

王威, 王自发, 吴其重, 等. 2010. 奥运会开幕前后北京 PM10 输送通量变化及情景分析 [J]. 气候与环境研究, 15 (5): 652–661. Wang Wei, Wang Zifa, Wu Qizhong, et al. Variation of PM10 flux and scenario analysis before and after the Olympic opening ceremony of Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (5): 652–661.

奥运会开幕前后北京 PM10 输送通量变化及情景分析

王威^{1,2} 王自发^{1,3} 吴其重^{1,2} GBAGUIDI Alex¹
张伟^{2,3} 晏平仲^{1,2} 杨婷^{1,2}

1 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 中国科学院大气物理研究所大气边界层与大气化学国家重点实验室, 北京 100029

摘要 利用嵌套网格空气质量预报系统 (NAQPMS) 的模拟结果, 对奥运会开幕前后京津冀地区 (2008 年 7 月 20 日~8 月 24 日) PM10 (空气动力学当量直径小于等于 10 μm 颗粒物) 输送特征进行计算与分析。结果表明, 气象条件的改变使得在南、东南和东三个方向输入北京地区的 PM10 通量在数值与分布上发生了较大幅度改变。开幕式前 PM10 主要自南部边界输送入北京, 占输入总通量的 55.8%, 东南边界次之, 占 29.4%; 奥运期间, 二者贡献分别变为 38.1% 和 47%, 且入京总通量小时均值由 50 t 下降为 40.2 t。垂直方向上, 开幕式前输送能力最大的区间位于边界层中下部, 奥运期间 (8 月 8 日~24 日) 边界层内输送的垂直分布较为平均。另外, 结合 2006 年同期气象场及排放清单, 通过替换的方法对奥运会期间的空气质量状况进行了情景模拟, 结果表明: 气象场的变化在 PM10 区域输送中起着决定性的作用, 但在空气质量的改善方面, 污染源减排的效果更为明显。

关键词 北京 奥运会 可吸入颗粒物 减排 输送通量

文章编号 1006-9585 (2010) 05-0652-10 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

Variation of PM10 Flux and Scenario Analysis before and after the Olympic Opening Ceremony in Beijing

WANG Wei^{1,2}, WANG Zifa^{1,3}, WU Qizhong^{1,2}, GBAGUIDI Alex¹, ZHANG Wei^{2,3},
YAN Pingzhong^{1,2}, and YANG Ting^{1,2}

1 Nansen-Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract An investigation of PM10 (the synoptic patten and particle matter less than 10 μm) transport variation before and after Beijing Olympics (20 Jul to 24 Aug 2008) was performed through fluxes simulation carried on the Nested Air Quality Prediction Modeling System (NAQPMS). Results showed large magnitude and distribution variations of PM10 fluxes, essentially southerly, southeasterly, and easterly, due to changes in meteorological condi-

收稿日期 2010-04-06 收到, 2010-07-21 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金面上项目 40775077

作者简介 王威, 男, 1985 年出生, 博士研究生, 主要从事可吸入颗粒物及灰霾研究。E-mail: wwangwwwei@gmail.com

tions. Before the Olympics opening ceremony, the most important fluxes transported into Beijing were southerly (55.8%) and southeasterly (29.4%) versus significant changes in a range of 38.1% and 47% respectively during the Olympic games (8–24 Aug 2008) with significant decrease of total flux from $50 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ to $40.2 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Vertically, the strongest PM10 transport occurred in the lower boundary layer before 8 Aug, while an almost homogeneous transport prevailed during the Olympics games. An in-deep analysis was performed on the impact of meteorology and emissions on PM10 transport and air quality over Beijing through substitution between 2006 and 2008 emissions data in NAQPMS model, proved that, in sight of the important role meteorological conditions played in regional PM10 transport, emissions control (environmental restrictions) during the Olympic Games was more effective in improving air quality over Beijing.

Key words Beijing, Olympics, PM10, emission control, transportation flux

1 引言

近年来,可吸入颗粒物(PM10、PM2.5)已逐步成为北京大气中的主要污染物,并对人体健康有着重要影响(车凤翔,1999;于淑秋等,2002)。针对北京市PM10时空分布特征已进行了许多研究(安俊岭等,2000;赵越等,2004;丁国安等,2005),其成分、来源及造成持续性污染的气象因素也逐渐明了(徐敬等,2007;随珂珂等,2007)。目前,随着我国重大的污染源治理措施的逐步落实,局地重污染状况已有所好转,但随着城市扩张及经济发展,以华北和长江中下游地区为代表的区域性环境污染问题却更加显著(任阵海等,2004)。

致力于研究周边排放对北京地区空气质量的影响,国内学者已进行了多项工作:张志刚等(2004)在研究北京、天津、河北等地污染物远距离输送和沉降过程中发现,北京大气中PM10的20%来自周边地区;An et al. (2006)研究表明:京外排放源对京内颗粒物浓度有较大贡献,其大小依次为 $\text{PM}_{2.5} > \text{PM}_{10} > \text{SOIL}$ (直径 $2.5 \sim 10 \mu\text{m}$);孟伟等(2006)发现,在有利于输送的背景环流场下,周边污染源对京内可吸入颗粒物贡献可以比自身还大;马锋敏(2007)通过气流后向轨迹分析发现,北京周边地区污染源排放对京内污染过程有明显影响,京南周边城市污染物流入是造成北京地区重污染的重要原因。

北京奥运会前,为履行空气质量达标承诺,北京采取了一系列措施以改善空气质量,包括重污染和高能耗企业的关停及搬迁、主要电厂源的脱硫脱氮处理、建筑工地扬尘污染防治、机动车

排放新标准的启用及奥运期间单双号限行措施的实行等(Paolo, 2007),最终使北京奥运期间空气质量以10个1级天,7个2级天的表现达到了10年最佳水平。然而,在污染控制措施完全执行至奥运会开幕这段时间内(2008年7月20日~8月8日),北京却经历了几个污染累积过程,出现了污染超标的现象。

为明确开幕式前后北京及周边地区可吸入颗粒物输送特征,考察气象条件及污染源减排在奥运期间PM10输送及空气质量改善中的作用,本研究利用嵌套网格空气质量预报模式(Nested Air Quality Prediction Modeling System, NAQPMS)的模拟结果,运用通量计算的手段对奥运开幕式前后北京及周边地区颗粒物输送进行研究,并采用情景分析的方法,考察2006、2008年气象场变化及污染源减排对北京地区输送量的影响。

2 资料与方法

2.1 模式系统基本介绍

本文采用中国科学院大气物理研究所自主研发的NAQPMS模式(王自发等,2006),对奥运期间北京PM10通量输送过程进行了模拟研究。驱动空气质量模式所需的气象场输入由NCAR/PSU联合开发的第五代中尺度气象模式MM5提供,同时采用排放源模型SMOKE(Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)处理污染源清单。

模式所用排放源清单由以下3部分组成:(1)东亚区域空气质量研究广泛应用的TRACE-P(TRANsport and Chemical Evolution over the Pacific)(Streets et al., 2003)排放基础数据;(2)INTEX-B(Intercontinental Chemical Transport

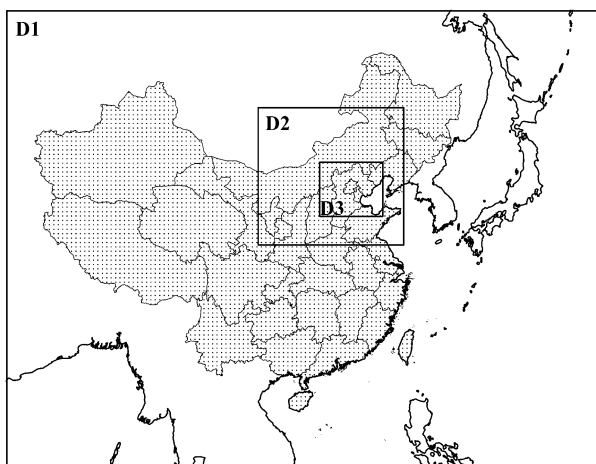


图1 模式模拟区域设定

Fig. 1 The modeling domain in the Nested air quality prediction modeling system (NAQPMS)

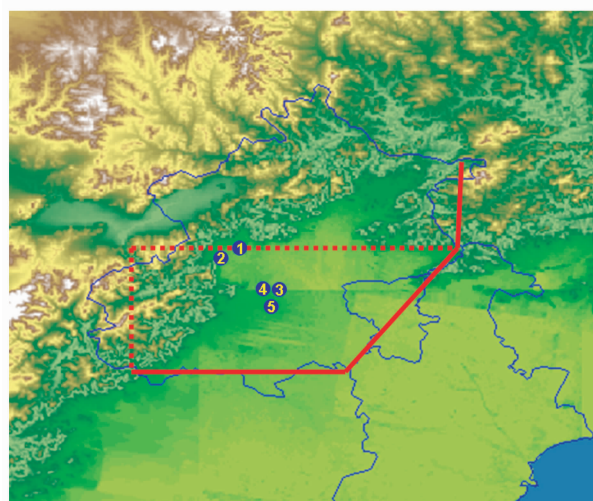
Experiment Phase B) 电厂资料及更新至 2008 年 6 月的华北电厂源排放清单; (3) 由北京市环境监测中心与清华大学 (Hao et al., 2007) 提供的, 更新至 2008 年 7 月的北京、天津等周边地区的重点源及面源清单。奥运赛事期间, 本研究还根据奥运期间污染源控制公告, 对北京及周边省份源清单进行了实时削减, 以保证模式可以合理模拟奥运期间空气质量状况。

如图 1 所示, 模拟区域设置采用四重嵌套网格, 覆盖东亚、华北、京津冀及北京和近周边地区, 四重嵌套网格水平分辨率分别为 $81\text{ km} \times 81\text{ km}$ 、 $27\text{ km} \times 27\text{ km}$ 、 $9\text{ km} \times 9\text{ km}$ 和 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$; 垂直方向上分为 10 层, 1.1 km 以下包含 5 层。

2.2 通量计算方法

以往研究表明 (苏福庆等, 2004), 北京市外来污染物输入流场可分为边界层西南气流型、东南气流型和东风气流风带型, 3 类气流流经地区恰好涵盖华北平原 3 个主要污染源区。本研究中, 结合了京区周边的地形特点, 在北京南部、东南部以及东部方向设置了通量计算边界, 使其与北京西部和北部的山区形成一个闭合的环, 同时在城区北部与西部设置了两条辅助边界, 以计算通量收支情况, 具体位置及观测站点分布如图 2 所示。

石春娥等 (2008) 研究发现, 气溶胶的远距离输送主要发生在自由大气层, 区域输送主要发生



1 昌平 2 阳坊 3 大气物理研究所
4 北京大学 5 北京大学医学培训中心

图2 北京周边地形、计算边界设定 (红线) 及监测站点分布 (蓝点):

Fig. 2 Terrain around Beijing, with flux boundaries (red lines) and observation stations (blue points)

在边界层内。本研究主要着眼于周边对北京地区的污染输送状况, 重点考察边界层内 PM_{10} 输送通量的变化, 通量计算过程中所使用的公式为:

$$S = C \cdot L \cdot H \cdot T \cdot V$$

其中, C 为 PM_{10} 浓度, 取模式相邻两层的浓度均值, L 为计算边界长度, 数值上等于格点分辨率与边界网格数的乘积, H 为通量计算的垂直高度, T 为计算时长, V 为边界网格内水平风速。公式含义为: 在 T 时间内, 通过截面积 $L \cdot H$ 的 PM_{10} 总质量。

程水源等 (1992) 用多种方法对北京地区夏季混合层高度进行了计算和统计, 发现城乡混合层高度均值在 600~712 m 高度范围内浮动; 近几年一些研究结果 (殷达中和洪忠祥, 1999; 张鑫等, 2006) 表明, 北京秋季边界层最大高度可达到 1000 m 以上。故本研究在通量计算中提取 NAQPMS 模式最低 5 层的结果 (约 1.1 km), 对边界层内颗粒物输送通量进行计算。

从污染源控制措施完全落实 (2008 年 7 月 20 日) 至奥运会结束 (2008 年 8 月 24 日) 这一时段内, 北京空气质量状况发生了较大幅度的变化: 在减排措施保持不变的情况下, 污染物浓度在奥运期间有较大幅度下降, 但开幕式前却出现了 PM_{10} 超标的现象。本研究将以奥运会开幕式当

天(8月8日)为分界点,使用通量计算方法对北京及近周边地区 PM10 输送特征进行研究,以分析奥运会开幕式前后 PM10 通量输送特征和变化。

3 模式验证与结果分析

模拟结果验证采用区域 API (Air Pollution Index) 对比的方式,将 PM10 浓度值转换为 API 后同观测(主要污染物均为颗粒物)进行对比,结果如图 3。可见,模式对北京内站点污染浓度的刻画较为准确,且污染物区域分布特征明显,其中,对北京行政区边界附近站点以及保定、石家庄等地污染浓度的准确模拟确保了北京近周边通量计算的可信度。表 1 列出了京内主要站点 PM10 模拟的统计检验结果,京内 4 个站点 PM10 小时浓度相关系数均达到了 0.5 以上,说明模式对 2008 年北京奥运期间 PM10 浓度的变化趋势有着较好的刻画,基于以上结果的通量计算分析是合理可信的。

表 1 京内站点 PM10 小时值模拟结果统计检验(站点位置如图 3 中星号所示)

Table 1 Statistical test of hourly simulated PM10 (observation sites are marked with stars in Fig. 3)

站点	相关系数 R	标准差 S_D	样本个数 N	置信度 P
北京大学	0.64	33.8	479	<0.0001
北京大学医学培训中心	0.60	35.3	479	<0.0001
昌平	0.50	20.0	479	<0.0001
阳坊	0.65	34.7	480	<0.0001

3.1 开幕式前后通量输送特征分析

提取北京南部、东南部以及东部边界(如图 2 中 3 条蓝色实线所示)通量计算结果,计算得到的总入京通量及各方向通量贡献百分比如图 4 所示。可见,东部贡献为主时,总入京通量出现明显下降,京南成为 PM10 向外输送的主要方向;而自南部及东南部地区的入京通量逐步占据主导时,常伴随入京通量峰值的出现,而此时东部入京通量很小或为零,PM10 出京主要方向为东。统计结果表明,三方向入京总通量与东部边界入京通量所占百分比之间存在较为明显的负相关,相关系数在开幕式前后分别为 -0.45 和 -0.4 。

通过对图 4 中百分比分布进行统计发现,开幕式前后,PM10 各方向入京通量的相对比例产生了明显变化。8月8日前,南部入京通量在总通

量中所占比例超过 50% 的时次约为 278 h,占研究时间段的 61.0%,东南及东部分别占 18.0% 和 9.8%;奥运会期间各方向通量贡献较为平均,南、东南及东部成为主要输送方向的比例分别变为 28.7%、18.6% 和 31.6%。

表 2 展示了三方向及总入京通量小时均值及其在总通量中所占百分比。可见,各方向通量在数值上也有较大幅度的改变:相对于开幕前,奥运期间北京入京通量整体呈现下降趋势,降幅为 $9.8 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,其中,来自京南 PM10 通量小时均值下降最为明显,由开幕前的 $27.9 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 降为 $15.3 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,百分比也由 55.8% 降为 38.1%;京东入京通量降幅有限,而京东南则有所升高。

表 2 奥运开幕式前(7月20日~8月7日)和开幕式后(8月8日~24日)三方向 PM10 入京通量小时均值及其在总入京通量中占百分比

Table 2 Hourly mean of flux transport into Beijing from three directions before (20 Jul - 7 Aug) and after (8 - 24 Aug) the opening ceremony of the Olympics

	平均值/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$		百分比	
	开幕式前	开幕式后	开幕式前	开幕式后
南部	27.9	15.3	55.8%	38.1%
东南部	14.7	18.9	29.4%	47.0%
东部	7.4	6.0	14.8%	14.9%
三方向入京通量	50.0	40.2	100%	100%

垂直方向上,通量分布特征分析所得结果如图 5 所示。其中,图 5a 为垂直方向上 PM10 入京通量的变化,可见奥运开幕式后,除边界层上部外,各层入京通量输送量均有所减小。图 5b 为各层输送在整层通量中所占比例,与开幕式前相比,奥运期间通量输送更加集中于上部,贡献有较大幅度增加,而其余 4 层存在不同程度的下降。为考察单位高度上的输送能力,将各层输送通量所占百分比除以该层高度,得到结果如图 5c 所示。从中可见,开幕式前近地层输送较强,最高值点位于模式第 3 层(约 175~350 m),并随高度的增加而迅速递减;而奥运期间,边界层底部输送减弱,上部输送明显增强,模式第 3 层与第 5 层(约 600~1100 m)均有峰值出现,垂直方向波动较小,说明此阶段 PM10 以整层输送为主。

以上分析表明,奥运开幕式前后,北京地区 PM10 三方向入京通量在数值与分布上均有大幅度变化,垂直方向上也体现出不同的输送特征。由于

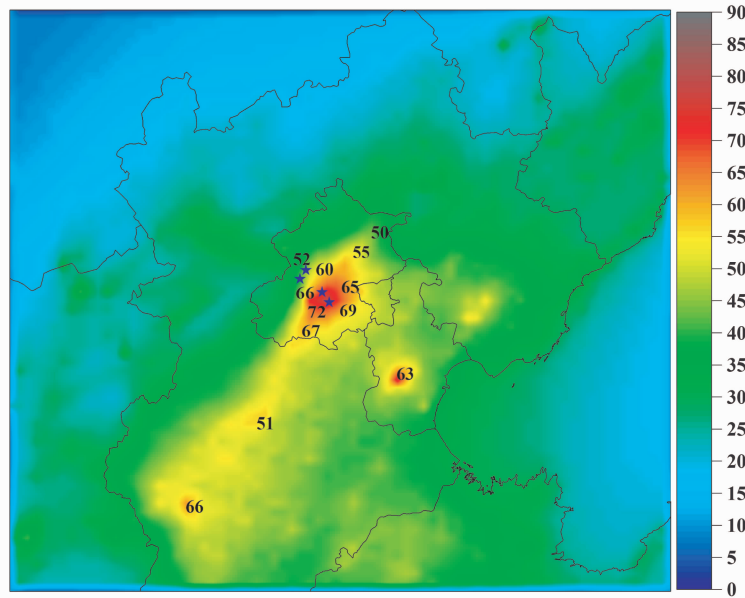


图3 7月20~8月24日 NAQPMs 模式结果中 API 的均值 (阴影) 同实测 API (以数字标明) 对比图

Fig. 3 Comparison of API between observation (marked by numbers) and simulation (shaded), which calculated from the three models' average result

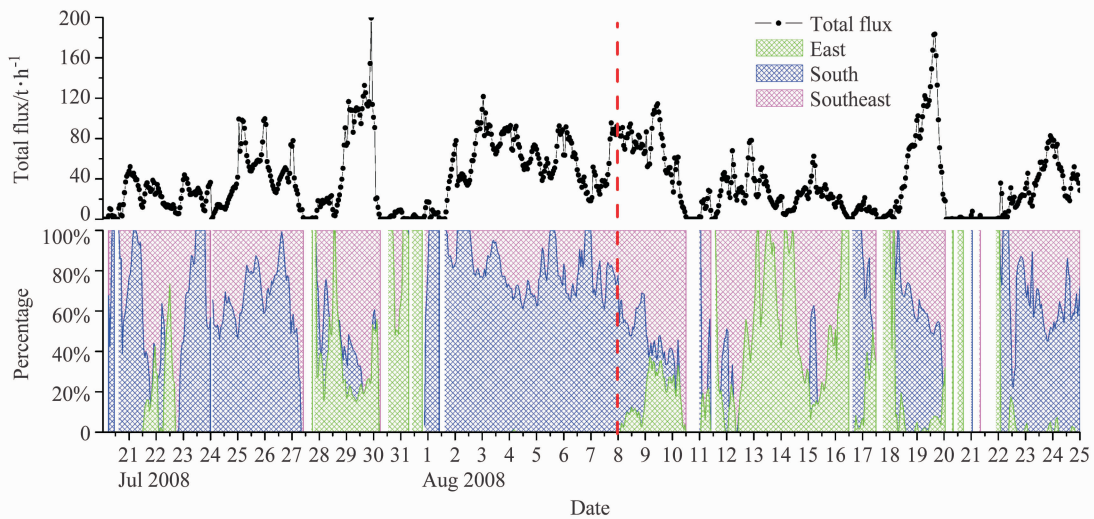


图4 北京南部、东南部及东部边界通量输送百分比及 PM10 入京通量值

Fig. 4 The temporal series of value and percentage of PM10 flux transport from the south, east, and southeast of Beijing

自7月20日起,北京地区奥运空气质量保障措施已完全落实,因此奥运开幕式前后输送通量的显著变化应主要由气象场改变引起,为进一步研究气象场及污染源减排对奥运期间北京地区颗粒物输送及空气质量的影响,本文还使用情景分析的方法对奥运期间北京地区 PM10 输送进行了研究。

3.2 奥运期间北京地区 PM10 输送情景分析

自1998~2008年奥运会结束,北京市分14

个阶段对市内空气污染状况进行治理,特别是2007~2008年,采取了包括控制无组织排放、旧锅炉改造、引入清洁能源、机动车限行等多项措施。为了评估控制措施在奥运空气质量改善过程中的作用,并尽量剔除长时间经济、产业发展带来的影响,研究中本应采用2007年情况进行情景分析,但考虑到8月份“好运北京”测试赛期间机动车限行措施演练对评估污染源减排的不确定

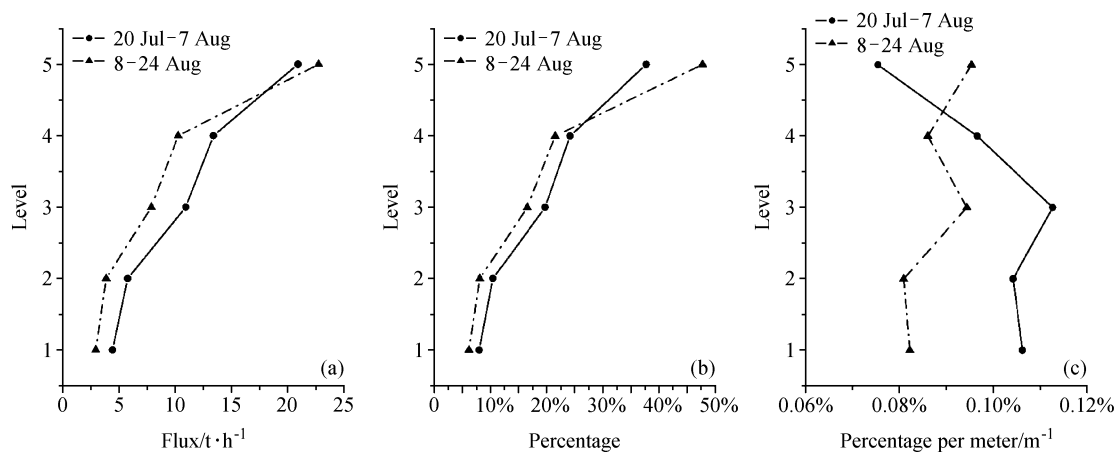


图5 PM10 (a) 通量分层输送量、(b) 百分比及 (c) 输送能力垂直廓线
Fig. 5 Vertical profiles of (a) flux, (b) percentage, and (c) transportability of PM10

性影响，本文选择 2006 年同期气象场及排放清单作为模式输入，利用 NAQPMS 模式对不同情景下北京地区 8 月份的空气质量状况进行了模拟，具体情景设置如表 3 所示：

表 3 数值模拟情景设置
Table 3 Different scenario settings in the numerical simulation

	气象场	排放源
基准情景	2008 年	2008 年
情景 1	2006 年	2006 年
情景 2	2008 年	2006 年
情景 3	2006 年	2008 年

2006 年模式排放源在 2007 年排放源的基础上计算得到，根据北京市颁布的《北京第十三阶段控制大气污染措施》内容，在假定其污染物排放总量控制目标（以百分比形式体现）全部实现的前提下，将 2007 年污染源乘以对应的比例因子反算出 2006 年排放量；由于排放清单的不断精细化，部分 2007 年污染源没有包括在 2006 年的排放清单中，对于 2006 年清单缺少的这一部分将直接用 2007 年清单对其进行赋值。以北京为例，计算出的 2006 年排放量以及现有 2008 年清单对比结果如表 4 所示：

为证明 2006 年清单的合理性，使用环保部及北京市环保局发布的 2006 年 8 月份多城市 API 指数均值对情景 1 的模拟结果进行了验证，结果如图 6、7 所示：可见，使用此排放源清单计算出的

表 4 北京市 2006、2008 年 8 月模式排放源对比
Table 4 Comparision of emissions used in air quality model between 2006 and 2008

物种	2006 年排放量/t · d ⁻¹	2008 年排放量/t · d ⁻¹	削减百分比
SO ₂	101.7	50.3	50.5%
NO _x	491.3	235.8	52.0%
PM10	420.9	165.8	60.6%

结果，污染区域分布特征较为明显，且对天津、秦皇岛、石家庄、太原等地的污染状况均有较好的刻画，能够较好的反映出周边地区 PM10 的浓度分布特征。为验证模式对北京城内单站点污染物的模拟能力，选取北京大气物理研究所气象铁塔 120 m 和 280 m 观测数据对模拟进行了统计检验，其结果如图 7 所示，观测与模拟值的小时浓度相关系数分别达到了 0.84 和 0.78，可认为使用此清单模拟得到的北京 2006 年 PM10 污染状况是合理可信的。

同样气象场输入下，排放源分布的改变会使 PM10 浓度分布以及区域输送形势发生改变，图 8 为基准情景与情景 2 的差值，显示了奥运期间（8 月 8~24 日）模式 D3 区域 1.1 km 以下 API 与输送通量日均值的变化情况。可见，经过 2 年的污染源治理，华北地区空气质量状况整体好转，其中，以唐山、北京等地的改善效果最为显著，PM10 浓度降幅达到 20 μg · m⁻³。污染源变化使区域输送特征有所改变，由图 8 中通量输送流场可见，由于 2008 年空气质量状况明显好转，北京、唐山以及石家庄、保定等地相对于 2006 年而

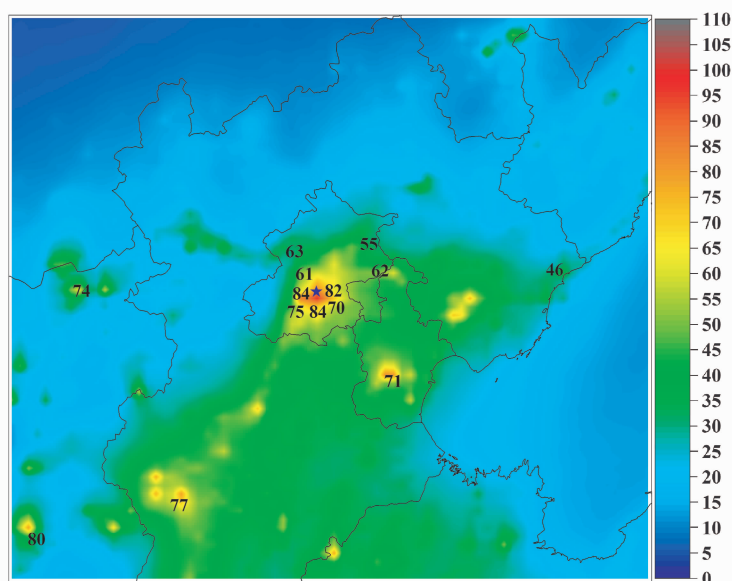


图 6 2006 年 8 月模式结果观测验证, 填色部分为模式 API 日均值, 数字为 API 观测值

Fig. 6 Comparison of API between observations (marked by numbers) and model results (shaded) simulated by NAQPMS in Aug 2006

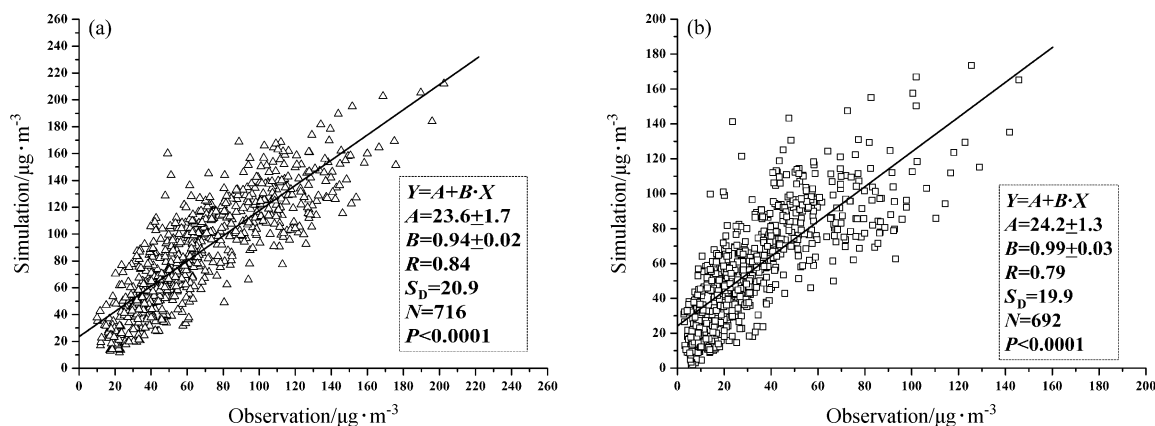


图 7 中国科学院大气物理所铁塔站 PM10 小时浓度模拟结果统计检验: (a) 120 m 高度结果; (b) 280 m 高度结果. 站点位置如图 6 中星号所示

Fig. 7 Statistical test of hourly simulated PM10 at the tower of Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences: (a) Result at 120 m; (b) result at 280 m. Observation site is marked by star in Fig. 6

言, 更易受周边输送影响, 其中北京地区最为明显, PM10 高浓度中心的下降使周边地区污染物向城内输送有加剧的趋势。

图 9 为基准情景与情景 3 模拟结果的差值, 为气象场改变对空气质量及输送趋势的影响。由图可见, 相对于 2006 年而言, 2008 年气象场在一定程度上改变了 PM10 浓度的分布, 华北地区大部分城市空气质量状况有所好转, PM10 浓度减幅为 $3 \sim 7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。就北京市而言, 在 2008 年气象条件下, 城区及东北部污染有所减轻, 南部

污染加剧。区域输送方面, 北京 2008 年通量输送场在 2006 年基础上叠加了来自东北方向的输送分量, 使得北京东北部地区以及城区的 PM10 存在西南方向的输送趋势, 产生了北京城区空气质量状况好转、南部地区污染加剧的现象。

表 5 展示了 4 种情景下, 按图 2 中实线边界计算出的奥运期间 (8 月 8~24 日) 北京地区三方向 PM10 输送通量。对比基准情景与情景 2 可见, 由于排放源的变化, 2008 年三方向入京通量与净通量均在 2006 年基础上有所下降, 降幅范围分别

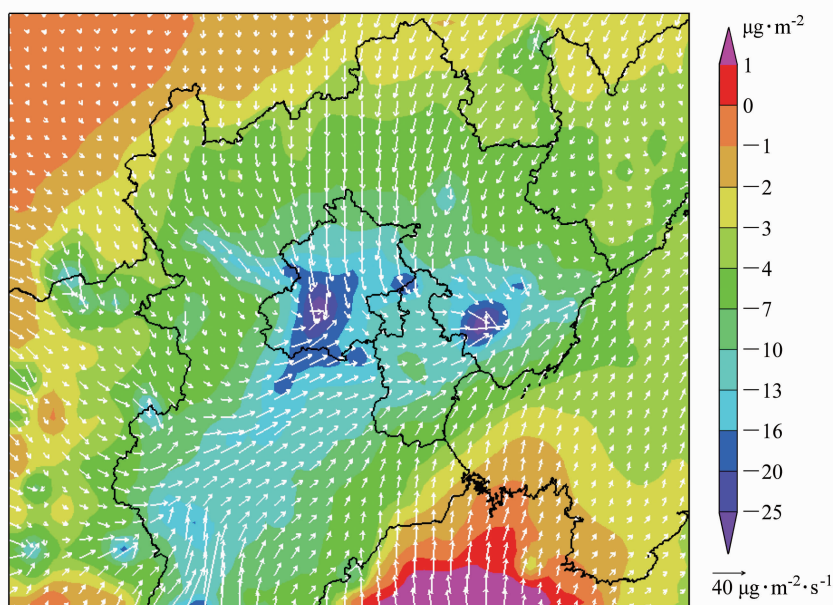


图8 排放源削减所造成的 PM10 平均浓度下降及其输送特征变化分布图 (基准情景减情景 2)

Fig. 8 The effect on PM10 daily average (8–24 Aug) concentration and flux caused by changing emission from 2006 to 2008

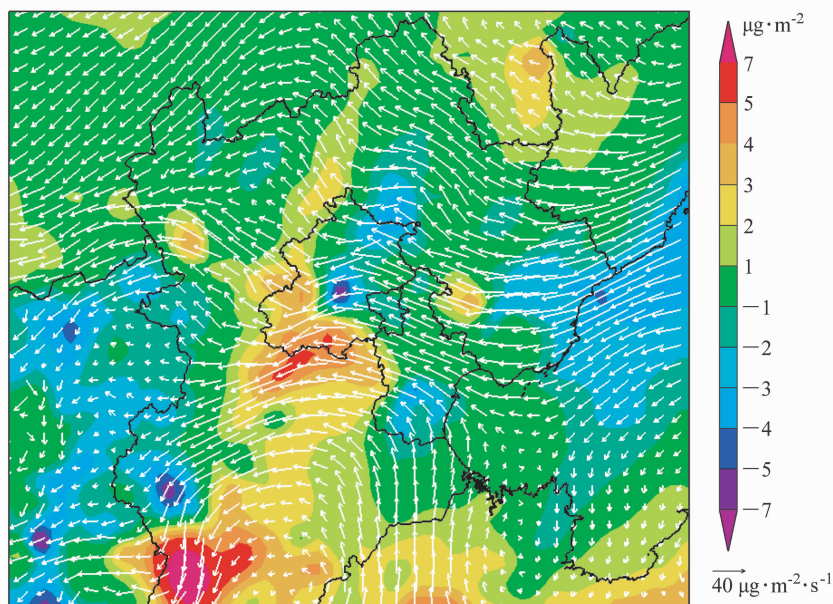


图9 气象场改变所造成的 PM10 浓度及输送特征变化分布图 (基准情景减情景 3)

Fig. 9 The effect on PM10 daily average (8–24 Aug) concentration and flux caused by changing meteorology field from 2006 to 2008

为：12%~20%、0~12.1%。在固定排放源的情况下，对比基准情景与情景 3 可发现，入京通量与净通量均有较大幅度的下降，其中南部及东南部总入京通量分别下降了 32.7%和 61.9%，东部为 19.2%，净通量部分降幅更为明显，三方向均超过了 70%，且在 2006 年气象背景下，PM10 输

送主要来自北京南部，2008 年则以东南部为主。

表 6 为北京城区总入京通量与净通量计算结果 (计算边界设定如图 2 中蓝色虚线与实线所示)。平均状况下，存留于局地大气中的污染物量是一定的，PM10 净通量应与本地源排放及干湿沉降量守恒，由于平流输送与湍流扩散是城市地区

表 5 不同情景下,南部、东南部以及东部边界 PM10 通量列表
Table 5 The flux of PM10 in south, east, and southeast under different cases

情景设置	气象场/排放源	南部/ $t \cdot h^{-1}$		东南部/ $t \cdot h^{-1}$		东部/ $t \cdot h^{-1}$	
		入京通量	净通量	入京通量	净通量	入京通量	净通量
基准情景	2008/2008	15.3	1.4	18.9	15.7	6	4.8
情景 2	2008/2006	18.4	1.4	21.6	17.6	6.8	5.2
情景 3	2006/2008	10.3	0.3	7.2	2.7	4.9	0.8
情景 1	2006/2006	13.0	0.7	8.9	3.1	6.1	0.9

表 6 不同情景下,北京城区 PM10 入京总通量与净入京通量列表

Table 6 The total flux and net flux of PM10 transport into Beijing in different cases

情景设置	气象场/ 排放源	总入京通量		净入京通量	
		数值	变化	数值	变化
		/ $t \cdot h^{-1}$	百分比	/ $t \cdot h^{-1}$	百分比
基准情景	2008/2008	49.7	0	-11.7	0
情景 2	2008/2006	58.8	+18.3%	-15.5	-32.5%
情景 3	2006/2008	35.7	-28.2%	-4.9	+58.1%
情景 1	2006/2006	44.2	-11.1%	-6.1	+47.9%

大气污染物的主要清除机制,故北京城区净通量一般为负值。从表中可见,气象场不变时,排放源控制措施使 2008 年输送通量在 2006 年基础上有明显下降,但对比基准情景与情景 3,以及情景 1 与情景 2 可知,气象场改变对 PM10 输送量,特别是入京净通量的变化有着决定性的影响。

通过上述对 2006、2008 年的情景分析,发现污染源控制虽然可以整体减少 PM10 各方向输送量,但气象场的变化在这一过程中起着决定性的作用,2008 年气象场在增加入京通量的同时,也使出京通量大幅度增加,使 PM10 净通量在 2006 年的基础上有大幅度下降。从改善北京地区空气质量的角度的上来看,相对 2006 年而言,2008 年气象场使北京城区及东南部的空气质量状况有所好转,京南地区污染状况加剧,而污染源减排在整体改善华北地区空气质量中的作用则更为明显。

4 结论

本文使用 NAQPMS 的模拟结果,对北京地区奥运开幕式前后的颗粒物通量输送状况进行了分析,并通过情景分析的方法,对气象场及排放源变化在奥运期间北京 PM10 污染过程中所起的

作用进行了初步探讨,得到结论如下:

(1) 奥运开幕式前,1.1 km 高度内来自南部边界的 PM10 在总入京通量中占主要部分,百分比达到 55.8%,东南部次之为 29.4%;奥运期间由于气象场的改变使得通量输送形势在数值与分布上均有较大幅度的改变,总入京通量小时均值由开幕式前的 50 t 下降为 40.2 t,降幅达到 16.3%,南部与东南部仍然为 PM10 入京的主要方向,其贡献分别达到了 38.1%和 47.0%。

(2) 垂直方向上,奥运期间输送主要集中于边界层中上部,下部输送量相对于奥运开幕前有不同程度的下降;对高度进行归一化后发现,开幕式前 PM10 输送高值部分位于边界层中下部;奥运期间边界层上部的输送明显增大,而中下部有所减弱,使垂直方向上的输送更为均一。

(3) 情景分析结果表明,相对 2006 年同期,2008 年奥运期间的气象条件更有利于污染物的输送,在增加入京总通量的同时,出京通量增加更为明显,最终效果体现为城区 PM10 净通量的减少。

(4) 在情景模拟结果的对比中发现:气象条件改变对 PM10 区域输送起着决定性的影响,且相对于 2006 年同期,2008 年气象场对北京城区空气质量的改善更为有利,却使得北京西南部的污染状况加剧;在固定气象场输入的设定下对比发现,相对于影响 PM10 的区域输送而言,北京市污染源的减排措施在空气质量改善方面有更为显著的效果。

参考文献 (References)

安俊岭,张仁健,韩志伟. 2000. 北方 15 个大型城市总悬浮颗粒物的季节变化 [J]. 气象与环境研究, 5 (1): 25-29. An Junling, Zhang Renjian, Han Zhiwei. 2000. Seasonal changes of total suspended particles in the air of 15 big cities in northern parts of

- China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5 (1): 25-29.
- An X, Zhu T, Wang Z, et al. 2006. A modeling analysis of a heavy air pollution episode occurred in Beijing [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 12: 3103-3114.
- 车凤翔. 1999. 中国城市气溶胶危害评价 [J]. 中国粉体技术, 5 (3): 4-10. Che Fengxiang. 1999. Risk assessment on aerosol in chinese cities [J]. China Power Science and Technology (in Chinese), 5 (3): 4-10.
- 程水源, 张宝宁, 白天雄, 等. 1992. 北京地区大气混合层高度的研究及气象特征 [J]. 环境污染治理技术与设备, 13 (4): 46-52. Cheng Shuiyuan, Zhang Baoning, Bai Tianxiong, et al. 1992. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 13 (4): 46-52.
- 丁国安, 陈尊裕, 高志球, 等. 2005. 北京城区低层大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 垂直结构及其动力特征 [J]. 中国科学 (D), 35 (增刊): 31-44. Ding Guoan, Chen Zunyu, Gao Zhiqu, et al. 2005. The vertical structure and kinetic characteristic of PM₁₀ and PM_{2.5} of lower atmosphere in Beijing [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 35 (Suppl.): 31-44.
- Hao J, Wang L, Shen M, et al. 2007. Air quality impacts of power plant emissions in Beijing [J]. Environmental Pollution, 147 (2): 401-408.
- 马锋敏. 2007. 北京及周边地区典型大气污染过程的数值模拟研究 [D]. 南京信息工程大学硕士论文, 79pp. Ma Minfeng. 2007. The Study on Numerical Simulation of a Persistent Pollution Event in Beijing and Its Surrounding Regions [D]. M. S. thesis (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. Nanjing University of Information Science and Technology, 79pp.
- 孟伟, 高庆先, 张志刚, 等. 2006. 北京及周边地区大气污染数值模拟研究 [J]. 环境科学研究, 19 (5): 11-18. Meng Wei, Gao Qingxian, Zhang Zhigang, et al. 2006. The numerical study of atmospheric pollution in Beijing and its surrounding regions [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 19 (5): 11-18.
- Paolo R. 2007. 北京 2008 年奥运会环境审查报告 [R]. United Nations Environment Programme, http://www.unep.org/sport_env/Activities/beijingconf07/media/index.asp.
- 任阵海, 万本太, 苏福庆, 等. 2004. 当前我国大气环境质量的几个特征 [J]. 环境科学研究, 17 (1): 1-6. Ren Zhenhai, Wan Bentai, Su Fuqing, et al. 2004. Several characteristics of atmospheric environmental quality in China at present [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 17 (1): 1-6.
- 石春娥, 姚叶青, 张平, 等. 2008. 合肥市 PM₁₀ 输送轨迹分类研究 [J]. 高原气象, 27 (6): 1384-1391. Shi Chune, Yao Yeqing, Zhang Ping, et al. 2008. Transport trajectory classifying of PM₁₀ in Hefei [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (6): 1384-1391.
- Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, et al. 2003. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000 [J]. J. Geophys. Res., 108 (D21): 8809-8831.
- 苏福庆, 高庆先, 张志刚, 等. 2004. 北京边界层外来污染物输送通道. 环境科学研究, 17 (1): 26-29. Su Fuqing, Gao Qingxian, Zhang Zhigang, et al. 2004. Transport pathways of pollutants from outside in atmosphere boundary layer [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 17 (1): 26-29.
- 王自发, 谢付莹, 王喜全, 等. 2006. 嵌套网格空气质量预报模式系统的发展与应用 [J]. 大气科学, 30 (5): 778-790. Wang Zifa, Xie Fuying, Wang Xiquan, et al. 2006. Development and application of nested air quality prediction modeling system [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (5): 778-790.
- 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 2007. 北京地区 PM_{2.5} 的成分特征及来源分析 [J]. 应用气象学报, 18 (5): 645-654. Xu Jing, Ding Guoan, Yan Peng, et al. 2007. Componential characteristics and sources identification of PM_{2.5} in Beijing [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 18 (5): 645-654.
- 随珂珂, 王自发, 杨军, 等. 2007. 北京 PM₁₀ 持续污染及与常规气象要素的关系 [J]. 环境科学研究, 20 (6): 77-82. Sui Keke, Wang Zifa, Yang Jun, et al. 2007. Beijing persistent PM₁₀ pollution and its relationship with general meteorological features [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 20 (6): 77-82.
- 殷达中, 洪忠祥. 1999. 北京地区严重污染状况下的大气边界层结构与参数研究 [J]. 气候与环境研究, 4 (3): 303-307. Yin Dazhong, Hong Zhongxiang. 1999. Study on the boundary layer structure and parameters under heavy pollution conditions in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 4 (3): 303-307.
- 于淑秋, 徐祥德, 林学椿. 2003. 北京市区大气污染的时空特征 [J]. 应用气象学报, 13 (增刊): 92-99. Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. 2003. Temporal and spatial characteristics of air pollution in Beijing [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 13 (Suppl.): 92-99.
- 张鑫, 蔡旭晖, 柴发合. 2006. 北京市秋季大气边界层结构与特征分析 [J]. 北京大学学报, 42 (2): 220-225. Zhang Xin, Cai Xuhui, Chai Fahe. 2006. Structures and characteristics of the atmospheric boundary layer over Beijing area in autumn [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis (in Chinese), 42 (2): 220-225.
- 张志刚, 高庆先, 韩雪琴, 等. 2004. 中国华北区域城市间污染物输送研究 [J]. 环境科学研究, 17 (1): 14-20. Zhang Zhigang, Gao Qingxian, Han Xueqin, et al. 2004. The study of pollutant transport between the cities in North China [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 17: 14-20.
- 赵越, 潘钧, 张红远, 等. 2004. 北京地区大气中可吸入颗粒物的污染现状分析 [J]. 环境科学研究, 17 (1): 67-69. Zhao Yue, Pan Jun, Zhang Hongyuan, et al. 2004. Analysis of inhalable particles pollution in the atmosphere in Beijing area [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 17 (1): 67-69.