

奥运时段北京及近周边区域空气污染观测与比对分析

孙志强¹, 吉东生², 宋涛², 凌宏², 王跃思^{2*}, 江长胜¹

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要:为研究奥运时段北京与近周边区域空气质量的相互影响, 评价区域污染源协同减排对奥运时段北京空气质量的作用, 寻求北京空气污染预警的有效途径, 2008-06-01 ~ 2008-10-03 在北京奥运村以及近周边的河北涿州、廊坊、香河、燕郊进行了空气污染联网观测. 结果表明, 夏秋季节北京和近周边首要污染物均为颗粒物, 北京和周边可吸入颗粒物(PM_{10})平均质量浓度分别为 $(114 \pm 66) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $(128 \pm 59) \mu\text{g}/\text{m}^3$; 细粒子($PM_{2.5}$)质量浓度则分别为 $(77 \pm 47) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $(81 \pm 51) \mu\text{g}/\text{m}^3$; 臭氧质量浓度小时最大值的平均分别为 $(164 \pm 52) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $(165 \pm 55) \mu\text{g}/\text{m}^3$; NO_x 分别为 $(58 \pm 23) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $(25 \pm 14) \mu\text{g}/\text{m}^3$. 相对于 6 月, 奥运会时段(8 月 8 日 ~ 8 月 24 日)北京地区 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、 NO_x 的浓度分别下降 69%、62%、18% 和 41%, 残奥会时段(9 月 6 日 ~ 9 月 17 日) PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、 NO_x 的浓度分别下降 56%、49%、17% 和 16%. 北京大气中细粒子浓度受周边影响严重, 而 NO_x 有向周边扩散的潜势, 夏季臭氧则表现出区域污染的特征. 结合气象要素分析表明, 近周边区域联网观测, 有助于北京空气质量预警研究, 并可为区域协同防控空气污染提供科学支撑.

关键词: 奥运; 北京; 近周边; 空气质量; 污染物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 O_3 和 NO_x)

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)12-2852-08

Observations and Comparison Analysis of Air Pollution in Beijing and Nearly Surrounding Areas During Beijing 2008 Olympic Games

SUN Zhi-qiang¹, JI Dong-sheng², SONG Tao², LIN Hong², WANG Yue-si², JIANG Chang-sheng¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to study regional air quality, evaluate the interaction of air quality among Beijing and four cities and assess the effects of regional collaborative emission abatement in Beijing and surrounding areas for the Olympic Games period on regional air quality, and seek an effective means of early warning of air pollution, a monitoring network on observation of atmospheric pollutants in Beijing and four nearby cities which were Zhuozhou, Langfang, Xianghe and Yanjiao, was established to measure concentrations of NO_x , O_3 and particulate matter in June 2008. The results show that the primary pollutants in Beijing and nearly surrounding areas are particulates during the study periods. The average mass concentrations of PM_{10} were $(114 \pm 66) \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $(128 \pm 59) \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Beijing and nearby cities, respectively, while the average mass concentrations of $PM_{2.5}$ were $(77 \pm 47) \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $(81 \pm 51) \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The average maximum hourly mass concentrations of O_3 were $(164 \pm 52) \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $(165 \pm 55) \mu\text{g}/\text{m}^3$, as well as the average mass concentrations of NO_x were $(58 \pm 23) \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $(25 \pm 14) \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Beijing and nearby cities, respectively. Compared to June, concentrations of PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_x decreased by 69%, 62%, 18% and 41% during the Olympic period (from August 8 to 24) and 56%, 49%, 17% and 16% during the Paralympic Games period (from September 6 to 17) in Beijing. The mass concentration of $PM_{2.5}$ was affected by the surrounding areas of Beijing seriously. The relative high concentrations of NO_x in Beijing implied NO_x had the potential tendency to be transported to the surrounding areas. Ozone showed regional pollution characteristics in summer. It shows that the monitoring network on observation of atmospheric pollutants in Beijing and nearly surrounding areas is significant in early warning of air pollution, and could provide scientific support for interregional cooperation of air pollution control.

Key words: Olympic Games; Beijing; nearly surrounding areas; air quality; pollutant (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 and NO_x)

作为中国的首都, 北京的空气质量已受到国内外广泛关注. 特别是 2008 年第 29 届夏季奥运会在北京举行, 更使其空气质量问题成为全世界关注的焦点. 之前, 国内学者通过对北京空气质量所做的大量研究发现^[1~9], 近 20 年来, 北京空气中的 SO_2 和降尘总量显著下降, 而 NO_x 、 CO 和 O_3 浓度有所上升, 空气污染处于由煤烟型向机动车尾气型转变的

过程中, 表现出典型的区域复合污染特征^[10~13]. 在不利的气象条件下, 北京与近周边城市污染扩散混

收稿日期: 2010-01-19; 修订日期: 2010-03-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2007CB407303); 北京市科委科技重大专项(D09040903670902)

作者简介: 孙志强(1983 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气化学, E-mail: sunzhiqiang2008@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

合或羽流交汇,极易造成区域性大范围污染事件.而局地或阶段性减排措施的效果,往往被区域协同高污染事件掩盖,尤其是对于 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 等区域性污染物,难以从北京市独自的减排措施收到理想的效果^[14].刘洁等^[15]研究了北京城区对本底地区空气质量的影响,指出城区输送是本底地区污染物的重要来源;于娜等^[16]通过对北京城区和郊区大气细粒子中有机污染物进行源解析指出,北京与周边地区体现了区域性污染特征.

北京处在华北平原最北端,外来污染物极易在山前堆积形成污染事件,因此,与北京周边小城市联网观测北京及周边地区空气污染物的浓度及其演变形式,对北京核心地区严重的空气污染事件进行预警就显得十分重要,对进一步研究制定区域空气污染协同防控措施具有科学指导意义.本研究利用2008年奥运时段(夏秋季节)在北京以及西南、东南、东向的涿州、廊坊、香河、燕郊等小城市主要污染物 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 NO_x 进行的连续观测数据,分析了北京与近周边区域空气污染物的关系,并通过典型重度污染过程中5个观测站的污染物浓度变化趋势和峰值出现时间,讨论了利用近周边城市对北京污染事件进行预警的可能途径.

1 材料与方法

1.1 站点位置和观测时间

北京奥运村观测站设置在国家体育场“鸟巢”西北方向1 500 m处中国科学院遥感应用研究所科研楼6层楼顶,距地面25 m,周边观测站点位置参见图1.涿州观测站地处北京西南,距奥运村站直线距离67 km;廊坊观测站位于奥运村站东南58 km;香河观测站位于奥运村站东南偏东57 km;燕郊观测站位于奥运村东37 km.所有观测站点按照EPA选址标准,并对各自所在城市污染的总体情况具有较好的代表性.观测时间为2008-06-01~2008-10-03,观测期间盛行风向为东南、西北风,北京多季节性降水.

1.2 观测方法和QA/QC

大气颗粒物观测仪采用的是石英微量天平原理 $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物在线测定仪(美国 Thermo-Fisher Co. RPI400a),大气 O_3 和 NO_x 观测仪器为同一公司产品(49i 紫外光度法 O_3 分析仪和 42i 化学发光法 $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{NO}_x$ 分析仪).观测仪器安装、设置和维护均按照国家环境保护部相关业务标准进行,仪器每周多点标定1次,每天单点自动校核1次;数据通过国际互联网络实时收集,经质量控制后建立数据库.

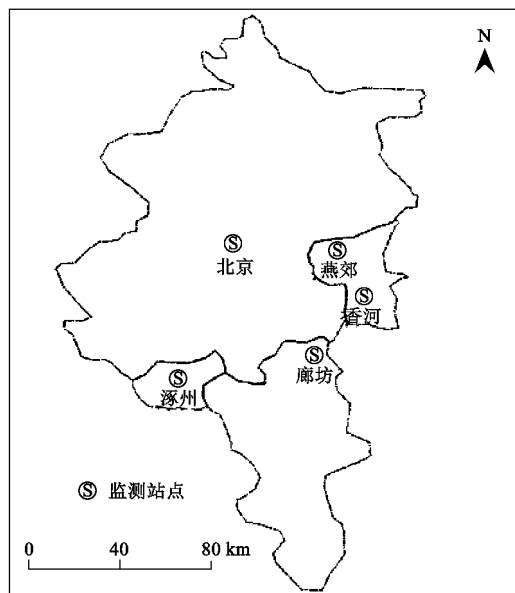


图1 观测点位置示意

Fig.1 Measurements location

在观测站点启动初期,由于电源和仪器故障等原因造成6月部分数据缺失,但鉴于获取数据的时间段内基本没有出现严重的污染过程,也没出现明显降水等特殊天气过程,所获取的数据基本能代表本阶段的平均污染水平.其他时间段数据缺失率较低,控制在5%以下,对较长时间段均值的影响不大,同时笔者也意识到数据缺失导致的不确定性.

2 结果与讨论

2.1 污染物变化特征分析

颗粒物污染是我国大部分地区的主要污染物^[17],整个观测期内 PM_{10} 区域平均浓度为 $(125 \pm 61) \mu\text{g}/\text{m}^3$.各站点(涿州除外,此站点未观测 PM_{10}) PM_{10} 都呈现先降低后升高的总体趋势(图2),6、7月区域内的平均浓度为 $(149 \pm 59) \mu\text{g}/\text{m}^3$,8月降低为 $(94 \pm 49) \mu\text{g}/\text{m}^3$,9月(包括10月1~3日,下同)则升高为 $(123 \pm 56) \mu\text{g}/\text{m}^3$.就北京而言,奥运会阶段 PM_{10} 浓度只有1 d 超过国家《环境空气质量标准》(GB 3095-1996)二级标准($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$),超标率为6%,相对于奥运会前阶段62%的超标率有明显的降低,这主要得益于奥运会阶段北京及周边省市严格的减排措施^[18],另外,8月较多的降水也为低污染天气提供了有利条件^[19~22].

观测期内 $\text{PM}_{2.5}$ 区域平均浓度为 $(80 \pm 50) \mu\text{g}/\text{m}^3$.由图2可看出, $\text{PM}_{2.5}$ 变化趋势与 PM_{10} 基本相同,6、7月污染最为严重,区域内的平均浓度为

(95 ± 52) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8 月为 (67 ± 45) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9 月变化不大, 为 (66 ± 34) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 说明秋季空气中的颗粒物 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 变小. 对比以前的研究^[23,24] 发现, 8 月细粒子污染水平明显低于去年同期. 如图 2 所示, 在奥运会协同减排控制期内的 7 月 25 日前后和严控期内的 8 月 5 日前后, 各观测站的颗粒物均出现了一个较严重的污染过程, 整个区域都处于高颗粒物污染的状态. 此外, 北京、廊坊、香河、燕郊的 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 分别为 0.67、0.71、0.68、0.57, 说明细粒子是颗粒物的主要部分, 并且细粒子更容易引起呼吸道疾病, 危害人类的健康^[25].

观测期内 O_3 小时最大值的平均为 (156 ± 58) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 如图 2 所示, O_3 呈现明显的季节变化特征, 其浓度因 8 月降水的增加和辐射的减弱而呈下降趋势. 6、7 月区域内 O_3 质量浓度小时最大值的平均为

(180 ± 57) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8 月降低为 (149 ± 51) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 秋季随着光化学反应的减弱, 9 月进一步降低为 (128 ± 51) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 以北京为例, 奥运会期间 O_3 超过国家《环境空气质量标准》(GB 3095-1996) 二级标准的天数为 6 d, 超标率为 35.3%, 远低于奥运会以前阶段的 68.2%, 9 月超标天数更少, 远低于夏季超标率.

观测期内 NO_x 区域平均浓度为 (31 ± 20) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 其变化趋势与颗粒物相似. 在 6、7 月, 区域内的均值为 (33 ± 17) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 而 8 月降低为 (24 ± 6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 秋季随着减排措施的逐步取消导致的污染源排放增加, NO_x 浓度升高为 (35 ± 16) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 但在整个观测期间并未出现超出国家《环境空气质量标准》(GB 3095-1996) 二级标准的情况, 说明 NO_x 污染水平基本能维持在较低水平.

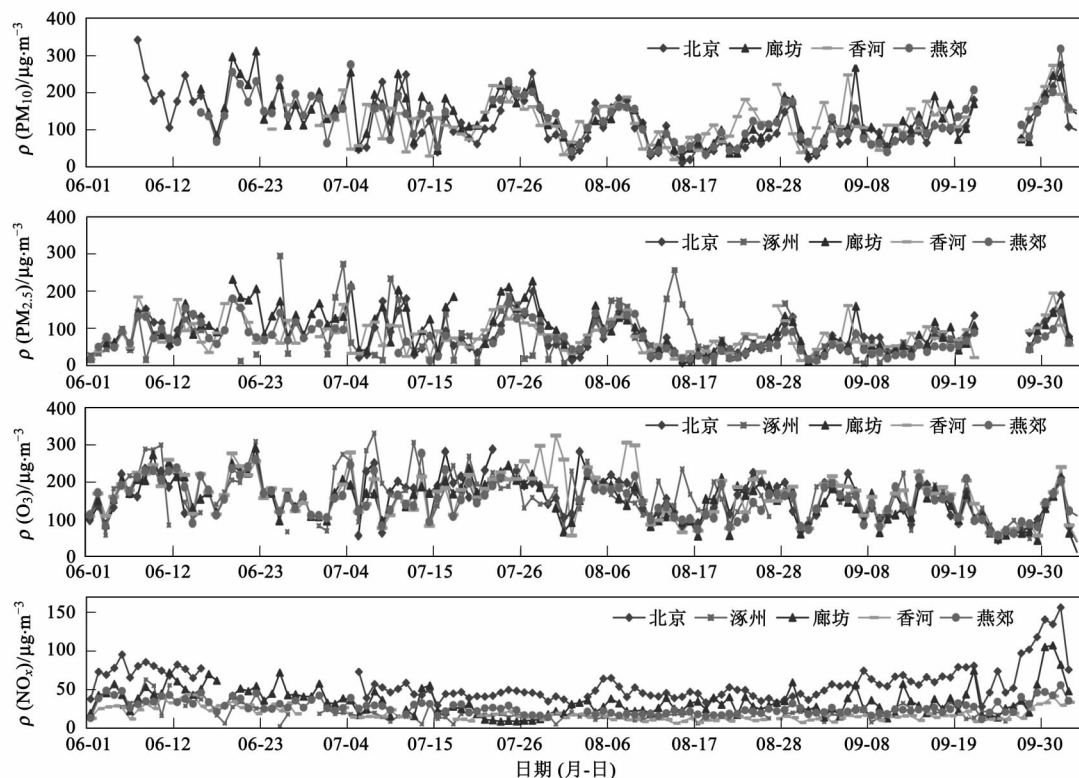


图 2 2008 年北京、涿州、廊坊、香河、燕郊五站点的 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 NO_x 逐日变化对比图

Fig. 2 Daily variations of PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, O_3 and NO_x at Beijing, Zhuozhou, Langfang, Xianghe and Yanjiao stations, in 2008

2.2 奥运前后各时段污染物浓度的变化

为保障 2008 年北京奥运会主场地的空气质量, 北京市政府联合周边省市地区开展了大规模的协同减排措施^[26], 客观评价减排措施的成效, 对于以后工作的开展十分重要.

本研究将观测期分为 6 个阶段: A, 6 月 1 日 ~ 6

月 30 日为未减排时段; B, 7 月 1 日 ~ 8 月 7 日为奥运前减排时段; C, 8 月 8 日 ~ 8 月 24 日为奥运会时段; D, 8 月 25 日 ~ 9 月 5 日为奥运会和残奥会之间的时段; E, 9 月 6 日 ~ 9 月 17 日为残奥会时段; F, 9 月 18 日 ~ 10 月 3 日为残奥会后时段. 整个观测期内, 只有 6 月为未减排时段, 并且气象条件与 7、8 月

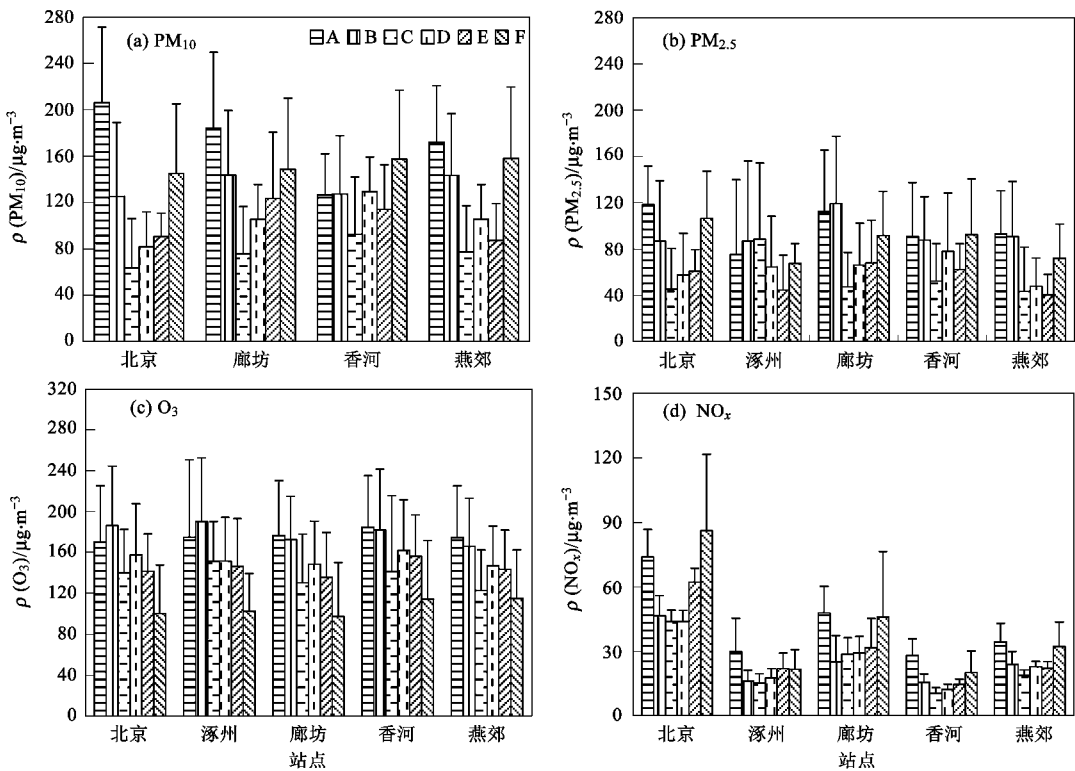
较为接近,最能代表本地区的污染情况,因此用其它减排时段的数据与之对比能较客观评价区域协同减排的成效.

图 3 为 5 个站点各污染物在 6 个阶段的变化情况.由图 3(a)可以看出,北京 PM_{10} 浓度变化幅度非常大,相对于 6 月末减排时段,其他 5 个时段分别降低了 39%、69%、60%、56% 和 30%,尤以奥运会时段降幅最大.近周边其他站点也有不同程度的变化,但各站点各阶段的降幅都小于北京,如廊坊各阶段降幅分别为 22%、59%、43%、33% 和 19%,说明北京实施了更为严格和有效的减排措施.对比北京与近周边站点在相同阶段的 PM_{10} 浓度发现,6 月末减排时段北京高于其它站点,而奥运会时段却低于近周边站点,这也在另一方面说明北京比近周边地区更受惠于此次协同减排措施的实施.由图 3(b)可以看出,北京 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度降幅也十分明显,相对于 6 月,其它 5 个阶段分别降低了 27%、62%、51%、49% 和 10%,而周边站点的降幅却明显小于北京,甚至涿州的 $\text{PM}_{2.5}$ 奥运会时段高于其他时段,说明局地出现了有利于二次粒子形成并不断积累的气象条

件和污染源.无论是可吸入颗粒物还是细粒子,残奥会以后的各时段都未回升到 6 月末减排时段的浓度水平,说明残奥会以后持续采取的一些减排措施对降低空气中颗粒物浓度仍然有较明显作用.

O_3 在各减排时段的变化情况与颗粒物不同.相对于 6 月,北京和涿州的 O_3 在奥运会前的减排阶段有所升高,而廊坊、香河和燕郊都有不同程度的降低.奥运会阶段北京、涿州、廊坊、香河和燕郊 5 个站点的 O_3 都有较大幅度的降低,降幅分别为 18%、14%、26%、23% 和 30%,其浓度甚至低于秋季的残奥会阶段(除涿州外),这除了天气因素导致的光化学反应减弱外,奥运会阶段严格的减排措施导致的前体物浓度的降低也起了重要作用.到残奥会以后的时段,各站点的 O_3 浓度降幅更大,分别为 41%、41%、45%、38% 和 34%.

NO_x 在各减排时段的变化也十分明显,除了残奥会以后,其它 4 个实施了减排措施的时段都比 6 月低很多,如北京降幅分别为 37%、41%、41% 和 16%,说明减排措施尤其是车辆限行措施的实施对北京及近周边区域的 NO_x 的降低贡献非常大.残奥



A. 6 月 1 日~6 月 30 日为未减排时段;B. 7 月 1 日~8 月 7 日为奥运前减排时段;C. 8 月 8 日~8 月 24 日为奥运会时段;D. 8 月 25 日~9 月 5 日为奥运会和残奥会之间的时段;E. 9 月 6 日~9 月 17 日为残奥会时段;F. 9 月 18 日~10 月 3 日为残奥会后时段

图 3 北京、涿州、廊坊、香河、燕郊五站点的 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 NO_x 月平均浓度.

Fig. 3 Monthly variation of PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, O_3 and NO_x at Beijing, Zhuozhou, Langfang, Xianghe and Yanjiao station

会以后,随着限排措施的放宽,加之季节变化的影响,NO_x 浓度水平大幅度提高.

2.3 北京与近周边城市污染物浓度间的关系

2.3.1 北京与近周边城市污染物浓度比较

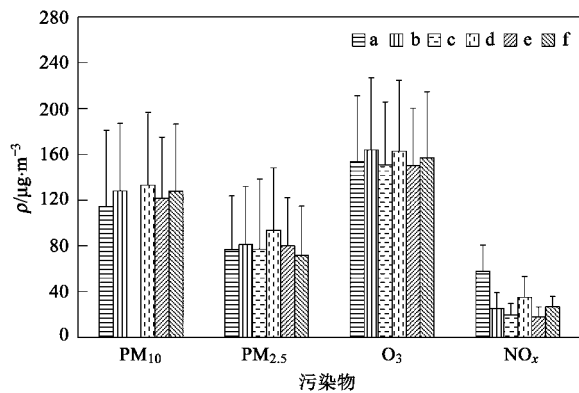
表 1 和图 4 为观测期内各污染物的平均浓度(O₃ 为小时均值最大值的平均).北京 PM₁₀ 浓度为(114±66) μg/m³,比周边均值低 11%,而 PM₁₀ 主要来自化石燃料在交通运输、工业生产和生活中的广泛应用以及建筑扬尘和风扬尘等^[27],这说明一次排放或是扬尘污染北京低于周边地区.由细粒子占可吸入颗粒物的比例(北京为 0.67,周边地区为 0.63),也可以得出相同的分析结果;PM_{2.5} 浓度北京

为(77±47) μg/m³,比周边均值低 5%,说明 PM_{2.5} 在北京及近周边区域造成的污染比较严重,超过或接近 WHO 第一阶段控制阈值 75 μg/m³,并且存在由周边向北京传输的潜势.由此可见,相对于近周边区域,北京细粒子污染比可吸入颗粒物污染更加严重,而周边在控制细粒子污染的同时,仍要首先关注对可吸入颗粒物的控制.北京 O₃ 浓度小时最大值的平均北京为(164±53) μg/m³,与周边几乎相当,在 5 个站点的水平也十分接近;NO_x 浓度北京为(58±23) μg/m³,比周边均值高超过 2.3 倍,由此可得出,在有利天气条件下,北京 NO_x 有向近周边区域扩散的潜势.

表 1 各站点污染物平均浓度¹⁾/μg·m⁻³
Table 1 Average concentrations of pollutant at each station/μg·m⁻³

污染物	北京	周边均值	涿州	廊坊	香河	燕郊
PM ₁₀	114 ± 66	128 ± 59	—	133 ± 63	122 ± 53	128 ± 59
PM _{2.5}	77 ± 47	81 ± 51	77 ± 61	94 ± 54	80 ± 42	72 ± 43
O ₃	164 ± 53	165 ± 55	171 ± 61	160 ± 49	171 ± 58	156 ± 48
NO _x	58 ± 23	25 ± 14	20 ± 10	35 ± 18	18 ± 9	27 ± 9

1) —表示未观测,下同



a. 北京; b. 北京周边; c. 涿州; d. 廊坊; e. 香河; f. 燕郊

图 4 各站点污染物平均浓度

Fig. 4 Average concentrations of each station

2.3.2 北京与近周边城市污染物浓度间相关分析

为确定北京与近周边城市空气污染物之间的关系,利用 SPSS 统计软件对污染物在个城市中的浓度进行相关分析,结果如表 2.

北京、廊坊和燕郊三地空气中 PM₁₀ 的相关性很高,分别为 0.835、0.857、0.882,在 α = 0.01 水平下呈显著正相关,而香河与其它站点之间相关性较弱.同样,北京、廊坊和燕郊三地空气中 PM_{2.5} 的相关性也很强,分别为 0.824、0.820、0.789,在 α = 0.01 水平下呈显著正相关,而涿州和香河与其它站点之

表 2 北京与近周边区域的 PM₁₀、PM_{2.5}、O₃ 和 NO_x 相关分析

Table 2 Correlation analysis of PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ and NO_x between Beijing and nearly surrounding areas

污染物	站点	北京	涿州	廊坊	香河	燕郊
PM ₁₀	北京	1.000				
	涿州	—	1.000			
	廊坊	0.835	—	1.000		
	香河	0.398	—	0.392	1.000	
	燕郊	0.857	—	0.882	0.402	1.000
PM _{2.5}	北京	1.000				
	涿州	0.348	1.000			
	廊坊	0.824	0.286	1.000		
	香河	0.451	0.268	0.448	1.000	
	燕郊	0.820	0.350	0.789	0.489	1.000
O ₃	北京	1.000				
	涿州	0.621	1.000			
	廊坊	0.777	0.596	1.000		
	香河	0.680	0.406	0.774	1.000	
	燕郊	0.763	0.611	0.824	0.882	1.000
NO _x	北京	1.000				
	涿州	0.522	1.000			
	廊坊	0.678	0.368	1.000		
	香河	0.625	0.428	0.540	1.000	
	燕郊	0.768	0.470	0.639	0.637	1.000

间相关性较弱.华北平原夏季盛行风向为东南风,因此位于西南的涿州和东偏南的香河,在作为源或者输送通道时,对北京城区 PM_{2.5} 的影响不很明显.此外,结合前面的分析(图 2)可知,在区域处于静稳天

气下,涿州和香河出现的局地污染事件也会导致与其它站点的相关性变弱.而廊坊位于北京城区的东南方,介于京津两大城市之间,对北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响更为明显.燕郊观测站与北京位于更小的尺幅范围之内,其观测数据之间的相关性更强.

5 个站点空气中的 O_3 之间的相关性都较强, $0.406 < r < 0.777$,说明 O_3 在区域内形成协同污染,其区域性更强. NO_x 最明显的特征就是北京与周边 4 个站点之间的相关性都较强,分别为 0.552、0.678、0.625、0.768, $\alpha = 0.01$ 水平下呈显著正相关,说明北京高浓度的 NO_x 在特定天气条件下很容易扩散到周边区域,这主要是北京机动车辆等排放源较多造成的.

由以上分析可见,位于北京市西南方向的涿州,东南方向的廊坊,东偏南的香河和东方的燕郊对北京市空气中污染物存在不同程度的影响,因此可以寻求用近周边小城市的空气污染状况对北京进行预警的科学依据.

2.4 典型污染过程峰值对比分析及其与气象因素的关系

细粒子 $\text{PM}_{2.5}$ 在空气中寿命较长,传输距离远,其区域性很强^[28].风向和风速对于污染物在区域中

的分布起着重要作用^[29,30], 高风速可以将本地污染物携带至下风向区域,而风速一旦减小,污染物可以在一定范围内积累,形成重度污染^[30~32].据此,选取 $\text{PM}_{2.5}$ 来研究典型污染过程下北京市区与近周边区域空气污染情况之间的时空关系.

2008 年 7 月下旬,华北地区曾出现持续数日的典型污染过程,选取 2008 年 7 月 22 日 22:00~7 月 28 日 23:00 时间段的观测数据,利用 Origin 统计软件,结合北京市 53 m 高空处风向和风速,分析各站点所在城市与北京市的大气中污染物的峰值出现时间之间的关系.

在所选取时间段内,对北京、涿州、廊坊、香河和燕郊分别拾取 8、9、7、8、9 个峰值,如图 5.结合风向和风速图对比北京和涿州的污染过程可知,北京大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的峰值出现时间都落后于涿州,时间差分别为 2、2、4、3、2、1、1、1 h,并且都低于所对应的涿州的峰值.7 月 25 日 14:00 左右涿州出现一个峰值,达到 $248 \mu\text{g}/\text{m}^3$,而北京也出现了污染物的同步积累,并落后于涿州 4 h 出现峰值,而在此过程中,北京受到南风控制,风速约为 $0.5 \sim 1 \text{ m/s}$;7 月 27 日 10:00 左右,涿州观测站 $\text{PM}_{2.5}$ 出现峰值,达到 $326 \mu\text{g}/\text{m}^3$,而北京也呈现污染物同步积累的现象,

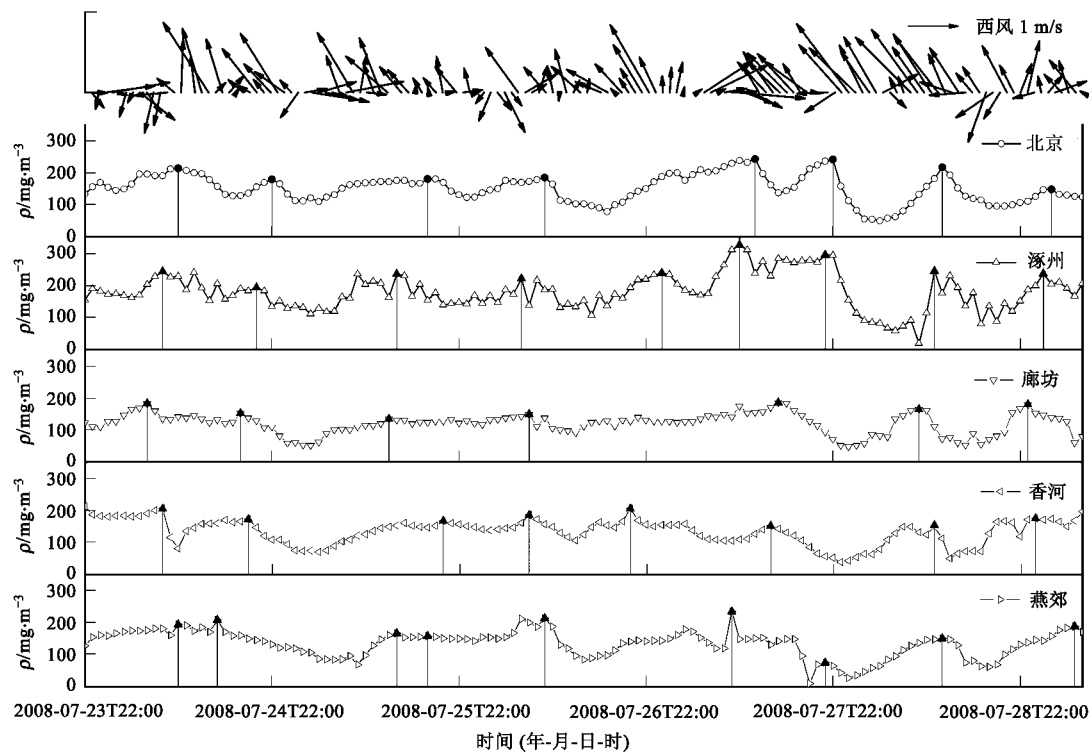


图 5 污染过程中北京、涿州、廊坊、香河和燕郊 $\text{PM}_{2.5}$ 小时均值

Fig. 5 Hourly average concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ at Beijing, Zhuozhou, Langfang, Xianghe and Yanjiao stations

落后于涿州 2 h 达到最高值,而在此时间段,北京受西南、南风的控制,风速约为 1.5 m/s. 因此,可以得出,在南风或西南风控制下,涿州作为北京大气中 $PM_{2.5}$ 的重要源或运输通道之一影响着北京.

用同样方法将北京与廊坊、香河、燕郊做峰值对比分析,结果显示,北京在此次污染事件中出现的浓度峰值同样落后于廊坊和香河,在 7 个峰值中,北京分别落后廊坊和香河 4、4、5、2、7、3、3 h 和 2、3、2、14、8、1、2 h,结合涿州的情况,说明夏季华北平原存在由北向南较大范围的输送汇. 输送汇一般会造成北京市区污染物的积累,在特定天气条件下,甚至使北京的颗粒物浓度高于上风向地区,如在此次污染过程中,北京地区出现的峰值都高于廊坊和香河. 当然,在有利的气象条件下,累积在北京地区的污染物有可能扩散到其他地区. 燕郊由于距离北京较近,其峰值出现时间与北京几乎一致,表明燕郊同北京一样受到上风向地区污染物的影响,但在此次污染事件中,燕郊颗粒物浓度比北京低许多,这可能与两地的地形有关.

输送汇及其摆动常造成华北平原及北京地区区域大气污染物汇聚,是形成重污染区的主要形式^[33],此区域全年大多数是由偏南和偏东南方向风带形成的输送汇,并且伴随着风向的变化,输送汇在区域间或局地形成反复的摆动^[34],这是影响北京空气质量的区域因素. 由以上分析可见,结合风速和风向情况,可以利用北京市西南和东南的涿州、廊坊、香河等城市的空气污染状况作为北京市空气污染的预警,其预警时间分别提前约 2 ~ 14 h.

3 结论

(1) 奥运期间,北京空气污染物与奥运前相比下降一半左右,其重要原因是近周边的有效协同污染源减排.

(2) 北京 NO_x 明显高于近周边区域,呈现出向近周边区域扩散的潜势;而近周边区域细粒子浓度高于北京,是造成北京及整个区域细粒子污染严重的重要原因. 控制可吸入颗粒物的当务之急是控制细粒子的增长.

(3) 夏季典型污染过程,北京核心地区空气污染浓度峰值出现时间往往落后于涿州、廊坊、香河 3 个近周边城市 2 ~ 14 h,因此,有可能通过区域联网实时观测对北京严重空气污染事件进行预警研究.

参考文献:

- [1] Sun Y, Wang Y S, Zhang C C. Measurement of the vertical profile of atmospheric SO_2 during the heating period in Beijing on days of high air pollution [J]. *Atmos Environ*, 2009, **43**(2): 468-472.
- [2] Xu J, Zhang Y, Fu J S, *et al.* Process analysis of typical summertime ozone episodes over the Beijing area [J]. *Sci Total Environ*, 2008, **399**(1-3):147-157.
- [3] 杨东贞,徐敬,颜鹏,等. 北京城区和远郊区大气气溶胶的相似性研究[J]. *第四纪研究*,2005,**25**(1):54-62.
- [4] 林艺辉,谢品华,秦敏. 北京冬季大气 SO_2 、 NO_2 与 O_3 的监测与分析[J]. *大气与环境光学学报*,2007,**1**(2): 56-69.
- [5] Wang W, Chai F, Zhang K, *et al.* Study on ambient air quality in Beijing for the summer 2008 Olympic Games [J]. *Air Qual Atmos Health*, 2008, **1**(1):31-36.
- [6] Wang T, Xie S D. Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period [J]. *Atmos Environ*, 2009, **43**(35):5682-5690.
- [7] 蔡旭晖,张睿,宋宇,等. 北京地区大气 PM_{10} 和 SO_2 的背景浓度分析[J]. *气候与环境研究*,2004,**9**(3): 446-453.
- [8] 张菊,苗鸿,欧阳志云,等. 近 20 年北京市城近郊区环境空气质量变化及其影响因素分析[J]. *环境科学学报*,2006, **26**(11): 1886-1892.
- [9] Fang M, Chan C K, Yao X H. Managing air quality in a rapidly developing nation: China [J]. *Atmos Environ*, 2009, **43**(1):79-86.
- [10] Zhang Y H, Hu M, Zhong L J, *et al.* Regional integrated experiments on air quality over Pearl River Delta 2004 (PRIDE-PRD2004): overview [J]. *Atmos Environ*, 2008, **42**(25): 6157-6173.
- [11] 贺克斌,贾英韬,马永亮,等. 北京大气颗粒物污染的区域性本质[J]. *环境科学学报*,2009,**29**(3):482-487.
- [12] Westerdaal D, Wang X, Pan X C, *et al.* Characterization of on-road vehicle emission factors and micro environmental air quality in Beijing, China [J]. *Atmos Environ*, 2008, **43**(3): 697-705.
- [13] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005 [J]. *Atmos Environ*, 2007, **41**(39): 8963-8979.
- [14] 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.
- [15] 刘洁,张小玲,徐晓峰,等. 北京地区 SO_2 、 NO_x 、 O_3 和 $PM_{2.5}$ 变化特征的城郊对比分析[J]. *环境科学*,2008,**29**(4): 1059-1065.
- [16] 于娜,魏永杰,胡敏,等. 北京城区和郊区大气细粒子有机物污染特征及来源解析[J]. *环境科学学报*,2009,**29**(2): 243-251.
- [17] 王玮,汤大纲,刘红杰,等. 中国 $PM_{2.5}$ 污染状况和污染特征的研究[J]. *环境科学研究*,2000, **13**(2): 1-5.
- [18] 保证奥运蓝天 08 奥运赛期华北五省市将关污染企业[EB/OL]. http://www.cnr.cn/gundong/200612/t20061226_504362729.html.
- [19] 张艳昆,刘树华,李炬,等. 北京 PM_{10} 质量浓度与总体理查

- 逊数的关系[J]. 北京大学学报(自然科学版)网络版(预印本), 2009, **3**: 93-99.
- [20] 杨勇杰, 王跃思, 温天雪, 等. 北京市大气颗粒物中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度及其化学组成的特征分析[J]. 环境化学, 2008, **27** (1): 117-118.
- [21] Aryal R K, Lee B K, Karki R, *et al.* Seasonal PM_{10} dynamics in Kathmandu Valley [J]. Atmos Environ, 2008, **42** (37): 8623-8633.
- [22] 胡敏, 刘尚, 吴志军, 等. 北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响[J]. 环境科学, 2006, **27** (11): 2293-2298.
- [23] 任希岩, 吉东生, 王跃思, 等. 北京大气细粒子及其成分的浓度变化特征[J]. 地球信息科学, 2008, **10** (4): 427-430.
- [24] 赵晴, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京及周边地区夏季大气颗粒物区域污染特征[J]. 环境科学, 2009, **30** (7): 1873-1880.
- [25] Wei F, Teng E, Wu G, *et al.* Ambient concentration and elemental composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in four Chinese cities [J]. Environ Sci Technol, 1999, **33** (23): 4188-4193.
- [26] 四大减排措施确保奥运会期间北京空气质量[EB/OL]. <http://sports.cctv.com/20080414/109677.shtml>.
- [27] 张仁健, 王明星, 胡非, 等. 采暖期前和采暖期北京大气颗粒物的污染成分研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2002, **19** (1): 75-81.
- [28] 魏复盛, 胡伟. 空气细粒子污染的某些特性及环境效应[R]. 北京: 国家科技部, 2002. 1-9.
- [29] Ruellan S, Cachier H. Characterisation of fresh particulate vehicular exhausts near a Paris high flow road [J]. Atmos Environ, 2001, **35** (2): 453-468.
- [30] Rodriguez S, Cuevas E, Gonzalez Y, *et al.* Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM_1 , $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ concentrations in a coastal city [J]. Atmos Environ, 2008, **42** (26): 6523-6534.
- [31] Cheng S Q, Lam K C. An analysis of winds affecting air pollution concentrations in Hong Kong [J]. Atmos Environ, 1998, **32** (14-15): 2559-2567.
- [32] Chaloulakou A, Kassomenos P, Spyrellis N, *et al.* Measurements of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particle concentrations in Athens, Greece [J]. Atmos Environ, 2003, **37** (5): 649-660.
- [33] 苏福庆, 任阵海, 高庆先, 等. 北京及华北平原边界层大气中污染物的汇聚系统-边界层输送汇[J]. 环境科学研究, 2004, **17** (1): 21-25.
- [34] 任阵海, 高庆先, 苏福庆, 等. 北京大气环境的区域特征与沙尘影响[J]. 中国工程科学, 2003, **5** (2): 49-56.