

1979~1996年期间北京地区太阳紫外 总辐射的变化趋势*

白建辉 王庚辰

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 对实际天气条件下北京地区1990年1月至1992年8月太阳辐射观测资料进行了详细的分析, 得到了实际天气条件下到达地面的太阳紫外总辐射的计算公式。结果表明, 计算值与观测值吻合得比较好。最后, 利用此公式计算了北京地区1979年1月~1996年6月的太阳紫外总辐射, 并讨论了1979~1996年北京地区太阳紫外总辐射的变化趋势。

关键词 太阳紫外总辐射 大气臭氧总量 气溶胶

1 引言

随着臭氧层的损耗, 大气对于太阳紫外辐射变得更加透明。太阳紫外辐射对于人、动物、植物和高分子材料有多种作用, 大多数是损坏性的。臭氧层是地球、人类的天然保护层, 它阻挡太阳紫外辐射到达地面。臭氧的大量减少将会导致到达地面的太阳紫外辐射增强。过量的太阳紫外辐射将使人的免疫系统受到抑制, 从而导致疾病发生率增加, 如使眼睛损伤增多, 特别是白内障增多; 使非黑色素瘤、皮肤癌增多; 使一些陆生植物(如某些大豆)减产; 加快塑料制品的分解速度, 缩短其室外使用寿命; 还可能降低对流层大气质量。评价臭氧层损耗给地面紫外线通量带来的潜在影响, 以及紫外线辐射增强如何加重有害的生物医学及其他影响是非常重要的。紫外辐射对人类健康的影响尚有许多问题有待解答, 如研究传染病与紫外辐射关系的动物模型, 确定哪些疾病可能受到紫外辐射增强的影响及影响的程度; 研究紫外辐射对人类所有类型皮肤的影响, 包括对免疫功能的影响等。要想从根本上解决这些问题, 对到达地面的太阳紫外辐射的测量和计算就显得十分必要和迫切了。

因为太阳紫外辐射在生物学、医学、环境科学等方面具有重要作用, 所以对它的研究越来越引起了各国科学家的广泛兴趣。太阳紫外辐射的作用与辐射强度、暴露时间、辐射的性质等有关。一般将紫外总辐射按波长分为紫外A(320~400 nm)、紫外B(280~320 nm)、紫外C(<280 nm)。到达地面的太阳紫外总辐射与大气中的臭氧总量、地球上的位置、一年中的不同时段、大气气溶胶、云、地表反照率等许多因子有关, 所以有必要对其变化做出定量的研究。本文在利用常规气象观测资料得到的太阳紫外总辐射的计算方法的基础上, 分析了1979~1996年北京地区实际天气条件下太阳紫

1997-04-11收到, 1997-06-06收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49235100

外总辐射的变化趋势。

2 观测概述及资料来源

观测资料来源于 1990 年 1 月至 1992 年 8 月的实测资料。观测点设在北京东南方向 70 km 处的中国科学院大气物理研究所香河综合观测站。观测时间为日出至日落, 辐射表头安放在楼顶, 以避免周围遮蔽物的影响。每日开机、观测、关机等有严格的观测规范, 并且有云量、云状、天气状况等记录。

观测仪器分为两部分: (1) 三个感应辐射表头, 它们的感应波段分别为 270~3200 nm、400~3200 nm、700~3200 nm, 通过计算便可以得到太阳紫外总辐射 (270~400 nm)、太阳总辐射 (270~3200 nm) 及其他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 $5\sim 10\text{ mV}/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-2})$, 时间响应均为 $\leq 1\text{ s}$ ($1/e$), 稳定性均为 $\leq \pm 2\%$ 。(2) RYJ-2 型日射记录仪, 并配有 PC-1500 微机及接口, 测量精度为 $\pm 0.5\%$, 即 $7\text{ W}/\text{m}^2$, 分辨率为: 瞬时值 $1\text{ W}/\text{m}^2$, 累计值 $0.01\text{ MJ}/\text{m}^2$, 可显示、打印、贮存各种辐射量及相关参数。所用仪器定期送国家计量部门进行标定。

目前, 我们已有 1990 年 1 月至 1992 年 8 月香河站的观测资料, 包括太阳总辐射曝辐量 Q 、太阳紫外总辐射曝辐量 Q_{uv} 、大气臭氧总量 $q^{[1]}$ 等, 北京地区 1979 年 1 月至 1996 年 6 月的太阳总辐射曝辐量、水平面上的太阳直接辐射曝辐量 S 、太阳散射辐射曝辐量 D 、地面水汽压 E 等资料取自北京观象台观测数据。

3 太阳紫外总辐射的观测方法及计算结果

在我们对香河站 1990 年 12 个月晴天 (云量 ≤ 2 的天气) 太阳辐射资料分析后, 得到了计算太阳紫外总辐射的一个经验计算公式, 其形式为^[2]:

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

式中, $\eta = Q_{uv}/Q$, A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_0 均为常数。从物理上讲, 影响比值 η 的因子有: (1) 大气中臭氧对太阳紫外辐射的选择性吸收, 用 $e^{-k_1 q m}$ 表示, 其中 k_1 为臭氧对太阳紫外辐射的平均吸收系数, $k_1 = 3.30 \times 10^5\text{ Pa cm}^{-1}$, q 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, 用 $e^{-k_2 W m}$ 表示, k_2 为水汽对太阳总辐射的平均吸收系数, W 为整层大气水汽含量, 其值通过地面水汽压 E 用经验公式计算得到。(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, 用 $e^{-D/S}$ 表示, 分析表明用 D/S 因子比用林克浑浊度因子表示大气浑浊度要好^[3]。

用此方法处理并计算了北京地区晴天 1990~1991 年的太阳紫外总辐射, 计算结果比较令人满意。计算值与观测值 24 个月相对偏差的平均值小于 2%, 最大相对偏差为 6.2%, 相对偏差小于 3% 的月份有 17 个月。可见, 计算值与观测值吻合得比较好^[4]。

在此基础上, 处理了北京地区实际天气 (即有观测资料的所有日期) 1990~1991 年 24 个月的太阳辐射资料, 得到了形式上同公式 (1) 一致的经验公式, η 与各因子的

相关系数 $R=0.975$ 、不同之处在于计算系数的差别。计算结果表明: 计算值与观测值的最大相对偏差为 5.65%、24 个月相对偏差的平均值小于 3%, 计算结果也是比较令人满意的。

在取得了香河站 1992 年 1~8 月的观测数据后, 利用对 1990~1991 年 24 个月实际天气资料分析得到的经验公式, 计算了 1992 年 1~8 月实际天气条件下到达地面的太阳紫外辐射, 表 1 给出 1992 年 1~8 月实际天气条件下, 北京地区太阳紫外总辐射的观测值、计算值以及它们的相对偏差。可以看到, 计算值与观测值的相对偏差除了 6 月份较大外 (10.03%), 计算结果还是比较好的。8 个月计算值与观测值相对偏差的平均值为 5.73%。

为了得到统计意义上更可靠的计算结果, 处理了 1990 年 1 月至 1992 年 8 月实际天气的太阳辐射资料。得到了形式上同公式 (1) 一致的经验公式, η 与各因子的相关系数 $R=0.968$ 。并利用新的计算系数计算了 1990 年 1 月至 1992 年 8 月的太阳紫外总辐射, 表 2 给出实际天气条件下, 北京地区太阳紫外总辐射的观测值、计算值以及它们的相对偏差。

表 1 北京地区太阳紫外总辐射的观测值、计算值及相对偏差

月份	观测值 MJ / m ²	计算值 MJ / m ²	相对偏差 %
1	0.708	0.763	-7.73
2	0.945	0.982	-3.91
3	0.893	0.928	-3.88
4	0.933	0.947	-1.48
5	1.23	1.314	-6.80
6	1.209	1.331	-10.02
7	1.126	1.224	-8.75
8	1.02	1.053	-3.27

表 2 北京地区太阳紫外总辐射的观测值、计算值及相对偏差

月份	观测值 / (MJ / m ²)	计算值 / (MJ / m ²)	相对偏差 / %
1990 年 1 月	0.72	0.699	2.97
2 月	0.918	0.858	6.51
3 月	1.049	0.984	6.21
4 月	1.169	1.165	0.35
5 月	1.273	1.267	0.52
6 月	1.262	1.275	-1.02
7 月	1.222	1.169	4.34
8 月	1.223	1.175	3.89
9 月	1.098	1.062	3.27
10 月	1.062	1.053	0.81
11 月	0.745	0.728	2.36
12 月	0.707	0.672	5.00
1991 年 1 月	0.67	0.696	-3.83
2 月	0.906	0.896	1.11
3 月	0.941	0.944	-0.35
4 月	1.081	1.114	-3.11
5 月	1.218	1.215	0.23
6 月	1.176	1.178	-0.19
7 月	1.127	1.104	2.00
8 月	1.343	1.284	4.33
9 月	1.066	1.007	-0.99
10 月	0.98	1.039	-5.98
11 月	0.711	0.717	-0.84
12 月	0.623	0.648	-4.05

表 2 (续) 北京地区太阳紫外总辐射的观测值、计算值及相对偏差

月份	观测值 / (MJ/m^2)	计算值 / (MJ/m^2)	相对偏差 / %
1992 年 1 月	0.708	0.749	-5.82
2 月	0.945	0.955	-1.06
3 月	0.893	0.88	1.45
4 月	0.933	0.921	1.25
5 月	1.23	1.3	-5.71
6 月	1.209	1.292	-6.85
7 月	1.126	1.192	-5.91
8 月	1.02	1.007	1.30

可以看到, 计算值与观测值的最大相对偏差为 6.85%, 32 个月相对偏差的平均值小于 2.93%, 计算结果同样是令人满意的。因此, 利用此方法计算北京地区太阳紫外总辐射是可行的。

4 1979~1996 年北京地区太阳紫外总辐射的变化趋势

为了分析北京地区太阳紫外总辐射 1979~1996 年的变化趋势, 利用公式 (1) 计算了 1979 年 1 月至 1996 年 6 月北京地区实际天气的太阳紫外总辐射。图 1 给出 1979 年 1 月~1996 年 6 月太阳紫外总辐射月平均日总量的逐月变化曲线。在评价太阳紫外总辐射时, 有必要看一下其各影响因子的变化情况以及太阳总辐射的变化趋势。图 2、图 3、图 4、图 5 分别给出近年来大气臭氧总量、整层大气水汽含量 (以地面水汽压 E 代替)、 D/S 因子和太阳总辐射等月平均值的逐月变化曲线。为了容易看出以上各量的变化趋势, 图 6、图 7、图 8、图 9、图 10 分别给出近年来太阳紫外总辐射、大气臭氧总量、整层大气水汽含量、 D/S 因子和太阳总辐射等月平均值经过 12 个月滑动平均后的变化曲线。

从图 1 可以看到, 太阳紫外总辐射月平均日总量在 1979 年 5 月、1983 年 6 月、1991 年 6 月和 1996 年 5 月达到极大值。以太阳紫外总辐射的极大值来分析其变化:

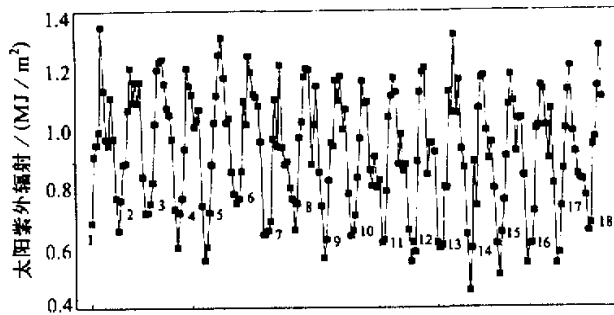


图 1 太阳紫外辐射的逐月变化曲线

- (1) 1979-01, (2) 1980-01, (3) 1981-01, (4) 1982-01, (5) 1983-01, (6) 1984-01, (7) 1985-01, (8) 1986-01, (9) 1987-01, (10) 1988-01, (11) 1989-01, (12) 1990-01, (13) 1991-01, (14) 1992-01, (15) 1993-01, (16) 1994-01, (17) 1995-01, (18) 1996-01

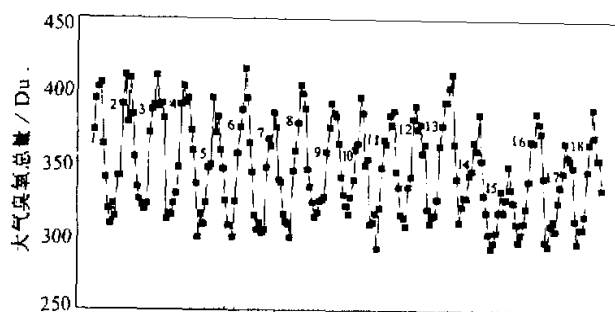


图 2 大气臭氧总量的逐月变化曲线

(1) 1979-01, (2) 1980-01, (3) 1981-01, (4) 1982-01, (5) 1983-01, (6) 1984-01, (7) 1985-01, (8) 1986-01, (9) 1987-01, (10) 1988-01, (11) 1989-01, (12) 1990-01, (13) 1991-01, (14) 1992-01, (15) 1993-01, (16) 1994-01, (17) 1995-01, (18) 1996-01

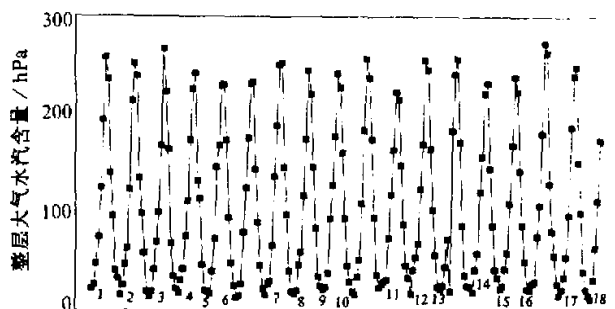
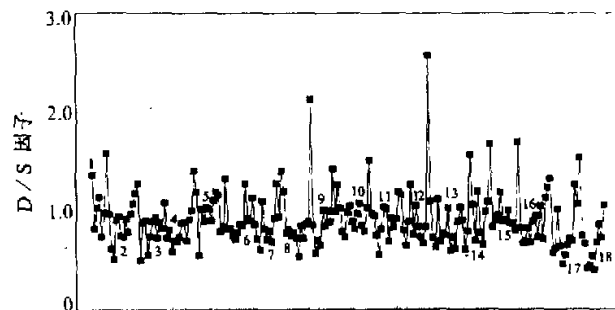


图 3 整层大气水汽含量的逐月变化曲线

(1) 1979-01, (2) 1980-01, (3) 1981-01, (4) 1982-01, (5) 1983-01, (6) 1984-01, (7) 1985-01, (8) 1986-01, (9) 1987-01, (10) 1988-01, (11) 1989-01, (12) 1990-01, (13) 1991-01, (14) 1992-01, (15) 1993-01, (16) 1994-01, (17) 1995-01, (18) 1996-01

图 4 D/S 因子的逐月变化曲线

(1) 1979-01, (2) 1980-01, (3) 1981-01, (4) 1982-01, (5) 1983-01, (6) 1984-01, (7) 1985-01, (8) 1986-01, (9) 1987-01, (10) 1988-01, (11) 1989-01, (12) 1990-01, (13) 1991-01, (14) 1992-01, (15) 1993-01, (16) 1994-01, (17) 1995-01, (18) 1996-01

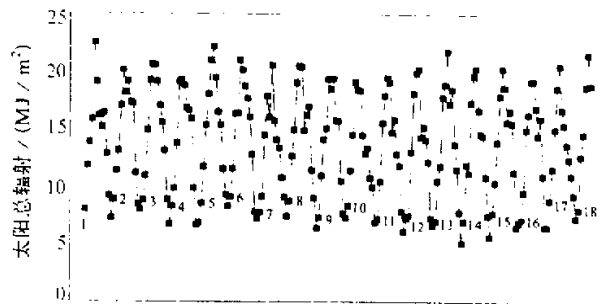


图 5 太阳总辐射的逐月变化曲线

(1) 1979-01, (2) 1980-01, (3) 1981-01, (4) 1982-01, (5) 1983-01, (6) 1984-01, (7) 1985-01, (8) 1986-01, (9) 1987-01, (10) 1988-01, (11) 1989-01, (12) 1990-01, (13) 1991-01, (14) 1992-01, (15) 1993-01, (16) 1994-01, (17) 1995-01, (18) 1996-01

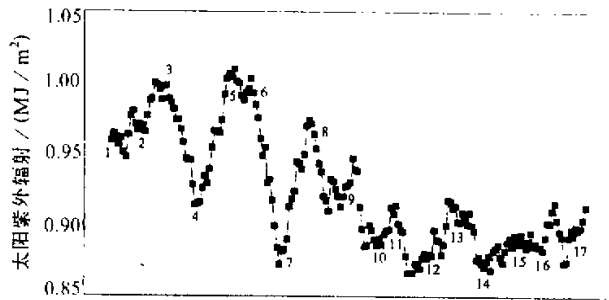


图 6 太阳紫外辐射 12 个月滑动平均值的变化曲线

(1) 1979-06, (2) 1980-06, (3) 1981-06, (4) 1982-06, (5) 1983-06, (6) 1984-06, (7) 1985-06, (8) 1986-06, (9) 1987-06, (10) 1988-06, (11) 1989-06, (12) 1990-06, (13) 1991-06, (14) 1992-06, (15) 1993-06, (16) 1994-06, (17) 1995-06

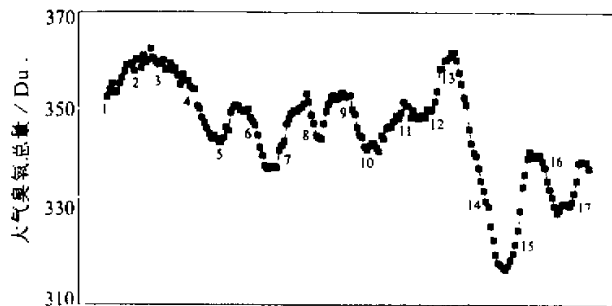


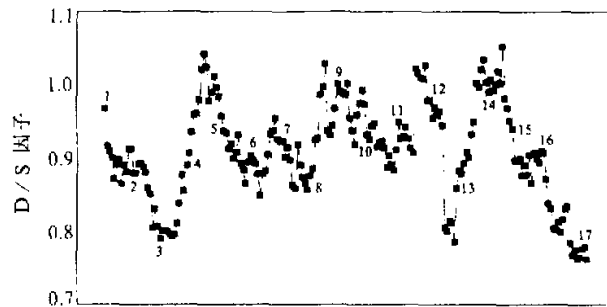
图 7 大气臭氧总量 12 个月滑动平均值的变化曲线

(1) 1979-06, (2) 1980-06, (3) 1981-06, (4) 1982-06, (5) 1983-06, (6) 1984-06, (7) 1985-06, (8) 1986-06, (9) 1987-06, (10) 1988-06, (11) 1989-06, (12) 1990-06, (13) 1991-06, (14) 1992-06, (15) 1993-06, (16) 1994-06, (17) 1995-06



图 8 整层大气水汽含量 12 个月滑动平均值的变化曲线

(1) 1979-06, (2) 1980-06, (3) 1981-06, (4) 1982-06, (5) 1983-06, (6) 1984-06, (7) 1985-06, (8) 1986-06, (9) 1987-06, (10) 1988-06, (11) 1989-06, (12) 1990-06, (13) 1991-06, (14) 1992-06, (15) 1993-06, (16) 1994-06, (17) 1995-06

图 9 D/S 因子 12 个月滑动平均值的变化曲线

(1) 1979-06, (2) 1980-06, (3) 1981-06, (4) 1982-06, (5) 1983-06, (6) 1984-06, (7) 1985-06, (8) 1986-06, (9) 1987-06, (10) 1988-06, (11) 1989-06, (12) 1990-06, (13) 1991-06, (14) 1992-06, (15) 1993-06, (16) 1994-06, (17) 1995-06



图 10 太阳总辐射 12 个月滑动平均值的变化曲线

(1) 1979-06, (2) 1980-06, (3) 1981-06, (4) 1982-06, (5) 1983-06, (6) 1984-06, (7) 1985-06, (8) 1986-06, (9) 1987-06, (10) 1988-06, (11) 1989-06, (12) 1990-06, (13) 1991-06, (14) 1992-06, (15) 1993-06, (16) 1994-06, (17) 1995-06

1979 年 5 月的极大值为 1979~1996 年的最大值, 其值为 1.34 MJ/m^2 。从 1979 年以后, 紫外总辐射的极大值减小, 在 1983 年 6 月达一极大值后, 再度减小至 1988 年 4 月的 1.17 MJ/m^2 , 然后逐渐上升到 1991 年 6 月的极大值。1991 年以后, 紫外总辐射又减小, 在 1996 年 5 月虽达一极大值, 但仍低于前 3 个极大值。对比分析图 2、图 3、图 4 中影响紫外总辐射的各因子的变化, 很难看到紫外总辐射的极大值与某一因子的极大值或极小值相对应或对应得很好, 这是因为, 影响太阳紫外总辐射的因子不是单一的, 而是许多因子共同作用的结果。因此, 在研究太阳紫外总辐射的时候, 应该考虑众多因子的综合作用。图 4 中, D/S 个别点的值较大, 如 1986 年 7 月和 1991 年 7 月的 D/S 值分别为 2.12 和 2.57, 经核查原始资料, 实际情况的确如此, 而且这两年 7 月份的观测天数都为 31 天。一般来说, 对太阳辐射 (包括太阳总辐射、散射辐射、直接辐射) 的观测要求每日都要进行, 所以每月因故缺少观测的天数是非常少的。

从图 1、图 5、图 6、图 10 可以看出, 太阳紫外辐射不论是月平均日总量, 还是 12 个月的滑动平均值, 其变化规律同太阳总辐射相应值的变化规律基本上是一致的, 不同之处仅在两者量值以及变化幅度上的差别。

图 11、图 12 分别给出太阳紫外总辐射和大气臭氧总量年平均值的变化曲线。可以看出, 太阳紫外总辐射的年平均值在 1983 年达到最大值后一直在减小, 在 1988 年后基本上维持在同一个水平上, 从图 6 太阳紫外辐射 12 个月滑动平均值的变化曲线, 也能

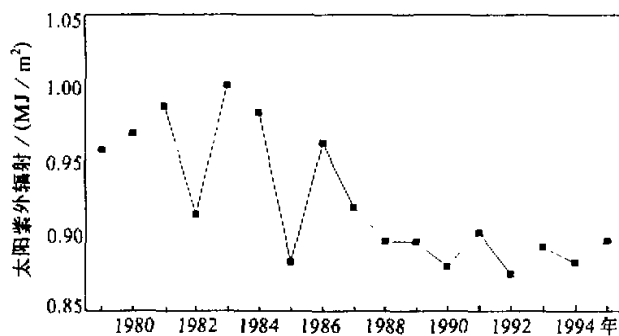


图 11 太阳紫外辐射年平均值的变化曲线

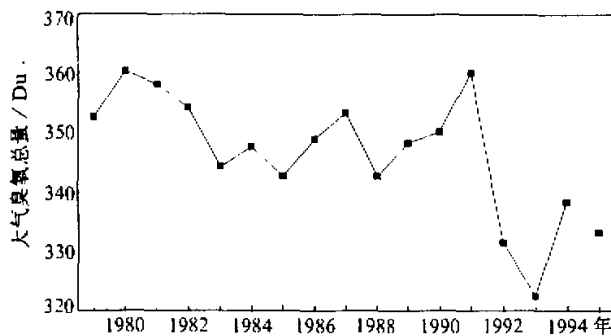


图 12 大气臭氧总量年平均值的变化曲线

反映出这一变化趋势。大气臭氧总量的年平均值在 1980 年达一极大值后一直减小, 在 1991 年再次达到极大值后, 仍再度减小, 从图 7 大气臭氧总量 12 个月滑动平均值的变化曲线, 也能看出这一变化趋势。1988 年至 1995 年间, 太阳紫外辐射年平均日总量与前一段相比, 变化幅度不是很大, 在 1991 年达到此时间段的最大值, 1992 年太阳紫外辐射较 1991 年下降, 其年平均日总量减少了 3.08%, 这可能与 1991 年皮纳图博火山爆发、大气污染加重或大气质量下降等有关。有资料表明, 北京地区受皮纳图博火山气溶胶影响最为严重的月份是 1992 年 2 月至 4 月, 直到 9 月份才明显减弱^[5]。计算结果给出 D/S 年平均值由 1991 年的 0.859 增为 1992 年的 1.003, 皮纳图博火山爆发形成的火山气溶胶可能是一个重要的因素。

分析皮纳图博火山爆发后北京地区臭氧总量年平均值的变化, 1991 年后呈明显下降的趋势, 而从 1993 年后稍有增加。1992 年之后, 北京地区大气中的水汽含量的年平均值呈现略微增长趋势, 而 D/S 因子的年平均值则呈现减小趋势, 各因子综合作用的结果使得太阳紫外总辐射的年平均日总量略呈增长趋势, 但远未达到 1991 年的水平。

实际上, 太阳紫外辐射给人类、动植物、生态环境造成的损害都发生在晴天, 而不在实际天气。因此, 有必要对晴天条件下地面的太阳紫外辐射进行深入的研究。

参 考 文 献

- 1 Atmospheric Environment Service, Department of the Environment, In-cooperation with the World Meteorological Organization, 1990, Ozone Data for the World, 1~100.
- 2 白建辉、王庚辰, 1994, 北京地区太阳紫外辐射的观测与分析研究, 大气科学, 18(3), 341~347.
- 3 邵德民, 1982, 大气湍流扩散及污染气象论文集, 北京: 气象出版社, 100~108.
- 4 白建辉、王庚辰, 1993, 晴天地面太阳紫外总辐射的观测结果和统计计算方法, 太阳能学报, 14(4), 364~370.
- 5 Wu Beiyang and Lu Daren, 1993, Monitoring the evolution of 1991 Pinatubo aerosols over Beijing by combining twilight observations with Lidar detection, *J. Geophys. Res.*, 98, D12, 22995~23001.

Variation Trends of Solar UV Radiation in Beijing during 1979~1996

Bai Jianhui and Wang Gengchen

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

Abstract The formula for calculating solar UV radiation at the ground in actual sky conditions is given by using the observation data of solar radiation during the period of January 1990 to August 1992 in Beijing area. The results show that the calculated values agree well with those observed. We use this formula to calculate the solar UV radiation and discuss its variation trends during 1979~1996 in Beijing.

Key words solar UV radiation total ozone amount aerosol