

北京地区边界层大气臭氧浓度变化特征分析

宗雪梅, 王庚辰, 陈洪滨, 王普才, 宣越健

(中国科学院大气物理研究所中层大气与全球环境探测开放实验室, 北京 100029)

摘要: 利用 2001-03 ~ 2006-10 的大气臭氧探空资料, 分析了近 6 a 北京边界层 (2 km 以下) 大气臭氧浓度的平均月变化和季节变化规律. 结果表明, 边界层大气臭氧浓度的月变化很明显, 1 月臭氧浓度最小, 地面臭氧浓度不到 10×10^{-9} (体积分数, 下同), 上层 (即 2 km) 臭氧浓度也不到 50×10^{-9} . 而 6 月臭氧浓度最大, 地面达到 85×10^{-9} , 上层大于 90×10^{-9} . 臭氧浓度具有明显的季节特征, 从臭氧浓度值来看, 冬季最小, 夏季最大. 从地面到上层的臭氧浓度的变化幅度来看, 冬季变化最大, 夏季变化最小. 根据廓线变化方式, 臭氧浓度廓线可分为 3 种类型, 冬季型、夏季型、春秋季型. 不同高度臭氧月平均浓度也明显不同. 分析地面及上层臭氧浓度与气象因子如温度和湿度的相关关系, 发现地面臭氧浓度与温度具有较好的线性关系, 相关系数在 0.85 以上.

关键词: 臭氧; 探空; 大气边界层; 变化特征

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)11-2615-05

Analysis on Concentration Variety Characteristics of Atmospheric Ozone Under the Boundary Layer in Beijing

ZONG Xue-mei, WANG Geng-chen, CHEN Hong-bin, WANG Pu-cai, XUAN Yue-jian

(Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the atmospheric ozone sounding data, the average monthly and seasonal variety principles of atmospheric ozone concentration during six years are analyzed under the boundary layer in Beijing. The results show that the monthly variation of atmospheric ozone are obvious that the minimum values appear in January from less than 10×10^{-9} on ground to less than 50×10^{-9} on upper layer (2 km), but the maximum values appear in June from 85×10^{-9} on ground to more than 90×10^{-9} on upper layer. The seasonal variation is also clear that the least atmospheric ozone concentration is in winter and the most is in summer, but variety from ground to upper layer is largest in winter and least in summer. According to the type of outline, the outline of ozone concentration is composite of three types which are winter type, summer type and spring-autumn type. The monthly ozone concentration in different heights is quite different. After analyzing the relationship between ozone concentration and meteorological factors, such as temperature and humidity, we find ozone concentration on ground is linear with temperature and the correlation coefficient is more than 85 percent.

Key words: ozone; sounding; atmospheric boundary layer; variety characteristics

平流层大气臭氧层耗损和南极地区上空臭氧洞的出现, 已经受到各国政府有关部门和科学家们的极大关注, 这是因为人们担心大气臭氧层的耗损可能会给人类本身的生存环境带来严重的威胁. 特别是在对流层已经发现大气臭氧在某些地区呈现出增长趋势^[1~3]. 大气臭氧已经成为大气边界层的重要污染物之一, 大气边界层臭氧作为一种二次污染物, 其浓度过高会对人体健康和生态系统造成损害^[4,5], 此外, 还会使城市环境恶化, 引起光化学烟雾污染^[6,7]. 因此, 人们越来越重视大气边界层臭氧浓度的变化情况.

关于大气臭氧的研究主要集中在平流层和对流层, 而对于和人们生活息息相关的大气边界层臭氧的研究较少, 而且主要集中在近地面^[8,9], 对于大气边界层 (2 km 以下) 臭氧垂直变化特征几乎没有研

究. 因此, 本研究利用多年大气臭氧探空资料, 分析北京市大气边界层臭氧的时空分布规律及其与气象因子的相互关系, 以期使人们对大气边界层的臭氧状况 and 变化特征有更深刻的理解.

1 材料与方法

大气臭氧探空系统是当前获得地球大气臭氧层垂直结构最有效的直接探测系统. 本研究所用的仪器是我国自行研制的 GPSO₃ 臭氧探空仪, 这是带 GPS 定位的电化学式臭氧探空仪. 宣越健等^[10]、王庚辰等^[11]验证了该仪器探测的大气臭氧资料的可靠性.

收稿日期: 2006-12-13; 修订日期: 2007-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40520120071); 北京市科委与北京市环保局大气污染控制专项

作者简介: 宗雪梅 (1972 ~), 女, 博士, 主要研究方向为大气遥感与大气环境, E-mail: zongxm@mail.iap.ac.cn

本研究使用的大气臭氧探空资料由大气臭氧探空联合试验技术组提供.其中包括中国科学院大气物理研究所中层开放实验室与中国气象局监测网络公司于 2001-03 ~ 2002-02 和 2002-09 ~ 2004-12 进行的 2 期大气臭氧探空联合试验,以及此后从 2005 年至今,中国科学院大气物理研究所中层开放实验室自己进行的大气臭氧探空试验.所有试验资料已编制成大气臭氧探空资料月报.

本研究收集了 2001-03 ~ 2006-10 以来的所有臭氧探空资料,约 300 多份.该资料的探测频次是:2001-03 ~ 2002-02 期间为每周 2 次,其余时段为每周 1 次,除此之外,从 2003 年起每年春季有近 1 个月的加密观测,在加密期间为每日探测 1 次.由于探空球施放时间均选择在当日 14 时左右,所以测得的臭氧值基本上代表了当日的最大浓度值.探空仪施放地点为北京南苑中国气象局大气探测综合试验基地(116°28'E,39°48'N,海拔高度 34 m).

2 结果与分析

因为大气臭氧浓度具有很高的时空变化性,因此研究大气臭氧浓度的变化特征必须从它的统计特征入手.本研究首先统计了 6 a 中各个月份的臭氧浓度平均值,然后在此基础上,得出大气臭氧浓度变化的月、季节特征.

2.1 大气臭氧浓度的逐月变化

图 1 给出了臭氧月平均浓度垂直变化廓线.这是 6 a 总的按月平均的结果.从中可以看出,边界层臭氧浓度的月变化很明显,1 月臭氧浓度最小,地面臭氧浓度不到 10×10^{-9} (体积分数,下同),上层(即 2 km)臭氧浓度也不到 50×10^{-9} .而 6 月臭氧浓度最大,地面达到 85×10^{-9} ,高层大于 90×10^{-9} .月际之间差别也较大,1 月臭氧浓度最小,2 月逐渐变大,1 km 以上增加了约 5×10^{-9} ,0.5 km 以下增加约 20×10^{-9} .到 3 月增加幅度较大,约为 $15 \times 10^{-9} \sim 20 \times 10^{-9}$.4 月又有所增加,到 5 月增加幅度又一次加大,平均约增加 $20 \times 10^{-9} \sim 30 \times 10^{-9}$.到 6 月增加至最大.5 ~ 6 月 1 km 以下增加明显,约为 15×10^{-9} ,然后高度越高,增加幅度越小,到 1.5 km 以上即与 5 月臭氧浓度平行,增加很少.7 月开始臭氧浓度减少,上层减少较多,约 10×10^{-9} ,近地面减少幅度很小.8 月臭氧浓度进一步减少,幅度不大,9 月 1 km 以上减少不大,下层减少约 20×10^{-9} .从 9 ~ 11 月,臭氧浓度递减幅度较大,约为 20×10^{-9} .到 12 月,1 km 以下臭氧浓度减少,1 km 以上臭氧浓度略有增加,但减少

和增加的幅度都不大.因此,臭氧浓度随着时间的推移,从 1 月的最小值逐渐增大到 6 月的最大值,然后从 6 月逐渐减小到 1 月.

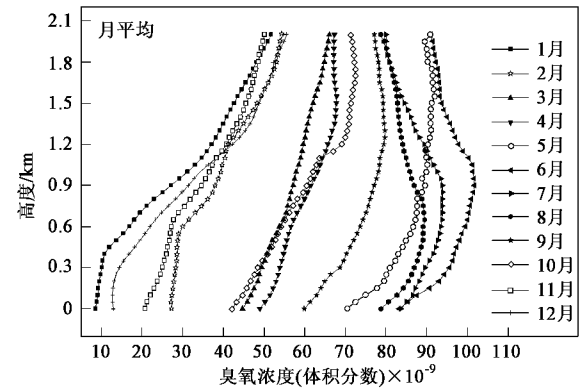


图 1 臭氧多年月平均浓度廓线
Fig.1 Monthly ozone average concentration outlines

2.2 大气臭氧浓度的季节变化

图 2 给出了臭氧浓度 6 a 的季节平均值.从中可以看出,臭氧浓度具有明显的季节特征,从臭氧浓度值来看,冬季最小,夏季最大.从地面到上层的臭氧浓度的变化幅度来看,冬季变化最大,从地面的 17×10^{-9} 增加到上层的 54×10^{-9} ,约增加 37×10^{-9} ;而夏季变化最小,变化幅度在 10×10^{-9} 之间.春秋季从地面到上层臭氧浓度的变化约为 20×10^{-9} .

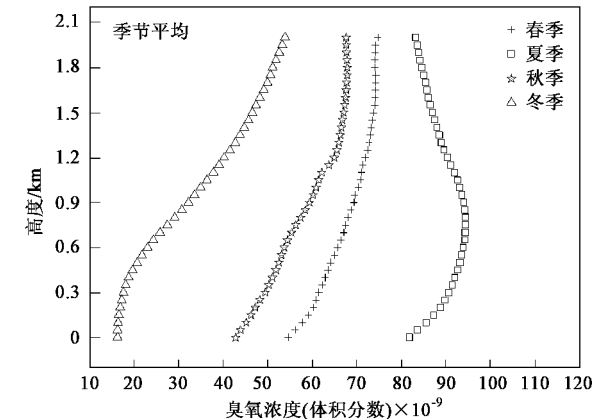


图 2 臭氧多年季节平均浓度廓线
Fig.2 Seasonal ozone average concentration outlines

2.3 臭氧浓度垂直廓线类型分析

根据图 2 显示的廓线形状,可以把臭氧浓度的垂直廓线分为 3 种类型:第 1 种为冬季型,臭氧浓度随着高度的增加,先保持不变或者变化很小,约在一定高度(图 2 为 0.4 km)后迅速增加;第 2 种类型为春秋季型,臭氧浓度随着高度递增,但是递增率不

大;第3种为夏季型,臭氧浓度先随高度的增加而增加,到达一定高度(图2为0.8 km)后,出现转折,随高度的增加而减少,但是递增率和递减率都不大.结合图1臭氧浓度月平均廓线来看,11~2月均为冬季型,6~8月是明显的夏季型,而其余月份均可以归为春秋季型,但是5月和9月的特点不太明显,上层的递增率很小,介于春秋季型和夏季型之间,属于转型期.

2.4 不同高度臭氧浓度变化特征

图3给出了6个高度(0、0.4、0.8、1.0、1.5、2.0 km)臭氧浓度月平均值.从中可以看出,地面(0 km)和0.4 km高度的臭氧浓度各月份的变化情况基本类似,都是从1月逐渐增大,到6月达到最大,然后逐渐减少到12月.0.4 km各个月的臭氧浓度都大于1月.0.8和1.0 km高度臭氧浓度各月份的变化同前面2个高度(0和0.4 km)类似,只是臭氧浓度6月的最大值差别不大,但是1月和12月的小值差别较大,0和0.4 km高度上的小值约为 10×10^{-9} ,而

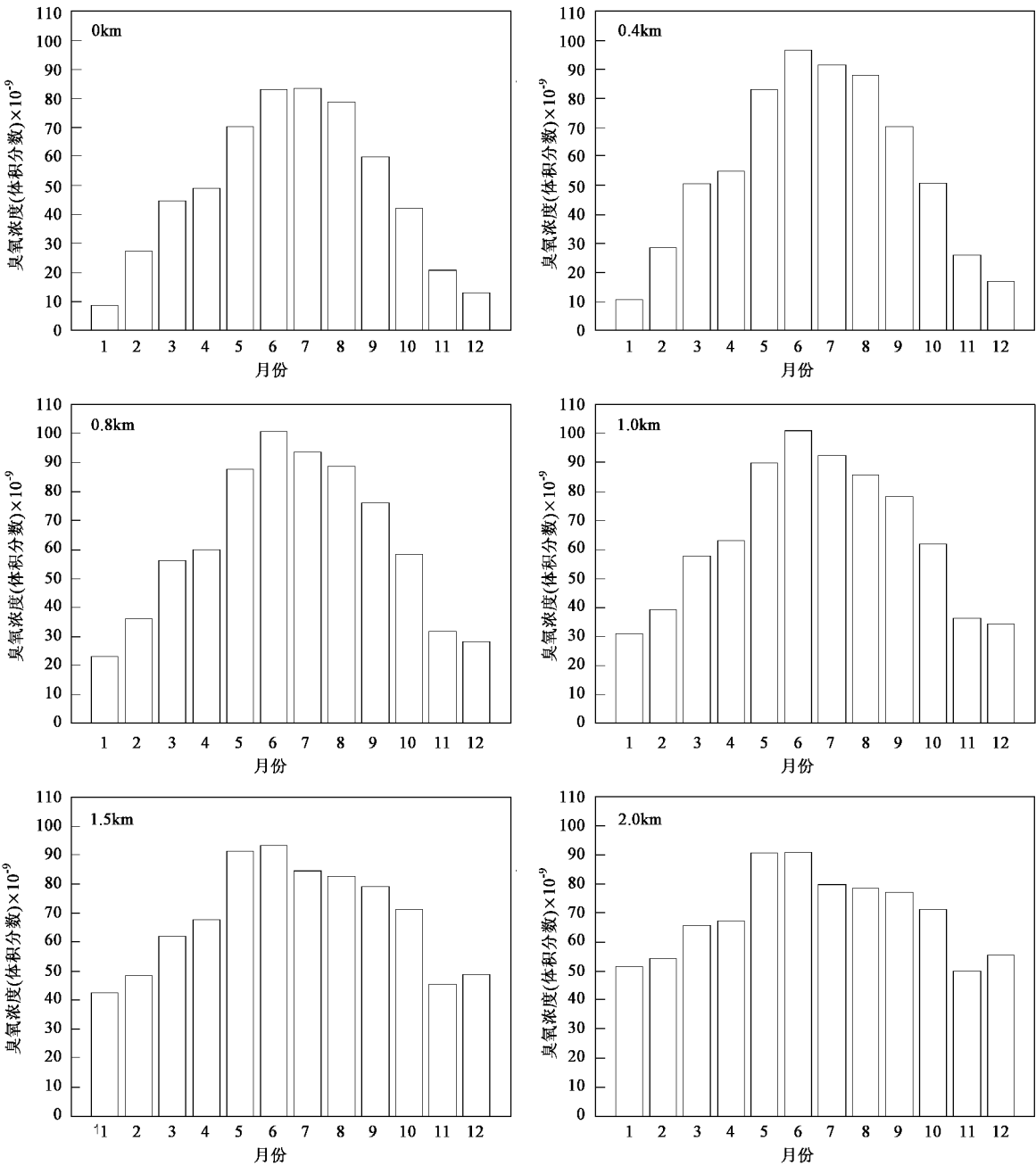


图3 不同高度臭氧多年月平均浓度廓线

Fig.3 Monthly ozone average concentration outlines at different heights

0.8 和1.0 km高度的小值在 $20 \times 10^{-9} \sim 30 \times 10^{-9}$ 之间.1.5 和2.0 km高度臭氧浓度各月份的变化也基本上随月份先递增,后递减,但是最大值出现在 5 月和 6 月,约为 90×10^{-9} ,12 月的臭氧浓度略微大于 11 月,臭氧浓度的小值在 $40 \times 10^{-9} \sim 50 \times 10^{-9}$ 之间.1.5 km和2 km月平均浓度的最大值和最小值之差较小,仅为 40×10^{-9} ,而其它高度的最大值和最小值之差都大于 70×10^{-9} .此外,图 3 中也显示出了冬季型臭氧廓线在0.4 km高度以上迅速增加,而夏季型臭氧廓线在0.8 km高度出现转折的情形.

2.5 大气臭氧浓度与气象因子之间的关系

大气臭氧作为二次污染物,它一方面与其前体物,如氮氧化物、碳氧化物等气体密切相关,另一方面与气象条件也有很大的关系,气象条件在臭氧的形成及转化过程中有很重要的作用,它通过环境影响臭氧浓度的变化.本研究分别分析了地面(0 km)和边界层上层(2 km)大气臭氧浓度与温度和湿度之间的关系,如图 4 所示,臭氧浓度、温度和湿度的季节变化非常明显,三者具有一致的季节变化趋势,夏季值较高,冬季值较低.但是相关关系并不一致.

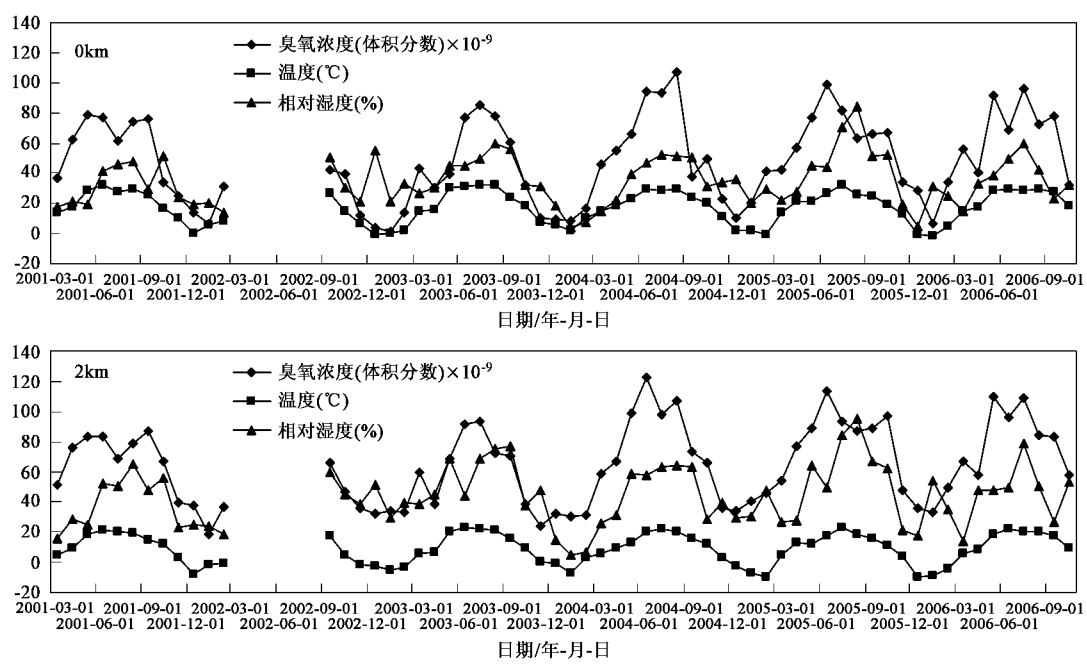


图 4 臭氧浓度、温度和湿度的月变化

Fig.4 Monthly variations of ozone concentration, temperature and humidity

图 5 分别给出了地面和边界层上层温度(叉点)、湿度(圆点)与臭氧浓度的线性相关分析,其中虚线为温度与臭氧浓度的拟合线,实线为湿度与臭氧浓度的拟合线.从 5 图中可以看出,不论是地面还是边界层上层,湿度与臭氧浓度的相关性都较差,线性相关系数在 0.5~0.6 之间.而温度与臭氧浓度的相关性较好,地面相关系数高达 0.867,边界层上层相关系数为 0.846.这说明温度和湿度都是影响边界层臭氧浓度的重要气象因子,但是温度对臭氧浓度的影响更大.

3 结论

(1)边界层大气臭氧浓度的月变化很明显,1 月臭氧浓度最小,地面臭氧浓度不到 10×10^{-9} ,上层

(即2 km)臭氧浓度也不到 50×10^{-9} .而 6 月臭氧浓度最大,地面达到 85×10^{-9} ,高层大于 90×10^{-9} .臭氧浓度随着时间的推移,从 1 月的最小值逐渐增大到 6 月的最大值,然后从 6 月逐渐减小到 1 月.

(2)边界层大气臭氧浓度具有明显的季节特征,从臭氧浓度值来看,冬季最小,夏季最大.从地面到上层的臭氧浓度的变化幅度来看,冬季变化最大,从地面的 17×10^{-9} 增加到上层的 54×10^{-9} ,约增加 37×10^{-9} ;而夏季变化最小,变化幅度在 10×10^{-9} 之间;春秋季节从地面到上层臭氧浓度的变化约为 20×10^{-9} .

(3)边界层大气臭氧浓度垂直廓线可分为 3 种类型:冬季型、夏季型、春秋型.各个型态都具有典型的特点.

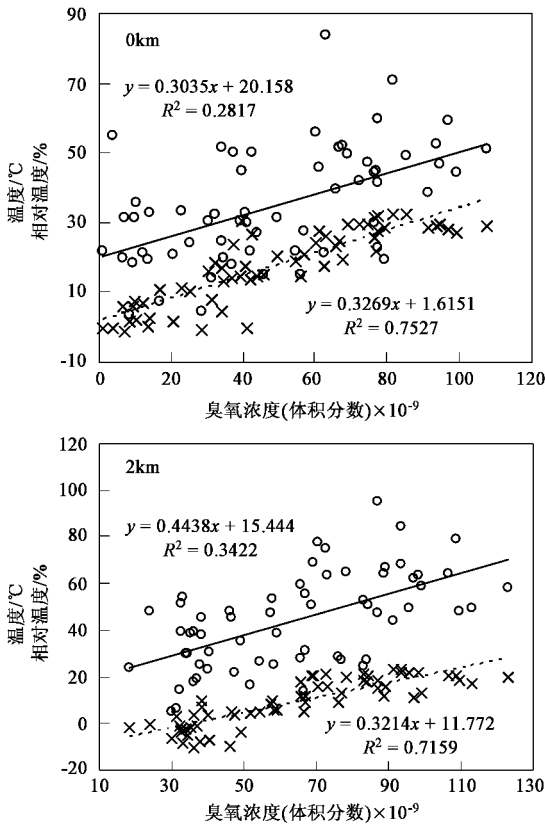


图 5 温度和湿度与臭氧浓度的相关关系

Fig.5 Relationships between temperature, humidity and ozone concentration

(4)不同高度大气臭氧月平均浓度变化也有所不同.

(5)温度和湿度等气象因子都与臭氧浓度相关,但温度对臭氧浓度的影响较大,地面(0 km)温度

与大气臭氧浓度的相关性较好,相关系数高达0.867.

参考文献:

[1] Bojkov R D. The international ozone assessment-1994 [J]. Bulletin of WMO, 1995, **44**: 42 ~ 50.

[2] Randel W, Wu F. A stratospheric ozone trends data set for global modeling studies[J]. Geophysical Research Letters, 1999, **26**: 3089 ~ 3092.

[3] 魏鼎文,秦芳. 中国北京和昆明地区大气臭氧层的异常变化[J]. 科学通报, 1994, **39**(16): 1509 ~ 1511.

[4] Wang X K, Lu W Z, Wang W J, *et al.* A study of ozone variation trend within area of affecting human health in Hong Kong[J]. Chemosphere, 2003, **52**: 1405 ~ 1410.

[5] Arbaugh M J, Miller P R, Carroll J J, *et al.* Relationships of ozone exposure to pine injury in the Sierra Nevada and San Bernardino Mountains of California[J]. Environmental Pollution, 1998, **101**: 291 ~ 301.

[6] Rabl A, Eyre N. An estimate of regional and global O₃ damage from precursor NO and VOC emissions[J]. Environment International, 1998, **24**: 835 ~ 850.

[7] 王明星,杨昕. 大气化学研究的一些新进展[J]. 自然科学进展, 2001, **11**(6): 561 ~ 567.

[8] 任丽红,胡非,周德刚,等. 北京夏季近地层臭氧垂直变化及其环境效应的观测研究[J]. 中国科学院研究生学报, 2005, **22**(4): 429 ~ 435.

[9] 单文坡,殷永泉,杜世勇,等. 夏季城市大气 O₃ 浓度影响因素及其相关关系[J]. 环境科学, 2006, **27**(7): 1276 ~ 1281.

[10] 宣越健,马舒庆,陈洪滨,等. 国产 GPSO₃ 与芬兰 Vaisala 臭氧探空仪的比对试验[J]. 高原气象, 2004, **23**(3): 394 ~ 399.

[11] 王庚辰,孔琴心,宣越健,等. GPSO₃ 和 Vaisala 臭氧探空仪平行施放比对结果的初步分析[J]. 应用气象学报, 2004, **15**(6): 672 ~ 680.