

· 研究报告 ·

北京市交通环境监测点大气污染特征分析

程念亮^{1,2}, 李珊珊^{3*}, 王欣¹, 陈晨¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048;
3. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037)

摘要: 研究分析了2013—2017年北京市交通环境点位大气污染物浓度分布特征, 结果发现: 交通监测点NO、NO₂与PM_{2.5}浓度时间变化特征与城区总体状况基本一致, 与交通环境密切相关的NO₂浓度采暖季高于非采暖季, 重污染日期间交通监测点峰值浓度也明显偏高; 周末交通监测点NO浓度在5:00—23:00低于工作日4.9%~32.1%, 周末NO₂浓度在7:00—23:00低于工作日0.7%~7.4%, NO_x浓度周末偏低与车流量降低密切相关; 重大活动期间空气质量减排措施实施后, 北京市作为区域NO₂浓度高值区中心明显消失, PM_{2.5}浓度分布梯度减小, 本地减排效果明显。

关键词: NO_x; PM_{2.5}; 污染特征; 交通环境; 空气质量; 北京

中图分类号: X51

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2019)06-0007-05

Characteristics of Air Pollution at Traffic Environmental Monitoring Stations in Beijing

CHENG Nian-liang^{1,2}, LI Shan-shan^{3*}, WANG Xin¹, CHEN Chen¹

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China;

3. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China)

Abstract: This article analyzed the characteristics of air pollutant concentrations in traffic environment sites in Beijing from 2013 to 2017. Results showed that the temporal variation of NO, NO₂ and PM_{2.5} concentration at the monitoring sites were basically the same. The concentration of NO₂ which was closely related to traffic environment was higher in heating season than that in non-heating season and the peak value was significantly high at the traffic environment sites during heavy pollution period. From 5:00 to 23:00 on weekends, NO concentrations were 4.9%~32.1% lower than those on weekdays. From 7:00 to 23:00 on weekends, NO₂ concentrations were 0.7%~7.4% lower than those on weekdays. This was due to the low traffic flow on weekends. During some important events such as APEC and Parade, Beijing was no longer as the high NO₂ center, and PM_{2.5} concentration gradient decreased due to emission reduction.

Key words: NO_x; PM_{2.5}; Pollution characteristic; Traffic environment; Air quality; Beijing

2013年北京市执行《环境空气质量标准》(GB 3095—2012), 到2030年PM_{2.5}年均质量浓度要下降到35 μg/m³才能达标。达标并非易事, 需要北京持续不懈地努力^[1-3]。为了实现该目标, 北京2013年开始实施“清洁空气行动计划”, 通过源头控制减排、能源结构调整、机动车排放控制、产业结构优化、末端污染治理、城市精细化管理、生态环境建设和重

污染过程应急等措施多管齐下^[4-5], 取得了显著的

收稿日期: 2018-08-23; 修订日期: 2019-09-18

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目(2016YFC0209205, 2016YFC0209207, 2016YFC0207904); 国家自然科学基金资助项目(41401222); 总理基金资助项目(DQGG0107-01)

作者简介: 程念亮(1987—), 男, 山东泰安人, 工程师, 博士, 主要从事大气环境气象研究。

* 通信作者: 李珊珊 E-mail: liss0502@163.com

环境空气质量改善效果。在经济社会特别是能源消费总量高速增长的背景下,与交通源密切相关的NO₂质量浓度2017年为46 μg/m³,较2016年同比下降4.2%;与2013年相比,累计下降17.9%^[6]。

北京市大气PM_{2.5}本地来源中,移动源占比最大,达45%^[7]。为治理机动车污染,2013年以来,北京市制定和修订了30余项地方标准,涉及新车、在用车、油品等多个方面。北京根据本地特点建立了“车-油-路”一体的综合机动车排放控制体系并在中国许多城市得到推广^[8]。发达国家已对机动车排放污染进行了大量的测定和研究,而国内针对城市交通观测站点大气污染状况的研究较少^[9-12]。今采用北京市交通环境点位大气污染物浓度监测数据和卫星反演NO₂柱浓度数据,整体分析交通环境监测点位污染物浓度分布特征,以期改善空气质量提供依据。

1 监测点位与数据

研究采用的北京市大气环境质量监测站点共计35个(<http://zx.bjmemc.com.cn>),部分数据来自PM25IN(<http://pm25.in/>)和全国城市空气质量实时发布平台(<http://106.37.208.233:20035/>),选取2013—2017年的大气污染物的逐时质量浓度监测数据进行分析。其中PM_{2.5}采用微量振荡天平法,SO₂采用紫外荧光法,NO/NO₂采用化学发光法,O₃采用紫外光度法,CO采用气体滤波红外吸收法。北京市5个交通环境监测站点分别为永定门内大街(简称永定门)、前门东大街(简称前门)、西直门北大街(简称西直门)、南三环西路(简称南三环)、东四环北路(简称东四环)监测点,具体情况见表1。密云水库站点作为背景参考点。车流量采集设备为微波多车道车辆检测雷达(RTMS),时间分辨率为1h。

表1 北京市交通环境监测站基本情况

Table 1 Basic information of traffic sites in Beijing

站点	道路等级	车道数	路宽 d/m	采样口与最近机 动车道距离 d/m	采样口离路面 高度 h/m	采样位置与 道路关系	路边建筑和植被
南三环	城市快速路	主路双向各3车道,辅路双向各2车道	60	3	4	东向西主辅路之间	开阔
永定门	城市主干路	单向路,主路4车道(含1条快速公交道)辅路1车道	37	7	4	路西侧	西、南侧有树木
前门	城市主干路	东向西4车道(含1条公交车道)西向东3车道	52	24	5.5	路北侧	有自行车道、绿化带、公交站,南侧有建筑
东四环	城市快速路	主路双向各4车道,辅路双向各1车道	67	14	4	路西侧	有1m高绿化带
西直门	城市快速路	主路双向各3车道,辅路南向北2车道(含1条公交车道),北向南1车道	50	9	5	路东侧	两侧有较高建筑,间距100m

另外,研究还结合卫星反演数据分析NO₂变化特征;O₃探测器OMI是美国国家航空航天局(NASA)于2004年7月15日发射的Aura地球观测系统卫星上携带的4个传感器之一^[13]。O₃探测器扫过北京1d一次(近13:30),反演下载的NO₂柱浓度OMI数据(<http://mirador.gsfc.nasa.gov>)包括定义格点经纬度,并求取指定时间内格点的像素数据平均值。

2 结果与讨论

2.1 交通站大气污染物质量浓度变化

图1(a)(b)为2013—2017年北京全市与交通监测点的大气污染物质量浓度变化。由图1可见,2017

年北京全市和交通站的SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}年均质量浓度分别为8 μg/m³、46 μg/m³、84 μg/m³、58 μg/m³和12 μg/m³、67 μg/m³、88 μg/m³、65 μg/m³。与2013年相比该市各项污染物中下降幅度最低的是NO₂,下降幅度为18%,降幅最高为SO₂,达70%。与全市平均一样,交通站NO₂降幅最低,SO₂降幅最高。从浓度上看,交通站各项污染物浓度均高于全市平均值,说明机动车尾气是各项污染物的重要来源之一。作为重点控制的污染源,交通站2017年与2013年相比的降幅中,NO、NO₂、SO₂均低于全市平均降幅,CO、PM₁₀较全市平均降幅分别多下降4.1%、5.8%,PM_{2.5}降幅与全市平均降幅相当。而SO₂、NO₂是PM_{2.5}的重要前体物,说明相

较于 2013 年,2017 年机动车作为北京市 PM_{2.5} 来源贡献在增加。

图 2(a)(b) 分别为 2013—2017 年北京市 5 个交通环境站大气污染物 NO₂、PM_{2.5} 质量浓度聚类分析。由图 2 可见,2013—2017 年 5 个交通环

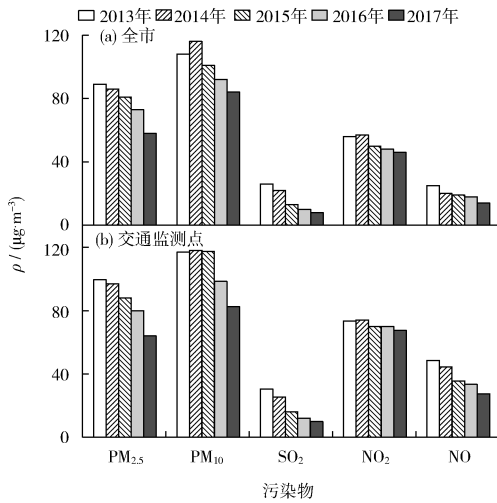


图 1 2013—2017 年北京全市与交通监测点的大气污染物质量浓度变化

Fig.1 Variation of mass concentration of air pollutants in the whole city and at traffic sites in Beijing from 2013 to 2017

境站 NO₂、PM_{2.5} 平均质量浓度均高于城区和背景站平均水平。交通站、城区和背景站 PM_{2.5} 保持一致的月变化趋势,交通站与城区的 PM_{2.5} 差值相对稳定,交通站与城区站的 PM_{2.5} 浓度水平接近,相关性达到 0.98。交通站与密云水库背景站浓度水平虽然相差接近一倍,但也保持 0.75 的较强相关性,说明 PM_{2.5} 具有比较强的区域性。交通站与城区站、背景站在 NO₂ 的相关性上存在很大的差异,这种差异一定程度上说明较大的道路密度和交通规模使得城区单位面积 NO_x 排放量较大,形成一个较大的 NO₂ 高浓度区;而背景站机动车排放量降低,NO₂ 浓度变化维持较低浓度。与交通环境密切相关的 NO₂ 浓度具有明显的季节变化特征,其中采暖季浓度整体高于非采暖季;重污染期间,交通环境站的 PM_{2.5} 峰值浓度高于城区站 30% 左右,NO₂ 峰值浓度约是城区站的 1.5 倍,是背景站浓度的 2 倍~5 倍。

2.2 交通站污染物浓度空间差异

图 3(a)(b)(c) 分别为北京市交通环境站 NO、NO₂ 和 PM_{2.5} 质量浓度日变化。由图 3 可见,NO_x 的日变化相比颗粒物有更明显的交通污染特征。NO 和 NO₂ 在早高峰时段都出现了明显的峰

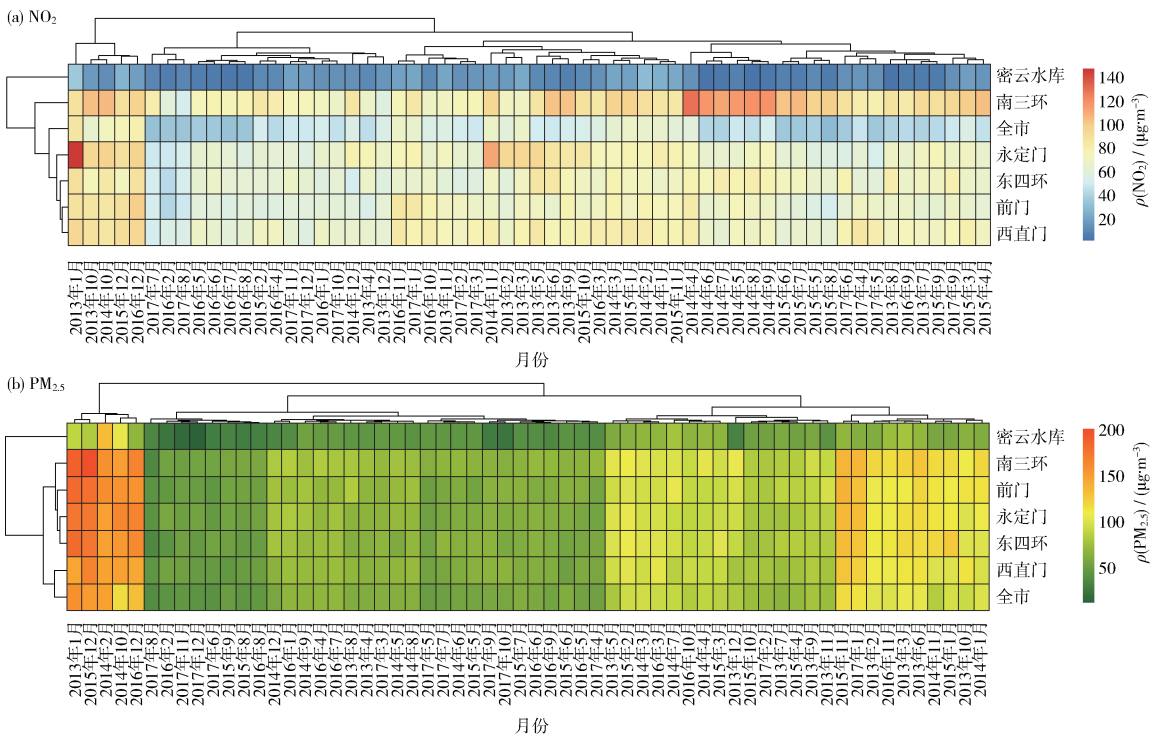
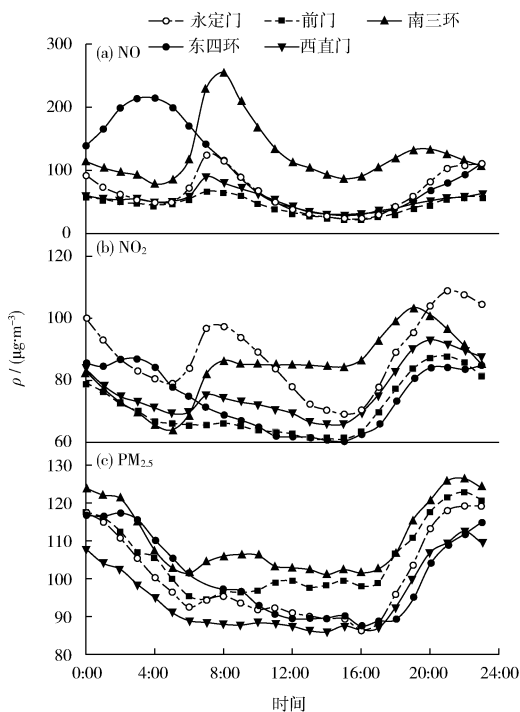


图 2 2013—2017 年北京市交通环境站大气污染物 NO₂、PM_{2.5} 质量浓度聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of NO₂、PM_{2.5} concentrations at traffic sites in Beijing from 2013 to 2017

图 3 北京市交通站 NO、NO₂ 和 PM_{2.5} 质量浓度日变化Fig. 3 Diurnal variation of NO, NO₂ and PM_{2.5} concentration at traffic sites in Beijing

值。日变化上,各交通环境站之间差异很大,其中 NO 单站差异最大,南三环 NO 在 8:00 达到峰值,而东四环峰值出现在 3:00,且差异较大;整体来看,位于交通流量更高的三环路交通站的污染水平高于位于市内道路边的交通站点。在北京,大型运货车只能在夜间送货进京,且外埠车辆不能进入市内,这就造成了四环、五环夜间的排放峰值。此外,早晚高峰,人流向市区内涌入,造成了市区的早晚高峰值。三环 NO、CO 的浓度均为最高,这是因为三环通常为北京市路况最差的位置,由于车辆较多、拥堵造成的行驶缓慢,导致了污染物的大量排放和积累。一般来看,造成交通站各站污染水平显著差异和决定其污染水平的因素有以下几点:①交通站所处路段的车流量水平;②站点采样口与道路的距离影响;③受机动车类型影响。虽然永定门内大街车流总量不大,但是 NO₂ 的污染水平在交通站中较高。这主要是由于永定门站位于道路内侧绿地,最邻近的车道是快速公交车道,距离为 7 m,导致 NO₂ 污染水平较高。

为了说明不同排放源对 PM_{2.5} 浓度的贡献,研究进一步将 PM_{2.5} 与 SO₂、NO₂、CO 等气态前体物的日变化相关性作统计分析。结果发现,交通监测站

点 PM_{2.5} 浓度与 SO₂ 浓度的相关性 ($r = 0.53$) 远低于其与 NO₂ ($r = 0.77$)、CO ($r = 0.86$) 的相关性; NO_x、CO 与 PM_{2.5} 的相关性呈现出一定的逐年显著升高的趋势,表明交通源对颗粒物污染的贡献有增大的趋势。

2.3 周末与工作日污染物浓度对比

经统计交通监测点位各项大气污染物休息日的污染水平均低于工作日,周末 NO 在 5:00—23:00 低于工作日 4.9% ~ 32.1%,一天内的平均偏差平均为 -12.0%;周末 NO₂ 在 7:00—23:00 低于工作日 0.7% ~ 7.4%,一天内的平均偏差平均为 -2.1%;周末 PM_{2.5} 浓度反而高于工作日,一天内的平均偏差平均为 10.5%,周末 PM_{2.5} 浓度较高主要受大气低频振荡和人类排放共同影响。单从一天内小时浓度的平均偏差看,“周末效应”最不显著的污染物为 NO₂,周末 NO₂ 日变化曲线与工作日相比更加平缓,峰值和谷值的浓度差也小于工作日,表明周末的 NO₂ 排放总量相对较高可排放时间分布相对更加均匀。

为了分析不同车流规模对于交通污染的影响变化,对交通监测点位工作日和休息日的日平均车流量统计分析,见表 2。由表 2 可知,休息日车流量减幅为 7.5% ~ 18.6%。夜间车流量在工作日和休息日差异不大,休息日的日间车流量高峰时长比工作日明显缩短,早高峰休息日比工作日晚一两小时。由于道路车流接近饱和和状态,环路上工作日和休息日的日间车流量比较接近,而城市干路上早晚高峰的车流量明显高于休息日。永定门内大街车流量表现为单峰是因为该路段为南向北单向路。由于上下班车流的“潮汐”特性,永定门内大街南向北进城方向只出现了车流早高峰。由此可见,NO_x 周末浓度偏低与车流量降低密切相关。

表 2 周末与工作日北京市交通站年均车流量统计

Table 2 Statistics on annual vehicle flow at traffic sites on weekends and weekdays in Beijing

站点	工作日/辆	休息日/辆	变化率/%
南三环	105 638	97 720	-7.5
东四环	136 057	114 914	-15.5
西直门	41 085	33 443	-18.6
永定门	21 652	18 327	-15.4

2.4 空气质量保障期间污染物浓度变化特征

研究表明,与 1998 年相比,2013 年机动车排

放的CO、THC、NO_x、PM_{2.5}总量分别削减了76%、72%、40%和70%^[14]。北京市NO_x主要来源于煤、气、油的燃烧过程。其中机动车燃油NO_x排放占51%；燃煤NO_x排放占21%，燃气NO_x排放占10%，主要是电力、热力供应行业，居民生活采暖等生活能源消费，以及部分工业企业的生产锅炉^[15]。

研究以APEC会议(2014年11月1日—12日)和大阅兵期间(2015年8月20日—9月3日)的临时交通管制措施为例分析减排效益。针对机动车采取的临时交通管理措施是空气质量保障方案的重要组成部分，主要措施包括：①禁止黄标车在全市行政区域范围内道路行驶；②机动车按照车牌尾号实施单双号限行，限行范围为全市行政区域范围；③6:00—24:00，货运车辆禁止在六环路以内道路(不含六环路)行驶；④政府和事业单位公车停驶30%。上述临时交通管理措施从车流构成、交通运行状况和总活动水平等多个方面影响了北京交通^[16-17]。

APEC会议和大阅兵期间保障措施实施后，NO₂浓度在1d中不同时段均出现了明显下降，特别是早高峰和晚高峰NO₂峰值均出现了明显下降。机动车直接排放的NO在凌晨至早高峰时段浓度水平下降极为显著，最大降幅达80%(4:00)，

早高峰时段降幅接近40%。APEC会议和大阅兵前后间交通站NO₂浓度时间变化数据显示，APEC会议空气质量保障前(10月15日—31日)、保障期间(11月1日—12日)、保障后(11月13日—30日)北京市5个交通点位NO₂质量浓度平均值分别为91.9 μg/m³、60.3 μg/m³、102.0 μg/m³；大阅兵空气质量保障前(8月1日—19日)、保障期间(8月20日—9月3日)、保障后(9月4日—30日)北京市5个交通点位NO₂质量浓度平均值分别为75.6 μg/m³、52.8 μg/m³、79.0 μg/m³。可以看出，空气质量保障期间NO₂质量浓度比保障前和保障后均明显下降。APEC会议期间北京市NO₂的质量浓度为46 μg/m³，比近5年平均水平降低31%；大阅兵期间北京市NO、NO₂平均质量浓度分别为2.0 μg/m³、22.7 μg/m³，同比分别下降58.3%、52.1%，均达到了监测历史以来的最低水平。

图4(a)—(d)分别为APEC会议期间和保障前期、大阅兵期间和保障前期京津冀及周边区域NO₂柱浓度空间分布。由图4可见，措施实施前，围绕主要城市，华北地区存在若干NO₂柱浓度高值中心；北京市措施启动后，高值中心逐渐消失，区域措施全面启动后，浓度水平进一步降低。

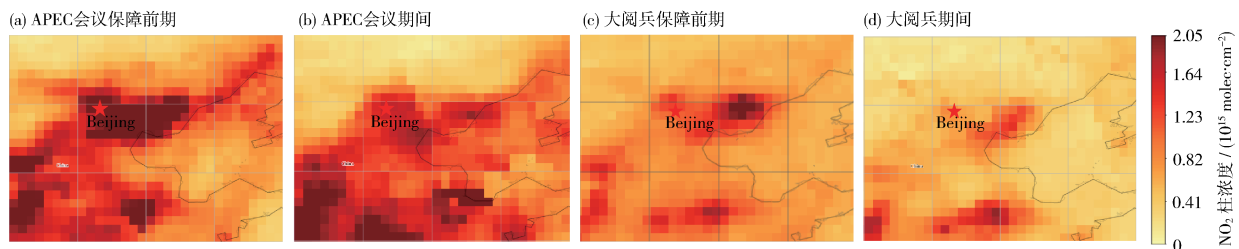


图4 APEC会议期间和保障前期、大阅兵期间和保障前期京津冀及周边区域NO₂柱浓度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of NO₂ column concentration during APEC, Pre-APEC, PARADE, and Pre-PARADE period in Beijing-Tianjin-Hebei region and its surrounding areas

3 结论

(1) 2013—2017年交通监测点NO、NO₂和PM_{2.5}质量浓度变化特征与城区总体状况基本一致，与交通环境密切相关的NO₂质量浓度采暖季高于非采暖季，重污染日峰值明显偏高。各交通监测点NO_x质量浓度差异很大。

(2) 交通监测点周末NO质量浓度在5:00—23:00时低于工作日4.9%~32.1%；周末NO₂在7:00—23:00时低于工作日0.7%~7.4%，NO_x周

末质量浓度偏低与车流量降低密切相关。

(3) 保障措施实施后，北京市作为区域NO₂质量浓度高值区中心明显消失，PM_{2.5}浓度梯度分布特征不明显。

[参考文献]

- [1] 任阵海,万本太,苏福庆,等.当前我国大气环境质量的几个特征[J].环境科学研究,2004,17(1):1-6.

(下转第22页)