

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2015.0644

沈利娟, 李莉, 吕升, 等. 2016. 嘉兴市春节期间烟花爆竹燃放对大气污染物分布特征的影响[J]. 环境科学学报, 36(5): 1548-1557

Shen L J, Li L, Lü S, et al. 2016. Impacts of fireworks on the atmospheric pollutant distributions during Spring Festival in Jiaxing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 36(5): 1548-1557

嘉兴市春节期间烟花爆竹燃放对大气污染物分布特征的影响

沈利娟^{1,2,*}, 李莉¹, 吕升¹, 张孝寒¹, 王翡¹, 章国骏¹

1. 嘉兴市环境保护监测站, 嘉兴 314000

2. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏省大气环境监测与污染控制高新技术研究重点实验室, 南京 210044

收稿日期: 2015-07-14 修回日期: 2015-09-06 录用日期: 2015-09-06

摘要: 为研究春节期间烟花爆竹的燃放对嘉兴市空气质量的影响, 利用 2015 年春节期间嘉兴市 3 个监测站点的常规污染物 (PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO) 和南湖区残联站的有机碳 (OC) 和元素碳 (EC) 数据, 分析了烟花爆竹对嘉兴市不同功能区和不同空气质量条件下大气污染物的污染特征的影响。结果表明: 春节烟花爆竹燃放显著影响 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的浓度, 残联站、清河小学和北部站在 23 日 00:00 达最高值, PM₁₀ 浓度分别为 190、263 和 147 μg·m⁻³, 是非春节期间的 2.2、2.8 和 2.1 倍, PM_{2.5} 浓度分别高达 156、158 和 78 μg·m⁻³, 是非春节期间的 2.6、2.2 和 2.2 倍。烟花爆竹燃放对污染气体的影响存在差异, 对 CO 和 SO₂ 的浓度影响较大, 对 NO₂ 和 O₃ 的浓度影响较小。烟花爆竹燃放对嘉兴市老城区大气污染物的影响最大, 其次是新城区, 对工业区影响最小。污染源减排对大气污染物的影响比较大, 2013—2015 年嘉兴市春节期间大气污染物浓度 (PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO) 整体要低于非春节期间, 平均降幅在 6.8%~46.1% 之间。二次生成物 O₃ 在春节期间的浓度均要高于非春节期间, 增幅为 20.1%~22.1%。不同空气质量条件下烟花爆竹的燃放对大气污染物的影响不同。

关键词: 嘉兴; 春节; 烟花爆竹燃放; 颗粒物; 污染气体

文章编号: 0253-2468(2016)05-1548-10

中图分类号: X513

文献标识码: A

Impacts of fireworks on the atmospheric pollutant distributions during Spring Festival in Jiaxing

SHEN Lijuan^{1,2,*}, LI Li¹, LÜ Sheng¹, ZHANG Xiaohan¹, WANG Fei¹, ZHANG Guojun¹

1. Jiaxing Environmental Monitoring Station, Jiaxing 314000

2. Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control (AEMPC), School of Environmental Sciences and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Received 14 July 2015;

received in revised form 6 September 2015;

accepted 6 September 2015

Abstract: In order to investigate the impacts of fireworks on the air pollutants during Spring Festival in Jiaxing, monitoring data from February 18 to 24, 2015, including concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃, Qinghexiaoxue and Beibu stations and OC/EC from Canlian station, were analyzed to discuss the pollutant features in different functional areas and different air quality conditions. Results show that firework burning had significant influences on PM₁₀ and PM_{2.5}, with PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Canlian, Qinghexiaoxue, and Beibu stations up to 190, 263, 147 μg·m⁻³ and 156, 158, 78 μg·m⁻³ at 00:00 on February 23, respectively, 2.2, 2.8, 2.1 and 2.6, 2.2, 2.2 times higher than those on non-firework period. The burning of firework had relatively great impacts on CO and SO₂ while weak impacts on NO₂ and O₃. At different functional areas, the influences of fireworks on pollutants ranked in the order of old town > new town > industrial area. According to the monitoring data from 2013 to 2015, pollution abatement had strong effects on air pollutants (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, and CO), with concentrations during firework period 6.8%~46.1% smaller than those during non-firework

基金项目: 嘉兴市大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 来源解析及控制技术研究 (No. 2014AY21012); 江苏省大气环境监测与污染控制高新技术研究重点实验室开放基金项目 (No. KHK1408); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD) 资助

Supported by the Research of PM_{2.5} Source Apportionment and Control Technology in Jiaxing (No. 2014AY21012), the Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control (No. KHK1408) and the A Project Funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD)

作者简介: 沈利娟 (1987—), 女, E-mail: shenlijuan_428@163.com; * 通讯作者 (责任作者)

Biography: SHEN Lijuan (1987—), female, E-mail: shenlijuan_428@163.com; * Corresponding author

period. However, the secondary species of O_3 increased by 20.1% ~ 22.1%. The impacts of fireworks on air pollutants varied with different air quality conditons.

Keywords: Jiaxing; the Spring Festival; fireworks; PM; trace gases

1 引言(Introduction)

近年来,短期空气质量恶化事件以及其对人类健康的长期影响越来越受到人们的关注(Tertre *et al.*, 2002; Yorifuji *et al.*, 2010; Pope *et al.*, 2006).其中,春节作为中国最重要的节日,会在短时间内燃放大量的烟花爆竹,进而导致空气质量在短时间内急剧恶化.燃放烟花爆竹可能造成伤亡事故(Van Kamp *et al.*, 2005; Witsaman *et al.*, 2006),同时会释放大量的颗粒物(Vecchi *et al.*, 2008)、气态污染物(Attri *et al.*, 2001; Ravindra *et al.*, 2003)、金属元素和有机成分(Moreno *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007),进而降低能见度(Vecchi *et al.*, 2008).周变红等(2013)研究表明春节期间有机碳(OC)、元素碳(EC)、水溶性有机碳(WSOC)、非水溶性有机碳(WIOC)高于春节期间的其他正常时段1.7倍、1.2倍、1.4倍和2.2倍.乔立平(2014)研究表明燃放烟花爆竹对上海PM和 SO_2 的影响最为显著,对 NO_x 和CO的影响较弱.Drewnick等(2006)利用飞行时间气溶胶质谱(TOF-AMS)研究显示,德国美因茨新年夜燃放烟花对钾、硫酸盐、有机物和氯化物的影响显著.Kulshrestha等(2004)的研究发现印度排灯节期间Ba、K、Al、Sr是节前的1091、25、18和15倍;Tsai等(2012)在台湾地区也发现元宵节期间 $PM_{2.5}$ 中Mg、K、Pb和Sr是非燃放时段的10倍以上.Babu等(2001)发现印度排灯节期间黑炭浓度增加了3倍以上,邹强等(2014)研究发现苏州烟花爆竹燃放高峰期OC的浓度明显上升,赵金平等(2011)发现泉州春节期间多环芳烃的浓度明显高于正常时段.张小玲等(2008)研究表明气象条件是影响北京春节期间整体空气质量的主要因素.

目前,北京(王占山等, 2015)、上海(Zhang *et al.*, 2010)、南京(王红磊等, 2014)、西安(周变红等, 2013)、太原(耿红等, 2015)、泉州(赵金平等, 2011)等地也已率先开展了研究燃放烟花爆竹对环境空气质量的影响.但是长三角沿海城市春节期间空气质量的研究还相对较少,特别是多点位的连续时间尺度的研究更是缺乏.嘉兴市作为长三角地区的重要沿海城市,是浙江北部的沪杭、苏杭交通干线中枢,与上海、杭州、宁波、绍兴、苏州等城市相距

均不到百公里,属于典型的亚热带季风气候,冬季湿冷,盛行偏北气团,不利于污染物扩散.研究春节期间的大气污染特征,对认识和了解烟花爆竹燃放对大气污染物形成的影响具有重要意义.此外,嘉兴春节期间,工业生产、建筑施工等活动水平大幅下降,周边地区污染源排放量也明显降低,烟花爆竹燃放为该时间段主要污染源.因此,本研究利用2015年嘉兴市区春节期间3个监测站点的常规污染物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、CO、 O_3)数据和南湖区残联站的OC和EC,分析了烟花爆竹的燃放对颗粒物质量浓度、污染气体浓度和OC/EC的浓度的影响,分析了嘉兴市不同功能区和不同空气质量条件下烟花爆竹的燃放对大气污染物的污染特征的影响,为合理引导烟花爆竹燃放相关法规的修订和污染控制措施的制定提供参考.

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 站点信息

大气环境监测数据来自嘉兴市空气质量自动监测网络,分别为嘉兴市南湖区残疾人联合会楼顶的监测站点(残联站,北纬 $30^{\circ}45'$,东经 $120^{\circ}47'$,海拔高度28.5 m,距地高度约25 m),清河小学监测站点(清河小学站,北纬 $30^{\circ}46'$,东经 $120^{\circ}44'$,海拔高度23.5 m,距地高度约20 m)和市区北部的大气特征污染因子监测站(北部站,北纬 $30^{\circ}47'$,东经 $120^{\circ}44'$,海拔高度10.5 m,距地高度约7 m)(见图1).残联站位于嘉兴市的新城区,周围以居民区为主,没有明显的污染排放源;清河小学站为嘉兴市的老城区,人口较为密集,交通相对拥堵;北部站位于穆湖森林公园西岸,距东侧禾欣实业和韩泰轮胎约500 m和900 m,距北侧晓星化纤约1000 m,能够大致反映工业区的污染物变化特征.其中,残联站和清河小学站是嘉兴市2个国控点位,北部站是市控点位,3个站点装备了先进的大气成分自动监测设备,基础设施条件较完善,各监测站点周边位置及地理环境如图1所示.2015年的观测时间为2015年2月1日—28日,其中2月18日00:00—2月24日23:00作为春节期间,其余时间段作为非春节期间.2013年春节时间为2月9日—2月15日,非春节时间为2月1日—2月8日和2月16日—2月28日;

2014年春节期间为1月31日—2月6日,非春节期 间为1月1日—1月30日和2月7日—2月28日.

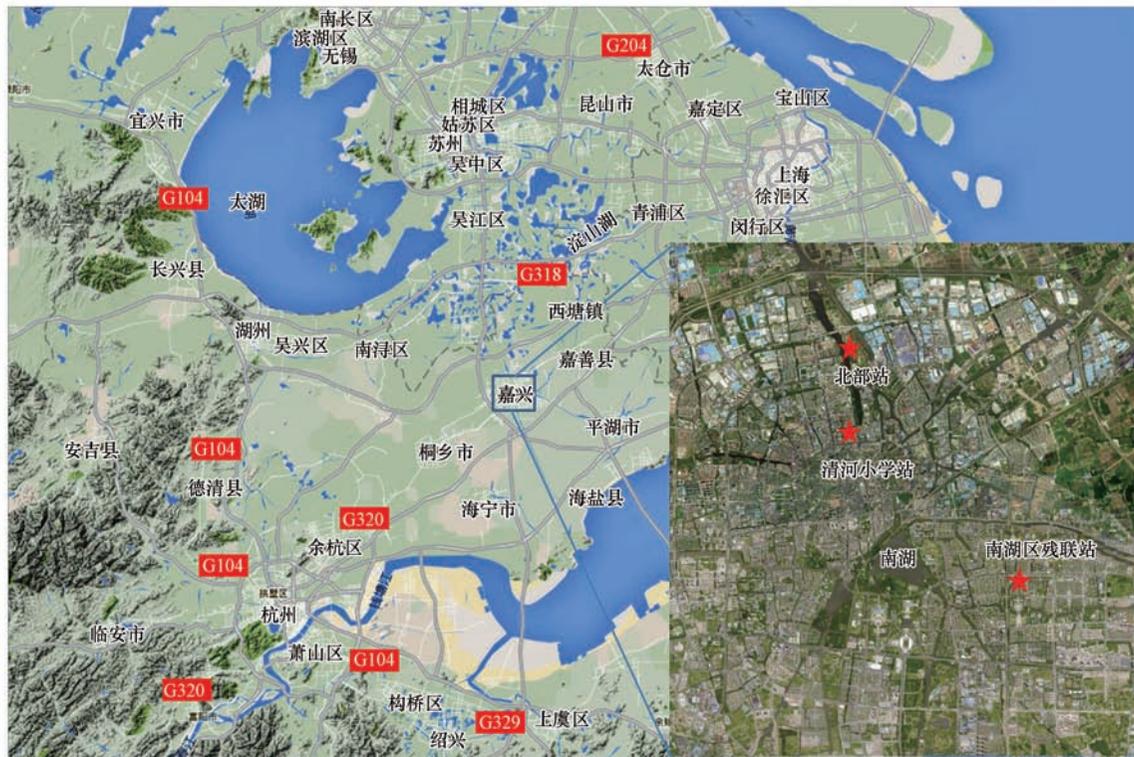


图1 监测站点分布图

Fig.1 Locations of the monitoring stations

2.2 观测仪器

残联站和清河小学站的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 采用美国热电公司生产的 SHARP-5030 颗粒物监测仪. 监测仪采用 β 射线衰减的原理, 颗粒物样品采集在 C14 碳源和检测器之间. 2 个站点的污染气体观测采用美国热电环境设备公司的 EMS 系统(包括 42i 化学发光 $NO-NO_2-NO_x$ 分析仪、49i 紫外发光 O_3 分析仪、43i 脉冲荧光 SO_2 分析仪和 48i 气体相关滤光 CO 分析仪), 具体的仪器参数见文献(沈利娟等, 2014). 残联站同时监测了 OC、EC 颗粒物, 采用 Sunset Laboratory 的半连续 OCEC 仪器, 应用 NIOSH5040 方法测定 OC 和 EC, 具体原理和过程见文献(Rattigan *et al.*, 2010). 北部站的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 采用美国热电公司生产的 1405DF 监测仪, 采用滤膜动态测量系统(FDMS)配合微量振荡天平法(TEOM), 将室外空气(加热后)抽入以恒定速度通过一张滤膜, 持续称量滤膜的质量并实时测量质量浓度. 污染气体采用美国 API 生产的 M100E 紫外荧光 SO_2 分析仪、M201E 高精度化学发光 NO_x/TNX 分析仪, 具体的仪器参数见文献(张磊, 2008), 所有数据均采用小时值.

3 结果与讨论(Results and discussion)

3.1 春节期间大气污染物的变化特征分析

3.1.1 烟花爆竹燃放对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的影响 图 2 为 2 月 18 日至 2 月 24 日 7 d 时间内 3 个站点 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度变化和日变化趋势. 由图可见, 3 个站点的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度的时间变化趋势大致相同, 除夕(2 月 18 日)凌晨开始颗粒物浓度开始缓慢上升, 除夕当天出现典型的两峰一谷分布特征, 在 07:00 和 13:00 左右分别出现峰值. 残联站、清河小学站和北部站在 13:00 左右的 PM_{10} 浓度分别为 132、168 和 $155 \mu g \cdot m^{-3}$, 是非春节期间 PM_{10} 均值(88、93、70 $\mu g \cdot m^{-3}$)的 1.5、1.8 和 2.2 倍; $PM_{2.5}$ 浓度分别为 74、82 和 $53 \mu g \cdot m^{-3}$, 是非春节期间 $PM_{2.5}$ 均值(61、71、35 $\mu g \cdot m^{-3}$)的 1.2、1.2 和 1.5 倍. 19 日凌晨 07:00 出现峰值, 残联站和清河小学 PM_{10} 浓度分别为 101 和 $146 \mu g \cdot m^{-3}$, 是非春节期间的 1.1 和 1.6 倍; $PM_{2.5}$ 浓度分别为 66 和 $79 \mu g \cdot m^{-3}$, 是非春节期间的 1.1 和 1.1 倍; 北部站由于该时段内缺少对应数据, 在此不做对比. 之后降水颗粒物浓度迅速降低. 2 月 21 日

04:00出现一个小峰值,随后颗粒物浓度持续缓慢升高.22日20:00—23日01:00颗粒物浓度达到春节期间最大值,残联站、清河小学站和北部站的 PM_{10} 浓度分别高达190、263和147 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,是非春节期间的2.2、2.8和2.1倍; $PM_{2.5}$ 浓度分别高达156、158和78 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,是非春节期间的2.6、2.2和2.2倍.研究发现,烟花爆竹燃放集中时段大气颗粒物的平均数浓度、表面积浓度和体积浓度较未受烟花爆竹燃放影响同时段平均值均有明显增加,且不同粒径段的颗粒物所受影响程度不一(赵素平,2012), $PM_{2.5}$ 化学组分中无机离子(如 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+)的上升是导致春节期间 $PM_{2.5}$ 升高的重要污染源(王占山等,2015).Wang等(2007)对2006年北京元宵节期间空气质量的研究表明, NO_3^- 的平均浓度是平日的7倍.之后颗粒物浓度迅速降低,并维持在较低水平,这说明烟花爆竹的燃放可使得空气质量急剧恶化,但是这种影响持续时间较短,这与王红磊等(2014a,2014b)的研究基本一致.23日之后 $PM_{2.5}$ 浓度较低且变化不大, PM_{10} 出现几次零星的峰

值.由 PM 的日变化规律可发现春节期间和非春节期间3个站点 PM 均在下午18:00—19:00出现峰值,这主要为边界层日变化造成.但是春节期间3个站点 PM 在00:00也存在峰值,这主要由烟花爆竹的燃放造成,这与国内外研究者认为燃放烟花爆竹会明显增加颗粒物浓度(Barman *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2011; Joly *et al.*, 2010; 赵金平等, 2011; 周变红等, 2013)的结果较为一致.此外由图2还可发现春节期间 PM_{10} 在00:00的峰值变化要大于 $PM_{2.5}$ 的峰值变化,这说明烟花爆竹燃放对嘉兴市 PM_{10} 的影响更大.

由图2可发现由于监测站点的周边环境不同, PM 受烟花爆竹燃放的影响程度也不同.烟花爆竹燃放导致00:00相对于23:00的 PM_{10} 浓度增幅为清河小学(29.1%)>残联站(4.1%)>北部站(2.7%). $PM_{2.5}$ 浓度增幅为清河小学(5.4%),残联站(3.6%).由图1可知残联站和清河小学站周边均为居民区,北部站周边多为工厂为工业区.工厂在春节期间多处于放假停产状态,因此影响最小.

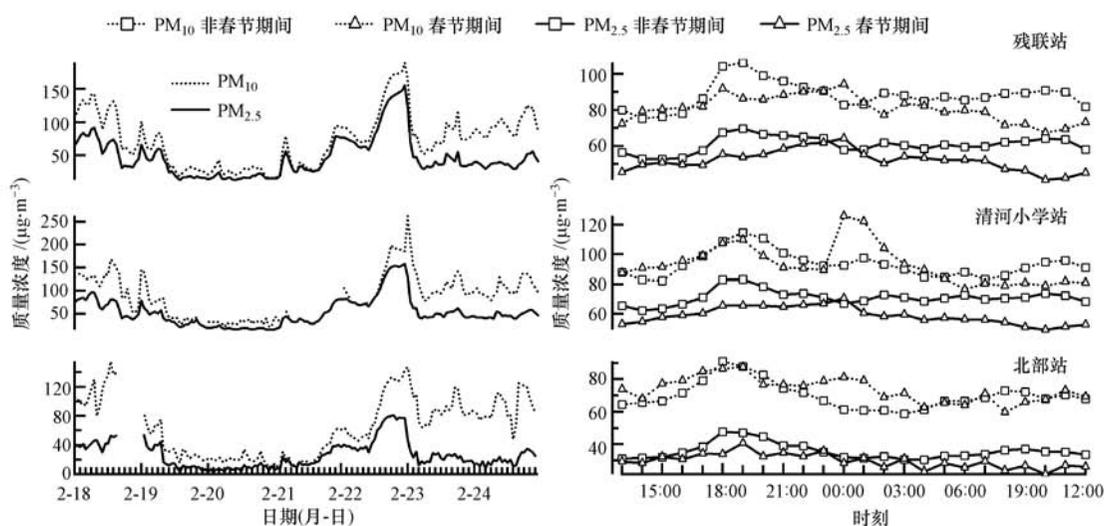


图2 春节期间和非春节期间 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时间序列和日变化趋势

Fig.2 Time series and diurnal variations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} during firework and non-firework period

3.1.2 烟花爆竹燃放对污染气体的影响 图3为不同站点 SO_2 、 NO_2 、 CO 和 O_3 在春节期间和非春节期间的平均日变化特征.烟花爆竹在燃放时会释放大量的 CO 、 SO_2 、 SO_3 、 NO_x 和各种氧化物,这些气态污染物在适宜的大气环境中经过化学和光化学反应生成 H_2SO_4 和 HNO_3 气体,当城市大气中原生粒子浓度较高时,它们会在原生粒子上凝结并与其中的某些物质发生反应,转化成硫酸盐和硝酸盐(金军

等,2007),进而增加颗粒物浓度水平.春节期间3个站点的 SO_2 浓度在00:00—01:00时间段内分别出现明显的峰值,北部站由于地理位置和观测仪器的不同,其峰值浓度低于其他两个站点,表明烟花爆竹燃放对 SO_2 的影响比较显著,00:00相对于23:00的浓度增幅为清河小学站(42.2%)>残联站(36.5%)>北部站(34.5%). NO_2 浓度在春节期间的日变化较为平缓,没有出现明显的峰值,3个站点

NO₂浓度从22:00到00:00之间呈现较弱的上升趋势,说明NO₂受春节烟花爆竹影响相对较弱,其中增幅为清河小学站(15.8%)>残联站(9.2%)>北部站(8.1%).春节期间,残联站的CO浓度在21:00后开始缓慢上升直至次日早晨,清河小学的CO浓度在00:00左右出现明显的峰值,且峰值浓度高于对应时段内的非春节期间平均小时值,随后有所下降,表明烟花爆竹燃放对CO的贡献较大,清河小学站的浓度增幅(6.7%)大于残联站(5.7%).此外,春节

期间CO浓度在11:00—17:00这一时间段内远高于非春节期间的平均小时值,清河小学站点周边地区为嘉兴市老城区,人口较为密集,生物质和煤炭等CO人为排放源较多.春节期间夜间的O₃浓度高于非春节期间,Attri等(2001)研究发现烟花爆竹燃放时可产生大量的波长在240 nm以下的亮光,这些辐射可将O₂解离为O,进而可促进臭氧的生成,如式(1)所示.

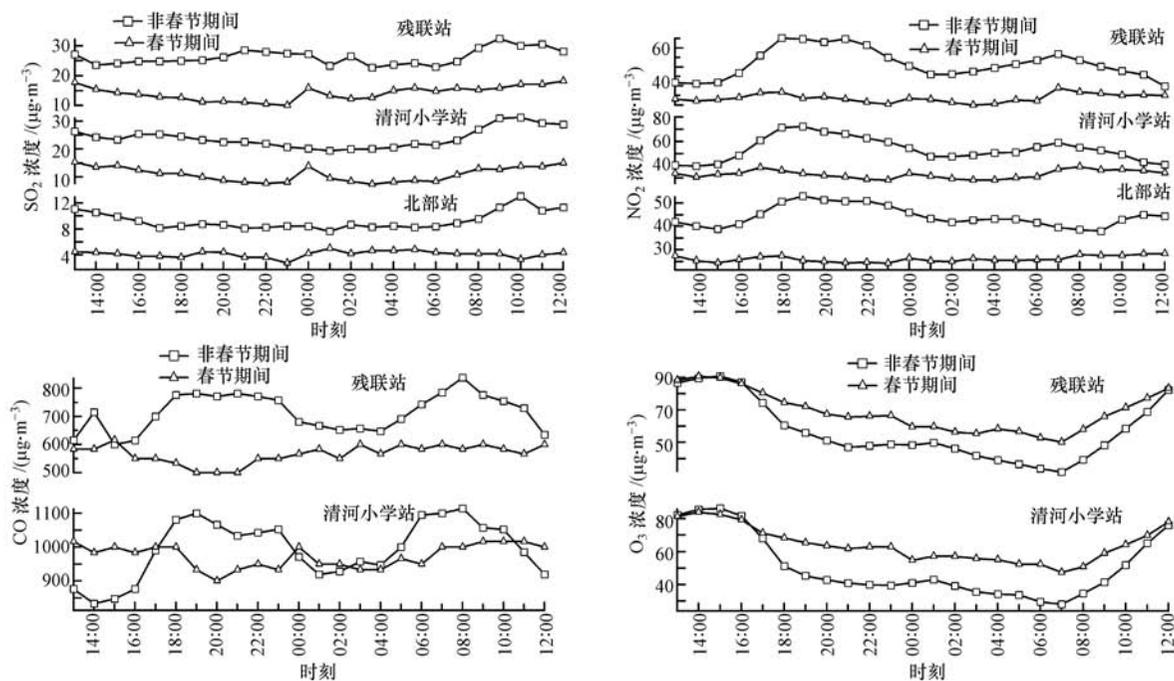
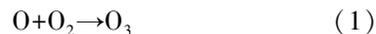


图3 春节期间和非春节期间污染气体的日变化

Fig.3 Diurnal variations of traces gases during firework and non-firework period

3.2 春节期间污染源减排对大气污染物分布特征的影响

由于近年来灰霾事件频发,针对春节期间大量燃放烟花爆竹造成的空气质量恶化的情况,2012年12月11日杭州市、嘉兴市、湖州市签订了《杭嘉湖市界重点区域烟花爆竹“打非治违”联动机制工作协议》,建立了杭嘉湖市界重点区域烟花爆竹“打非治违”工作联动机制和联席会议制度(http://news.haining.gov.cn/bmdt/201212/t20121213_255293.htm).嘉兴周边地区也逐步对春节期间烟花爆竹燃放时间做了相应规定,如杭州规定2013年春节可燃放烟花爆竹为18 d,2014年为4 d,2015年仅为3 d(<http://biz.zjol.com.cn/system/2014/11/13/020355516.shtml>).为了验证政策实施以来对春节期间烟花爆竹燃放的影响,对2013—2015年春节期间

和非春节期间3个站点的PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO、O₃的平均值进行对比分析,结果如图4所示.

根据中国天气(<http://www.weather.com.cn/>)记录可知,2013年2月6—9日和2月17—20日,2014年1月7—22日、2月8—18日和26—28日,2015年2月5—9日和22—27日嘉兴分别有冷空气过境,冷空气带来降温降水过程.由香港天文台(<http://gb.weather.gov.hk/>)公布的天气图可知,2013年春节期间嘉兴多位于高压中心,等压线稀疏,天气形式稳定.2014年春节期间除2月1日嘉兴受弱低压控制外,其余时段均受大陆冷高压的控制.2015年春节期间除2月21日受低压控制外,其余时段也均为高压控制,且等压线较为稀疏.综上所述,2013—2015年春节前后均有不同程度的冷空气影响嘉兴,春节期间嘉兴主要受高压控制,天气形

式稳定.即 2013—2015 年嘉兴春节期间天气形式基本一致,污染物受天气条件的影响差异较小.

由于 2013 年残联站春节期间 PM_{10} 数据缺失,对该时段的数据不做具体分析.除 2013 年,春节期间的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度均不同程度的低于非春节期间.2013 年春节期间(2 月 10 日)出现了 1 次以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的重度污染过程,清河小学站和北部站的 PM_{10} 日均浓度分别达到 283 和 240 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,残联站、清河小学站和北部站的 $PM_{2.5}$ 浓度分别达到 182、268 和 180 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.2014—2015 年,残联站、清河小学站和北部站春节期间 PM_{10} 浓度相比非春节期间均值的平均降幅为 10.3%、6.8% 和

12.2%, $PM_{2.5}$ 浓度平均降幅为 15.4%、13.2% 和 18.1%.

由图 4 可知 2013—2015 年春节期间 SO_2 和 NO_2 浓度均不同程度的低于非春节期间,残联站、清河小学站和北部站 SO_2 的平均降幅分别为 42.5%、45.1% 和 46.1%, NO_2 的平均降幅为 43.9%、38.8% 和 29.7%.CO 在 2013 和 2015 年春节期间的浓度低于非春节期间的平均值,而 2014 年春节期间要高于非春节期间.2014 年春节期间(2 月 2 日)出现了 1 次重度污染过程,此次过程不同于 2013 年春节期间的重度污染过程,除了颗粒物浓度相对较高外,CO 在该日的日均浓度分别高达 2813 和 2786 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,小

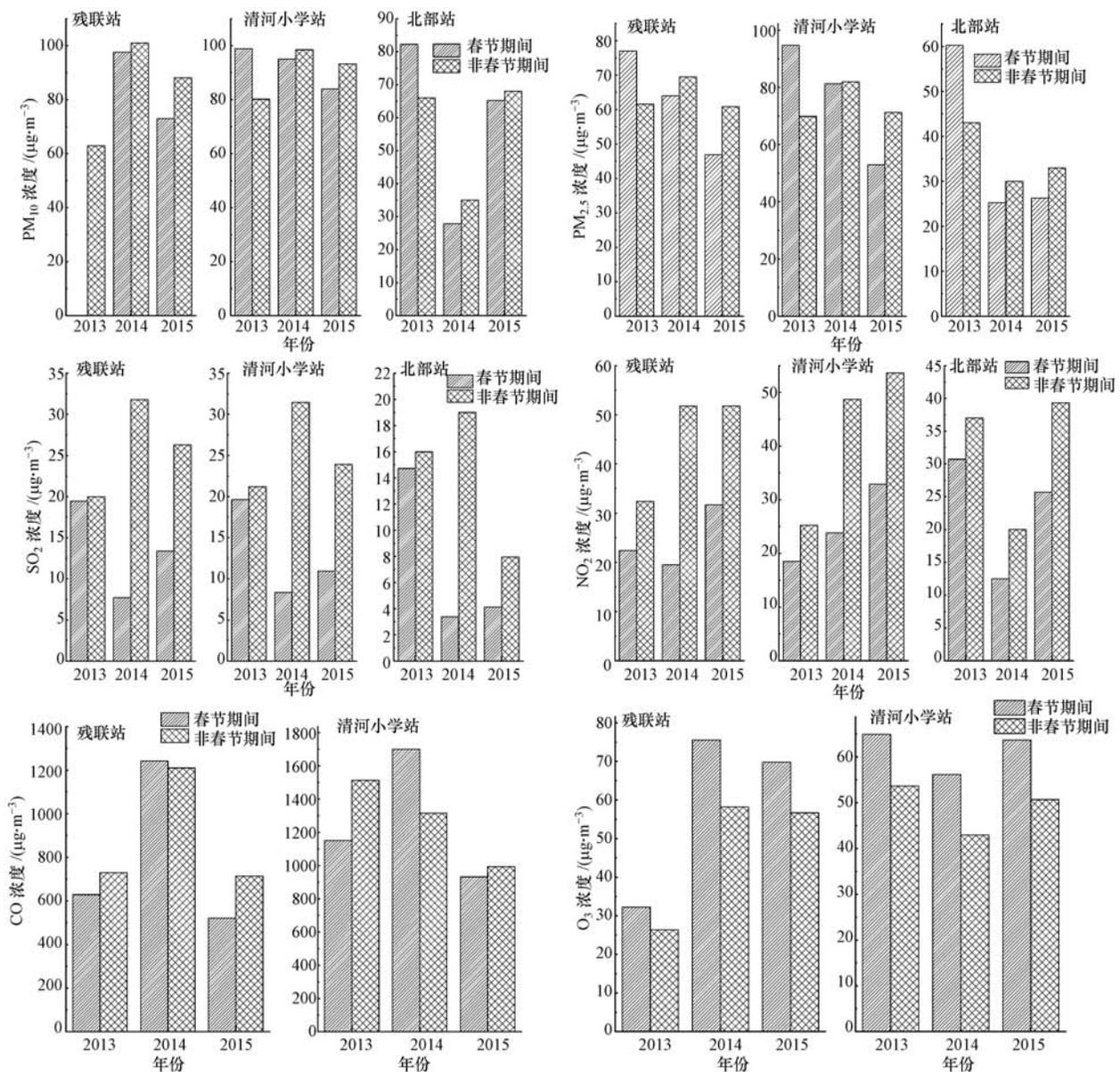


图 4 2013—2015 年春节期间和非春节期间的污染物浓度对比

Fig.4 Comparisons of air pollutants during firework and non-firework period in 2013—2015

时浓度最高达到 4100 和 3700 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 2013、2015 年春节期, 残联站和清河小学站 CO 浓度的平均降幅分别为 20.4% 和 15.1%. 2013—2015 年, O_3 在春节期间的浓度均高于非春节期间, 残联站和清河小学站的平均增幅分别为 20.1% 和 22.1%. 可见, 虽然受春节期间烟花爆竹燃放的影响, 但大气污染物浓度(除 O_3)整体上要低于非春节期间的平均水平, 表明污染源减排对空气质量的正影响较为明显. O_3 作为二次生成物, 在春节期间的浓度均要高于非春节期间.

由图 4 可知, 2013 年 3 个站点颗粒物浓度的增幅相差不大, PM_{10} 浓度在春节期间的增幅为 18.9%~19.8%, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在春节期间的增幅为 20.0%~28.7%. 2014—2015 年 3 个站点颗粒物浓度在春节期间均低于非春节期间, 北部站在 2014 年 PM_{10} 的降幅最大可达 20.4%, 而在 2015 年降幅最低仅为 4.1%; 残联站正好相反, 2014 年 PM_{10} 降幅最低(3.3%), 2015 年降幅最大(17.2%). 3 个站点 $\text{PM}_{2.5}$ 在 2014 年春节期间的降幅分别为残联站(7.9%)、清河小学站(0.9%)和北部站(15.8%), 在 2015 年的降幅分别为残联站(22.8%)、清河小学站(25.6%)和北部站(20.3%).

由图 4 可知, 2013—2015 年, SO_2 浓度在不同监测站点的降幅较为一致, 整体表现为 2014 年春节期间的降幅最高(73.5%~82.2%), 其次为 2015 年(48.0%~54.2%), 2013 年最低(2.6%~8.0%). 3 个站点 NO_2 浓度在 2015 年的降幅较为一致(34.6%~38.8%), 在 2013 和 2014 年的降幅为残联站(30.7%和 62.4%)>清河小学站(26.7%和 51.1%)>北部站(17.0%和 37.6%). CO 浓度在 2013 和 2014 年的降(增)幅均表现为清河小学站高于残联站, 而在 2015 年相反. 残联站和清河小学站 CO 浓度在 2013 年的降幅为 13.9%和 23.9%, 在 2014 年的增幅为 2.6%和 22.6%, 在 2015 年的降幅为 27.0%和 6.2%. 2013—2015 年, O_3 浓度的增幅在残联站和清河小学站的相差不大, 表明春节期间 O_3 浓度的分布较为均匀. 残联站和清河小学站 2013 年春节期 O_3 的增幅分别为 18.4% 和 17.3%, 2014 年的增幅为 23.0% 和 23.6%, 2015 年的增幅为 18.9% 和 20.5%.

3.3 不同空气质量条件下烟花爆竹燃放对污染物分布特征的影响

3.3.1 对 PM、OC 和 EC 的影响 图 5 为不同空气

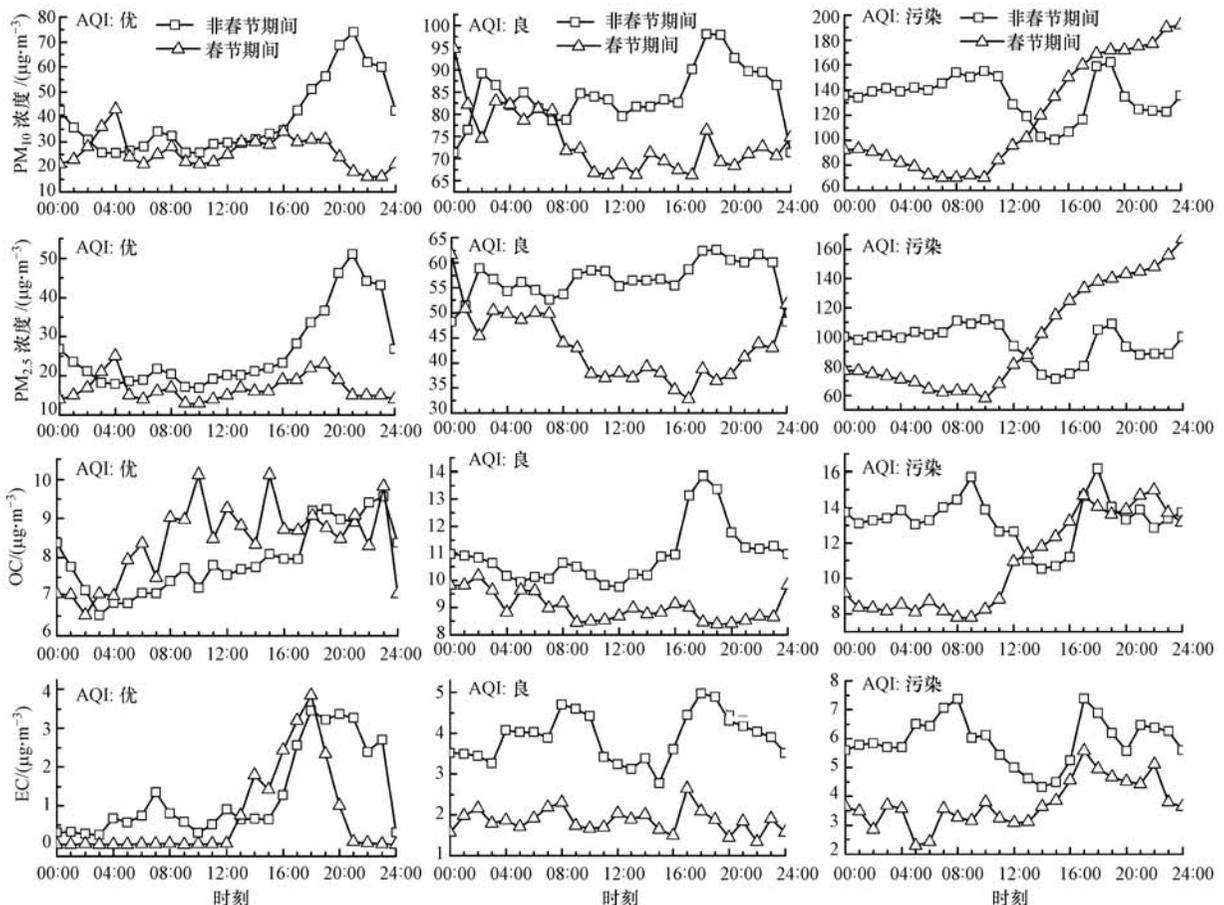


图 5 不同空气质量条件下 PM、OC 和 EC 的日变化

Fig.5 Diurnal variations of PM, OC and EC under different air quality conditions

质量条件下,烟花爆竹燃放对残联站 PM、OC 和 EC 浓度分布的影响情况.当 $0 \leq \text{AQI} \leq 50$ 时为优(天气), $51 \leq \text{AQI} \leq 100$ 时为良(天气), $\text{AQI} \geq 101$ 时为污染(天气).当 AQI 为优时, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 在春节期间均呈三峰分布, PM_{10} 峰值分别出现在 04:00、08:00 和 16:00, $\text{PM}_{2.5}$ 峰值出现在 04:00、08:00 和 19:00, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 均在 04:00 达到最高值(43 和 $25 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 在非春节期间呈双峰分布, 峰值均出现在 07:00 和 21:00, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 在 21:00 达最高值(74 和 $51 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). 当 AQI 为良时, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 均未出现明显的峰值特征, 春节期间在 00:00 出现最高值(95 和 $62 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 非春节期间 18:00—19:00 出现最高值(98 和 $63 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). 当 AQI 为污染时, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 自 10:00 浓度开始快速增加, 13:00 以后春节期间的浓度值均要高于非春节期间的浓度值; PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 在非春节期间呈双峰分布, 峰值均出现在 10:00 和 19:00, 各物种的峰值浓度相当. 总体来说, 非春节期间 PM 在不同空气质量条件下的日变化分布基本一致, 均为双峰型分布, 峰值多与上下班高峰期对应. 而在春节期间 PM 的日变化受烟花爆竹燃放的影响更大, 且这种影响随着污染程度的增加而变大.

当 AQI 为优时, OC 日均值在春节期间 ($8.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) 要高于非春节期间 ($7.9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 春节期间 OC 出现多个峰值; EC 在非春节期间呈双峰分布, 峰值出现在 07:00 和 18:00; 春节期间在午后 12:00 开始浓度急剧上升, 18:00 出现峰值. Babu 等 (2011)、周变红等 (2013) 和邹强 (2014) 研究发现烟花爆竹的燃放可产生大量的 OC 和 BC. 嘉兴烟花爆竹的燃放对 OC 的影响较大. 春节期间 EC 的变化主要由于人们出行时间发生变化造成. 当 AQI 为良时, OC、EC 在春节期间的变化较平稳, 在 02:00 出现极大值; 在非春节期间呈双峰分布, 峰值出现在 08:00 和 18:00, 在 18:00 达最高值 (13.8 和 $5.0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). 当 AQI 为污染时, 春节期间 OC、EC 浓度在 12:00 之后呈上升趋势, 类似于 AQI 为优的变化特征, 00:00 出现极大值; 在非春节期间呈双峰分布, 峰值出现在 08:00—09:00 和 17:00—18:00, 各物种的峰值浓度相当. 可见烟花爆竹燃放对嘉兴市 OC、EC 有不同程度的影响. AQI 为优和污染条件时, 其日变化受烟花爆竹燃放的影响较大.

3.3.2 对污染气体的影响 当 AQI 为优时, SO_2 、 NO_2 和 CO 的日变化在春节期间均较为平缓, 在

02:00 出现峰值, 主要是由烟花爆竹燃放造成; 非春节期间在 21:00—23:00 出现最高值 (31、63 和 $580 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). O_3 在春节期间 00:00 出现高值, 这也说明了烟花爆竹燃放能产生一定的 O_3 .

当 AQI 为良时, SO_2 、 NO_2 和 CO 在春节期间 00:00 出现峰值, 随后缓慢下降. SO_2 和 NO_2 在 04:00 开始升高, 07:00—12:00 之间出现峰值; CO 浓度波动较大, 出现多个峰值. 在非春节期间 SO_2 在 09:00 出现最高值 ($34 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), NO_2 和 CO 呈双峰分布, 09:00 和 18:00 分别出现峰值, 18:00 出现最高值 (70 和 $780 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). O_3 在春节和非春节期间均为单峰型分布, 峰值出现 14:00 左右. 但是夜间春节期间 O_3 浓度远高于非春节期间浓度, 说明烟花爆竹的燃放对 O_3 的影响在夜间要大于白天. 当 AQI 为污染时, SO_2 在春节和非春节期间均为双峰型分布, 但是在春节期间峰值分别位于 04:00 和 15:00—16:00, 非春节期峰值出现在 10:00 和 18:00, 春节期间 SO_2 在 04:00 达最高值 ($45 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 之后迅速降低, 说明受烟花爆竹的影响较大. 春节期间 NO_2 变化平缓, 在夜间浓度较大, 0:00 出现最大值 $52 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 08:00—12:00 出现最低值. CO 在春节期间日变化与 NO_2 类似, 在 07:00 出现最低值, 随后开始上升并保持在较高的浓度水平, 但是存在较多波动. 非春节期间, NO_2 和 CO 均呈双峰分布, 峰值出现在 07:00—08:00 和 18:00—21:00. 当 AQI 为污染时, 烟花爆竹燃放对 SO_2 、 NO_2 和 CO 浓度分布的影响最显著. O_3 在春节期间为双峰型分布, 07:00—08:00 出现峰值, 主要受烟花爆竹的燃放的影响.

4 结论 (Conclusions)

1) 春节烟花爆竹燃放显著影响 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度, 残联站、清河小学和北部站在 23 日 00:00 左右达最高值, PM_{10} 浓度分别为 190、263 和 $147 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 是非春节期间的 2.2、2.8 和 2.1 倍, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别高达 156、158 和 $78 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 是非春节期间的 2.6、2.2 和 2.2 倍. 烟花爆竹燃放对污染气体的影响存在差异, 对 CO 和 SO_2 的浓度影响较大, 对 NO_2 和 O_3 的浓度影响较小. 由于监测站点周边环境不同, 烟花爆竹燃放对大气污染物的影响程度也不同, 烟花爆竹燃放对嘉兴市老城区大气污染物的影响最大, 其次是新城区, 对工业区影响最小.

2) 污染源减排对大气污染物的影响比较大, 2013—2015 年嘉兴市春节期间大气污染物浓度

(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、 CO)整体要低于非春节期间,其中 SO_2 的降幅最大为42.5%~46.1%, NO_2 (29.7%~43.9%), CO (15.1%~20.1%)的降幅次

之, $PM_{2.5}$ 的降幅为13.2%~18.1%, PM_{10} 的降幅最小为6.8%~12.2%。 O_3 作为二次生成物,在春节期间的浓度均要高于非春节期间,增幅为20.1%~22.1%。

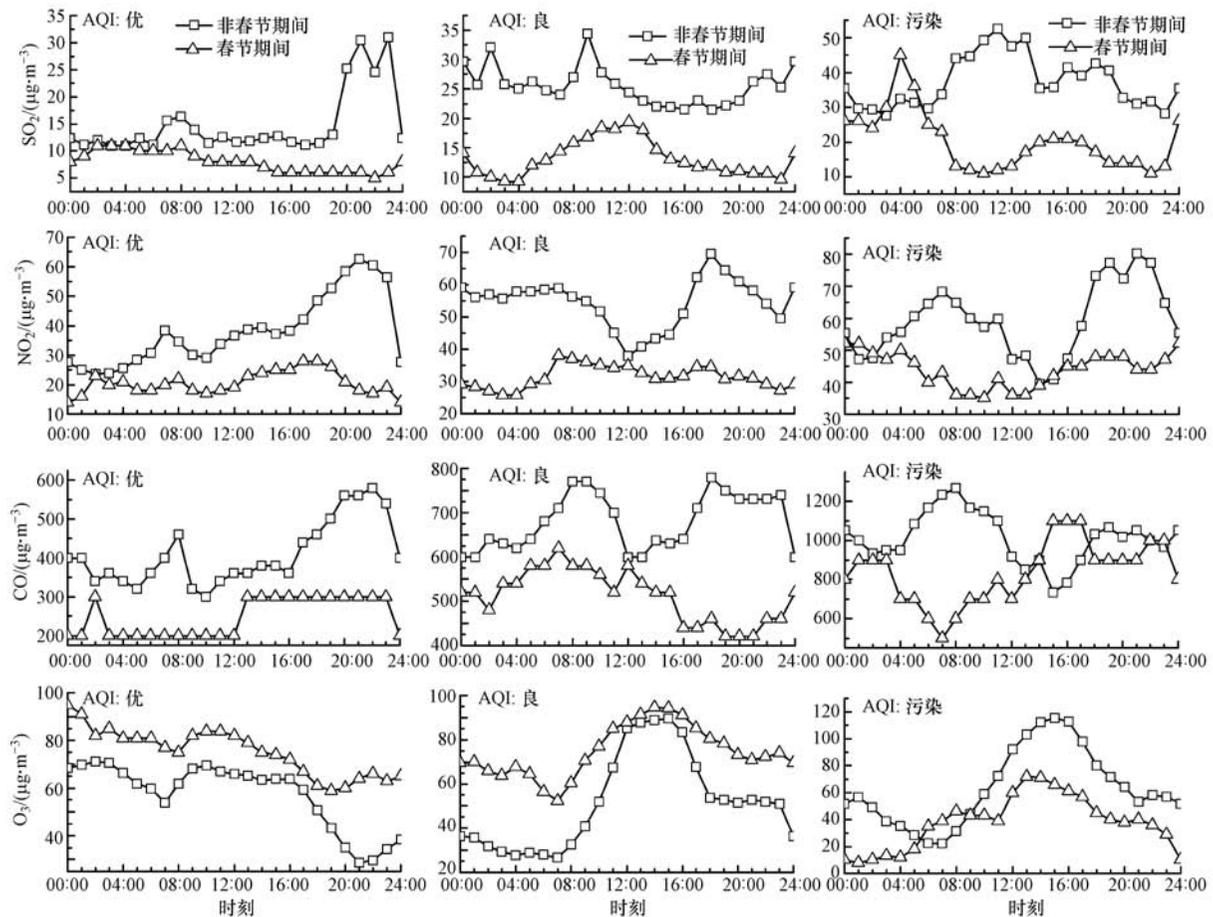


图6 不同空气质量条件下污染气体的日变化

Fig.6 Diurnal variations of trace gases under different air quality conditions

3)春节期间PM的日变化受烟花爆竹燃放的影响较大,且这种影响随着污染程度的增加而变大.烟花爆竹燃放对嘉兴市OCEC有不同程度的影响,AQI为优和污染时,其日变化受烟花爆竹燃放的影响较大.AQI为污染时,春节期间 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 日变化受烟花爆竹燃放的影响最显著。

作者简介:沈利娟(1987—),女,助理工程师,硕士,主要研究方向为大气环境与大气化学,发表论文12篇.E-mail: shenlijuan_428@163.com.

参考文献(References):

- Attri A K, Kumar U, Jain V K. 2001. Microclimate: Formation of ozone by fireworks[J]. *Nature*, 411(6841): 1015-1015
- Barman S C, Singh R, Negi M P S, *et al.* 2009. Fine particles in ambient air of lucknow city due to fireworks on diwali festival[J].

- Journal of Environmental Biology*, 30(5):625-632
- Chang S C, Lin T H, Yong C Y, *et al.* 2011. The impact of ground-level fireworks display on the air quality during the traditional Yanshui Lantern Festival in Taiwan [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 172(1/4): 463-479
- Drewnick F, Hings S S, Curtius J, *et al.* 2006. Measurement of fine particulate and gas-phase species during the New Year's fireworks 2005 in Mainz, Germany [J]. *Atmospheric Environment*, 40(23): 4316-4327
- 耿红,宣莹莹,蔡夏童,等.2015.太原市2014年春节期间的常规大气污染物浓度变化及聚类分析[J].*环境科学学报*,35(4): 965-974
- 金军,王英,李令军.2007.北京春节期间大气颗粒物污染及影响[J].*环境污染与防治*,29(3): 229-232
- Joly A, Smargiassi A, Kosatsky T, *et al.* 2010. Characterization of particulate exposure during fireworks display [J]. *Atmospheric Environment*, 44(34):4325-54329
- Kulshrestha U C, Rao T N, Azhagavel S, *et al.* 2004. Emissions and accumulation of metals in the atmosphere due to crackers and sparkles

- during Diwali festival in India [J]. *Atmospheric Environment*, 38 (27): 4421-4425
- Moreno T, Querol X, Alastuey A, *et al.* 2007. Recreational atmospheric pollution episodes: inhalable metalliferous particles from fireworks displays [J]. *Atmospheric Environment*, 41: 913-922
- Pope III C A, Dockery D W. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect [J]. *Journal of Air and Waste Management Association*, 56: 709-742
- 乔利平. 2014. 利用在线高分辨观测手段研究烟花爆竹燃放的大气污染物理化特征 [J]. *环境科学学报*, 34(9): 2398-2406
- Rattigan O V, Felton H D, Bae M S, *et al.* 2010. Multi-year hourly PM_{2.5} carbon measurements in New York: Diurnal, day of week and seasonal patterns [J]. *Atmospheric Environment*, 44: 2043-2053
- Ravindra K, Mor S, Kaushik C P. 2003. Short-term variation in air quality associated with fireworks events: a case study [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 5: 260-264
- 沈利娟, 李莉, 吕升, 等. 2014. 2013 年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析 [J]. *环境科学*, 35(5): 40-48
- Suresh Babu S, Krishna Moorthy K. 2001. Anthropogenic impact on aerosol black carbon mass concentration at a tropical coastal station: A case study [J]. *Current Science*, 81(9): 1208-1214
- Tertre A, Medina S, Samoli E, *et al.* 2002. Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56: 773-779
- Tsai H H, Chien L H, Yuan C S, *et al.* 2012. Influences of fireworks on chemical characteristics of atmospheric fine and coarse particles during Taiwan's Lantern Festival [J]. *Atmospheric Environment*, 62: 256-264
- Van Kamp I, Van der Velden P G, Stellato R K, *et al.* 2006. Physical and mental health shortly after a disaster: first results from the Enschede firework disaster study [J]. *The European Journal of Public Health*, 16(3): 252-258
- Vecchi R, Bernardoni V, Cricchio D, *et al.* 2008. The impact of fireworks on airborne particles. *Atmospheric Environment*, 42 (6): 1121-1132
- 王红磊, 朱彬, 沈利娟, 等. 2014b. 春节期间南京气溶胶质量浓度和化学组成特征 [J]. *中国环境科学*, 34(1): 30-39
- 王红磊, 朱彬, 沈利娟, 等. 2014a. 春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 [J]. *环境科学*, 35(2): 442-450
- Wang Y, Zhuang G, Xu C, *et al.* 2007. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 41: 417-431
- 王占山, 张大伟, 李云婷, 等. 2015. 2014 年春节期间北京市空气质量分析 [J]. *环境科学学报*, 35(2): 371-378
- Wang Y, Zhuang G S, Xu C, *et al.* 2007. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 41(2): 417-431
- Witsaman R J, Comstock R D, Smith G A, *et al.* 2006. Pediatric fireworks-related injuries in the United States: 1990-2003 [J]. *Pediatrics*, 118(1): 296-303
- Yorifuji T, Kashima S, Tsuda T, *et al.* 2010. Long-term exposure to traffic-related air pollution and mortality in Shizuoka, Japan [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 67: 111-117
- Zhang M, Wang X M, Chen J M, *et al.* 2010. Physical characterization of aerosol particles during the Chinese New Year's firework events [J]. *Atmospheric Environment*, 44: 5191-5198
- 张磊. 2008. 大气污染物及气象因素对辽中地区臭氧浓度的影响研究 [D]. 沈阳: 东北大学
- 赵金平, 徐亚, 张福旺, 等. 2011. 泉州郊区春节燃放烟花时段大气污染特征 [J]. *环境科学*, 32(5): 1224-1230
- 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
- 张小玲, 徐敬, 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
- 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
- 邹强, 姚玉刚. 2014. 春节烟花爆竹燃放期间苏州市区 PM_{2.5} 组分特征分析 [J]. *中国环境监测*, 30(4): 101-106