

火山气溶胶对北京地区臭氧总量 变化趋势的影响*

杨理权 邱金桓 赵延亮

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 分析了1979~1995年北京地区臭氧总量的变化趋势, 1980~1994年整层气溶胶光学厚度和1981~1985、1990~1994年平流层气溶胶光学厚度。分析依据的数据资料来自Dobson仪器所观测的臭氧总量资料和太阳辐射表提供的气溶胶光学厚度资料。结果表明, 1979~1995年期间北京地区臭氧总量年变化率为 -0.269% , 1982~1985、1991~1994年间臭氧总量年变化率分别高达 -0.954% 和 -1.439% 。这说明厄尔奇琼火山和皮纳图博火山爆发对臭氧总量减少可能起到重要作用。

关键词 臭氧 气溶胶 北京

1 引言

臭氧层的变化是各国科学家和政府非常重视的问题。大量空间和地面观测表明, 臭氧层正在遭到破坏。继80年代中期南极臭氧洞被观测到后, 世界气象组织已经报告了除赤道热带地区外, 全球范围的臭氧减少趋势^[1]。

影响臭氧变化的因素主要有太阳辐射的变化、QBO现象、ENSO和人造化学物质对臭氧的破坏。

(1) 太阳辐射输出的变化是影响臭氧变化趋势的一个原因。臭氧是通过太阳紫外辐射分解氧分子等光化学反应产生的。因此太阳辐射输出的变化, 特别是太阳黑子11年周期变化, 显然是影响臭氧变化的一个原因。从50年代开始对太阳活动周期的观测表明, 在一典型的太阳活动周期中, 太阳辐射从最大到最小变化所引起的臭氧变化为 $1\%/10\text{a} \sim 2\%/10\text{a}$; 由于臭氧长期变化的减少远大于该值, 所以太阳辐射的变化不能解释臭氧长期减少的问题。

(2) 赤道热带平流层大气的QBO现象是影响臭氧变化的另一原因。臭氧的剩余量主要产生于赤道热带低层平流层大气, 通过大尺度环流向中纬度和极地输送。赤道热带平流层大气的QBO现象影响臭氧含量的表现是, 当热带平流层底部盛行西风时, 在中纬度和极地可观测到 $6\% \sim 8\%$ 的臭氧减少率, 盛行东风时, 有相应程度的增加。QBO现象是一种周期性振荡, 也不能作为解释臭氧长期减少的主要原因。

(3) ENSO可将亚热带对流层含臭氧少的空气输送到中高纬, 从而使这些地区的臭氧值减少, 这一减少率在 1% 左右。

1996-11-26收到, 1997-04-04收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49493404

(4) 导致臭氧减少最主要的原因是人造化合物通过光化学反应对臭氧的破坏^[1]。20 多年累计的全球范围的空间和地面观测数据以及各国科学家的研究表明, 人造的化学物质是导致南极形成臭氧洞的原因, 并且很可能是全球臭氧减少的主要原因。在通过光化学反应破坏臭氧的机制中, 发生在平流层中气溶胶表面的异质化学反应是非常重要的。极地平流层云是导致南极春季臭氧洞的场所。而在中纬度地区, 自从发现臭氧减少的趋势之后, 气溶胶作为光化学反应场所的作用受到广泛的重视^[2,3]。

1982 年 4 月爆发的墨西哥厄尔奇琼火山和 1991 年 6 月菲律宾皮纳图博火山是本世纪两次最强烈的火山爆发。大量 SO_2 、 H_2S 气体和含硅尘埃被火山喷发到平流层底部, 并随高空风分散到全球。这些平流层含硫气溶胶能够在 Cl 和 Br 存在时成为导致臭氧减少机制的重要因素。本文的主要目的就是根据臭氧资料和气溶胶光学厚度资料, 分析平流层火山气溶胶对臭氧总量减少的作用。

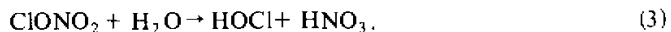
对臭氧趋势的分析中, 数据的一致性同准确性一样重要。北京香河臭氧观测站自 1979 年开始运行, 对该站资料已有过不少分析^[4,5]。但是由于数据的形成缺乏统一的原则, 公布的数据在整个时间段上不具有一致性。另外, WMO 公布新的吸收系数订正可使月平均值变化 3%。本文另一目的是对北京香河站观测资料进行一致性处理, 重新分析北京 1979~1995 年的臭氧变化趋势。

2 火山气溶胶影响臭氧机制的讨论

中纬度硫酸气溶胶影响臭氧的光化学反应机制是在其表面的反应:



这两组反应的速度几乎独立于温度的变化^[3], 因此对极地才具有的极低温条件依赖不大。(1) 反应增加平流层底部活性 Cl 的含量, 从而影响光化学反应链之间的平衡, 产生减少臭氧含量的净效果。如减少非活性 Cl 的化合物 ClONO_2 和 HCl 的产生量, 增加活性 Cl 含量 (ClO)。(2) 反应是中纬度平流层 HO_x 的重要源, 是 Br 影响臭氧的重要过程之一。另一硫酸气溶胶表面的重要非均相反应为



(3) 反应速度随平流层温度的降低呈指数增加^[2], 在极地其反应速度可达到与 (1) 反应相等, 在中纬度该反应也是增加活性 Cl 的重要机制。

火山爆发大量增加平流层气溶胶含量, 但独立的火山爆发并不能引起臭氧的减少。火山气溶胶通过影响平流层光化学反应的平衡, 使人类排放的含氯、含溴化合物在平流层更容易成为活性的, 从而具有破坏能力, 这样才可能引发臭氧迅速减少。火山爆发后, 大气中气溶胶的总表面积大大增加。如皮纳图博火山爆发后, 于 1992 年 9 月, 在中纬 $32^\circ \sim 36^\circ$ 、位于高度 19~20.5 km, 观测计算到比背景值 ($0.5 \mu\text{m}^2 \text{ cm}^{-3}$) 大 40 倍的气溶胶表面积浓度。1992 年北京地区激光雷达对平流层的探测结果中, 光学厚度比背景值 (0.005) 大 18 倍。采用宽波段太阳辐射确定光学厚度法计算的 1992、1993 年

的整层光学厚度同样增加很大^[6]。地面光学厚度参数化方法计算的 1992、1993 年平流层光学厚度比背景值大许多倍。这些条件使平流层光化学平衡改变而有利于 HO_x 、 ClO 等的增加,使臭氧减少。有的研究认为^[2],在低、中纬度,充分的太阳辐射以及极地平流层云的缺乏使臭氧的减少主要由氮氧化物决定,而反应(1)和(3)不能使活性氮 $\text{NO}_x(\text{NO}+\text{NO}_2)$ 有效地转化为非活性氮,因此火山爆发引起的气溶胶增加对臭氧的减少是有限的。但是北京在厄尔奇琼和皮纳图博火山爆发后,臭氧都非常明显地加速下降,世界很多中纬度臭氧观测台站都发现 1991 年后臭氧明显下降,而同时进行的活性氯、溴的监测发现它们的浓度增加;因此活性卤族化合物在中纬度平流层的反应可能是很重要的。光化学反应中,导致臭氧减少的因素是很复杂的。其中火山气溶胶对中纬度臭氧的减少可能有非常重要的作用。

3 数据处理

本文采用的臭氧数据来自北京 Dobson 75 号,该仪器长年运行状态良好,是全球 Dobson 观测网中 100 多台仪器中最好的仪器之一。其采集的原始数据的可靠性受到国际臭氧组织的好评。观测资料样本取自 1979~1996 年间可观测日的观测值,共计 4339 d。与 TOMS 卫星对比,84 个月的平均偏差为 0.7%;1996 年在日本与标准仪器标定,最大偏差为 0.3%^[7]。

在对臭氧变化趋势的分析中,所采用数据的一致性和准确性都会影响变化程度的大小。为使臭氧总量数据具有一致性并且更具可靠性,本文做了以下处理:

(1) 1992 年以前的所有数据需要根据世界气象组织要求进行 0.9743 的订正,仅从年平均值订正,吸收系数的订正可使总量改变 10 个 Dobson 单位(Du)左右。本文从日观测值对历年的数据进行订正。订正后 1979~1995 年臭氧年变化率变化-0.1%左右。

(2) 从公布数据的形成方式上进行订正。Dobson 一般的操作是根据大气质量的变化,一天做 5 次观测。在 1996 年 9 月以前,一直是 AD、CD 组波长同时做,这样,如果天气条件好,每天有从早到晚由 AD、CD 波长计算的 5 对共 10 个臭氧总量数据。同一次由 AD、CD 波长观测计算的总量最大可相差 10 Du 以上。世界臭氧资料中心报告的数据都是选自 AD 组波长的测量值,而其他形式公布的数据则不同。1986 年 5 月以前公布的数据是当日所有 AD、CD 有效数据的平均值,此后是根据中纬度地区只选用 AD 波长数据的原则公布日总量数据。为使数据分析具有一致性,本文只选用 AD 波长的数据。

(3) 公布的数据从 1988 年 9 月开始统一采用最接近日平均值的实测数据,在此前基本根据 AD、CD 差值最小的原则选用,另一方面是观测人员根据具体观测情况进行选取。由于日内变化可以相当明显,不同方法选出的数据可相差 10 Du 左右。为保证数据的一致性,本文数据由当时的观测者根据观测记录选定参加日平均的数据,然后统一采用最接近平均值的实测值。

(4) 对于月平均值,本文对个别月份做了修改。因为考虑到 1 个月中,最大值和最小值可相差 100 Du 以上,而观测日数如果较少且集中在较高的或较低的时间内,平均值会出现较大的偏差。为减少这类偏差,本文计算旬平均值,对偏差明显的月份进行旬

值再平均以得到月平均值。

消减 QBO 在臭氧趋势中的作用对于分析气溶胶高含量对臭氧趋势的影响是很重要的。本文采用 Solomon 等使用的 25 个月窗平均滤波消减 QBO 对臭氧趋势的影响^[3]。

本文采用了宽波段太阳辐射消光法^[6,8]确定的 0.7 μm 波长的气溶胶总光学厚度和平流层光学厚度，并采用了激光雷达探测的 1991~1993 年间北京 0.7 μm 平流层气溶胶光学厚度。

4 分析结果

根据表 1 和图 1~8 分析北京 1979~1994 年的臭氧变化趋势，并结合火山气溶胶影响臭氧变化的机制，说明厄尔奇琼火山和皮纳图博火山对臭氧变化趋势的影响。

表 1 列出臭氧平均年变化量和年变化率在四个时间分段中的统计值；四个时间段分别为 1979~1995、1982~1985、1986~1990、1991~1994 年。数据表明，1979~1995 年期间，臭氧平均年变化量和年变化率分别为 -0.9322 DU 和 -0.269%；就该时间段而言，臭氧总量明显为下降趋势。另一特点是，在 1991~1994 年期间，下降率非常剧烈，达到 -5.000 DU 和 -1.439%。这表明，受皮纳图博火山的影响，臭氧减少趋势加大。同样，在厄尔奇琼火山爆发后的 3 年中，臭氧减少也较大。

表 1 北京地区（香河）臭氧年变化趋势

时间段	平均年变化量 / DU	平均年变化率
1979~1995	-0.9322	-0.269%
1982~1985	-3.300	-0.954%
1986~1990	0.4000	0.119%
1991~1994	-5.000	-1.439%

为分析臭氧总量月平均值的年变化，对 1979~1995 年间 1~12 月份的臭氧月平均值分别做线性回归。图 1 显示了臭氧月平均值在此时间段中的年变化率。可以看出曲线有两个特点：

- (1) 臭氧月平均的年变化率除 10 月份，其他 11 个月都为减少趋势；
- (2) 减少率具有季节变化特征，总的来说，夏、秋季小，春季大。

图 2 表示北京臭氧总量和整层气溶胶光学厚度年变化曲线。分析结果如下：

(1) 在 1980~1994 年时间段内臭氧总量为下降趋势。臭氧变化曲线有准两年周期振荡的特点。

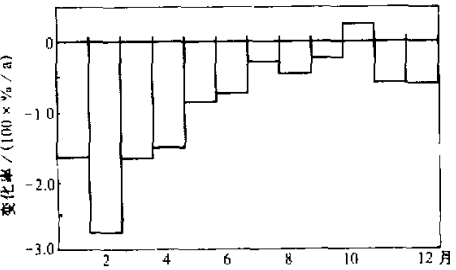


图 1 北京地区臭氧总量月平均值年变化

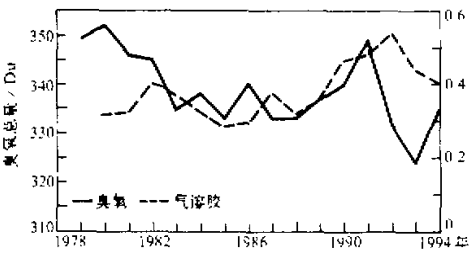


图 2 北京地区臭氧、气溶胶年变化

(2) 如果我们将 1982~1985、1991~1994 年期间视为火山影响期, 对于气溶胶光学厚度, 1991~1994 年为增大趋势。对于臭氧总量, 在火山影响期, 均为减小趋势。

(3) 从 1991 年的臭氧高值和 1992、1993 年的低值可以看出北京地区臭氧下降非常剧烈。这种变化幅度在世界其他中纬度臭氧观测站很少发现。

(4) 在厄尔奇琼火山爆发后的 1985 年到皮纳图博火山爆发前的 1990 年期间, 气溶胶光学厚度和臭氧总量的变化具有很好的正相关特性, 两者的年变化曲线有相当好的一致性。这有可能说明, 在不受火山特别影响时, 气溶胶光学厚度和臭氧总量的变化一致受大气状态的影响。

总光学厚度主要由对流层光学厚度决定, 其变化趋势受到地面气溶胶源的影响。平流层气溶胶光学厚度的背景值远小于总光学厚度, 只在火山爆发后, 平流层气溶胶光学厚度增大, 在总光学厚度中占到较大比重。图 2 着重说明臭氧的变化趋势以及火山爆发后臭氧和气溶胶光学厚度年平均的变化关系。这里面不能排除火山爆发后对流层污染等因素对整层气溶胶光学厚度的影响。在下文中, 对平流层气溶胶光学厚度的变化和臭氧的变化关系做了进一步分析。

图 3 和图 4 分别表示 1981~1984 和 1990~1993 年北京臭氧总量月平均曲线。1982 年 4 月厄尔奇琼火山爆发后, 臭氧为下降趋势。皮纳图博火山爆发于 1991 年 6 月, 北京地区臭氧总量 1991 年上半年比 1990 年有明显增加; 到 1992 年 1 月, 全年臭氧总趋势都比 1991 年下降。

图 5 和图 6 分别表示 1981~1984 和 1990~1993 年北京平流层气溶胶光学厚度年

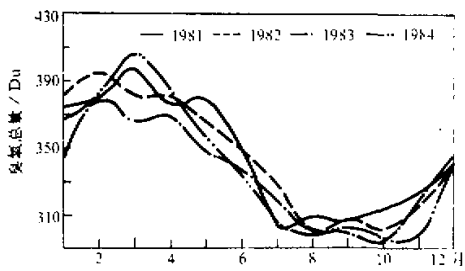


图 3 北京地区 1981~1984 年臭氧总量月变化

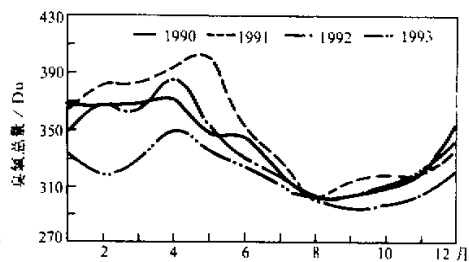


图 4 北京地区 1990~1993 年臭氧总量月变化

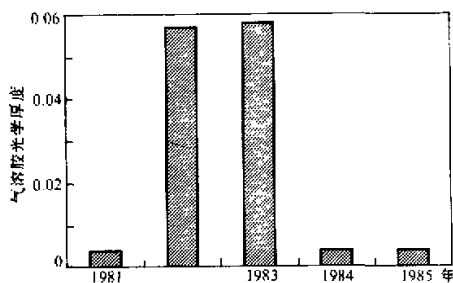


图 5 北京地区 1981~1984 年平流层气溶胶光学厚度

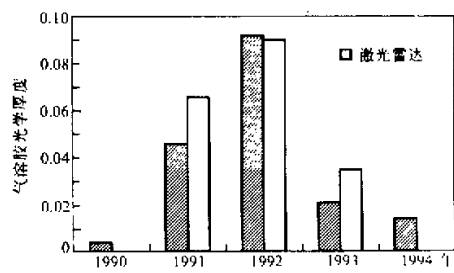


图 6 北京地区 1990~1993 年平流层气溶胶光学厚度

平均值。1982 年 4 月厄尔奇琼火山爆发后, 1982、1983 年平流层气溶胶迅速增加, 比背景值大 10 倍, 1984 年恢复到背景值。在 1991 年 6 月皮纳图博火山爆发后, 气溶胶光学厚度增加更快, 1992 年达到背景平均值的 19 倍, 1994 年基本恢复到背景值。

图 7 显示臭氧总量月变化趋势。近似认为臭氧 QBO 为 25 个月周期振荡, 对图 7 数据进行 25 个月移动平均可得到对臭氧 QBO 粗略的滤波。图 8 显示对图 7 数据进行 QBO 处理后的臭氧总量月变化趋势。在图 8 中可明显看出, 自火山爆发后, 臭氧总量加速下降的趋势。特别是皮纳图博火山爆发后, 下降的趋势非常大。另外在图 8 中, 1980~1994 年臭氧总量的减少趋势也很明显。

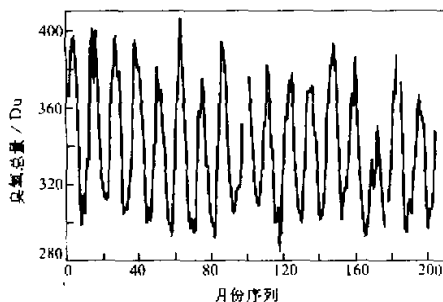


图 7 北京地区臭氧总量月变化

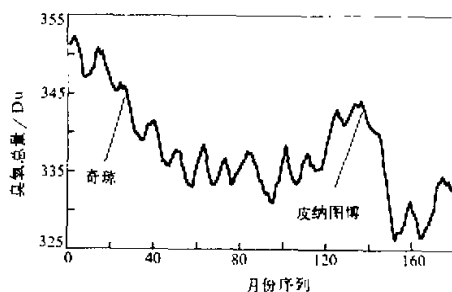


图 8 北京地区臭氧总量月变化

5 结论

在对北京地区臭氧观测资料作了一致性处理后, 分析得到 1979~1995 年间的臭氧总量变化率为 -0.269% ; 而 1982~1985、1991~1994 年臭氧总量年变化率为 -0.954% 和 -1.439% , 这说明火山爆发后臭氧的下降趋势增大。特别是皮纳图博火山的爆发对臭氧的下降有很大影响。通过对臭氧数据一致性处理和对 QBO 的消减, 臭氧变化趋势的分析更为可靠, 火山活动对变化趋势的影响更为明显。

与火山活动相对应, 北京地区 1982~1985、1991~1994 年间平流层气溶胶大量增加, 它们通过影响平流层光化学反应的平衡, 使人类排放的含氯、含溴化合物在平流层更容易成为活性的, 从而具有破坏能力, 这是引发臭氧迅速减少的主要机制。

致谢: 对孙金辉、张金定和夏其林等人提供的激光雷达探测数据, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project — Report, 1994, Scientific Assessment of Ozone Depletion, No. 37, 1~10.
- 2 Fahey, D. W. et al., 1993. In situ measurements constraining the role of sulphate aerosols in mid-latitude ozone depletion, *Nature*, **363**, 509~514.
- 3 Solomon, S. et al., 1996, The role of aerosol variations in anthropogenic ozone depletion at northern midlatitudes, *J. Geophys. Res.*, **101**(D3), 6713~6727.

- 4 Zhou Xiuji, Luo Chao, Li Weiliang and Shi Jiuen, 1995, Atmospheric total ozone variation in China and anomalous low-value center of ozone over the Tibetan Plateau, *Chinese Science Bulletin*, **40**(15), 1396~1398.
- 5 魏鼎文、赵延亮、秦芳、郭世昌, 1994, 中国北京和昆明地区大气臭氧层的异常变化, *科学通报*, **39**(16), 1509~1511.
- 6 邱金桓, 1995, 从全波段太阳直射辐射确定大气气溶胶光学厚度, 1: 理论, *大气科学*, **19**(4), 385~394.
- 7 Bojkov, R. D. et al., 1988, Comparison of ground-based and total ozone mapping spectrometer measurements used in assessing the performance of the global ozone observing system, *J. Geophys. Res.*, **93**(D8), 9525~9533.
- 8 邱金桓等, 1997, 中国10个地方大气气溶胶光学厚度1980~1994年间变化特征研究, *大气科学*, **21**(6), 725~733.

Effects of Volcanic Aerosol on Ozone Change Trends over Beijing

Yang Liqun, Qiu JinHuan and Zhao Yanliang

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

Abstract Ozone change trends for the period 1979~1995, column aerosol optical depth for the period 1980~1994 and the stratospheric aerosol optical depth for the periods of 1981~1985 and 1990~1994 over Beijing are analyzed using ozone data measured with Dobson and aerosol optical depth data with photometer. The results show that the ozone yearly change rate over Beijing is -2.69% from 1979~1995 and reaches up to -0.954% and -1.439% for the periods of 1982~1985 and 1991~1994 respectively, which means that the eruptions of El Chichon and Pinatubo volcanoes have important effects on decrease in total ozone amount.

Key words ozone aerosol Beijing