) 计算地面太阳紫外总辐射时, 分四种情况讨论, 每种情况给出其计算的相对偏差 (δ)、相关系数 (R) 及标准差 (σ), 这四种情况如下:

$$\eta = A_1' \cos Z + A_0', \quad (2)$$

$$\eta = A_1' \cos Z + A_2' e^{-k_1 Q_{O_3} m} + A_0', \quad (3)$$

$$\eta = A_1' \cos Z + A_2' e^{-k_1 Q_{O_3} m} + A_3' e^{-S/D} + A_0'', \quad (4)$$

$$\eta = A_1 \cos Z + A_2 e^{-k_1 Q_{O_3} m} + A_3 e^{-S/D} + A_4 e^{-k_2 w m} + A_0. \quad (5)$$

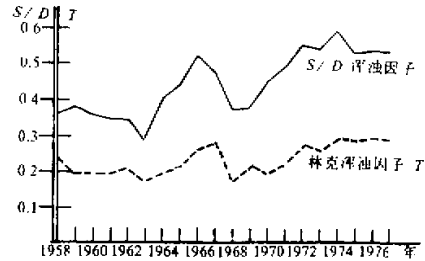


图 1 上海地区浑浊因子的逐年变化

用以上四种形式的公式分别计算了 1990 年 12 个月晴天条件下地面太阳紫外总辐射曝辐量的月平均日总量, 计算结果列于表 1。

从表 1 中可以看出, 计算值与观测值吻合得比较好。每种形式的 δ 值均小于 2%, 最大相对偏差除第 (2) 种情况为 3.16%外, 其它三种情况均小于 3%。第(5)种情况, 最大相对偏差仅为 2.29%, δ 值小于 1.27%。

表 1 晴天地面太阳紫外总辐射月平均日总量 (MJ/m^2) 的观测值、计算值及相对偏差 (%)

月 份	(2)			(3)		(4)		(5)	
	观 测 值	计 算 值	δ (%)	计 算 值	δ (%)	计 算 值	δ (%)	计 算 值	δ (%)
1	0.95	0.97	2.34	0.96	1.62	0.96	1.20	0.96	1.19
2	1.27	1.25	-1.29	1.24	-1.81	1.25	-1.38	1.25	-1.28
3	1.37	1.35	-1.17	1.35	-1.23	1.34	-1.74	1.35	-1.62
4	1.48	1.53	3.17	1.52	2.63	1.51	2.20	1.52	2.29
5	1.54	1.57	1.55	1.56	1.12	1.56	1.49	1.57	1.53
6	1.65	1.67	1.51	1.65	0.07	1.63	-0.99	1.63	-1.15
7	1.52	1.51	-0.42	1.52	-0.09	1.54	1.40	1.54	1.38
8	1.48	1.44	-3.16	1.45	-2.43	1.46	-1.64	1.46	-1.68
9	1.44	1.42	-1.40	1.44	-0.50	1.43	-1.28	1.43	-1.30
10	1.36	1.36	0.24	1.38	1.69	1.37	1.04	1.37	1.00
11	0.98	0.98	-0.38	0.98	0.14	0.99	0.38	0.99	0.40
12	0.82	0.82	-0.51	0.81	-0.92	0.82	-0.36	0.82	-0.46
$\bar{\delta}$			1.43		1.19		1.26		1.27
R		0.995		0.996		0.997		0.997	
σ		0.137		0.128		0.120		0.128	

对北京地区 1990 年实际天气(即有完整观测资料的所有日期的天气)、1991 年晴天和实际天气及广州地区 1990 年实际天气的资料进行相同的分析, 得到同样的结论: 计算值与观测值的最大相对偏差北京地区小于 3%, 广州地区小于 4%; $\bar{\delta}$ 值北京地区和广州地区均小于 2%。计算值与观测值同样吻合得比较好。

四、近 11 年北京地区太阳紫外总辐射的变化趋势及分析

1. 北京地区太阳紫外总辐射的变化

利用计算公式(1), 计算了北京地区近 11 年, 实际天气条件下, 到达地面的太阳紫外总辐射, 图 2 和图 3 分别给出近 11 年地面太阳紫外总辐射年平均日总量的逐年变化曲线和月平均日总量的逐月变化曲线。

从图 2 可以看到, 近 11 年来, 地面太阳紫外总辐射年平均日总量的变化趋势是逐年下降的, 其年减少率约为 0.54%, 因年平均日总量受各种因素影响较多, 有可能平滑掉其真实的变化, 所以有必要看一下太阳紫外总辐射月平均日总量的变化情况。从图 3 可以看出, 每年太阳紫外总辐射月平均日总量的峰值在 1983 年达极大值后, 开始下降, 然后又开始上升, 在 1991 年又达极大, 这与 1991 年是太阳活动峰年十分吻合。

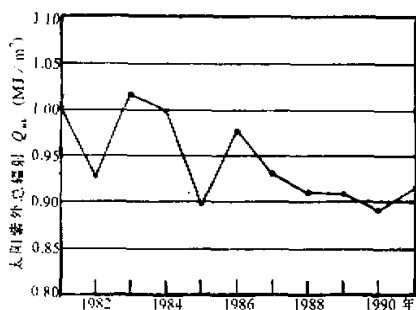


图2 近11年地面太阳紫外总辐射年平均日总量的逐年变化

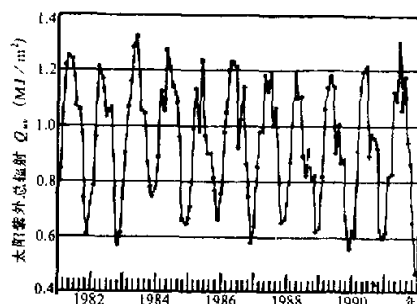


图3 近11年地面太阳紫外总辐射月平均日总量的逐月变化

1991年的天文观测资料表明, 1991年7—9月太阳黑子数较往年相同月份增多, 10.7cm的辐射强度也相应增加。从1991年香河站地面太阳紫外总辐射的观测资料及计算值发现, 此期间的地面太阳紫外总辐射也较1990年及往年相应月份增大。

1982年太阳紫外总辐射年平均日总量是一低谷, 其月平均日总量在4月后一直下降, 这与1982年厄尔奇冲火山爆发的影响有关, 从1982年太阳紫外总辐射的下降可以看到, 因火山气溶胶的平流层输送, 并可以在平流层停留较长的时间, 所以它们对太阳紫外总辐射的反向散射及吸收, 造成了太阳紫外总辐射的减弱。

2. 北京地区影响太阳紫外总辐射的各因子的变化

为评价北京地区太阳紫外总辐射的变化趋势及分析各因子变化对这一变化的影响, 图4和图5分别给出近11年大气臭氧总量年平均值的逐年变化曲线及月平均值的逐月变化曲线, 图6给出近11年整层大气水汽含量(用地面水汽压代替)年平均值的逐年变化曲线, 图7给出近11年 S/D 年平均值的逐年变化曲线。

从图4—图7可以发现, 大气臭氧总量的年平均值从1981年开始下降, 1983年达极小值后, 在以后的几年中, 呈上升趋势, 其年增长率约为0.15%, 整层大气的水汽含量的年平均值略微呈增大趋势, 其年增长率约为0.18%。 S/D 因子的年平均值也呈增大趋势, 其年增长率约为0.63%。可见, 因近11年来大气臭氧总量、整层大气水汽

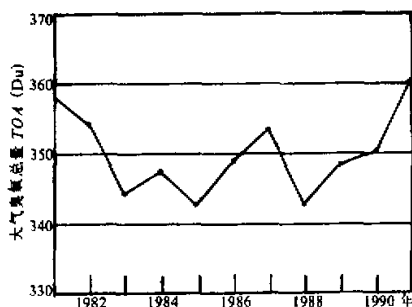


图4 近11年大气臭氧总量年平均值的逐年变化

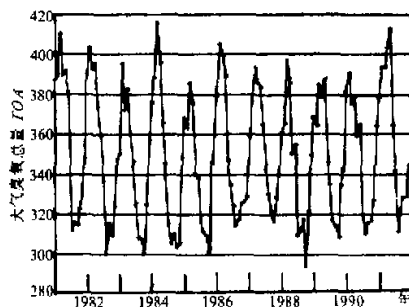


图5 近11年大气臭氧总量月平均值的逐月变化

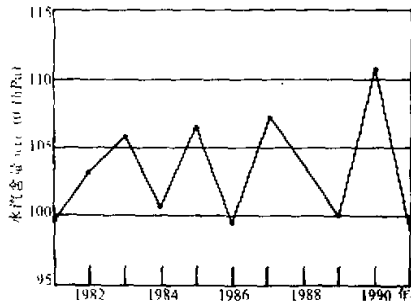


图 6 近 11 年整层大气水汽含量
年平均值的逐年变化

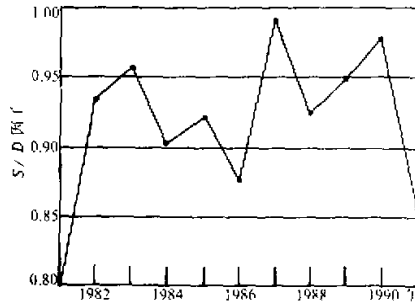


图 7 近 11 年 S/D 年平均值的
逐年变化

含量、大气浑浊度等的缓慢增长,使到达地面的太阳紫外总辐射有逐年降低的趋势。

一般认为,近年来大气臭氧总含量正在逐渐减少,其原因主要是人类排放到大气中的某些气体如氟氯化碳等,进入平流层对臭氧产生破坏作用,但从北京香河站的地面臭氧观测资料来看,近年来大气臭氧总含量正在缓慢上升,1991 年达到近几年的一个最大值,这可能与 1991 年是太阳活动峰年有关。一般认为太阳黑子数同臭氧总量之间存在着相关,但是对它们之间的正负相关一直争论不休,而认为正相关的占多数。前苏联欧洲部分、西欧和北美的资料表明,臭氧与黑子两个极大值的出现几乎是同位相的^[5]。从图 5 可以看出,1991 年臭氧总量的月平均值普遍高出其它年相应月份的臭氧值,因目前资料较少,对太阳黑子与大气臭氧总量之间是否存在正相关,尚不足以给出确定的结论。

由我们已算出的各因子的变化所引起的地面太阳紫外总辐射的变化的定量关系,可以推算出近 11 年来到达地面的太阳紫外总辐射的变化。臭氧总量、整层大气水汽含量、 S/D 等的增加,分别使到达地面的太阳紫外总辐射减少约 0.02%, 0.01% 和 0.50%,总的效果使到达地面的太阳紫外总辐射减少 0.53%,计算值与实际变化值 0.54% 非常接近。

另外,还有一结论,即北京地区,地面太阳紫外总辐射对大气浑浊度 S/D 的变化要比对大气臭氧总量的变化敏感得多,这一结论与 Nagaraja 等的结论相同。

据报道,近 20 年中纬度地区臭氧层平均减少了 2%—3%,但美国 30—50°N 地区八个观察点从 1974—1985 年各年地面 UV-B 总量并没有增高,相反由于太阳活动及大气状况的影响,反而有减少的趋势,这表明目前其它自然条件对地面紫外线的影 响较臭氧层改变相对要强^[7]。实际上,因为影响太阳紫外辐射的因子除臭氧外,还有其它因子,故不应只看到臭氧的变化对地面太阳紫外辐射的影响,而应该全面地考虑影响地面太阳紫外辐射的所有因子,如大气浑浊度因子等。因为近年来大气污染日益严重,火山爆发、森林火灾等事件的发生必然会影响到到达地面的太阳紫外辐射。

致谢: 本文所用太阳辐射资料由宋浩春同志观测,特此致谢。并感谢魏鼎文教授、赵延亮、米建平、董金芳等同志提供的臭氧资料。

参 考 文 献

- [1] 王明星, 1991, 大气化学, 气象出版社, 296-301.
- [2] Atmospheric Environment Service, Department of the Environment, in co-operation with the world meteorological organization, 1990.1—1991.12, Ozone data for the world.
- [3] Marvin L. et al., 1976, An experiment study of the effects of aerosols on diffuse and direct solar radiation received during the summer near Chicago, *Atmos. Environ.*, **10**, 981-987.
- [4] 邵德民, 1982, 大气湍流扩散及污染气象论文集, 气象出版社, 100-108.
- [5] 盛承禹等译, 1984, 太阳、天气、气候, 气象出版社, 88-91.
- [6] Nagaraja Rao C.R. et al., 1984, Near ultraviolet radiation at the earth's surface: measurements and model comparisons, *Tellus*, **36B**, 286-293.
- [7] 王秉贤等, 1991, 气候变化与环境问题全国学术讨论会论文汇编, 中国科学技术协会编.

Observational and Analytical Study on the Solar Ultraviolet Radiation in Beijing Area

Bai Jianhui and Wang Gengchen

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The formula to calculate the solar ultraviolet radiation reaching the ground, using the observation data of the solar radiation and other conventional meteorological observations in Beijing area is given. Calculation results agree well with that obtained by observation. The calculation results show that the ultraviolet radiation received at the ground is more sensitive to changes in atmospheric turbidity than changes in the total ozone amount.

Key words: solar ultraviolet radiation; solar radiation; total ozone amount.