

唐山夏秋季大气质量观测与分析

王晓元¹, 辛金元¹, 王跃思^{1*}, 封孝信², 张玉平²

(1. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理与大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 2. 河北理工大学材料学院, 唐山 063009)

摘要: 为了研究唐山市大气污染状况和其在奥运期间对北京及周边地区的影响, 于 2007 年、2008 年夏秋季节, 使用全自动在线观测仪器对唐山市大气质量进行连续观测研究。结果表明, 唐山大气细粒子 $PM_{2.5}$ 夏季平均浓度为 $105.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 46.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 秋季为 $108.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 61.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; O_3 小时浓度最大值夏季平均为 $153.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 50.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 秋季为 $114.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 56.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; NO_2 的夏、秋季节平均浓度分别为 $39.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 10.0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 与 $42.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; SO_2 夏、秋季节平均浓度分别为 $44.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 31.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $52.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 25.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; 大气氧化性 O_x ($O_3 + NO_2$) 夏季平均为 $111.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 27.0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 秋季为 $87.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 27.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。唐山市大气细粒子污染严重, 是京津冀地区细粒子的主要源之一; SO_2 、 NO_2 浓度比周边地区高, 但并未超过国家二级标准, NO_2 主要源于汽车尾气排放, 长期变化小; O_3 浓度相对周边地区较低, 但当地 O_3 前体物 (NO_x) 相对高排放对区域内臭氧生成的影响尚不清楚。北京奥运期间, 受减排措施影响唐山大气污染物浓度均有不同程度的下降, 其中 SO_2 、 $PM_{2.5}$ 下降最为显著。奥运减排措施可以作为改善唐山大气质量的有效手段。

关键词: 唐山市; 大气污染; $PM_{2.5}$; O_3 ; NO_x ; SO_2

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)04-0877-09

Observation and Analysis of Air Pollution in Tangshan During Summer and Autumn Time

WANG Xiao-yuan¹, XIN Jin-yuan¹, WANG Yue-si¹, FENG Xiao-xin², ZHANG Yu-ping²

(1. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. College of Material Science, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China)

Abstract: To study the air pollution in Tangshan City and its effects on Beijing and the surrounding areas during the Beijing Olympics, the on-line monitoring of atmospheric pollutant was performed at the summer and autumn time in 2007 and 2008 in Tangshan. The results show that the average $PM_{2.5}$ concentrations are $105.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 46.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in summer and $108.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 61.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in autumn. The average max hourly O_3 concentrations are $153.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 50.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in summer and $114.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 56.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in autumn. The average NO_2 concentrations are $39.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 10.0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in summer and $42.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 11.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in autumn, and the average SO_2 concentrations are $44.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 31.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in summer and $52.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 25.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in autumn. The average oxidant ($NO_2 + O_3$) concentrations are $111.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 27.0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in summer and $87.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \pm 27.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in autumn. As one of the fine particles sources in areas of Beijing, Tianjin and Hebei, Tangshan is severely polluted by fine particles; Concentrations of SO_2 and NO_2 are higher than that of surrounding areas, but still attain the national standard for Grade II. Long-term NO_2 concentration which mainly comes from automobile exhaust changes little. The O_3 concentration is relatively low compared to nearby areas, however, it remains unknown how high local emission of O_3 precursor (NO_x) would affect the regional O_3 production. During the Beijing Olympics, affected by industrial emission reduction, all air pollutant concentrations were reduced especially SO_2 and $PM_{2.5}$, so reducing industrial emission should be useful for improving air quality in Tangshan.

Key words: Tangshan City; air pollution; $PM_{2.5}$; O_3 ; NO_x ; SO_2

随着经济高速发展, 工业城市的大气污染问题日趋严重。国外学者已提出城市大气污染与人群呼吸道疾病的关系密切性^[1,2], 国内对这方面的研究也有相关的进展, 首先是细粒子 $PM_{2.5}$ 作为大气中固体和液体粒子混合而成的粒径 $< 2.5 \mu\text{m}$ 的细粒子, 不仅对人呼吸系统有直接的刺激作用, 而且还能作为病毒、细菌的载体传播疾病^[3-6], 是现今我国城市首要的大气污染物^[7], 其次 SO_2 、 NO_x 的过量

吸入会影响到人的呼吸系统短期会造成呼吸系统疾病, 长期吸入甚至会影响到肺部结构^[12,13], 最后臭氧 (O_3) 是在紫外线和前体污染物如氮氧化物

收稿日期: 2009-05-18; 修订日期: 2009-07-15

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-YW-06); 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2007CB407303); 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2006AA06A301)

作者简介: 王晓元 (1984 ~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气

环境, E-mail: wxy@dq.ac.cn, http://www.cnki.net

* 通讯联系人, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

(NO_x)和挥发性有机化合物(VOCs)存在的条件下,大气中发生光化学反应形成的.城市大气中的O₃高于一定浓度时会对人体的健康产生影响^[14].因此对工业城市大气污染的进一步研究显得极为迫切和重要.而唐山作为我国东北部最大的工业城市之一,是具有百年历史的沿海重工业城市,随着唐山近年的经济建设和钢铁、煤矿等重污染企业的增多,环境问题日益突出.据2007年唐山市环境状况公报报道,唐山大气污染物的主要成分为可吸入颗粒物、二氧化硫和二氧化氮,其中二氧化硫占的比重较大.因此对唐山大气污染物进行观测,对于研究工业城市大气污染的变化特征极具参考价值,研究结果有重要的科学意义.

本研究利用2007年与2008年夏秋季节唐山大气环境监测数据,给出了唐山大气中PM_{2.5}、NO_x、O₃、SO₂浓度的变化特征,评估了唐山市夏秋季节的大气污染现状和北京奥运期间的减排措施对大气污染物浓度变化的影响,以期对唐山市的大气污染监测与治理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 观测站点和时间

观测站点设定在河北理工大学(39°37'N,118°09'E),位于唐山市路南区主干道新华西道南,往东1km为南北走向的主干道建设南路.采样点设在研究生院办公楼4层楼顶,相对地面高度为12m.观测时间为2007年8月10日~2007年10月11日、2008年6月1日~2008年10月31日.实验观测的大气污染物有NO_x、O₃、SO₂、PM_{2.5},均为唐山市夏秋季节大气污染物的主要成分.

1.2 观测方法和QA/QC

所使用仪器的描述:均为美国热电子环境设备,42i化学发光NO-NO₂-NO_x分析仪,最低检测限为0.5 μg·m⁻³;49i紫外光度法O₃分析仪,最低检测限为2.0 μg·m⁻³;43i脉冲荧光SO₂分析仪,最低检测限为5.7 μg·m⁻³;RP1400a环境颗粒物监测仪,最低检测限:0.06 μg·(m³·h)⁻¹,质量分辨率:0.1 μg·m⁻³,精度:±1.5 μg·(m³·h)⁻¹.环境观测仪器安放在专门设计的观测箱内,配有空调使箱内温度保持在26℃.仪器采样管用保温管包裹,使采气不受箱内空调影响.RP1400a配有气水分离器,其他仪器使用硅胶罐过滤水汽.观测期间每天检查,定时更换分离器滤芯、硅胶,排除仪器故障,每月标定一次仪器.原始数据记录为5 min平均值,文

中所采用的数据是质控后小时平均值,数据质量控制是根据每个月标定仪器的零点检查与多点校正结果,结合仪器日常运行状况对原始数据进行修正,再进行平均值和日平均值计算.

2 观测结果与分析

2.1 污染物长时间变化

表1列出了2007与2008年实验观测期间的氮氧化物(NO、NO₂)、臭氧(O₃)、大气氧化性(O_x=NO₂+O₃,NO₂光解产生NO,NO被O₃氧化成NO₂,因此这种关系使用O_x来表现大气氧化性的高低^[15])、二氧化硫(SO₂)和细粒子(PM_{2.5})的月均值、夏秋季节平均以及2008年奥运期间各类污染物的平均浓度.所测污染物国家空气质量二级标准分别为:O₃小时值标准为200 μg·m⁻³,NO₂日均值标准为120 μg·m⁻³,SO₂日均值标准为150 μg·m⁻³.国内现没有PM_{2.5}标准,PM₁₀日均值标准为150 μg·m⁻³,本研究用WHO IT1规定的PM_{2.5}日平均值75 μg·m⁻³进行参考^[16].在观测期间内,PM_{2.5}夏季有78 d,秋季有58 d超过WHO的参考标准,O₃夏季有15 d超标,超标率为13.0%,秋季有10 d超标,超标率为10.6%;NO₂无超标日;SO₂在观测期间仅有1 d超标.大气氧化性O_x随着臭氧浓度的下降而下降.与2007年相同时段污染物浓度相比,2008年PM_{2.5}下降35.6%,O₃日小时均值最大值(O_{3,1h,max})下降12.4%,NO下降21.2%,NO₂下降10.7%,NO_x下降13.36%.结果表明各类污染物在2008年有整体的下降,其中PM_{2.5}下降最为显著,说明在2008年北京奥运会筹办期间,唐山地区为该区域大气污染源排放的控制与整治做出了重要贡献,这同样也使得唐山市大气质量有明显改善.

图1给出了2007年和2008年各种大气污染物的逐日变化.观测期间PM_{2.5}的日均值变化范围为18.1~293.0 μg·m⁻³,平均浓度为106.4 μg·m⁻³,夏、秋季节的平均浓度为105.1 μg·m⁻³、108.1 μg·m⁻³,无显著季节变化.从图1中可以明显看出唐山PM_{2.5}处于很高的浓度水平,以WHO过渡时期IT1指导值(日平均75 μg·m⁻³)为参考,在观测期间唐山地区PM_{2.5}污染严重.与2008年京津冀地区PM_{2.5}平均浓度(87.0 μg·m⁻³)和兴隆区域背景站PM_{2.5}平均浓度(53.3 μg·m⁻³)相比,唐山地区PM_{2.5}浓度远高于周边地区,是京津冀地区的细粒子污染重要的源区.在奥运期间唐山

PM_{2.5} 平均浓度为 63.5 μg·m⁻³, 浓度下降显著(图 1) 2008 年 8 月、9 月的 PM_{2.5} 浓度比 7 月有大幅度下降. 由于 PM_{2.5} 粒子体积小、重量轻和数量多, 使得干湿沉降去除方式效率不高, 这使得 PM_{2.5} 在大气中

停留时间长, 输送距离远, 影响范围大^[17], 唐山 PM_{2.5} 浓度也是受周边地区 PM_{2.5} 排放的影响. 因此, 奥运期间北京与周边地区协同减排对唐山地区 PM_{2.5} 浓度下降也有一定的贡献.

表 1 2007 年和 2008 年各大气污染物统计 /μg·m⁻³

Table 1 Statistics of atmospheric pollutant in Tangshan during 2007 and 2008 /μg·m⁻³

监测时段	NO	NO ₂	O ₃	O _{3,1h max}	O _x	SO ₂	PM _{2.5}
夏季平均	5.4 ± 3.9	39.2 ± 10.0	73.0 ± 24.5	153.9 ± 50.9	112.0 ± 27.1	44.8 ± 31.1	105.1 ± 46.5
秋季平均	10.3 ± 6.8	42.7 ± 11.6	44.2 ± 23.3	114.6 ± 56.5	87.2 ± 27.8	52.2 ± 25.2	108.1 ± 61.8
2007 夏季	9.2 ± 3.9	41.7 ± 7.6	66.7 ± 16.8	157.8 ± 42.5	108.4 ± 17.0		109.8 ± 26.4
2007 秋季	10.2 ± 5.1	46.0 ± 8.9	46.4 ± 25.8	123.5 ± 61.4	92.7 ± 29.3		150.9 ± 58.1
2008 夏季	4.5 ± 3.4	38.6 ± 10.5	74.6 ± 25.8	153.0 ± 52.8	112.8 ± 29.1	44.8 ± 31.1	103.9 ± 50.3
2008 秋季	10.4 ± 7.8	40.4 ± 12.6	42.4 ± 21.4	108.3 ± 52.5	83.2 ± 26.2	52.2 ± 25.2	91.9 ± 62.4
2007-08	9.2 ± 3.9	41.7 ± 7.6	66.7 ± 16.8	157.8 ± 42.5	108.4 ± 17.0		109.8 ± 26.4
2007-09	8.8 ± 4.2	46.7 ± 9.5	54.1 ± 24.6	143.1 ± 56.0	100.8 ± 28.5		150.9 ± 58.1
2007-10	13.9 ± 5.5	44.1 ± 5.8	22.1 ± 14.7	66.7 ± 37.0	69.1 ± 16.3		
2008-06	4.3 ± 4.5	42.4 ± 9.5	85.7 ± 17.5	163.9 ± 41.8	128.1 ± 20.2	66.0 ± 37.2	99.2 ± 36.3
2008-07	3.9 ± 2.3	34.1 ± 9.3	75.2 ± 26.4	149.5 ± 51.5	108.8 ± 30.8	30.5 ± 21.4	126.3 ± 61.8
2008-08	5.4 ± 2.9	39.4 ± 11.1	63.1 ± 27.6	145.9 ± 62.8	100.5 ± 31.0	38.5 ± 21.1	86.2 ± 41.4
2008-09	5.8 ± 3.6	37.3 ± 7.5	51.8 ± 22.0	122.8 ± 53.7	89.1 ± 25.1	47.4 ± 22.6	72.9 ± 35.5
2008-10	15.1 ± 8.1	43.6 ± 15.8	31.3 ± 14.3	91.0 ± 46.2	76.2 ± 26.2	58.1 ± 27.4	111.6 ± 77.2
奥运时段	6.3 ± 3.2	42.8 ± 8.3	56.9 ± 23.6	131.9 ± 54.8	99.7 ± 22.0	35.2 ± 20.1	63.5 ± 28.6

O₃ 是光学产物, 浓度的变化显著受到紫外辐射强度的影响^[16,18]. 观测期间唐山 O₃ 日均浓度变化范围为 9.0 ~ 136.6 μg·m⁻³, 夏秋季节日平均浓度分别为 73.0 μg·m⁻³ 与 44.2 μg·m⁻³, 与北京周边观测结果的相比, 唐山臭氧污染不算严重^[19], 这可能是唐山的 NO、SO₂ 等还原性物质浓度高于周边区域, 另外唐山高浓度的 PM_{2.5} 在一定程度上阻挡太阳紫外辐射, 也相应阻碍了 O₃ 的生成. 前体物对 O₃ 更具体的影响还需要进一步研究, 没有明确结论. 图 1 显示 O₃ 随着光化学反应的减弱, O₃ 浓度秋季浓度显著低于夏季. O₃ 与 O_{3,1h max} 在 2008 年 6 月最高, 7、8 月与 6 月相近, 维持在较高水平, 9 月开始明显降低.

唐山 NO₂ 在观测期间日平均浓度在 12.4 ~ 70.0 μg·m⁻³ 之间变化, NO₂ 的日平均浓度低于国家空气质量二级标准. 从图 1 中可以看出 NO₂ 无明显的季节变化, 观测期间维持在 39.5 μg·m⁻³ 左右, 表明唐山地区夏秋季节 NO₂ 源排放变化较小, 主要来源于机动车排放. NO 浓度日均值变化范围为 1.0 ~ 32.6 μg·m⁻³, 观测期间平均浓度为 7.7 μg·m⁻³. NO 秋季浓度显著高于夏季, NO 在 2008 年 10 月均值可达 15.1 μg·m⁻³, 这与秋季光化学反应减弱, NO 光化学反应汇减少, 且随着秋季生物秸秆焚烧的增加, NO 源排放增加相关^[20,22], NO 的

季节变化与北京 NO 变化较为相似^[19], 表明京津冀地域的夏秋季节 NO 浓度变化受到光化学反应减弱与生物质燃烧增强的控制. 另外大气氧化性是 NO₂ + O₃ 浓度的综合, O_x 在一定程度上代表了大气的氧化能力也反映了大气的污染状况. 图 1 所示在观测期间大气氧化性浓度 O_x 日均值在 41.4 ~ 176.4 μg·m⁻³ 之间变化, 因为唐山 NO₂ 长期变化不明显, 所以唐山 O_x 变化由 O₃ 的变化决定, 也存在着明显的季节性变化, 秋季大气氧化性降低使得 2007、2008 年 10 月的 NO 浓度比其他月有明显的升高.

观测期间 SO₂ 仅在 2008 年 6 月 9 日超出国家二级标准. SO₂ 日平均浓度变化范围为 7.2 ~ 166.5 μg·m⁻³, 观测期间平均值为 47.5 μg·m⁻³, 远高于同时期区域本底站兴隆的浓度水平(平均浓度为 12.3 μg·m⁻³). 图 1 结果显示 2008 年 6 月 SO₂ 浓度维持高值, 7 ~ 9 月浓度显著下降, 10 月又恢复至 6 月水平, 一方面由于大气氧化性(O_x) 的降低, 另一方面 SO₂ 浓度变化易受到气象条件影响, 北方地区秋季比夏季高^[23,24], 由于唐山 SO₂ 主要来自工业排放, 这种变化表明为了保障奥运会的顺利召开, 唐山严格实行了北京周边的奥运减排措施, 于 2008 年 7 ~ 9 月加大 SO₂ 排放的管控力度, 与 6 月和 10 月相比 SO₂ 浓度大幅度下降. <http://www.cnki.net>

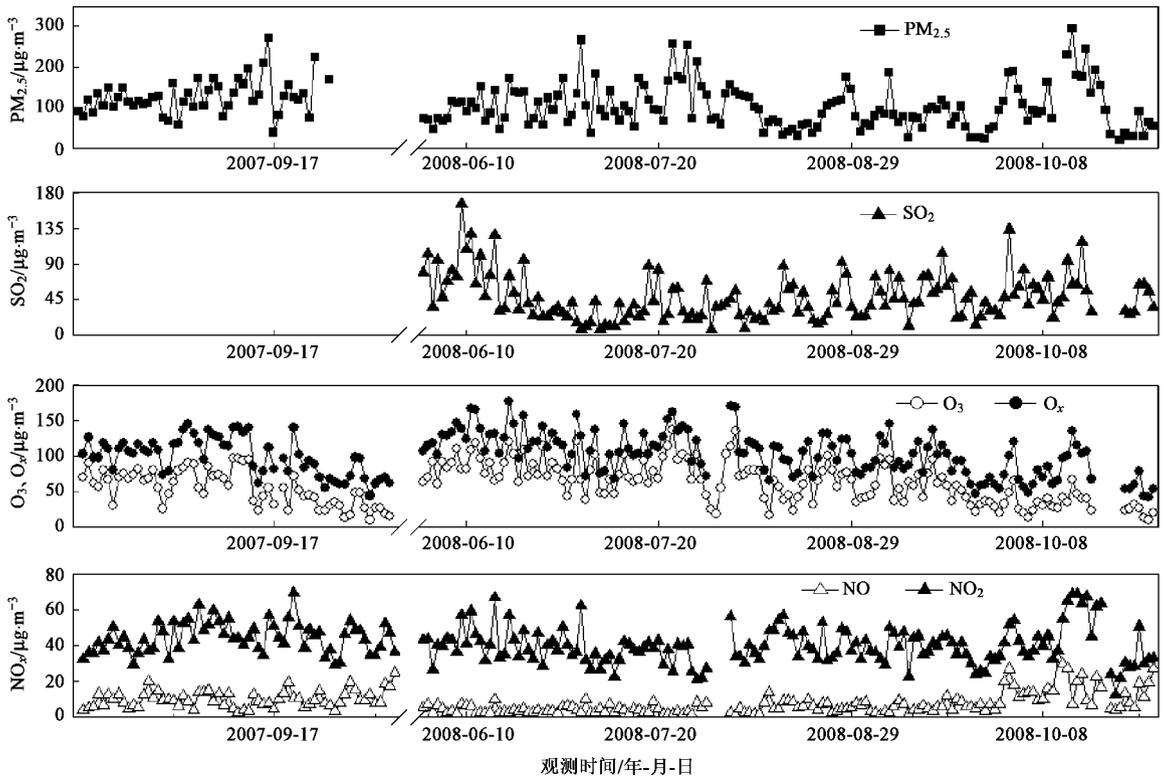


图1 唐山污染物 2007 年和 2008 年逐日变化

Fig.1 Variations of atmospheric pollutant in 2007 and 2008

2.2 污染物夏秋季日变化分析

为了进一步了解唐山大气污染物的时间变化特征,在图2中统计了夏秋季节污染物的日变化趋势.总体而言,观测的4种污染物在夏秋季节日变化的趋势存在一定的相似性,但峰值、低值产生的时间、大小上存在一定的差异.

PM_{2.5}上午与夜晚浓度较高,午后浓度最低.这是因为凌晨时候地面气温较低,近地逆温层形成使得PM_{2.5}逐渐积累,上午工厂开工、人类活动加剧,增加了PM_{2.5}的排放.随着气温升高,混合层高度增加,大气的对流输送利于污染物的扩散,使得午后PM_{2.5}浓度达到每日最低值.傍晚下班高峰和温度下降大气近地层结构稳定使得PM_{2.5}开始积累,在晚间出现高值.唐山PM_{2.5}夏季和秋季日变化趋势略有不同,秋季PM_{2.5}日变化呈明显的双峰型,峰值出现在07:00和19:00,值分别为152.4 µg·m⁻³和107.7 µg·m⁻³.夏季PM_{2.5}也在07:00出现峰值为134.3 µg·m⁻³,在夜晚22:00出现第2个峰值为102.9 µg·m⁻³.秋季PM_{2.5}日变化比夏季显著可能是秋季比较干燥的缘故,因为仪器RP1400a是采用微量振荡天平法的原理测量PM浓度,大气相对湿度高,测

量的粒子浓度也高^[23].唐山夏季中午前后盛行暖湿的偏南风,湿度较高(夏季14:00平均相对湿度为80%,秋季为73%),且夏季午后气-粒转换加强,从而可能导致夏季中午前后PM_{2.5}浓度比秋季高.奥运期间PM_{2.5}没有明显日变化,在上午下午没有出现明显的峰值,说明减排措施效果明显.工厂是唐山地区PM_{2.5}的主要源,一旦控制减排,PM_{2.5}浓度会有显著下降,减排措施可以作为改善唐山大气质量的有效手段.

O₃是二次光化学污染物,浓度主要受太阳辐射的影响.唐山O₃的日变化呈单峰变化,夏季和秋季在15:00时出现峰值,平均浓度分别为137.2 µg·m⁻³和116.4 µg·m⁻³.在日出(06:00前后)以前O₃由于与逆温层中汽车排放的NO反应不断的消耗前日的积累量,在日出前形成低值区,日出后随着NO₂的光化学分解反应O₃浓度逐渐升高,直到15:00左右出现峰值.O_x和O₃的日变化基本一致,夜间浓度维持在较低水平,日出后迅速升高,在午后达到最高值,夏季和秋季峰值出现在14:00时,浓度分别为163.3 µg·m⁻³和133.8 µg·m⁻³.奥运期间的O₃和O_x浓度大小在夏秋季之间,变化趋势相同,

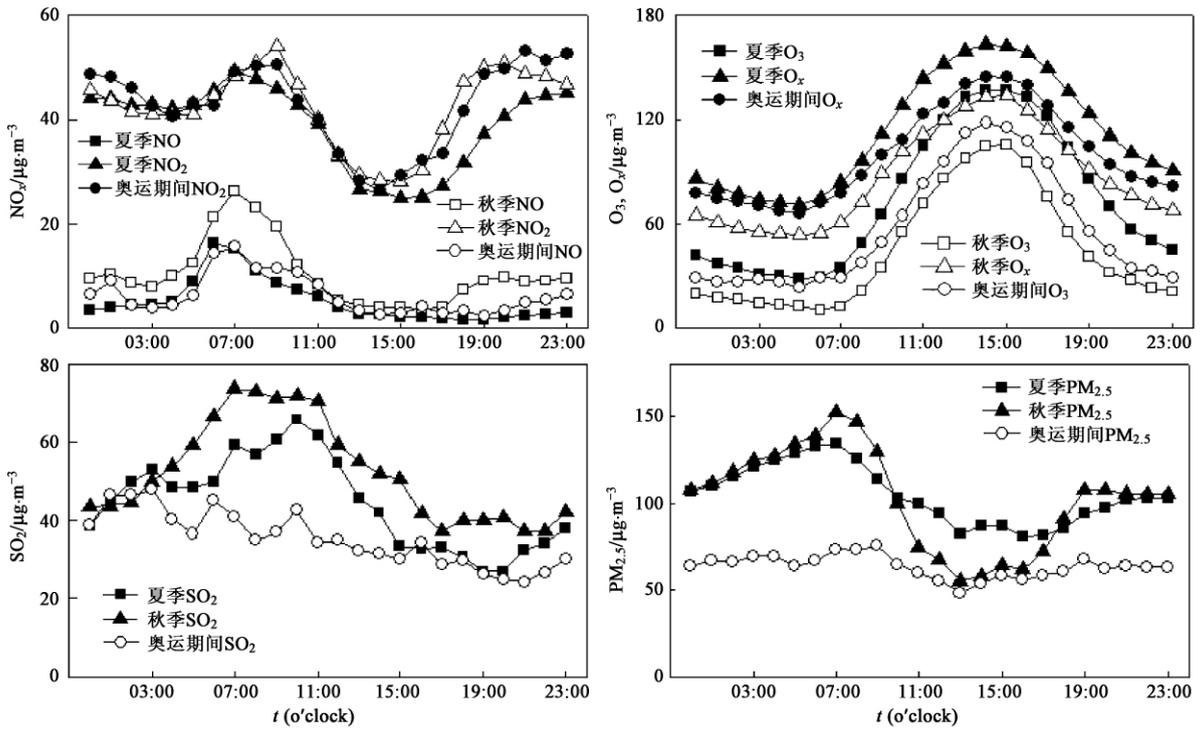


图2 污染物夏秋季日变化

Fig. 2 Diurnal variation of atmospheric pollutant during summer and autumn

减排措施对于 O_3 浓度的影响不如 $\text{PM}_{2.5}$ 的显著.

唐山 NO_x 主要源于汽车尾气排放,汽车尾气的排在上下班高峰期与其他时间有差别,早上上班高峰期车流量增大,混合层还未发展加之光学反应较弱的共同作用使得 NO 在上午出现峰值,夏季 NO 峰值在 06:00,秋季在 07:00,夏季比秋季出现峰值早的原因是夏季混合层发展时刻较早, NO 积累的时间比秋季少的缘故. 11:00~16:00 之间混合层的发展抬升和 O_3 的滴定作用,使 NO 浓度维持低值. 18:00 以后近地面稳定层形成,虽然 NO 有下班高峰期的排放,但由于白天积累 O_3 的持续滴定作用, NO 小幅度累积上升. 秋季 NO 上升幅度比夏季明显的原因是秋季 O_3 浓度比夏季低,滴定效果弱于夏季, NO 转化少. 整体上秋季 NO 浓度显著高于夏季,主要由于秋季唐山乃至整个华北地区生物质燃烧的增加了 NO 排放,同时光化学反应减弱了 NO 汇,从而导致区域 NO 浓度的整体偏高. 唐山 NO_2 的日变化呈现双峰型,夏季早高峰出现在 07:00 左右,秋季出现在 09:00 左右,也是由于上班高峰机动车排放以及夏秋季节近地面混合层发展时间不同所致;随着混合层的不断抬升,在对流发展最旺盛的 15:00 左右, NO_2 浓度出现最低值. 傍晚随着近地层逆温层的形成,下班高峰期的车辆排放以及工业排放的累积

使得入夜后 NO_2 浓度又开始累积. 奥运期间 NO 与 NO_2 的变化与夏秋季节相比差别不大,因为唐山并未实行车辆限行,源没有大变化所致.

图 3 给出夏季和秋季的白天夜晚, NO 、 NO_2 和 O_3 质量浓度随着 NO_2 质量浓度变化. 夏季和秋季的 NO_x 整体变化较小,白天与夜晚 O_3 有较大变化. 夏秋季节 O_3 与 NO_x 的相关性较差,可能是唐山地区臭氧光化学反应中的其他前体物-挥发性有机物对臭氧浓度贡献较大,这与其他非工业城市(NO_x 以汽车排放为主)的观测研究结果相似^[25,26],表明唐山的 NO_x 污染的主要源也是汽车尾气排放.

在夏秋季节(非采暖季节),唐山地区 SO_2 的日变化主要受混合层高度、山地平原风及海陆风日变化共同作用影响. 上午随着混合层高度抬升、海陆风和平原风的加强,将唐山东南部工业园区的 SO_2 向市区方向输送,这导致上午时段,观测的 SO_2 浓度维持高值;随着中午及午后对流旺盛,区域与高空混合加强,使得 SO_2 逐步下降;傍晚,随着夜间稳定层的形成,扩散减弱, SO_2 积累上升. 夏季浓度整体低于秋季浓度,这与奥运期间唐山地区 SO_2 管控力度增强有关,奥运期间 SO_2 日变化不明显,一直维持在较低值,与 $\text{PM}_{2.5}$ 的日变化相似,说明减排对 SO_2 浓度的降低起到了很大作用,通过控制钢铁、水泥工厂的

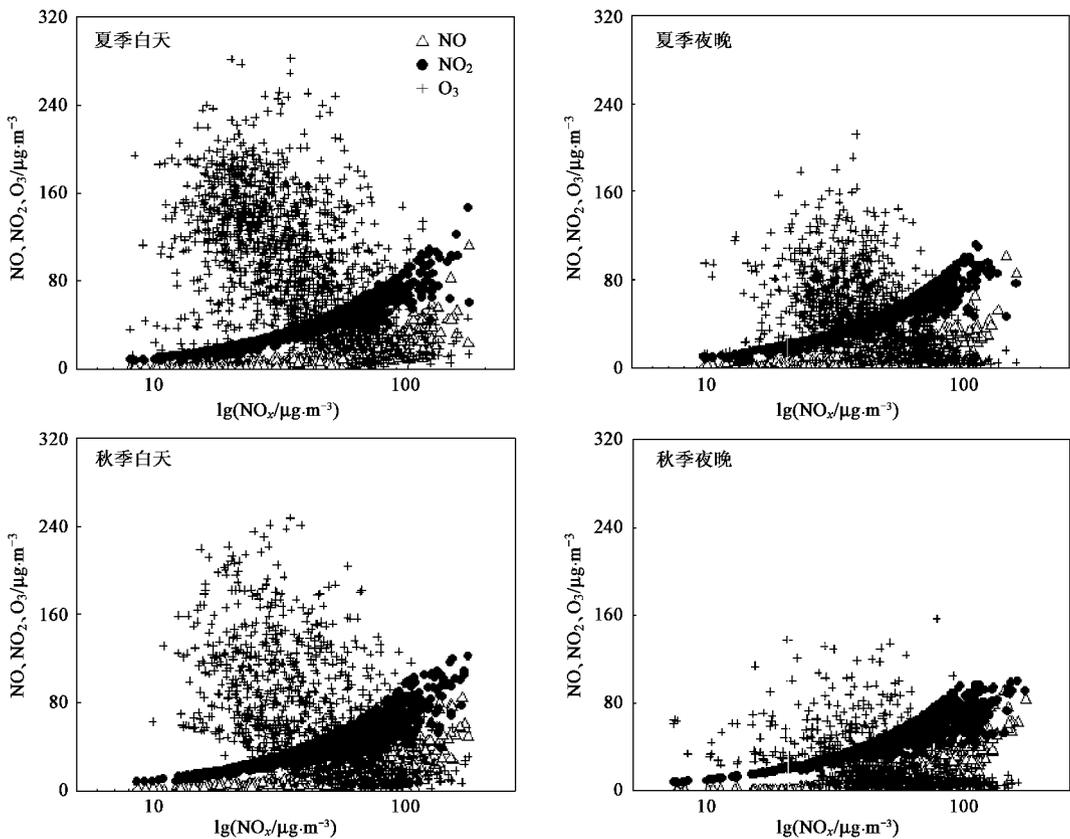


图3 夏季秋季 NO_x、O₃ 浓度变化关系

Fig.3 Variations of NO, NO₂ and O₃ with the level of NO_x during summer and autumn

排放能有效控制唐山地区大气中 SO₂ 的浓度水平.

2.3 奥运期间唐山大气污染物的浓度变化及对北京大气质量影响分析

图4给出了唐山在奥运时段和非奥运时段大气污染物的变化状况.可以看出 NO、O₃ 依旧有明显的季节性变化,NO₂ 浓度维持在 39.5 μg·m⁻³ 左右,奥运时段 NO_x、O₃ 浓度变化较小. SO₂ 和 PM_{2.5} 奥运时段浓度下降显著,其中 SO₂ 在 7~9 月中由于受减排措施影响,7 月浓度比 6 月降低了 53.8% (表 1); PM_{2.5} 在奥运期间浓度比奥运前和奥运后分别降低了 43.9% 和 34.3%. 这表明奥运期间唐山地区对 SO₂ 和 PM_{2.5} 的减排采取了积极有效的措施,为北京及周边地区大气污染物浓度的降低做出了重要的贡献.

分析唐山和北京在奥运的 17 d 每日 08:00 后向轨迹图和前向轨迹图,发现在 11、12、13、14、17 日北京受到经过唐山的气团影响(见图 5),清楚显示这 5 d 到达北京的气团都经过唐山.鉴于 PM_{2.5} 在大气中存在时间长,输送距离远,这里采用 PM_{2.5} 作为污染物示踪代表,通过比较唐山和北京 120 m 铁

塔的同步观测资料进行比较来分析唐山对北京大气的影 响(见图 6). 在 11~14 日的过程中,11、12 日唐山降大雨,总降水量为 80 mm,唐山地区污染物清除比较彻底,加之排放量的下降,因此经过唐山的气团相对洁净;当气团输送至北京时,未出现明显的污染物积累.13、14 日唐山受东北方向气团的影响,污染物有一定程度的上升,受此影响北京污染物浓度也上升,PM_{2.5} 小时均值最大值达到了 151.9 μg·m⁻³. 在 17 日唐山有 31 mm 的降水并受到从东面海上过来的清洁气团的影响,原先有一定积累的污染物被有效地清除,经过唐山到达北京的气团依旧相对洁净,未对北京大气造成坏的影响.总之在奥运期间,在几次唐山影响北京的天气过程中,因降水过程对唐山污染物进行了有效的清除,加上唐山地区对污染物的管控,使得经过唐山的气团相对洁净,对北京大气并未造成坏的影响,而且一定程度上还起到了清洁作用.

3 结论

(1) 夏秋季节唐山地区细粒子 PM_{2.5} 污染严重,

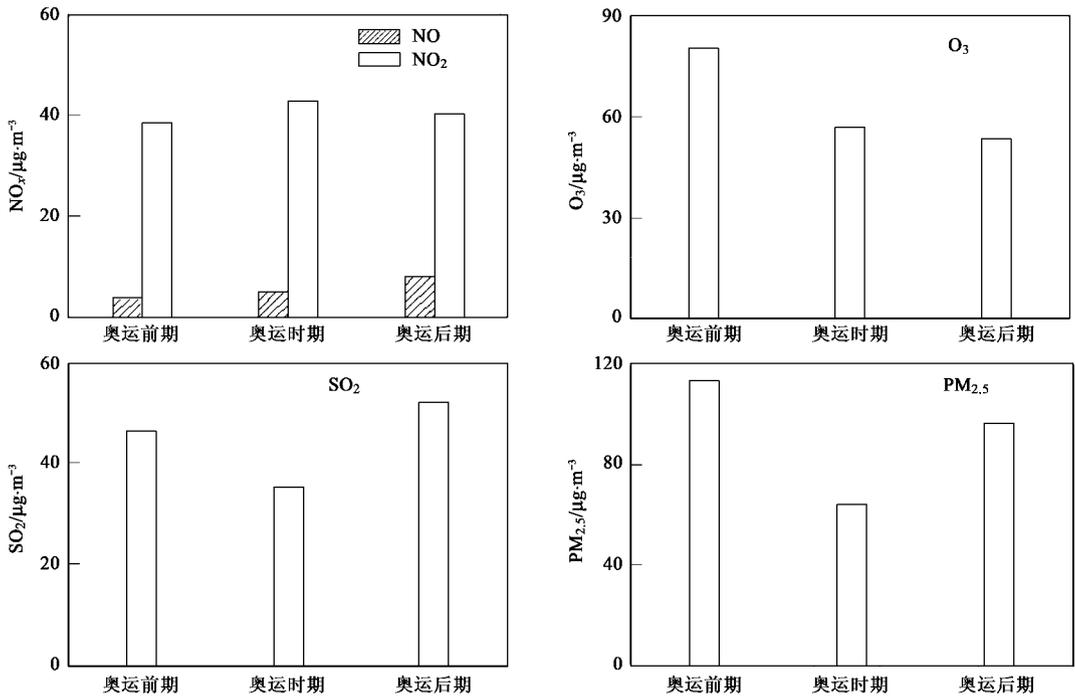


图 4 污染物奥运时段和非奥运时段的比较

Fig. 4 Variations of pollutant in periods of before Olympics , Olympics and after Olympics

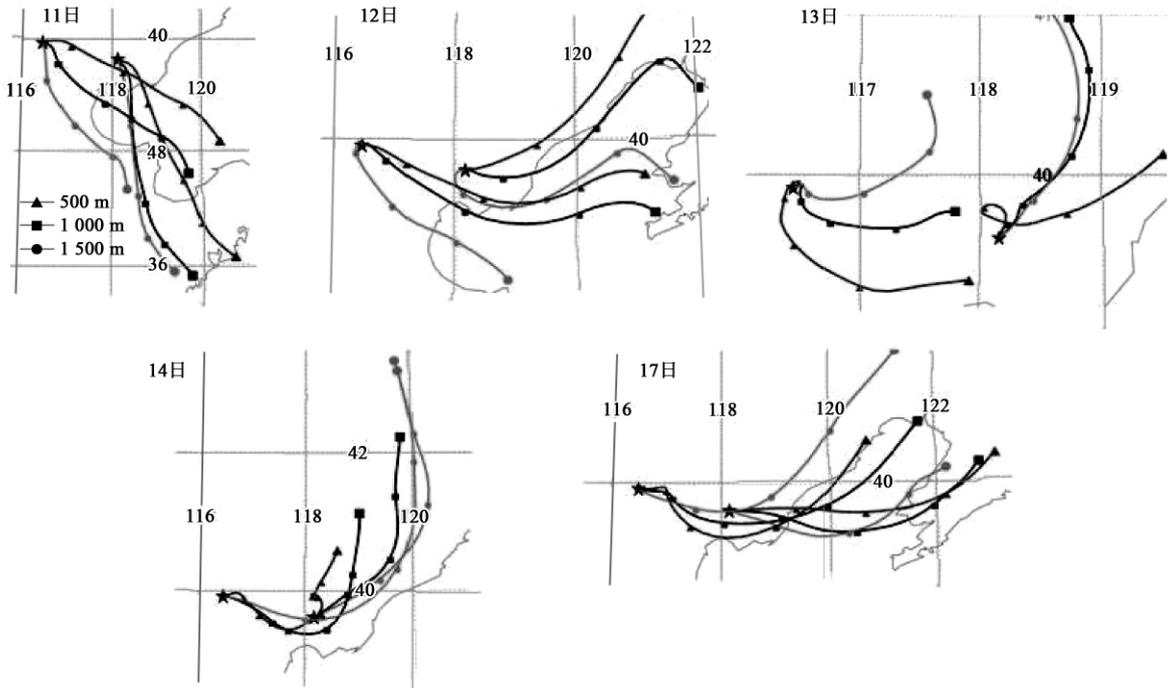


图 5 2008年8月唐山到北京的24h向后轨迹图

Fig. 5 24 hours backward trajectories from Tangshan to Beijing in August , 2008

表现为京津冀地域的细粒子高污染排放源区;大气 O₃ 较北京及区域浓度低 ,O₃ 与 NO_x 的相关性较差 ,但排放的前体物对臭氧生成的影响程度还需进一步

研究;唐山大气中 NO_x、SO₂ 浓度高于周边地区 ,但仍低于国家的二级标准 ,NO₂ 主要源于汽车尾气排放 ,浓度长期稳定在一定水平 ,季节变化小

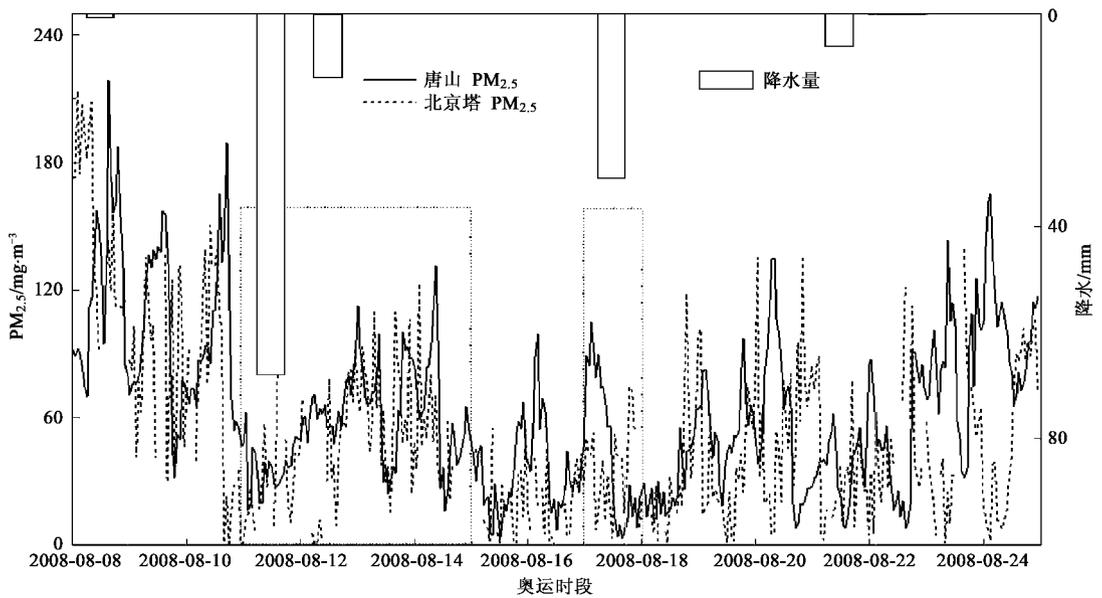


图 6 2008 年奥运期间唐山和北京 $PM_{2.5}$ 对比

Fig. 6 Comparison of $PM_{2.5}$ between Tangshan and Beijing during Olympics, 2008

(2) 夏秋季的 $PM_{2.5}$ 日变化呈双峰型, 受温度和湿度的影响, 夏季中午 $PM_{2.5}$ 浓度高于秋季. 奥运期间受减排影响, SO_2 和 $PM_{2.5}$ 没有明显日变化; O_3 和 NO_x 日变化趋势基本不受减排措施的影响.

(3) 与 2007 年同时段相比, 2008 年的 NO_x 、 SO_2 、 $PM_{2.5}$ 浓度均有不同程度下降, 另外 2008 年的奥运期间的 SO_2 与 $PM_{2.5}$ 浓度比非奥运期间有显著下降, 未对北京大气质量造成任何不利影响, 说明唐山在奥运时期的减排措施效果明显, 可以作为改善唐山空气质量的有效手段.

致谢: 大气物理研究所的潘月鹏对研究工作提出意见和建议, 唐山理工大学的胡晨光、苗小磊对观测工作提供了大力帮助和支持, 在此表示感谢!

参考文献:

[1] Viana M, Querol X, Alastuey A. Characterising exposure to PM aerosols for an epidemiological study [J]. *Atmos Environ*, 2008, **42**(7):1552-1568.

[2] Oudinet J P, Meline J, Chelmiccki W, et al. Towards a multidisciplinary and integrated strategy in the assessment of adverse health effects related to air pollution: The case study of Cracow (Poland) and asthma [J]. *Environ Pollut*, 2006, **143**(2):278-284.

[3] 谢娟, 刘涛, 陆小安, 等. 广州市 SARS 传播与空气污染相关性研究 [J]. *安全与环境学报* 2004 **4**(3):73-76.

[4] 王燕侠, 牛静萍, 丁国武, 等. 空气污染对中小学生呼吸系统健康状况影响 [J]. *中国公共卫生*, 2007, **23**(6):666-668.

[5] 童尧青, 银燕, 钱凌, 等. 南京地区霾天气特征分析 [J]. *中国环境科学* 2007 **27**(5):584-588.

[6] 於方, 过孝民, 张衍霖. 2004 年中国大气污染造成的健康经济损失评估 [J]. *环境与健康杂志*, 2007 **24**(12):999-1003.

[7] 孙小莉, 李生才, 曾庆轩, 等. 城市空气污染及防治对策 [J]. *安全与环境学报* 2008 **8**(4):73-76.

[8] Zelm R V, Huijbregts M A, Hollander H A, et al. European characterization factors for human health damage of PM_{10} and ozone in life cycle impact assessment [J]. *Atmos Environ*, 2008, **42**(3):441-453.

[9] Streets D G, Fu J S, Jang C J, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games [J]. *Atmos Environ*, 2007, **41**(3):480-492.

[10] Hao J M, Wang L T. Improving urban air quality in China: Beijing case study [J]. *Air Waste Manage Assoc*, 2005, **55**:1298-1305.

[11] Aneja V P, Agarwal A, Roelle P A, et al. Measurements and analysis of criteria pollutants in New Delhi, India [J]. *Environ Internat*, 2001, **27**(1):35-42.

[12] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution [J]. *Environ Pollut*, 2008, **151**(2):362-367.

[13] 刘吉福. 空气中悬浮颗粒物与呼吸系统疾病关系研究进展 [J]. *环境与健康杂志*, 2007, **24**(11):933-935.

[14] West J J, Szopa S, Hauglustaine D A. Human mortality effects of future concentrations of tropospheric ozone [J]. *Comp Rend Geos*, 2007, **339**(11-12):775-783.

[15] 马志强, 王跃思, 孙扬, 等. 北京市与香河县大气臭氧及氮氧化物的变化特征 [J]. *环境化学* 2007 **26**(6):832-837.

[16] 世界卫生组织. 关于颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则 [M]. (2005 年全球更新版). 瑞士, 2005.

[17] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 夏季持续高温天气对北京市大气细粒子 ($PM_{2.5}$) 的影响 [J]. *环境科学* 2002 **23**(4):33-36.

[18] Johnson G M. A simple model for predicting the ozone

- concentration of ambient air [C]. Proceeding of the 8th International Clean Air Conference, 1984. 715-731.
- [19] 安峻琳,王跃思,李昕,等. 北京大气中 SO_2 、 NO_x 、CO 和 O_3 体积分数变化分析[J]. 生态环境, 2007, 16(6):1585-1589.
- [20] 曹国良,张小曳,王亚强,等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算[J]. 科学通报, 2007, 52(15):1826-1831.
- [21] 粮小洛,曹国良,黄学敏. 中国区域氮氧化物排放清单[J]. 环境与可持续发展, 2008, 6:19-22.
- [22] 田贺中,郝吉明,陆永琪,等. 中国生物质燃烧排放 SO_2 、 NO_x 量的估算[J]. 环境科学学报, 2002, 22(2):204-208.
- [23] 张凯,王跃思,温天雪,等. 北京夏末秋初大气细粒子中水溶性盐连续在线观测研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(3):459-465.
- [24] 温天雪,王跃思,张凯. 采暖季北京大气 PM_{10} 中硫酸盐与硫酸化率的观测研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5):584-589.
- [25] Mazzeo N A, Venegas L E, Choren H. Analysis of NO , NO_2 , O_3 , and NO_x concentrations measured at a green area of Buenos Aires City during wintertime [J]. Atmos Environ, 2005, 39(17):3055-3068.
- [26] 安俊琳,王跃思,李昕,等. 北京大气中 NO 、 NO_2 和 O_3 浓度变化的相关性分析[J]. 环境科学, 2007, 28(4):706-711.