

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0948

雷瑜, 张小玲, 唐宜西, 等. 2015. 北京城区 PM_{2.5} 及主要污染气体“周末效应”和“假日效应”研究[J]. 环境科学学报, 35(5): 1520-1528

Lei Y, Zhang X L, Tang Y X, et al. 2015. Holiday effects on PM_{2.5} and other major pollutants in Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 35(5): 1520-1528

北京城区 PM_{2.5} 及主要污染气体“周末效应”和“假日效应”研究

雷瑜¹, 张小玲^{1,2,*}, 唐宜西^{1,2}, 范广洲^{1,3}, 周定文^{1,4}

1. 成都信息工程学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 620225
2. 中国气象局京津冀环境气象预报预警中心, 北京 100089
3. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044
4. 中国核工业集团公司, 北京 100820

收稿日期: 2014-06-30 修回日期: 2014-09-23 录用日期: 2014-10-02

摘要: 利用 2009—2012 年北京城区海淀宝联站 6 种污染物 (PM_{2.5}、NO、NO₂、O₃、CO 和 SO₂) 的连续监测数据, 研究了污染物浓度的周循环变化规律, 以及春节、国庆节假期期间和假日前后污染物浓度变化的差异. 结果表明, 北京城区 O₃ 浓度存在周末高于工作日的显著“周末效应”现象, 其它污染物则表现出周末低于工作日的“周末效应”现象; 国庆节较长假期存在与“周末效应”相类似的“假日效应”, 即假日期间污染物浓度明显低于非假日期间 (O₃ 相反). 而春节期间 PM_{2.5}、CO、SO₂ 出现“反常”浓度 (污染物浓度在假日期间高于非假日期间), 可能与春节期间烟花爆竹燃放有关. 从污染物浓度日变化特征分析, 污染物浓度高峰期与人类活动高峰期时间基本一致, 而污染物在周末和工作日出现的浓度差异现象也与人类活动的周循环差异现象相吻合, NO、NO₂ 和 CO 的小时平均浓度在周末和工作日的最大偏差出现在 08:00, 分别为 -19.8%、-14.9% 和 -13.9%, 说明北京城区出现污染物浓度的周循环变化特征和日变化特征与人类活动密切相关.

关键词: 北京; 污染物; 浓度; 工作日; 周末; 节假日

文章编号: 0253-2468(2015)05-1520-09 中图分类号: X513 文献标识码: A

Holiday effects on PM_{2.5} and other major pollutants in Beijing

LEI Yu¹, ZHANG Xiaoling^{1,2,*}, TANG Yixi^{1,2}, FAN Guangzhou^{1,3}, ZHOU Dingwen^{1,4}

1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 620225
2. Environmental Meteorology Forecast Center of Beijing-Tianjin-Hebei, CMA, Beijing 100089
3. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044
4. China Nuclear Corporation, Beijing 100820

Received 30 June 2014; received in revised form 23 September 2014; accepted 2 October 2014

Abstract: Continuous observations of six types of pollutants (PM_{2.5}, NO, NO₂, O₃, CO and SO₂) were conducted at Baolian station in Beijing from 2009 to 2012. Weekly cycle of these pollutants and their concentration differences between the two special annual public holidays (Chinese New Year and National Day) and non-holidays were examined. Weekend and holiday effects were significant for all pollutants, with higher O₃ concentration over the weekend and holidays while higher concentrations for all other pollutants during the weekdays and non-holidays). PM_{2.5}, CO and SO₂ during the Chinese New Year holiday are higher, and the abnormal changes in the concentrations are related to the intensive activities such as releasing fireworks and setting off firecrackers to celebrate the Chinese New Year. There is a strong diurnal variation in the pollutants' concentrations, and the peak period corresponds with an increase of human activities. The most pronounced differences for NO, NO₂ and CO between weekdays and weekend occur at 8 am local time with -19.8%, -14.9% and -13.9% respectively. This suggests that the weekly cycle and diurnal pollutants in Beijing urban area are largely related to human lifestyles and human-related activities.

基金项目: 国家自然科学基金 (No.41075111, 41030107); 公益性行业 (气象) 专项 (No.GYHY201206015)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.41075111, 41030107) and the China Special Fund for Meteorological Research in the Public Interest (No.GYHY201206015)

作者简介: 雷瑜 (1990—), 女, E-mail: ylei@ium.cn; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: xlzhang@ium.cn

Biography: LEI Yu (1990—), female, E-mail: ylei@ium.cn; * **Corresponding author**, E-mail: xlzhang@ium.cn

Keywords: Beijing; pollutant; concentration; weekday; weekend; holiday

1 引言(Introduction)

大气污染作为全球十大环境问题之一,已经严重危害到人类的生存和发展.我国作为发展中国家,随着人口增长和城市化进程的加快,城市空气质量日益恶化,这不仅对大气能见度造成影响(Christoforou *et al.*, 2000;贾璇等, 2010),对人类的健康也造成了极大的危害(Peters, 2005;任艳军等, 2007).近年来,国内外学者在污染源排放、区域输送及气象因素对污染物的影响等各个方面开展了大量的研究工作(Lin *et al.*, 2007;贺克斌等, 2009;赵秀娟等, 2013),尤其针对城市污染物的变化规律做了深入的研究(汪安璞等, 1987;刘洁等, 2007).这些研究对于改善城市空气质量,制定城市污染控制和治理措施都具有重要的科学意义.

“周末效应”是由 Cross(1973)在研究股票收益率的周内异常波动规律时提出的,随着研究的拓展,这一概念被逐步引用到各个研究领域,用于研究某些因素在周循环中的变化特征.已有研究指出,部分城市气象站观测到的气象要素存在不同程度的周循环变化特征,气温(Forster *et al.*, 2003;段春峰等, 2012)、降水频次(龚道溢等, 2006)等都出现 7 d 周期的显著周循环特征,空气污染指数与气象要素的“周末效应”也具有较好的相关性(章志芹等, 2008).在对城市污染物周末效应特征的研究中, O₃ 的变化特征备受关注,从 20 世纪后期,在纽约(Cleveland *et al.*, 1974)、华盛顿(Lebron, 1975)、加利福尼亚(Altshuler *et al.*, 1995),以及欧洲(Brönnimann *et al.*, 1997)等各大城市相继发现 O₃ 的“周末效应”现象,即 O₃ 浓度在周末明显高于工作日; O₃ 的这种周循环特征在北京(石玉珍等, 2009)和上海(唐文苑等, 2009)也有相同的观测结果.另外,近年来细粒子污染一直是人们关注的焦点,其周内变化规律也被其他学者(Motallebi *et al.*, 2003; Lough *et al.*, 2006)发现, Jones 等(2008)在城市背景下颗粒物质量浓度的监测结果中总结出,细粒子浓度在工作日明显高于周末;上海市区的黑炭气溶胶粒子也表现出相似的现象(肖秀珠等, 2011).

对于气象要素和污染物产生“周末效应”的原因,不少国内外学者推断(Lough *et al.*, 2006;段春峰等, 2012),人们规律性的生活方式可能是导致污染物浓度产生这种周期变化的原因.Jin 等(2005)在研

究纽约和休斯敦城市气溶胶光学厚度时明确指出,气溶胶光学厚度出现明显的 7 d 周期变化可能是人类活动的结果,因为并没有哪种自然因素可以产生这种周期性现象.

北京作为特大城市,是我国政治、经济和文化的发展中心,其城市效应对空气质量的影响也受到人们的高度关注.早在 20 世纪 80 年代,周明煜等(1980)对北京城市热岛现象进行了观测和研究,随着城市的扩大和经济的发展,北京地区污染物的排放呈现上升趋势(张菊等, 2006;隋珂珂等, 2007).李令军等(2012)利用序列分析法对大气重污染做系统分析后得出,北京大气重污染主要集中在春节和秋冬季.冬季燃煤取暖对重污染天气形成具有重要影响(刘庆阳等, 2014).2008 年奥运期间减排措施效果显著,污染物排放也得到合理的控制,空气质量整体较好(向伟玲等, 2010),但近些年来,污染物浓度又有明显增长趋势(杨俊益等, 2012).郑祚芳(2013)研究指出,北京地区霾日数与城市发展指数的相关系数均超过 0.001 显著性水平,城市化导致的区域气候差异对霾的形成具有明显的影响.据统计,到 2013 年北京全市人口已达到 2114.8 万,汽车保有量已经超过 500 万辆,人类活动对污染物排放和分布的影响更加显著.如何在城市发展中改善大气环境质量,有效防治大气污染并制定优化控制措施是北京面临的主要问题.自 2008 年以来,为了改善城市空气质量,优化城市环境,北京市在工作日期间对机动车辆实施限行政策,周末和节假日则不予限行,因此,由于人类生活规律的变化和政府相关措施的实行,可能对城市污染物的排放量产生一些影响.同时,在每年的法定节假日,比如较长假期的春节和国庆节,市民生活规律与平时工作日期间在作息时间和出行安排上有所不同,从而影响污染物排放的日变化特征或者总量.但具体影响程度和污染物浓度变化规律有什么样的特征,是否存在“周末效应”等现象,这些都需要利用长期的监测资料对北京城区污染物浓度进行深入分析.因此,本研究通过获取 2009—2012 年北京城区大气成分观测站连续在线观测得到的 PM_{2.5}、NO、NO₂、O₃、CO 和 SO₂ 逐时浓度资料,对污染物在工作日、周末、节假日的浓度变化特征进行对比分析,研究人类的生产生活方式及生活规律对污染物浓度和空气质量的影响.

2 资料与方法 (Materials and methods)

2.1 资料来源

本研究所用数据来自于北京城区海淀宝联大气成分观测站 2009—2012 年连续在线观测得到的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO 、 NO_2 、 O_3 、 CO 和 SO_2 逐时浓度资料. 该站位于北京市海淀区西三环和西四环之间的宝联体育公园内, 周边主要为居民区, 没有较大工业污染源存在, Zhao 等 (2009)、刘洁等 (2008) 将宝联站作为北京城区代表站分析了城区和郊区的污染物变化特征及影响因素. 本研究也利用宝联站作为北京城区污染物浓度的代表站, 对污染物周循环变化规律进行分析研究.

本研究采用美国 R&P 公司生产的 TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) 1400 a 颗粒物监测仪来测量 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度. 此监测仪是利用采样滤膜所引起的前后振荡频率变化得到滤膜质量的变化量, 再根据采样流量、环境温度和气压, 最后计算出该时段内环境空气中所采集粒径颗粒物的质量. NO 、 NO_2 、 O_3 、 CO 和 SO_2 分别采用澳大利亚 EcoTech 公司生产的 EC9841、EC9810、EC9830 和 EC9850 分析仪分别进行在线连续观测, 可准确可靠地测量污染物的质量浓度. 所用颗粒物和反应性气体连续在线采集数据的频率为 5 min. 数据采集及仪器维护、标定、数据处理质控方法均采用刘洁等 (2008) 相同的流程.

2.2 资料处理

利用双休日制度将污染物浓度划分为工作日 (周一到周五) 和周末 (周六和周日) 两类, 其中, 剔除了法定节假日数据, 对 2009—2012 年连续 4 年的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO 、 NO_2 、 O_3 、 CO 和 SO_2 浓度监测资料进行整理, 分析北京城区工作日与周末污染物浓度的日变化、周变化、季节变化特征. 另外, 春节和国庆节为国家最重要的两个节日, 经过与周末进行调休, 会有长达 7 d 的假日, 这为研究假日期间污染物浓度变化特征提供了条件, 因此, 本研究将选取假日前后各 7 d 作为非假日代表数据, 对假日和非假日污染物浓度进行对比分析, 讨论人类活动对污染物浓度的影响. 本研究对出现特殊天气 (如日降水量大于 3 mm 和风速大于 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) 的数据进行剔除, 以减小特殊天气对污染物浓度造成的影响.

3 结果与讨论 (Results and discussion)

3.1 周末效应

3.1.1 工作日与周末污染物浓度日变化对比分析
在经过资料筛选和数据质量控制后, $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO 、 NO_2 、 O_3 、 CO 和 SO_2 在工作日 (WD) 和周末 (WE) 的平均浓度日变化特征如图 1 所示. 除 O_3 外, 其它污染物的日变化曲线均呈双峰型结构, 表现为周末浓度明显低于工作日浓度的周末效应现象; 而 O_3 日变化曲线为单峰型结构, 表现为周末浓度大于工作日浓度的周末效应现象.

图 1 中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度整体上为工作日高于周末, 平均高出 $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右, 中午前后二者之间浓度差值比较大, 最大差值出现在 13:00, 达到 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上, 此时周末浓度要比工作日浓度低 12.0%. 峰值浓度分别出现在 09:00 和 21:00, 周末第 2 个峰值出现时间较工作日延后 1 h. 根据北京市交通发展年度报告 (2013), 早晚高峰出现时间分别为 07:00—09:00 和 17:00—19:00. 图 1 中 $\text{PM}_{2.5}$ 第一个峰值出现时间正好对应早高峰, 而第二个峰值出现时间较晚高峰延后. 报告中显示, 早、晚高峰时期路网平均速度分别为 $26.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $23.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 拥堵路段长度分别为 219 km、343 km, 由此推断晚高峰时期机动车拥堵时间增加, 导致污染物浓度持续升高; 另外, 随着太阳辐射减弱, 边界层高度降低, 风速在 23:00 左右达到最低 (Zhao *et al.*, 2009), 导致细粒子在近地面持续积聚, 使 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在 21:00 左右出现最大值, 之后随着污染源的减少, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度开始降低. 由于节假日车辆出行次数明显低于工作日, 部分轨道交通工作日高峰系数可达到 30% 以上, 而周末客流量分布较为均衡, 高峰系数仅为 7.12%. 因此, 整体来看, 周末小时平均车流量和客流量相比工作日较少, 从而使周末污染物的小时平均浓度整体比工作日偏低; 另外, 晚高峰过后, 工作日车流量和客流量降低幅度明显大于周末, 使得在夜间 21:00—00:00 时期, 周末小时客流量高于工作日, 从而导致周末 $\text{PM}_{2.5}$ 的第二个峰值出现时间较工作日相对滞后 (北京交通发展研究中心, 2013; 王静等, 2012).

NO 和 NO_2 在工作日和周末的第一个峰值均出现在 08:00, NO 浓度明显高于 NO_2 . 由于 NO 主要来源于汽车尾气排放, 因此, 第一个峰值出现时间正好对应交通早高峰时段, 此时周末和工作日浓度分

别为 21.9 ppb、25.7 ppb,二者偏差达到 1 d 中最大值,为-19.8%,说明较少的汽车尾气排放是导致周末 NO 浓度小于工作日的�主要原因.早高峰时期 NO₂ 周末浓度峰值较不明显,周末浓度较工作日低 14.9%.从曲线整体来看,上午 07:00—10:00,NO 和 NO₂的周末浓度与工作日浓度偏差最明显,从 12:00 之后 NO 和 NO₂浓度在周末和工作日的偏差越来越小,23:00 浓度基本相当.交通早高峰时期,周末和工作日汽车尾气排放差异对 NO 和 NO₂的浓度变化影响显著.NO 和 NO₂工作日和周末的第二个峰值分别出现在 22:00 和 23:00,周末峰值较工作日延后 1 h.

Fujita 等(2000)在对南海岸臭氧周末效应的观测中指出,O₃的日变化过程主要分为 4 个阶段:积累阶段、抑制阶段、光化学生成阶段和消耗阶段.这 4 个阶段也在上海臭氧浓度变化的研究中被发现(唐文苑等,2009).O₃作为二次生成物,其浓度变化与前体物浓度密切相关,因此,以下将结合前体物 NO 和 NO₂浓度对北京城区 O₃的日变化过程分为这 4 个阶段进行分析讨论.从图 1 中 O₃日变化曲线可以看出,00:00—06:00,O₃的周末浓度和工作日浓度基

本一致,均保持在一天中的较低水平,NO 和 NO₂周末和工作日浓度变化趋势也较为平缓;06:00—08:00,随着交通早高峰的来临,NO 和 NO₂浓度迅速升高(此时主要为 NO),但由于太阳辐射较弱,光化学反应强度较小,此段时间主要为 NO 消耗 O₃生成 NO₂的过程,因此,O₃浓度持续降低,表现为 O₃的抑制阶段;08:00—15:00,随着太阳辐射的逐渐增强,NO₂开始分解生成 O₃,使 O₃浓度迅速升高并在 15:00 达到日最大值,此时周末和工作日浓度分别为 51.1 ppb 和 46.7 ppb,相比 08:00 分别增加了 44.7 ppb 和 39.5 ppb,表现为 O₃的光化学生成阶段;最后为 O₃的消耗阶段(15:00—00:00),由于近地面的湍流作用,太阳辐射强度减弱,以及交通晚高峰等因素共同作用,促使 O₃的扩散和消耗速率增加,导致 O₃浓度持续降低.整体来看,O₃周末浓度基本高于工作日浓度,表现出显著的周末效应现象.研究表明(Zhang *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010),奥运时期北京城区 O₃的生成主要受 VOCs 控制,NO_x在北京市 O₃的形成中主要起到抑制作用,即 NO_x的减少使得 O₃浓度升高.

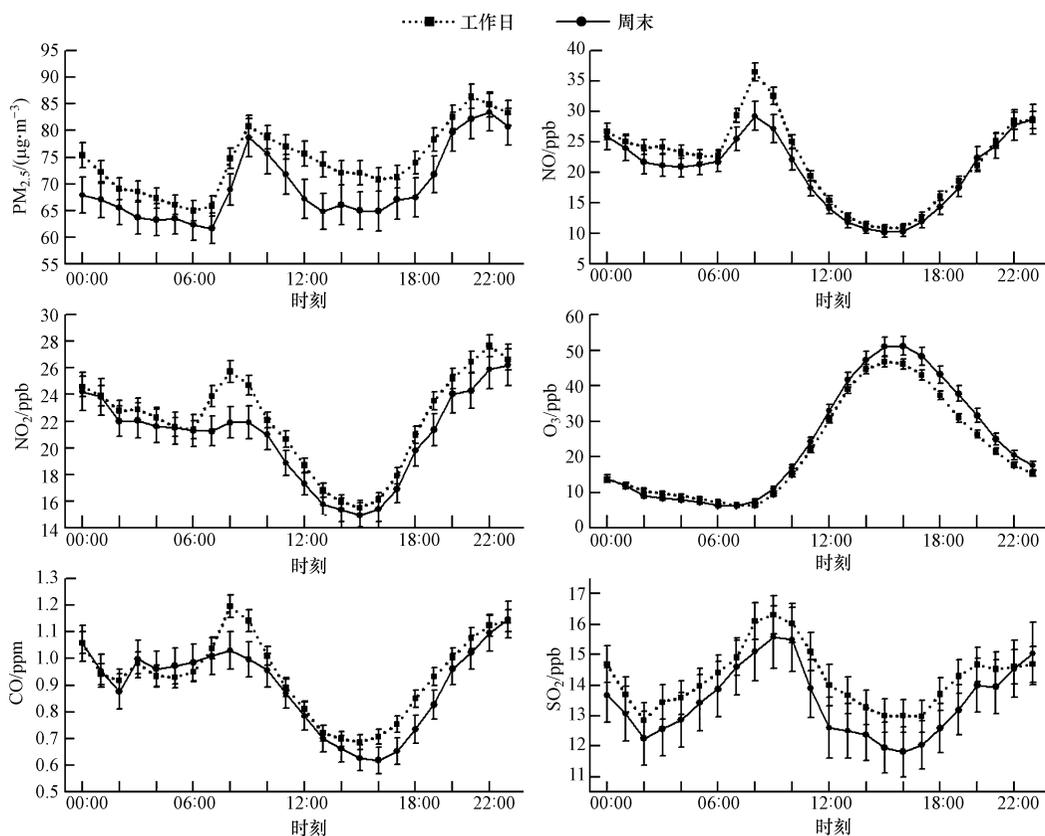


图 1 2009—2012 年北京城区污染物平均浓度日变化曲线(误差棒表示标准误,下同)

Fig.1 Diurnal variation of pollutants concentration in urban area of Beijing during 2009—2012 (Error bars indicate standard errors, the same below)

CO 浓度在周末和工作日的变化趋势与 NO 和 NO₂类似,其周末和工作日浓度的两个峰值均出现在 08:00 和 23:00,二者最大偏差也出现在交通早高峰时段,偏差为-13.8%,说明机动车尾气排放对 CO 浓度影响很大.SO₂周末浓度曲线略低于工作日,日最大值出现在 08:00,此时工作日和周末浓度分别为 16.1 ppb 和 15.1 ppb.已有研究指出(Tan *et al.*, 2013),SO₂主要来源于固定污染源排放,化石燃料的燃烧及工业生产过程产生的废气对其浓度变化影响很大.从 SO₂浓度数据统计中发现,SO₂的周末浓度比工作日浓度偏低均在 10%以内,浓度差值约为 1 ppb.

3.1.2 工作日与周末污染物浓度周循环变化对比分析 从图 1 的日变化曲线可以看出,北京城区主要污染物均表现出比较明显的周末效应现象.为了进一步证明周末效应的存在,本文对污染物浓度的周循环特征做了相关统计研究.图 2 表示各个污染物浓度在周循环中的距平分布,图中柱状条表示 2009—2012 年周一到周日污染物日平均浓度值的距平,零值线代表各污染物年平均浓度值.污染物的年平均浓度值分别为:PM_{2.5} 71.04 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,NO 26.01 ppb,NO₂ 41.08 ppb,O₃ 44.54 ppb,CO 1.07 ppm,SO₂ 36.65 ppb.

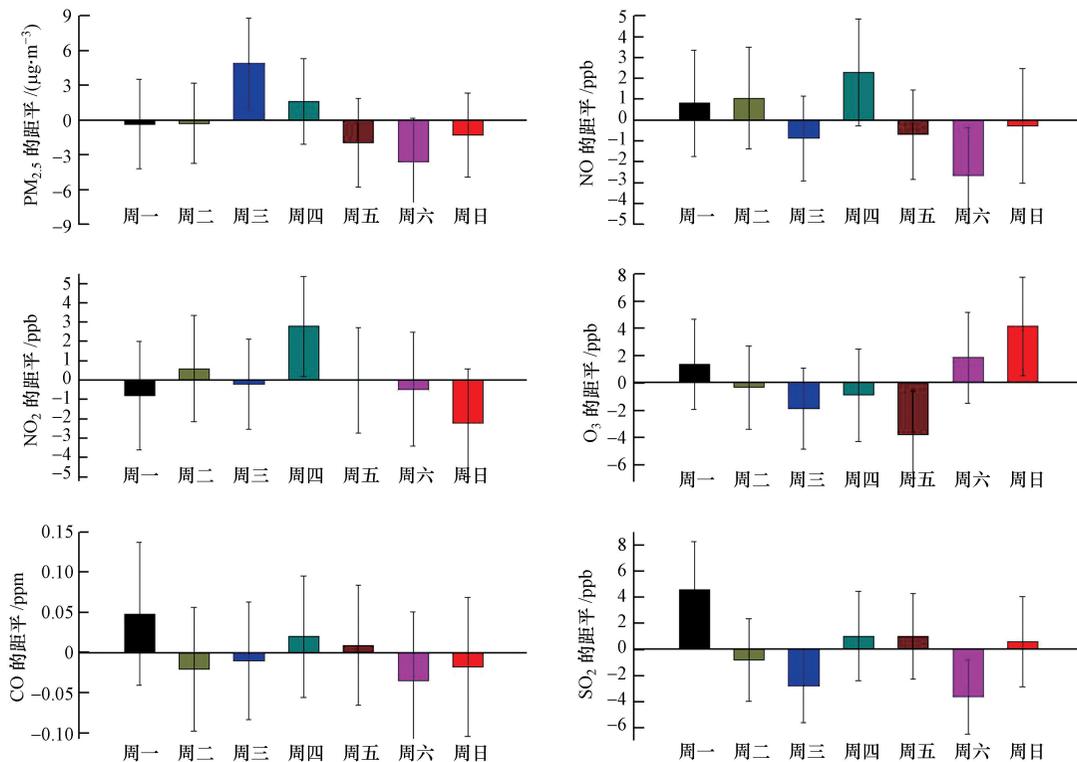


图 2 2009—2012 年污染物浓度周循环的距平分布

Fig.2 Weekly cycles distribution of pollutants concentration anomaly during 2009—2012

一周内污染物浓度的变化与人类活动造成的污染排放和气象条件有关,由于本研究使用了连续 4 年的长时间序列观测资料,且剔除了特殊天气的影响,平均来说气象条件的影响较小,因此,本研究主要分析人类活动对污染物浓度的影响.从 PM_{2.5}距平分布图上可以看出,周末两天 PM_{2.5}平均浓度明显小于年平均值.周三 PM_{2.5}浓度最高为 75.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,周六浓度最低为 67.5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,北京城区 PM_{2.5}周六平均值要比周三平均值低 11.2%.PM_{2.5}的这种统计

结果与 Jin(2005)观测到的纽约地区气溶胶光学厚度的周末效应现象相一致.

O₃的年平均值为 44.5 ppb,周六和周日的 O₃浓度最高,分别为 46.4 ppb 和 48.7 ppb,周五浓度最低为 40.8 ppb, O₃周日最大值要比周五最小值高 19.5%.根据 O₃的形成机制,前体物浓度的周循环变化特征可能是造成 O₃出现周末效应的原因,对 O₃前体物作周循环距平分析发现,NO 和 NO₂在一周内的最小浓度都出现在周末(NO 最小值出现在周六,为 23.4 ppb;NO₂最小值出现在周日,为 38.9 ppb),

其周末平均浓度均小于各自年平均值,二者浓度最大值都出现在周四.NO 和 NO₂的周末最小值和工作日最大值偏差分别为-17.4%、-11.4%,表现出与 O₃相反的周循环变化特征。

CO 和 SO₂周一浓度在一周内表现为最高,周六最低.从距平分布来看,CO 周末浓度均小于年平均值,表现出较好的周末效应.周日 SO₂浓度有所升高,其平均浓度高于年平均值,为 37.3 ppb,但总体来看,周末 SO₂日平均浓度明显低于工作日,平均偏低约 5.7%,也表现出较好的周末效应现象。

3.1.3 工作日与周末污染物浓度季节变化对比分析 由于污染物浓度变化受不同季节污染源排放、气象条件及化学转化能力的影响,因此,本研究分季节对各个污染物的周末效应进行分析讨论.图 3

表示不同季节污染物在工作日和周末浓度的箱线图,其中,盒子内的横线代表中值,空心正方形代表平均值,盒子上下边分别表示浓度大小在 25% 和 75% 的值,盒子上下延伸横线分别表示浓度在 10% 和 90% 的值.从图 3 可以看出,PM_{2.5}、NO 和 NO₂在春季、夏季和冬季的周末平均浓度均小于工作日,PM_{2.5}尤其在冬季偏差较大,其周末平均浓度要比工作日低 20.4%.O₃浓度春季、秋季和冬季均表现出周末高于工作日浓度,最大偏差为 24.5%,而夏季周末浓度和工作日浓度基本一致.CO 在春季和秋季周末浓度略高于工作日浓度,二者相差约在 0.1 ppm 以内.季节变化中 SO₂的周末平均浓度均小于工作日平均浓度,表现出明显的周末效应现象。

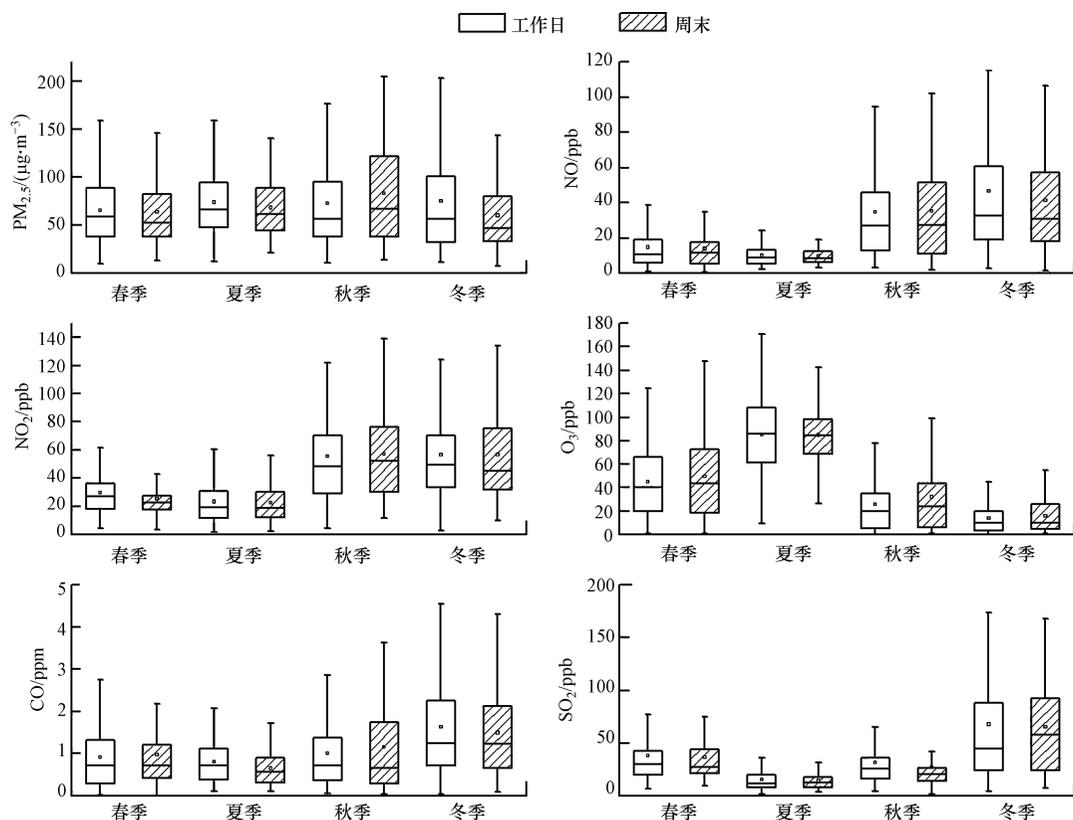


图 3 2009—2012 年工作日和周末污染物浓度季节变化箱线图

Fig.3 Box-whisker plots of seasonal variation on weekday and weekend of pollutants concentration during 2009—2012

3.2 假日效应

从以上研究中发现,污染物浓度变化具有明显的周末效应,人类根据自己的生活作息时间自主安排了节假日,那么同周末效应相类似,节假日期间特别是长假期间污染物浓度也可能具有明显的假日效应.本研究选取春节和国庆节两个较长假期

(7 d)作为研究对象,将假日前后各 7 d 作为非假日代表,分别对污染物在假日期间和非假日期间的浓度差异进行对比分析,验证春节和国庆节是否存在与周末效应特征相类似的假日效应。

由表 1 可知,春节和非春节期间 PM_{2.5}、CO 和 SO₂的浓度偏差为正值,表示春节浓度高于非春节

浓度,这与王繁强等(2008)研究结果一致.其中,PM_{2.5}和SO₂在春节期间与非春节期间的浓度正偏差高达40.7%和39.1%.这种现象与三者表现出的周末效应特征相反,即PM_{2.5}、CO和SO₂均表现出“反常”的假日效应.但春节期间NO和NO₂浓度为负偏差,即表示二者春节期间的平均浓度小于非春节期间.其中,NO偏差较大,达到-22.5%.由于春节前后人口流动量大,车流量增大,汽车尾气排放增多,使NO浓度在春节前后迅速上升,而在7d的春节期间,大量在北京的务工人员回家过春节,北京城区车流量明显减少,汽车尾气排放量大大降低,造成

春节期间NO浓度明显低于非春节期间.另外,从春节期间NO和NO₂的日变化平均浓度曲线图上发现(图略),两个浓度峰值出现时间与非春节相比表现出明显的滞后现象,这与研究周末效应时出现的特征一致.NO和NO₂在春节和非春节期间的这种浓度差异,也可能是导致春节期间O₃浓度高于非春节期间的原因.国庆期间所有污染物浓度都表现出与周末效应相似的特征,即除O₃外,其它污染物浓度偏差均为负值,表示国庆期间污染物浓度小于非国庆期间,且浓度偏差较大的是PM_{2.5}和CO;O₃偏差为正值,国庆期间平均浓度大于非国庆期间.

表1 污染物在节假日和非节假日平均浓度对比

Table 1 Comparison of average concentrations of pollutants on holidays and non-holidays

时段	PM _{2.5} /($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	NO/ppb	NO ₂ /ppb	O ₃ /ppb	CO/ppm	SO ₂ /ppb
春节	95.8	26.8	43.5	17	1.6	34.5
非春节	68.1	34.6	47.2	15.6	1.5	24.8
偏差	40.70%	-22.50%	-7.80%	9.00%	6.70%	39.10%
国庆	67.6	17	37	42	0.5	19.7
非国庆	92.9	19	41.7	37.1	0.7	19.8
偏差	-27.20%	-10.50%	-11.30%	13.20%	-28.60%	-0.50%

注:偏差=(节假日值-非节假日值)/非节假日值×100%.

针对春节期间PM_{2.5}、CO和SO₂表现出的“反常”假日效应现象,下面对春节期间和非春节期间PM_{2.5}、CO和SO₂的小时平均浓度进行对比研究,分析造成这种现象的原因.

由图4可知,PM_{2.5}、CO和SO₂在春节期间19:00—次日06:00左右的小时平均浓度大于非春节期间;白天07:00—18:00,PM_{2.5}春节浓度低于非春节浓度,而CO春节和非春节浓度基本一致;按照中国的习俗,春节期间燃放烟花爆竹是庆祝新年的传统方式,尤其在夜间燃放较多(周变红等,2013;赵素平等,2012),导致春节期间19:00—次日01:00

左右PM_{2.5}、CO和SO₂浓度急剧上升,在01:00左右达到最高值,此时PM_{2.5}平均浓度可达178.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,是非春节平均浓度的2.7倍;此后,随着燃放源的减少,污染物浓度开始消散降低,由于CO寿命较长,此段时间CO浓度下降幅度与PM_{2.5}相比较不明显;07:00—18:00期间,SO₂春节浓度大于非春节浓度,初步推断由于烟花爆竹的燃放导致SO₂浓度过高,使其在短时间内对近地面的贡献量远大于现有污染源的贡献量,使得春节期间此段时间SO₂浓度依然高于非春节期间.对PM_{2.5}、CO和SO₂在春节和非春节期间的浓度数据进行显著性检验,结果

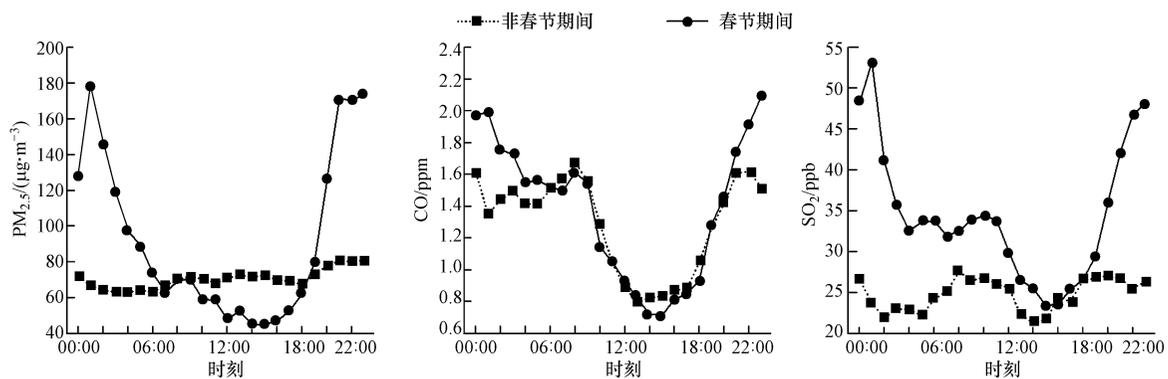


图4 春节和非春节期间PM_{2.5}、CO和SO₂日变化浓度曲线

Fig.4 Diurnal variation of PM_{2.5}, CO and SO₂ during Chinese New Year and non-Chinese New Year

表明,PM_{2.5}和SO₂在20:00—次日01:00具有显著性差异,CO在23:00差异最显著.基于以上分析可推断,春节期间出现PM_{2.5}、CO和SO₂“反常”浓度的现象主要是市民燃放烟花爆竹所引起;另外,春节期间具体天气系统对污染物的影响也不容忽视(张小玲等,2008).

4 结论(Conclusions)

1) 2009—2012年,北京城区6种污染物(PM_{2.5}、NO、NO₂、O₃、CO和SO₂)均表现出明显的周末效应现象,其中,O₃周末浓度高于工作日浓度,其它污染物周末浓度低于工作日浓度.NO、NO₂和CO浓度在周末和工作日的日变化最大偏差出现在08:00,分别为-19.8%、-14.9%和-13.9%;O₃周日最大浓度要比周五最小浓度高出19.5%;PM_{2.5}浓度表现出周三最高、周六最低的特点;SO₂周末浓度略小于工作日浓度,二者日变化浓度偏差在10%以内.在季节变化中,除O₃外,其它污染物浓度秋冬季均高于春夏季,整体表现出周末浓度略小于工作日浓度的变化规律,O₃则表现出相反的变化形式.

2) 烟花爆竹集中燃放的影响使PM_{2.5}、CO和SO₂春节浓度大于非春节浓度,而NO和NO₂春节浓度均小于非春节浓度,国庆节期间PM_{2.5}、NO、NO₂、CO和SO₂的浓度均小于非国庆期间;而O₃在两个长假中均表现为假日浓度高于非假日浓度.整体来看,北京城区污染物均表现出与周末效应相类似的假日效应(春节烟花爆竹燃放影响除外).

3) 周末和工作日污染物浓度日变化特征表明,北京城区污染物浓度出现峰值的时间均在市民活动较频繁的时期,除O₃外,其它污染物浓度在周末明显低于工作日这一现象与人类在周末和工作日的作息安排差异相吻合;另一方面,在假日效应研究中发现,与国庆节相比,春节期间PM_{2.5}、CO和SO₂浓度均出现“反常”的变化规律,并且这种“反常”浓度出现的时间正好对应人为污染源排放增多时期,这在一定程度上说明人类活动对污染物浓度变化具有一定的影响力.

责任作者简介:张小玲(1972—),女,研究员,长期从事城市和区域大气环境研究以及预报预警工作,已发表研究论文50余篇.E-mail:xlzhang@ium.cn.

参考文献(References):

Altshuler S L, Arcadio T D, Lawson D R. 1995. Weekday vs. weekend

ambient ozone concentrations; discussion and hypotheses with focus on northern California[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 45(12): 967-972

北京交通发展研究中心. 2013. 2013年北京市交通发展年度报告[EB/OL]. 北京: 北京交通发展研究中心. 2014-08-10. <http://www.bjtrc.org.cn/JGJS.aspx?id=5.2&Menu=GZCG21>

Brönnimann S, Neu U. 1997. Weekend-weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions[J]. *Atmospheric Environment*, 31(8): 1127-1135

Christoforou C S, Salmon L G, Hannigan M P, et al. 2000. Trends in fine particle concentration and chemical composition in Southern California[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(1): 43-53

Cleveland W S, Graedel T E, Kleiner B, et al. 1974. Sunday and workday variations in photochemical air pollutants in New Jersey and New York[J]. *Science*, 186(4168): 1037-1038

Cross F. 1973. The behavior of stock prices on Fridays and Mondays[J]. *Financial Analysts Journal*, 29(6): 67-69

段春峰, 缪启龙, 马利, 等. 2012. 长江三角洲地区气温变化的周末效应[J]. *长江流域资源与环境*, 21(4): 482-488

Forster P M D F, Solomon S. 2003. Observations of a “weekend effect” in diurnal temperature range[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20): 11225-11230

Fujita E M, Stockwell W R, Keislar R E, et al. 2000. Weekend/weekday ozone observations in the South Coast Air Basin: Retrospective analysis of ambient and emissions data and refinement of hypotheses, Volume I-Executive Summary[R]. The National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO by the Desert Research Institute, Reno, NV and Sonoma Technology, Petaluma, CA

龚道溢, 郭栋, 罗勇. 2006. 中国夏季日降水频次的周末效应[J]. *气候变化研究进展*, 2(3): 131-134

贺克斌, 贾英韬, 马永亮, 等. 2009. 北京大气颗粒物污染的区域性本质[J]. *环境科学学报*, 29(3): 482-487

贾璇, 王文彩, 陈勇航, 等. 2010. 华北地区沙尘气溶胶对云辐射强迫的影响[J]. *中国环境科学*, 30(8): 1009-1014

Jin M, Shepherd J M, King M D. 2005. Urban aerosols and their variations with clouds and rainfall: A case study for New York and Houston[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 110(D10), doi: 10.1029/2004JD005081

Jones A M, Yin J X, Harrison R M. 2008. The weekday-weekend difference and the estimation of the non-vehicle contributions to the urban increment of airborne particulate matter [J]. *Atmospheric Environment*, 42(19): 4467-4479

Lebron F. 1975. A comparison of weekend-weekday ozone and hydrocarbon concentrations in the Baltimore-Washington metropolitan area [J]. *Atmospheric Environment* (1967), 9(9): 861-863

李令军, 王英, 李金香, 等. 2012. 2000~2010北京大气重污染研究[J]. *中国环境科学*, 32(1): 23-30

Lin C Y, Wang Z F, Chou C C K, et al. 2007. A numerical study of an autumn high ozone episode over southwestern Taiwan[J]. *Atmospheric Environment*, 41(17): 3684-3701

刘洁, 张小玲, 谢璞, 等. 2007. 上甸子区域本底站大气痕量活性气体

- 的变化规律[J].环境化学,26(5): 693-698
- 刘洁,张小玲,徐晓峰,等.2008.北京地区 SO₂、NO_x、O₃ 和 PM_{2.5} 变化特征的城郊对比分析[J].环境科学,29(4): 1059-1065
- 刘庆阳,刘艳菊,杨峥,等.2014.北京城郊冬季一次大气重污染过程颗粒物的污染特征[J].环境科学学报,34(1): 12-18
- Lough G C, Schauer J J, Lawson D R. 2006. Day-of-week trends in carbonaceous aerosol composition in the urban atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 40(22): 4137-4149
- Motallebi N, Tran H, Croes B E, *et al.* 2003. Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 53(7): 876-888
- Peters A. 2005. Particulate matter and heart disease: evidence from epidemiological studies [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 207(2): 477-482
- 任艳军,李秀央,金明娟,等.2007.大气颗粒物污染与心血管疾病死亡的病例交叉研究[J].中国环境科学,27(5): 657-660
- 石玉珍,徐永福,王庚辰,等.2009.北京市夏季 O₃、NO_x 等污染物“周末效应”研究[J].环境科学,30(10): 2832-2838
- 隋珂珂,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
- Tan P H, Chou C, Chou C C K. 2013. Impact of urbanization on the air pollution “holiday effect” in Taiwan [J]. Atmospheric Environment, 70: 361-375
- 唐文苑,赵春生,耿福海,等.2009.上海地区臭氧周末效应研究[J].中国科学(D辑 地球科学),39(1): 99-105
- 汪安璞,黄衍初,杨淑兰,等.1987.北京大气中某些污染物及元素浓度的变化规律[J].环境化学,6(2): 16-21
- 王繁强,蔡新玲,周阿舒.2008.春节期间燃放烟花爆竹对西安市大气主要污染物质量浓度的影响[J].安全与环境学报,8(1): 82-86
- 王静,刘剑锋,孙福亮,等.2012.轨道新线接入后全网客流分布及成长规律研究[EB/OL].北京:北京交通发展研究中心,[2014-08-10], <http://www.bjtrc.org.cn/InfoCenter/NewsAttach//69250336-86b4-46fd-a76b-934ffe372bec.pdf>
- Wang T, Nie W, Gao J, *et al.* 2010. Air quality during the 2008 Beijing Olympics: secondary pollutants and regional impact[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 10(16): 7603-7615
- 向伟玲,安俊岭,王自发,等.2010.北京奥运会期间 CBM-Z 化学机制的模拟应用[J].气候与环境研究,15(5): 551-559
- 肖秀珠,刘鹏飞,耿福海,等.2011.上海市区和郊区黑碳气溶胶的观测对比[J].应用气象学报,22(2): 158-168
- 杨俊益,辛金元,吉东生,等.2012.2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析[J].环境科学,33(11): 3693-3704
- 张菊,苗鸿,欧阳志云,等.2006.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,26(11): 1886-1892
- 张小玲,徐敬,李腊平.2008.不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究[J].气象与环境学报,24(4): 6-12
- Zhang X Y, Wang Y Q, Lin W L, *et al.* 2009. Changes of atmospheric composition and optical properties over Beijing- 2008 Olympic monitoring campaign [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(11): 1633-1651
- 章志芹,唐健,汤剑平.2008.无锡空气污染指数,气象要素的周末效应[J].南京大学学报(自然科学版),43(6): 643-654
- 赵素平,余晔,何建军,等.2012.兰州市2011年春节期间颗粒物浓度及其谱分布特征[J].中国环境科学,32(11): 1939-1947
- Zhao X J, Zhang X L, Xu X F, *et al.* 2009. Seasonal and diurnal variations of ambient PM_{2.5} concentration in urban and rural environments in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 43(18): 2893-2900
- 赵秀娟,蒲维维,孟伟,等.2013.北京地区秋季雾霾天 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析[J].环境科学,34(2): 416-423
- 郑祚芳.2013.城市化对北京霾日数影响统计分析[J].生态环境学报,22(8): 1381-1385
- 周变红,张承中,王格慧.2013.春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究[J].环境科学,34(2): 448-454
- 周明煜,曲绍厚,李玉英,等.1980.北京地区热岛和热岛环流特征[J].环境科学,1(5): 12-18