第 35 卷第 2 期
2015 年 2 月

环 境 科 学 学 报
Acta Scientiae Circumstantiae

Vol.35,No.2
Feb., 2015

DOI:10.13671/j.hjkxxb.2014.0798
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 Z S, Zhang D W, Li Y T, *et al*. 2015. Analysis of air quality in Beijing City during Spring Festival period of 2014 [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,35(2):371-378

2014 年春节期间北京市空气质量分析

王占山[1],张大伟[1],李云婷[1,*],冯鹏[1],董欣[1],孙瑞雯[1],潘丽波[2]

1. 北京市环境保护监测中心,北京 100048
2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室,北京 100012

收稿日期:2014-04-15　　**修回日期**:2014-06-10　　**录用日期**:2014-06-25

摘要:对 2014 年 1 月 30 日(除夕)13 时到 1 月 31 日(初一)12 时期间北京市官园、怀柔和良乡监测站的 CO、SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度及 $PM_{2.5}$化学组分和能见度等监测数据进行分析,探讨了污染源减排和烟花爆竹燃放对北京市空气质量的叠加影响.研究发现,烟花爆竹的集中燃放会在短时间内造成严重的大气污染,其中,对 PM_{10}、$PM_{2.5}$和 SO_2的影响最为显著.官园、怀柔和良乡监测站在 1 月 31 日凌晨 1 时的 PM_{10}浓度值分别为 377.8、253.2 和 627.0 μg·m^{-3},分别为 1、2 月份平均值的 2.4、2.0 和 3.6 倍;$PM_{2.5}$浓度值分别为 292.0、184.7 和 522.4 μg·m^{-3},分别为 1、2 月份平均值的 2.1、1.5 和 3.2 倍.烟花爆竹的燃放对 $PM_{2.5}$化学组分中的 K^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+}和 Na^+等影响最大,1 月 31 日凌晨 1 时这 5 种离子在 $PM_{2.5}$浓度中占的比例高达 92.1%.烟花爆竹的燃放造成 1 月 31 日凌晨 1 时监测中心和良乡的能见度分别降至 2422 m 和 3591 m,是 1、2 月份能见度均值的 22.9%和 32.8%.2010—2014 年"春节半月"期间官园、怀柔和良乡 PM_{10}平均浓度大多低于冬季均值和年均值,2014 年"春节半月"这 3 个监测站的 $PM_{2.5}$浓度相比于冬季均值分别下降了 33.3%、20.6%和 39.2%,表明污染源减排对空气质量的正影响非常明显.

关键词:春节期间;烟花爆竹;空气质量;$PM_{2.5}$;化学组分

文章编号:0253-2468(2015)02-371-08　　**中图分类号**:X513　　**文献标识码**:A

Analysis of air quality in Beijing City during Spring Festival period of 2014

WANG Zhanshan[1], ZHANG Dawei[1], LI Yunting[1,*], FENG Peng[1], DONG Xin[1], SUN Ruiwen[1], PAN Libo[2]

1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048
2. State Key Lab of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

Received 15 April 2014; **received** in revised form 10 June 2014; **accepted** 25 June 2014

Abstract: Monitoring data from 13:00 on January 30 to 12:00 on January 31, 2014, including concentrations of CO, SO_2, NO_x, PM_{10}, and $PM_{2.5}$, and the chemical characteristics of $PM_{2.5}$ as well as visibility from Guanyuan, Huairou and Liangxiang automatic air quality monitoring stations in Beijing were analyzed to investigate the combined impacts of pollutants reduction and emissions from fireworks on the air quality. The results showed that fireworks resulted in severe air pollution in a short time and had a significant impact on PM_{10}, $PM_{2.5}$ and SO_2. At 1:00 on January 31, PM_{10} concentrations at Guanyuan, Huairou and Liangxiang stations reached 377.8 μg·m^{-3}, 253.2 μg·m^{-3} and 627.0 μg·m^{-3}, which were 2.4, 2.0 and 3.6 times higher than the average concentration in January and February, respectively. $PM_{2.5}$ concentrations reached 292.0 μg·m^{-3}, 184.7 μg·m^{-3} and 522.4 μg·m^{-3}, which were 2.1, 1.5 and 3.2 times higher than the average concentration in January and February, respectively. Fireworks had great influence on the chemical composition of $PM_{2.5}$, especially on the potassium, sulfate, chloride, magnesium and sodium ions, which accounted for 92.1% of the total $PM_{2.5}$ mass concentration at 1:00 on January 31. Fireworks also reduced visibility. The visibility at Beijing Municipal Environmental Monitoring Center and Liangxiang station was 2422 m and 3591 m at 1:00 on January 31, which was 22.9% and 32.8% of the average visibility of January and February, respectively. In most cases, PM_{10} concentration at Guanyuan, Huairou and Liangxiang stations in the half month of Spring Festival was lower than the average concentration in winter and the annual average concentration from 2010 to 2014. $PM_{2.5}$ concentration at Guanyuan, Huairou and Liangxiang stations in the half month of Spring Festival decreased by 33.3%, 20.6% and 39.2% compared to the average concentration in winter. It can be concluded that reduction of pollutants had a positive significant impact on air quality in Beijing.

Keywords: Spring Festival period; fireworks; air quality; $PM_{2.5}$; chemical characteristics

基金项目:北京市科技计划课题(No.Z131100006113009);环保公益性行业科研专项(No.201409005)
Supported by the Science and Technology Commission of Beijing Municipality Fund Project(No.Z131100006113009) and the Commonweal Project in Ministry of Environmental Protection (No.201409005)

作者简介:王占山(1987—),男,工程师,E-mail:18701650609@163.com;*通讯作者(责任作者),E-mail:lee_yunting@163.com
Biography: WANG Zhanshan(1987—), male, engineer, E-mail: 18701650609@163.com; * **Corresponding author**, E-mail: lee_yunting@163.com

1 引言(Introduction)

从 1994 年开始,北京市区禁止燃放烟花爆竹,直至 2005 年 9 月 9 日,北京市宣布废除鞭炮燃放禁令,规定自 2005 年 12 月 1 日起施行“限放”,即规定五环路以内农历除夕至正月初一及正月初二至正月十五的 7:00—24:00 之间可以燃放烟花爆竹.废除燃放禁令后的春节期间成为北京市一年中污染排放波动最为剧烈的时期:一方面从春节前夕开始,全市人口及车流量均大幅减少,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,区域污染排放和积累的程度大幅减弱;另一方面,除夕、初一及元宵节等夜间时段,烟花爆竹集中燃放,短时间内排放大量污染物,对空气质量又会造成显著的负面影响.常规污染源排放减量和烟花爆竹污染排放增量的叠加效应,是影响春节期间空气质量的重要特征因素.

爆竹的主要成分是黑火药,含有硫磺、木炭粉、硝酸钾等,有的还含有氯酸钾.制作闪光雷、电光炮、烟花炮、彩色焰火时,还要加入镁粉、铁粉、铝粉、锑粉和无机盐.国内外的相关研究表明(Colbeck *et al.*, 1996;Perry, 1999;Wehner *et al.*, 2000;李令军等, 2006;Moreno *et al.*, 2007;洪也等,2011),大量燃放烟花爆竹会导致大气中的颗粒物、SO_2和 NO_2浓度增加.Wang 等(2007)对 2006 年北京市元宵节期间气溶胶化学成分的研究表明,燃放爆竹的夜晚气溶胶中一次成分含量(如 Ba、K、Sr、Pb、Mg 等)和二次成分(如 SO_4^{2-} 和 NO_3^-)比正常情况下高出 5 倍以上.Dutcher 等(1999)的研究表明,燃放烟花产生的颗粒物中元素 K 和 S 的含量很高,同时有机物和碳黑的含量较平时有所增加.徐敬等(2006)对 2003 年春节期间北京市气溶胶细粒子的研究表明,烟花爆竹的燃放会导致 $PM_{2.5}$中以燃烧为代表的元素(S、P 和 As)、部分金属元素(Al、Fe、Ti、Se 和 K)和可溶性离子成分浓度升高.另外,燃放烟花爆竹还会导致大气能见度显著下降(金军等,2007),产生致癌的多氯代二苯并二噁英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)(Dyke *et al.*, 1997; Fleischer *et al.*, 1999),以及危害人体健康(Ravindra *et al.*, 2003; Vassilia *et al.*, 2004;Kulshrestha *et al.*,2004).

目前,针对北京市春节期间空气质量的研究较少,特别是多点位的连续时间尺度的研究更是缺乏.因此,本研究对 2014 年北京春节期间 3 个监测站点的常规污染物浓度、$PM_{2.5}$化学组分及能见度进行分析,探讨污染源减排和烟花爆竹燃放对北京市空气质量造成的影响,并量化估算烟花爆竹燃放对 $PM_{2.5}$中化学组分的贡献率.

2 采样位置与监测方法(Sampling locations and monitoring methods)

大气环境监测数据来自于北京市空气质量自动监测网络,其中,选择位于市区的官园监测站作为城区监测点,选择位于北京市北部怀柔镇的怀柔监测站和位于北京市南部房山区的良乡监测站作为郊区监测点.$PM_{2.5}$化学组分分析仪安装在北京市环境保护监测中心楼顶,高度约为 30 m,与官园监测点的直线距离约为 2 km.能见度监测仪在监测中心楼顶和良乡监测站各有 1 台,各监测站位置如图 1 所示.

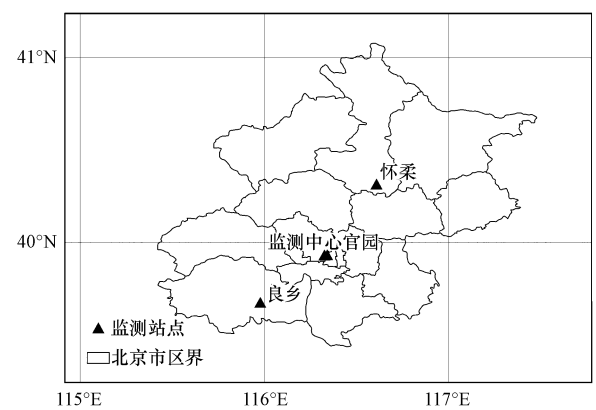


图 1 官园、怀柔、良乡监测站位置

Fig.1 Location of Guanyuan, Huairou and Liangxiang station

$PM_{2.5}$监测采用 Thermo Fisher 1405F 监测仪,原理是以恒定的流速将环境空气中的 $PM_{2.5}$颗粒通过采样切割器吸入仪器内部,用滤膜动态测量系统(FDMS)配合微量振荡天平法(TEOM)测量 $PM_{2.5}$的质量浓度.PM_{10}监测采用 Thermo Fisher 1400 监测仪,原理同样为 TEOM 法.CO 分析采用 Thermo Fisher 48C 气体过滤相关法分析仪,最低检测限为 40×10^{-9}(体积分数),零漂小于 100×10^{-9}/24 h,跨漂为±1%/24 h.NO_x分析采用 Thermo Fisher 42C 化学发光 NO-NO_2-NO_x分析仪,其原理是 NO 与 O_3发生化学反应时产生激发态的 NO_2分子,当激发态的 NO_2分子返回基态时发出一定波长的光,所发出光的强度与 NO 的体积分数呈线性正相关.检测 NO_2时先将 NO_2通过钼转换器转换成 NO,然后再通过化学

发光反应进行定量分析.该分析仪最低检测限为 0.05×10^{-9}(体积分数),零漂小于 0.025×10^{-9}/24 h,跨漂为±1%/24 h.O_3分析采用 Thermo Fisher 49C 紫外光度法分析仪,原理为 O_3分子吸收波长为 254 nm 的紫外光,该波段紫外光被吸收的程度直接与 O_3的体积分数相关,根据检测样品通过时紫外光被吸收的程度来计算出 O_3体积分数.分析仪最低检测限为 1×10^{-9}(体积分数),精度为 1×10^{-9}(体积分数),零漂为 0.4%/24 h,跨漂为±1%/24 h,±2%/7 d.SO_2监测采用 Thermo Fisher 43i 脉冲紫外荧光法分析仪,分析仪最低检测限为 0.5×10^{-9}(体积分数),精度为 1×10^{-9}(体积分数),零漂小于 1×10^{-9}/24 h,跨漂为±0.5%/24 h.化学组分分析采用 RT-4 型有机碳元素碳分析仪和 URG 9000S 阴阳离子在线监测仪,地面气象要素观测采用荷兰 VAISALA 公司生产的六参数 WXT520 气象仪,能见度监测采用芬兰 VAISALA 公司生产的 FD12 型能见度仪.各监测仪器均有校准仪,参照国家标准定期校准,保证监测数据的准确性和有效性.

3　结果与分析(Results and analysis)

3.1　烟花爆竹对 2014 年春节期间北京市空气质量的影响

烟花爆竹燃放较集中的是除夕夜间和正月十五元宵节夜间,由于自 2 月 13 日(正月十四)开始,北京市受不利气象条件的影响,发生连续 3 天的重污染过程,局地污染物的积累和区域的传输可能干扰到对烟花爆竹对空气质量影响的判断,因此,选择 1 月 30 日(除夕)13 时到 1 月 31 日(初一)12 时这一时间段进行分析,求得这期间各污染物的小时变化曲线,并与北京市 2014 年 1、2 月份这 3 个站点除了 1 月 30 日和 31 日以外的其他时间的平均污染物小时变化曲线进行对比,探讨烟花爆竹的燃放对北京市空气质量的影响.另外,大气污染物在空气中的浓度受到污染源排放和气象扩散条件两个因素的影响,因此,这一时间段内空气中污染物浓度的变化反映的是特定气象条件下烟花爆竹的燃放对空气质量的影响.

3.1.1　*气象条件分析*　受北京市特殊的地理位置、工业布局及周边区域污染水平等的影响,当北京市的主导风向为偏北风时,一般会对北京市大气污染物起到清除的作用,认为扩散条件相对较为有利;主导风向为偏南风时,则认为扩散条件相对较为不利.图 2 为 2014 年 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时北京市观象台的风速和风向示意图.可以看出,除夕的下午,北京市主要以偏东风为主,入夜后转为西南风,从初一凌晨开始,又转为偏东风和东北风,并一直维持到初一中午,风速也维持在 2 m·s^{-1}左右.因此,整体来看,在除夕的中午到初一的中午这一时间段内,北京市处于较为有利的污染物扩散条件下.

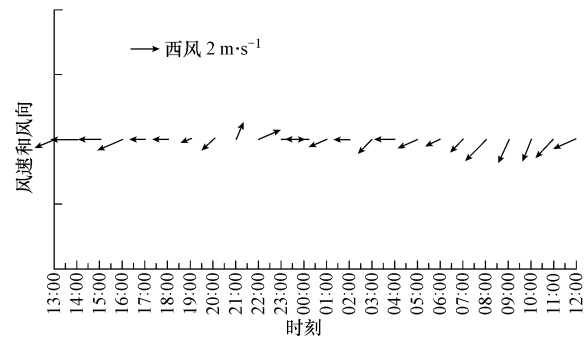


图 2　2014 年 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时北京市观象台风向风速

Fig.2　Wind direction and speed at Beijing observatory from 13:00 on January 30 to 12:00 on January 31, 2014

3.1.2　*对 CO、SO_2和 NO_x的影响*　1 月 30 日下午 CO、SO_2和 NO_x等气态污染物的浓度一直维持较低水平(图 3).入夜以后,受到大气边界层高度降低、大气层结变稳定及局地污染源排放等因素的影响,污染物会表现出浓度上升的日变化规律(凌宏等,2009).CO 和 NO_x的浓度变化趋势与 1、2 月份并没有明显的差别,大部分时间内的小时浓度值均低于 1、2 月份平均值,但 SO_2在 1 月 30 日 20 时左右形成了一个较明显的峰值,这在 1、2 月份的平均值曲线中是没有出现的,这主要是受到入夜后已经有部分烟花爆竹燃放现象的影响.1 月 31 日 0 时为烟花爆竹燃放的高峰,此时 SO_2也出现夜间的第二个峰值,但浓度值要低于第一个峰值,主要是受到夜间出现的较明显偏北风的扩散作用影响.而 CO 和 NO_x则未出现峰值,反而在偏北风的影响下降扩散至较低浓度.良乡的 NO_x在 1 月 31 日凌晨 1 时出现一个较小的峰值,可能是受到上风向传输的影响.可以看出,烟花爆竹的燃放对 SO_2浓度有较明显的影响,而对 CO 和 NO_x的影响则相对较小,在有利的扩散条件下难以造成明显的浓度变化.

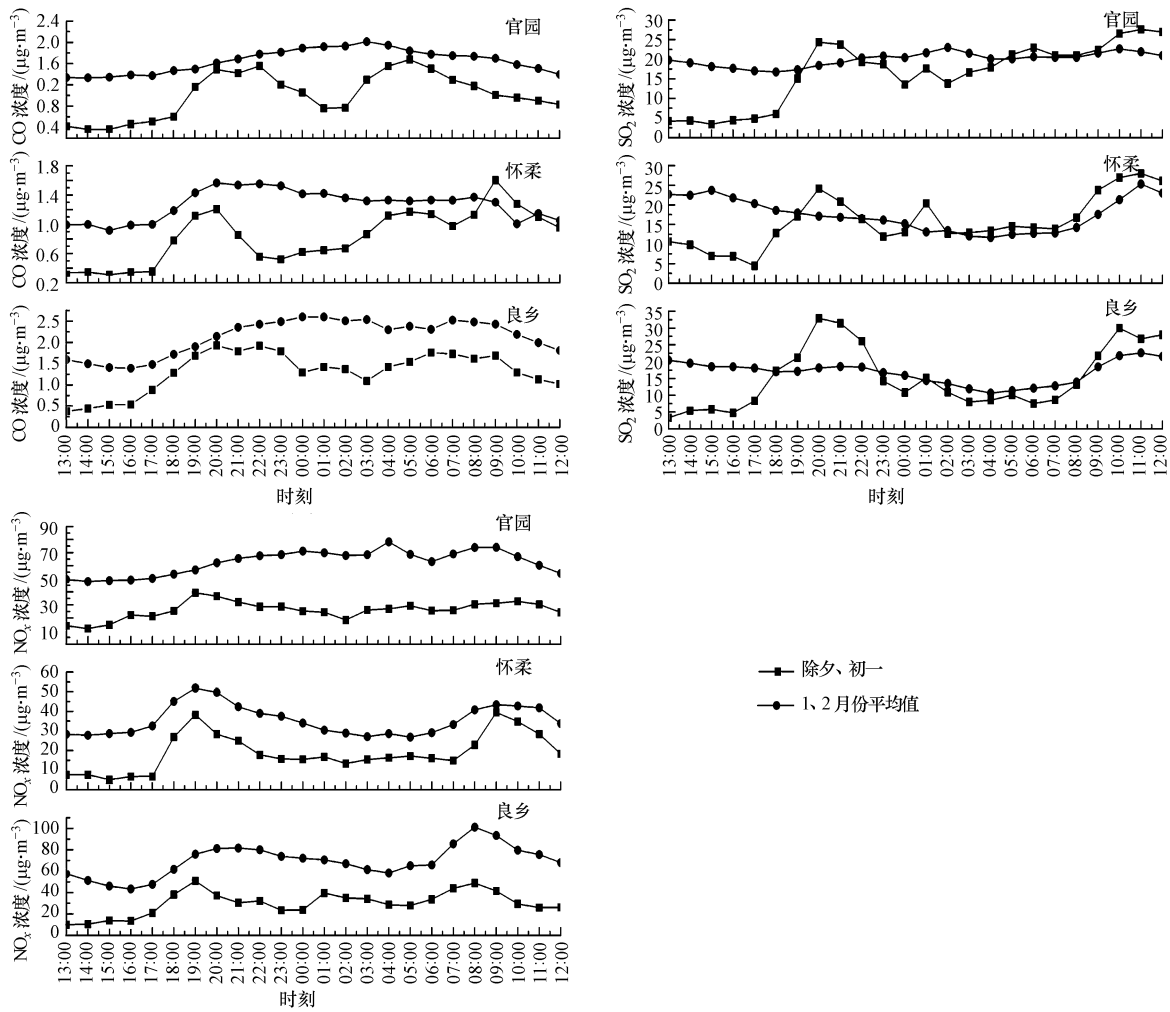


图 3 2014 年 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时及 1、2 月 CO、SO_2 和 NO_x 平均小时浓度

Fig.3 Hourly CO, SO_2 and NO_x concentration from 13:00 on January 30 to 12:00 on January 31, 2014 and the average concentration of January and February

3.1.3 对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的影响 图 4 为 1 月 29 日至 2 月 1 日 4 d 时间内 3 个站点的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度变化.可以看出,PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的浓度变化趋势大致相同,1 月 29 日夜间和除夕凌晨,出现过一个高于 1、2 月份平均值的峰值;除夕夜间和初一凌晨,出现更加明显的峰值;此后一直到 2 月 1 日夜间,官园和良乡站的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度水平基本与 1、2 月份的平均值维持一致,而怀柔站的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度则明显高于平均值,气态污染物浓度也在 1 月 31 日 9 时出现一个较明显的峰值,可能是受局地的污染源影响.PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 峰值的出现时间与烟花爆竹的燃放规律完全一致,说明烟花爆竹的燃放对颗粒物有十分明显的影响,下面将对除夕夜间和初一凌晨的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度进行量化分析.

1 月 30 日下午,3 个站点的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度还维持在较低水平,入夜之后开始出现较明显的上升,在 21 时左右达到第一个峰值,随后浓度有所下降,然后在 1 月 31 日凌晨 1 时达到第二个峰值,此时的浓度值一般达到最高值(图 4).官园、怀柔和良乡监测站在 1 月 31 日凌晨 1 时的 PM_{10} 浓度值分别为 377.8、253.2 和 627.0 $\mu g \cdot m^{-3}$,分别为 1、2 月份平均值的 2.4、2.0 和 3.6 倍,其中,良乡的 PM_{10} 浓度最高,除了与烟花爆竹燃放强度有关外,还可能受到上风向传输的影响.选取燃放高峰期的 1 月 30 日 20 时至 1 月 31 日 3 时,官园、怀柔和良乡在此期间的 PM_{10} 平均浓度分别为 264.5、209.1 和 360.7 $\mu g \cdot m^{-3}$,是 1、2 月份平均值的 1.7、1.6 和 2.0 倍(图 5a).

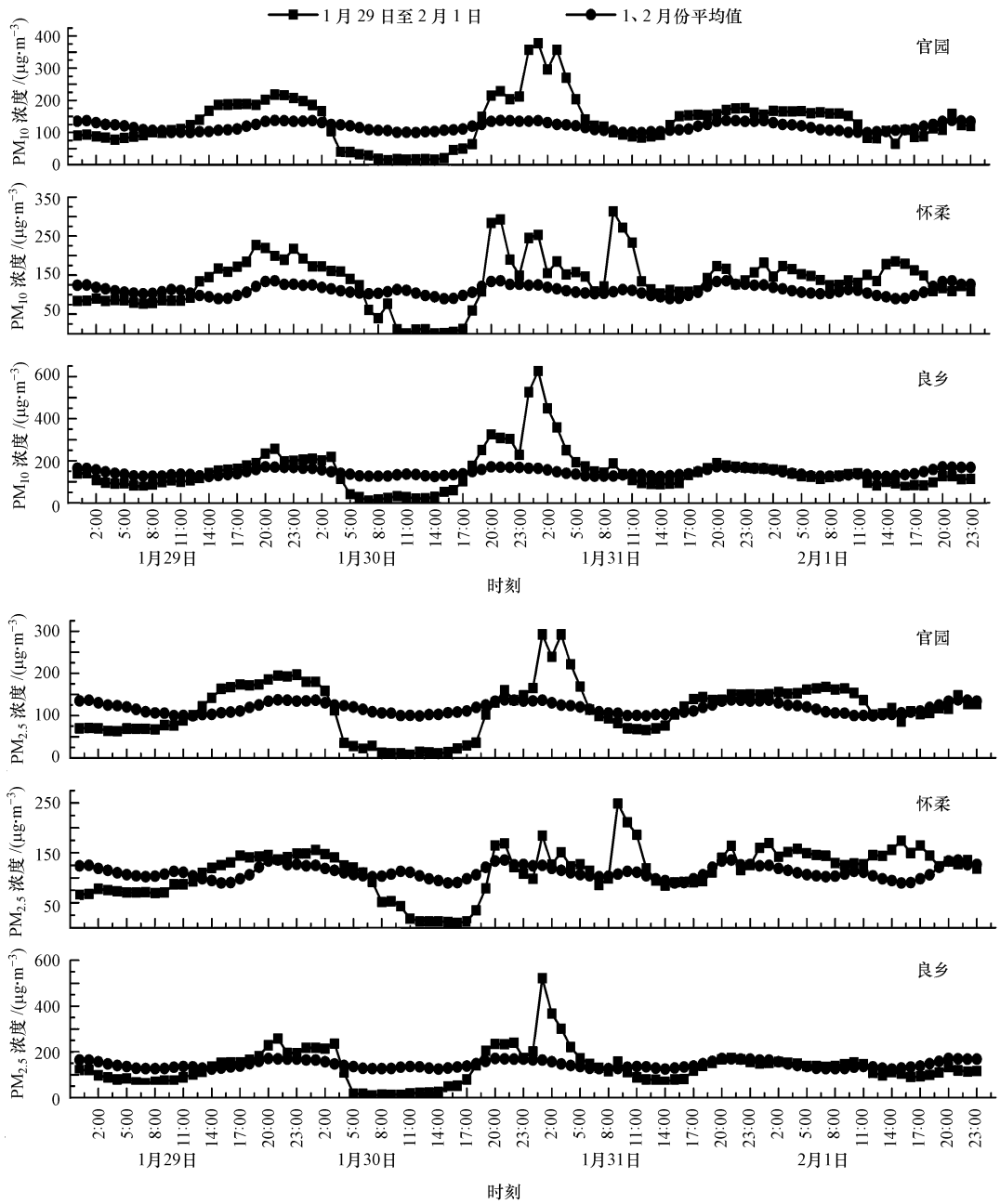


图 4　2014 年 1 月 29 日至 2 月 1 日及 1、2 月份 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 平均小时浓度

Fig.4　Hourly PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration from January 29 to February 1, 2014 and the average PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration of January and February

官园、怀柔和良乡监测站在 1 月 31 日凌晨 1 时的 $PM_{2.5}$ 浓度值分别为 292.0、184.7 和 522.4 μg·m^{-3},分别为 1、2 月份平均值的 2.1、1.5 和 3.2 倍.1 月 30 日 20 时至 1 月 31 日 3 时官园、怀柔和良乡的 $PM_{2.5}$ 平均浓度分别为 195.6、140.5 和 284.2 μg·m^{-3},分别是 1、2 月份平均值的 1.5、1.1 和 1.7 倍(图 5b).

可以看出,烟花爆竹的燃放对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 等颗粒物浓度有明显的影响,在有利的扩散条件下仍能造成短时间内的高浓度现象,燃放高峰的凌晨 1 时 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的浓度仍达到 1、2 月份均值的 2 倍以上,分别达到 627.0 μg·m^{-3} 和 522.4 μg·m^{-3} 的高值.通过对比还可以发现,本次烟花爆竹燃放过程中 PM_{10} 相比于 1、2 月份均值的增幅要略大于 $PM_{2.5}$ 的增幅,与张小玲等(2008)的研究有所不同,原因可能是两次研究的气象条件不同,或者烟花爆竹的成

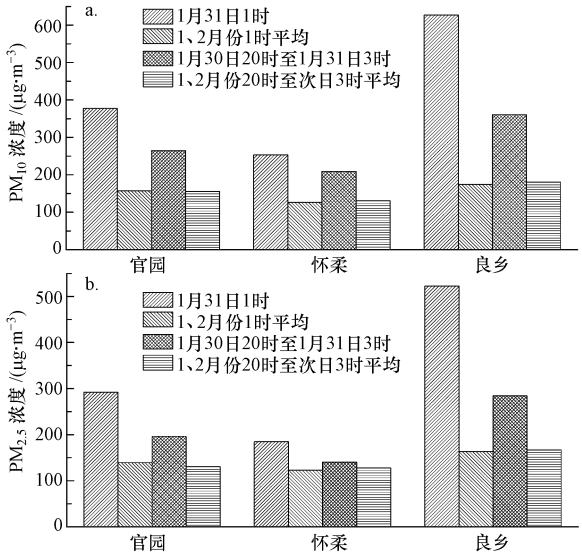


图 5 燃放高峰时段 PM_{10}(a)和 $PM_{2.5}$(b)浓度与 1、2 月份平均浓度对比

Fig.5 PM_{10} (a) and $PM_{2.5}$(b) concentration in the firework period and the average concentration of January and February

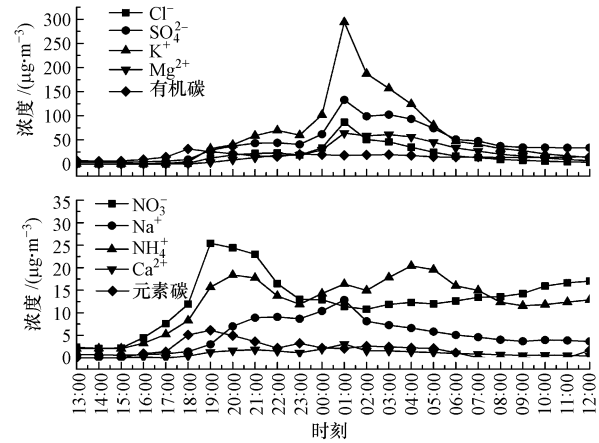


图 6 2014 年 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时 $PM_{2.5}$ 化学组分小时浓度

Fig.6 Hourly concentration of chemical compositions of $PM_{2.5}$ from 13:00 on January 30 to 12:00 on January 31, 2014

分发生过变化.

3.1.4 对 $PM_{2.5}$ 化学组分的影响 烟花爆竹含有多种化学成分,因此,燃放过程会对 $PM_{2.5}$ 化学组分造成明显的影响.图 6 为 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时 $PM_{2.5}$ 化学组分的浓度变化.可以看出,1 月 30 日下午各组分浓度还维持在较低水平,入夜后,受到日变化规律和烟花爆竹燃放的共同影响,各组分浓度出现较明显的上升;伴随着 1 月 31 日凌晨 1 时的燃放高峰,K^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+} 和 Na^+ 也出现一个明显的峰值,这 5 种离子的峰值浓度和在 $PM_{2.5}$ 中占的比例高达 92.1%,K^+ 浓度更是出现了 293.8 μg·m^{-3}的高值.同期监测的 $PM_{2.5}$ 常规组分 NO_3^-、NH_4^+、有机碳和元素碳等并没有出现同样的明显上升趋势,这也充分证明烟花爆竹燃放是导致春节期间 $PM_{2.5}$ 升高的重要污染来源.值得注意的是,Wang 等(2007)对 2006 年北京市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,与本研究的 NO_3^- 变化特征不同,可能与大气中 NO_3^- 的浓度水平、污染物扩散条件、烟花爆竹的成分及 NO_3^- 生成的化学机制不同有关.后半夜受有利的扩散条件影响各组分浓度也出现下降,至 1 月 31 日上午虽然各组分的浓度相比夜间的峰值有较明显的降低,但仍高于 1 月 30 日下午的浓度值,与各气态污染物浓度表现出相同的变化规律.

假设在同一时期内 $PM_{2.5}$ 的化学组分是稳定不变的,则可根据各离子的浓度比例推算 $PM_{2.5}$ 组分中受烟花爆竹影响的大致比例.Wang 等(2007)曾根据烟花爆竹燃放期间和非烟花爆竹燃放期间 $PM_{2.5}$ 组分中不同离子之间的比例来量化估算烟花爆竹燃放对各组分的影响,本研究采用类似的方法进行估算.将 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时(除夕下午至初一上午)和 2 月 14 日 13 时至 2 月 15 日 12 时(元宵节下午至正月十六上午)这两个时段去除后,2014 年 1、2 月份 K^+ 和 NO_3^- 浓度的比值约为 0.60,由于 NO_3^- 受烟花爆竹燃放的影响较小,因此,根据此系数和 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时之间的 NO_3^- 浓度可推算出正常情况下的 K^+ 浓度约为 7.7 μg·m^{-3},而实际的 K^+ 平均浓度达到 34.2 μg·m^{-3},推算出其中受烟花爆竹燃放产生的 K^+ 约占到 77.5%.同理根据各离子与 NO_3^- 的比值变化可推算出 SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+} 和 Na^+ 浓度中由烟花爆竹燃放产生的分别约占到 63.0%、88.6%、98.9%和 61.1%.

3.1.5 对能见度的影响 图 7 为 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时的能见度与 1、2 月份能见度平均值的对比.可以看出,烟花爆竹的燃放对能见度有较明显的影响.1 月 30 日北京本来是晴转多云的天气,但受到烟花爆竹燃放的影响,监测中心和良乡两地入夜后的能见度明显低于日常的均值;在燃放高峰的 1 月 31 日 1 时,监测中心和良乡的能见度分别降至 2422 m 和 3591 m,分别为日常能见度均值的 22.9%和 32.8%.1 月 30 日后半夜至 1 月 31 日上午,监测中心和良乡的能见度一直低于日常均值.由于 1 月

31 日的天气为多云转阴有雾,因此,无法判断这一时间段内能见度的降低是由天气原因造成的还是受烟花爆竹燃放的持续影响.

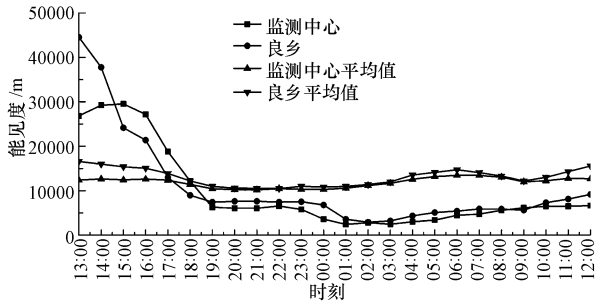


图 7　2014 年 1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时监测中心和良乡小时能见度及 1、2 月份平均能见度

Fig.7　Hourly visibility of Beijing Municipal Environmental Monitoring Center and Liangxiang from 13:00 on January 30 to 12:00 on January 31, 2014 and average visibility of January and February

3.2　北京“春节半月”期间空气质量分析

每年的腊月二十五开始,已经出现部分企业放假和人员离京现象,正月初八、初九开始,大批人员返京,工地和工厂开工,机动车的出行数量也开始增加,因此,腊月二十五至正月初九的半个月时间最能反映北京春节期间的污染源排放特征,在此称为“春节半月”.对 2010—2014 年“春节半月”官园、怀柔和良乡 PM_{10}浓度与每年冬季(1、2 月及前一年的 12 月)的平均值及年均值进行对比,结果见图 8.可以看出,近 5 年间除 2012 年外,“春节半月”期间的 PM_{10}浓度均明显低于同年的冬季均值和年均值.2012 年导致“春节半月”期间 PM_{10}平均浓度较高的原因是在腊月二十五、二十六(2012 年 1 月 18、19 日)2 天,北京市遭遇了一次严重的 PM_{10}污染过程,这两天官园、怀柔和良乡的平均 PM_{10}日均浓度分别达到 395、277 和 520 $\mu g\cdot m^{-3}$的高值.若去掉这一次重污染过程再进行计算,2012 年“春节半月”期间官园、怀柔和良乡的平均 PM_{10}浓度分别为 76、62 和 113 $\mu g\cdot m^{-3}$,同样明显低于同年的冬季均值和年均值.2010—2014 年,官园、怀柔和良乡监测站“春节半月”期间 PM_{10}平均浓度相比于同年冬季均值的平均降幅分别为 16.8%、9.5%和 19.2%.2014 年官园、怀柔和良乡在“春节半月”期间的 $PM_{2.5}$浓度分别为 73.5、77.0 和 88.0 $\mu g\cdot m^{-3}$,相比于冬季均值分别下降了 33.3%、20.6%和 39.2%.可以看出,尽管受到春节烟花爆竹燃放的影响,但春节半月期间的空气质量仍然优于冬季平均水平,表明污染源减排对空气质量的正影响非常明显.

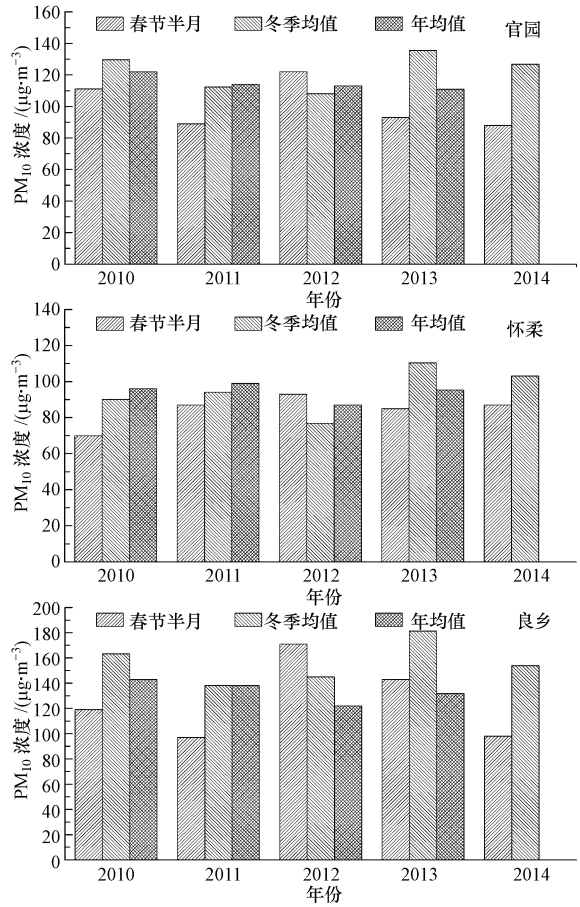


图 8　官园、怀柔、良乡监测站“春节半月”、冬季平均和年平均 PM_{10}浓度

Fig.8　PM_{10} concentration of the half month of spring, winter average concentration and annual average concentration of Guanyuan, Huairou and Liangxiang

4　结论(Conclusions)

1)烟花爆竹的燃放对不同大气污染物的影响存在较明显的差别,其中,对 PM_{10}和 $PM_{2.5}$的影响最为显著,对 SO_2的浓度也有较明显的影响,而对 CO 和 NO_x的影响则相对较小,在有利的扩散条件下难以造成明显的浓度变化.

2)烟花爆竹的集中燃放会在短时间内造成严重的大气污染,官园、怀柔和良乡监测站在 1 月 31 日凌晨 1 时的 PM_{10}浓度值分别为 377.8、253.2 和 627.0 $\mu g\cdot m^{-3}$,分别为 1、2 月份平均值的 2.4、2.0 和 3.6 倍;官园、怀柔和良乡监测站在 1 月 31 日凌晨 1 时的 $PM_{2.5}$浓度值分别为 292.0、184.7 和 522.4 $\mu g\cdot m^{-3}$,分别为 1、2 月份平均值的 2.1、1.5 和

3.2 倍.

3)烟花爆竹的燃放会对 $PM_{2.5}$ 化学组分造成明显的影响,受影响最大的是 K^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+} 和 Na^+ 等,1 月 31 日 1 时这 5 种离子在 $PM_{2.5}$ 浓度中占的比例高达 92.1%, K^+ 浓度更是出现了 293.8 $\mu g \cdot m^{-3}$ 的高值.推算得出,1 月 30 日 13 时至 1 月 31 日 12 时之间 K^+、SO_4^{2-}、Cl^-、Mg^{2+} 和 Na^+ 浓度中由烟花爆竹燃放产生的分别约占到 69.0%、63.0%、88.6%、98.9% 和 61.1%.烟花爆竹的燃放对能见度也有较明显的影响,1 月 31 日 1 时监测中心和良乡的能见度分别降至 1、2 月份能见度均值的 22.9% 和 32.8%.

4)除 2012 年外,2010—2014 年"春节半月"期间官园、怀柔和良乡 PM_{10} 浓度均明显低于冬季均值,平均降幅分别为 16.8%、9.5% 和 19.2%.2014 年"春节半月"这 3 个监测站的 $PM_{2.5}$ 浓度相比于冬季均值也分别下降了 33.3%、20.6% 和 39.2%.尽管受到春节烟花爆竹燃放的影响,但春节半月期间的空气质量仍然优于冬季平均水平,表明污染源减排对空气质量的正影响非常明显.

责任作者简介:李云婷(1973—),女,高级工程师,主要从事大气环境分析和空气质量预报预警等研究.

参考文献(References):

Colbeck I, Chung M C. 1996. Ambient aerosol concentrations at a site in SE England during bonfire night 1995 [J]. Journal of Aerosol Science, 27: S449-S450

Dutcher D D, Perry K D, Cahill T A, *et al*. 1999. Effects of indoor pyrotechnic displays on the air quality in the Houston Astrodome[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 49(2): 156-160

Dyke P, Coleman P, James R. 1997. Dioxins in ambient air, bonfire night 1994[J]. Chemosphere, 34(5/7): 1191-1201

Fleischer O, Wichmann H, Lorenz W. 1999. Release of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans by setting off fireworks [J]. Chemosphere, 39(6): 925-932

洪也,马雁军,韩文霞,等.2011.沈阳市冬季大气颗粒物元素浓度及富集因子的粒径分布[J].环境科学学报,31(11): 2336-2346

金军,王英,李令军,等.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

Kulshrestha U C, Nageswara Rao T, Azhaguvel 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

李令军,李金香,辛连忠,等.2006.北京市春节期间大气污染分析[J].中国环境科学,26(5): 537-541

凌宏,王迎红,胡波,等.2009.2007 年夏季北京大气 CO 检测分析[J].环境化学,28(4): 567-570

Moreno T, Querol X, Alastuey A, *et al*. 2007. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays[J]. Atmospheric Environment, 41(5): 913-922

Perry K D. 1999. Effects of outdoor pyrotechnic displays on the regional air quality of Western Washington State[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 49(2): 146-155

Ravindra K, Mor S, Kaushik C P. 2003. Short-term variation in air quality associated with firework events: A case study [J]. Journal of Environmental Monitoring, 5(2): 260-264

Vassilia K, Eleni P, Dimitrios T. 2004. Firework-related childhood injuries in Greece: a national problem[J]. Burns, 30(2): 151-153

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

Wehner B, Wiedensohler A, Heintzenberg J. 2000. Submicrometer aerosol size distributions and mass concentration of the millennium fireworks 2000 in Leipzig, Germany[J]. Journal of Aerosol Science, 31(12): 1489-1493

徐敬,丁国安,颜鹏,等.2006.燃放烟花爆竹对北京城区气溶胶细粒子的影响[J].安全与环境学报,6(5): 79-82

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