

2015 年春节期间天津烟花爆竹燃放对空气质量的影响

杨志文¹, 吴琳¹, 元洁², 李凤华¹, 袁远¹, 毛洪钧^{1*} (1.南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 天津市环境监测中心, 天津 300191)

摘要: 为了解 2015 年春节期间烟花爆竹燃放对天津市空气质量的影响,在天津市环境监测中心利用在线监测仪器对环境空气中的气态污染物浓度(SO₂、O₃、NO、NO₂ 等)、颗粒物浓度(PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 等)、颗粒物水溶性离子、有机碳(OC)和元素碳(EC)进行连续观测。通过烟花爆竹燃放时段和正常时段的对比,分析并探讨烟花爆竹燃放对各污染物排放特征的影响。结果表明,烟花爆竹集中燃放对 PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 和 SO₂ 的影响最为显著,燃放高峰期(初一 0:00),其浓度分别为 284.00,428.00,714.00,283.14 μg/m³,且燃放期间,其平均值分别比非燃放期增加了 2.99、2.54、2.07 和 3.27 倍;烟花爆竹燃放对 PM_{2.5} 中水溶性离子 K⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺ 和 NO₂⁻ 影响最大,燃放高峰期,6 种离子在 PM_{2.5} 中比例达 35.28%。另外,PM_{2.5} 中 OC、EC 浓度也在燃放高峰期出现明显的峰值(分别为: 15.68、2.96 μg/m³),分别为前一个小时平均浓度的 2.00 和 1.37 倍。

关键词: 春节; 烟花爆竹; 空气质量; 颗粒物; 化学组分

中图分类号: X831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2017)01-0069-07

Effect of fireworks on the air quality during the Spring Festival of 2015 in Tianjin City. YANG Zhi-wen¹, WU Lin¹, YUAN Jie², LI Feng-hua¹, YUAN Yuan¹, MAO Hong-jun^{1*} (1.Department of Environmental Science and Engineering, NanKai University, Tianjin 300071, China; 2.Tianjin Environment Monitoring Centre, Tianjin 300191, China). *China Environmental Science*, 2017,37(1): 69~75

Abstract: In order to investigate the impacts of fireworks on air quality in Tianjin city, ambient concentrations of gaseous pollutants (SO₂, O₃, NO, NO₂), particulate matters (PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀) and fractions (water-soluble ions, organic carbon, elemental carbon) were monitored online at the station of Tianjin Environment Monitoring Centre, during the Spring Festival in 2015. The ambient concentrations of gaseous pollutants, particulate matter, and chemical species of PM_{2.5} were compared between the fireworks and non-fireworks periods. The concentrations of PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀ and SO₂ were heavily affected by fireworks, the concentrations of which were 284.00 μg/m³, 428.00 μg/m³, 714.00 μg/m³ and 283.14 μg/m³ respectively during the heavy-firework period, and among the setting off period, the mean concentrations of which were increased by 2.99, 2.54, 2.07 and 3.27 times higher than non-discharge periods. Fireworks had great influence on the water soluble ionic in PM_{2.5}, especially on the potassium, chloride, sulfate, magnesium, nitrite and sodium ions, which accounted for 35.28% of the PM_{2.5} mass concentration during the peak period. At that time, the concentrations of OC and EC were 15.68 μg/m³ and 2.96 μg/m³ respectively, which were 2.0 and 1.4 times of the mean concentration of the previous hour.

Key words: the Spring Festival; fireworks; air quality; particulate matter; chemical characteristics

春节期间,天津市烟花爆竹集中燃放,短时间内排放大量污染物,对空气质量造成显著的负面影响,且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,本地污染源排放量大幅降低,由此烟花爆竹燃放导致的环境问题也颇为显著。

国内外的相关研究表明^[1-6]:烟花爆竹大量燃放能产生大量可吸入颗粒物、SO₂、NO₂ 及 O₃

等等。而且燃放烟花产生的气溶胶粒子含有的重金属、二次污染物和黑炭等多种污染物质较正常情况下含量要高,如:通过对北京市元宵节期间气溶胶化学成分的分析表明,烟花爆竹燃放阶段

收稿日期: 2016-05-10

基金项目: 国家科技支撑计划(2014BAC23B02);科技部科技基础性工作专项(2013FY112700-02)

* 责任作者, 教授, hongjun_mao@hotmail.com

Ba、K、Mg 等一次成分含量及 SO_2^{4-} 和 NO_3^- 等二次成分含量比正常情况下高出 5 倍以上^[7]; Dutcher 等^[8]对室内燃放烟花研究发现产生的颗粒物中有机物和黑碳的含量较平时要增加.此外,烟花爆竹燃放会使大气能见度显著下降^[9].另外 Dyke 等^[10]、Fleischer 等^[11]研究认为燃放烟花会产生致癌的多氯代二苯并二英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)等有毒物质.

目前,针对天津市春节期间空气质量在线观测的研究较少,特别是春节期间烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究较为缺乏.本研究对 2015 年春节期间天津市气态污染物浓度、颗粒物浓度、 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分进行分析,并量化估算烟花爆竹燃放排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子组分的贡献率,为天津市春节期间空气质量控制提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 观测地点及时间

观测点位于天津市南开区天津市环境监测中心超级站(39°05'49"N,117°09'04"E),距地面约 22m.观测点周围以商业活动和住宅区为主,附近有主干道、次干道各 1 条.其中,主干道位于该楼北边 160m,次干道位于该楼南边 85m.观测时间为 2015 年 2 月 1~28 日.

1.2 观测仪器及质控

采用 3 台基于微量振荡天平法(TEOM)的 Thermo Fisher 1405F 系列监测仪对 $\text{PM}_{1.0}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 分别进行监测.分析采用 Thermo Fisher 42C 化学发光 $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{NO}_x$ 分析仪监测 NO_x 浓度,最低检测限为 0.05×10^{-9} ,零漂小于 $0.025 \times 10^{-9}/24\text{h}$,跨漂为 $\pm 1\%/24\text{h}$.采用 Thermo Fisher 49C 紫外光度法分析仪监测 O_3 ,分析仪最低检测限为 1×10^{-9} ,精度为 1×10^{-9} ,零漂为 $0.4\%/24\text{h}$,跨漂为 $\pm 1\%/24\text{h}$, $\pm 2\%/7\text{d}$.采用 Thermo Fisher 43i 脉冲紫外荧光法分析仪监测 SO_2 浓度,最低检测限为 0.5×10^{-9} ,精度为 1×10^{-9} ,零漂小于 $1 \times 10^{-9}/24\text{h}$,跨漂为 $\pm 0.5\%/24\text{h}$.采用 URG9000S 阴阳离子在线监测仪对 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等进行在线监测.

采用 Sunset Laboratory 的半连续 OC/EC 分析仪对 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 浓度进行监测,另外,从监测站获取观测时间内分辨率为 1h 的气压、气温、相对湿度、风向、平均风速等气象要素.为保证监测数据的有效性和准确性,各监测仪器均参照国家标准定期校准.

1.3 分析方法

除夕夜是烟花爆竹燃放比较集中的时段,且春节期间烟花爆竹允许燃放时段为每日 06:00~22:00,除夕当晚可以延长至次日 02:00,因此,选择 2 月 18 日(除夕)07:00~2 月 19 日 06:00 这一时间段进行分析,将该时段定义为除夕日,2 月份的其他时段定义为非除夕日,本研究中将非除夕中每天的同一个小时时段内的污染物浓度数据求算术平均值,将除夕日气态污染物及颗粒物小时浓度与非除夕日平均小时浓度进行对比,探讨烟花爆竹燃放对气态污染物及颗粒物的定性影响.气态污染物于除夕日 21:00 开始有明显的变化,为了定量探讨烟花爆竹燃放对气态污染物浓度、颗粒物浓度和 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分特征的影响,比较烟花爆竹燃放期(2 月 18 日 21:00~2 月 19 日 02:00)与非燃放期(2 月 17 日 21:00~2 月 18 日 02:00)各污染物浓度及 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分含量的不同.此外,大气污染物在空气中的浓度主要受 2 个因素影响:污染源排放和气象扩散条件,因此,本研究期间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燃放对空气质量的影响.

2 结果与讨论

2.1 气象因素变化

除夕日各气象因素小时平均值如图 1 所示,从图中可以看出,除温度(AT)逐渐下降,除夕日夜间(烟花爆竹集中燃放时段)相对湿度(RH)、风速(WS)、风向(WD)及气压(AP)等气象因素相对稳定.2 月 18 日 21:00~2 月 19 日 02:00 间,气压为 $(1029.05 \pm 0.50)\text{hPa}$,气温为 $(1.78 \pm 0.51)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(44.88 \pm 1.83)\%$,风速为 $(1.78 \pm 0.51)\text{m/s}$,风向为稳定的东南方.由于风速的稳定,烟花爆竹集中燃放期间,污染物浓度变化受大气对流运动影响小,主要与烟花爆竹燃放相关.

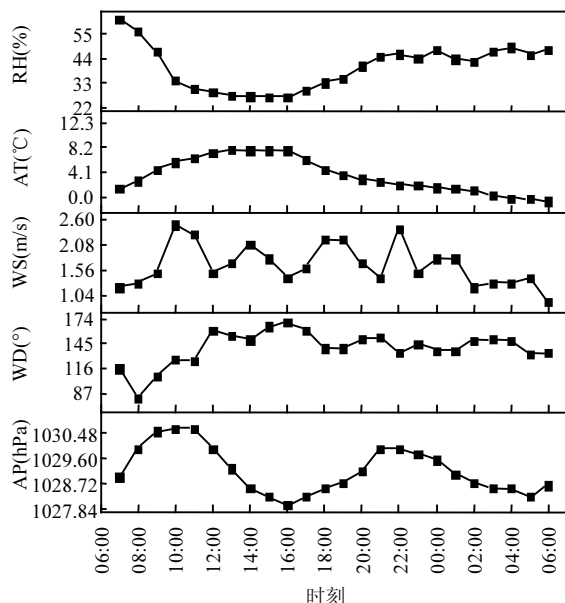


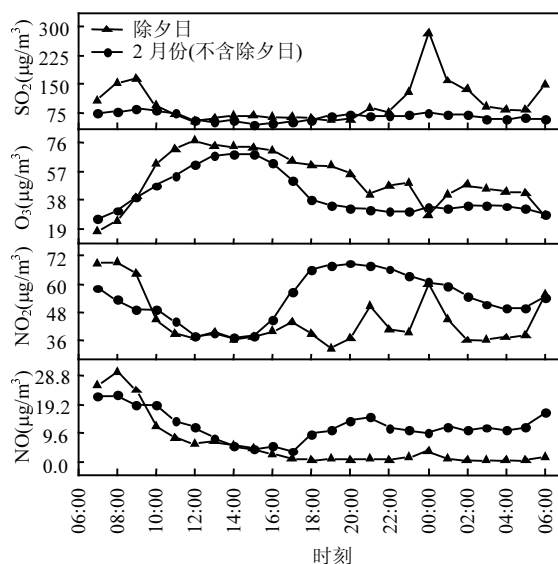
图 1 除夕日气象因素变化

Fig.1 Variation of meteorological parameters on Chinese New Year's Day

2.2 对 SO_2 、 O_3 和 NO_x 的影响

烟花爆竹的主要成分是硫磺、木炭粉、硝酸钾、氯酸钾、镁粉、铁粉、铝粉和无机盐等^[12].烟花中含有的非金属燃料(如:炭、硫磺以及红磷)燃烧时能产生大量的污染气体: SO_2 、 NO 、 NO_2 等.图 2 为除夕日与非除夕日气态污染物小时平均浓度变化,由图可知,受冬季凌晨逆温层的影响及局地污染源排放等因素的影响,除夕日 SO_2 、 NO 和 NO_2 等气态污染物的浓度在早晨 8:00 左右有一个峰值,这与刘立中等^[13]研究结果一致;达到峰值后,由于人类活动的下降以及气温逐渐回升,逆温层逐渐消退,大气扩散能力加强,污染物浓度开始下降.然而, O_3 却在中午 12:00 左右达到峰值,这主要与中午太阳辐射最强有关.另外, SO_2 大部分时间内的小时浓度值均大于 2 月份平均值,这可能与春节期间燃煤较多有关; O_3 大部分时间内的小时浓度值均大于 2 月份平均值, NO 、 NO_2 大部分时间内的小时浓度值均低于 2 月份平均值,这主要与春节期间机动车流量减少致使 NO 、 NO_2 排放减少,从而使得因 NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$) 浓度较高时, O_3 能被 NO 还原^[14-15] 的量减少等因素相关.其中,2 月 19 日 00:00 左

右, SO_2 、 NO_2 均出现了明显的峰值(分别为: $283.14\mu\text{g}/\text{m}^3$, $59.96\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 NO 出现较明显的峰值($3.75\mu\text{g}/\text{m}^3$),而 O_3 则出现了明显的谷值($27.64\mu\text{g}/\text{m}^3$),这是在 2 月份的平均曲线中没有出现的,主要是受到除夕夜烟花爆竹燃放的影响.与非燃放期相比,烟花爆竹燃放期 SO_2 、 O_3 、 NO 、 NO_2 浓度分别增加了 3.27、-0.16、0.9、0.13 倍,故烟花爆竹的燃放对 SO_2 浓度影响最为明显,对 NO 、 NO_2 和 O_3 浓度影响相对较小.

图 2 除夕日及非除夕日 SO_2 、 O_3 、 NO 及 NO_2 小时平均浓度变化Fig.2 Variation of hourly average concentrations of SO_2 , O_3 , NO and NO_2 on Chinese New Year's Day and normal days

在烟花燃放高峰期 00:00 左右, O_3 浓度下降,没有出现浓度上升的现象,这与王红磊等^[16]、Nishanth 等^[17]和 Attri 等^[6]研究结果不同,与乔利平^[18]、何松洁等^[19]的观测结果一致.虽然除夕夜 O_2 能被烟花爆竹燃放时产生大量波长在 240nm 以下的亮光解离为 O ,然后通过 O 与 O_2 的作用产生 O_3 ^[20],但是当 NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$) 浓度较高时, O_3 在 NO 的作用下生成 NO_2 和 O_2 ^[14-15],故有可能导致 O_3 的生成速率小于消耗速率,从而导致烟花爆竹燃放高峰期 O_3 浓度下降.

2.3 对 $\text{PM}_{1.0}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 的影响

由图 3 可见,2 月 19 日 0:00 烟花爆竹燃放高峰期,PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度都快速上升,出现的峰值最为明显,分别为: 284.00μg/m³、428.00μg/m³ 和 714.00μg/m³.另外, PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的除夕日 24h 小时平均浓度分别为:82.38μg/m³、122.58μg/m³ 及 146.00μg/m³,其中,PM₁₀ 未超过 150.00μg/m³ 的国家二级标准水平,PM_{2.5}超过了 75.00μg/m³ 的国家二级标准水平.由于烟花爆竹燃放的减少,PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度迅速减少达到背景值.但由图 3 可以看出,PM₁₀ 降到背景值的时间最短,PM_{1.0} 和 PM_{2.5} 的时间相对较长,这有可能与大颗粒较小颗粒在空中停留时间短等因素有关^[21].

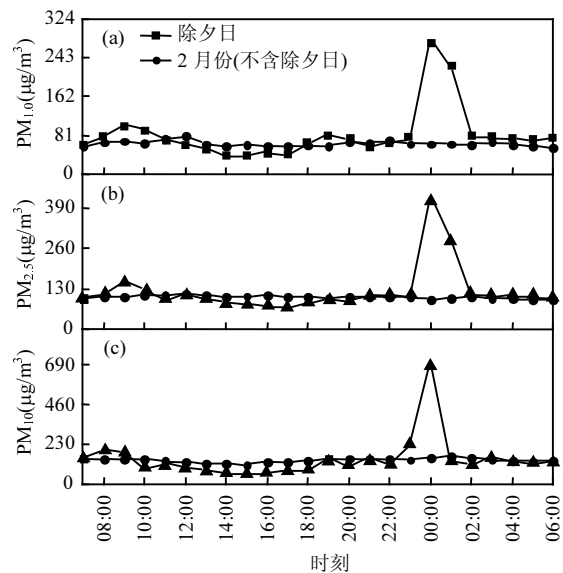


图 3 除夕日及非除夕日 (a)PM_{1.0}、(b)PM_{2.5} 和(c)PM₁₀ 小时平均浓度变化

Fig.3 Variation of hourly average concentrations of (a)PM_{1.0}, (b)PM_{2.5} and (c)PM₁₀ on Chinese New Year's Day and normal days

可以看出,烟花爆竹燃放对 PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 等颗粒物浓度有明显的影 响,能造成短时间内的 高浓度现象.将烟花爆竹燃放期与非燃放期 颗粒物平均浓度对比,可以发现 PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 分别增长了 2.99、2.54 及 2.07 倍,其中,以 PM_{1.0} 的增幅最大,PM₁₀ 的增幅最小,这与王红磊^[16]的研究结果一致,烟花爆竹燃放对小粒径气

溶胶质量浓度的影响最大,可能是烟花爆竹首先影响亚微米气溶胶质量浓度,然后通过气溶胶颗粒的积聚作用逐渐使大粒子质量浓度增加;也可能是因为烟花爆竹燃放同时产生亚微米和大粒子气溶胶,只是亚微米气溶胶质量浓度增幅大于大粒子量浓度增幅.

表 1 不同城市除夕夜烟花爆竹颗粒物峰值浓度
Table 1 The peak values of particulate matter concentrations caused by fireworks during New Year's Eve in different cities

地区	年	PM _{1.0} (×10 ² μg/m ³)	PM _{2.5} (×10 ² μg/m ³)	PM ₁₀ (×10 ² μg/m ³)
天津 ^[本研究]	2015	2.84	4.28	7.14
北京 ^[22]	2014	—	5.22	6.27
北京 ^[23]	2015	—	4.13	5.42
北京 ^[24]	2003	—	5.49	6.34
兰州 ^[25]	2013	—	4.78	6.04
广州 ^[25]	2013	—	9.30	1.29
武汉 ^[25]	2013	—	7.13	1.85
上海 ^[18]	2013	5.30	7.17	7.64
南京 ^[26]	2013	5.69	8.63	9.29

注: 一为文章中没有相关数据.

表 1 为国内各城市除夕夜烟花爆竹燃放高峰期颗粒物峰值浓度,由该表可以看出,在烟花燃放高峰期,PM_{2.5} 最高浓度超过 800.00μg/m³,PM₁₀ 最高浓度超过 1000.00μg/m³.同时,不同地区测得的结果不同,同一地区不同时间测得的结果也会不同,这可能与烟花爆竹燃放量及燃放时气象因素有关.

2.4 对 PM_{2.5} 水溶性离子的影响

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.为便于比较,将离子成分以质量浓度 3.00μg/m³ 为界分为 2 组.图 4 为除夕日 PM_{2.5} 中各离子浓度变化曲线图.由图可见,在烟花燃放高峰期 2 月 19 日 0:00 左右,Cl⁻、K⁺、SO₄²⁻、Mg²⁺、NO₂⁻、Na⁺都出现了明显峰值,这 6 种离子的峰值浓度和在 PM_{2.5} 中占的比例达 35.38%,其中,K⁺ 峰值浓度最高为 65.10μg/m³.2 月 19 日 0:00,各离子浓度由大到小依次为:K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₃⁻、Mg²⁺、Na⁺、F⁻、NO₂⁻、Ca²⁺.同期监测的 F 并未出现同样明显的上升趋势.

图 5 为烟花爆竹燃放期与非燃放期 $\text{PM}_{2.5}$ 中无机离子平均浓度.可以看出, K^+ 浓度上升最大且上升幅度也最大(燃放期浓度为非燃放期的 20.58 倍),这是因为钾盐是烟花中的主要成分.烟花中,作为氧化剂的钾盐主要以硝酸盐、氯酸盐、高氯酸盐的形式存在,其化学反应式分别为: $2\text{KNO}_3=2\text{KNO}_2+\text{O}_2$, $2\text{KClO}_3=2\text{KCl}+3\text{O}_2$, 以及 $\text{KClO}_4=\text{KCl}+2\text{O}_2$.从图 5 可以看出, Cl^- 的浓度上升浓度及幅度远大于 NO_2^- ,表明烟花成分中氧化剂主要为氯酸盐和高氯酸盐.

对除夕日中 K^+ 与各离子进行 Spearman 相关性分析发现, K^+ 与 Mg^{2+} 、 Cl^- 的相关系数(ρ 为 0.92、0.85)大于与 F^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 的相关系数(ρ 分别为:0.78、0.71、0.65 及 0.46),此外, K^+ 与 Na^+ 及 Ca^{2+} 无明显相关性,与 NH_4^+ 呈负相关(-0.63),表明 Cl^- 及 Mg^{2+} 大部分是来自于烟花,而 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 F^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ 及 Ca^{2+} 则受其他源影响较大,如:道路尘(Ca^{2+})、化石燃料燃烧

(Ca^{2+} , Na^+).另外, Cl^- 与 Mg^{2+} 的相关系数 ρ 为 0.73,表明烟花中镁盐主要以氯盐的形式存在.

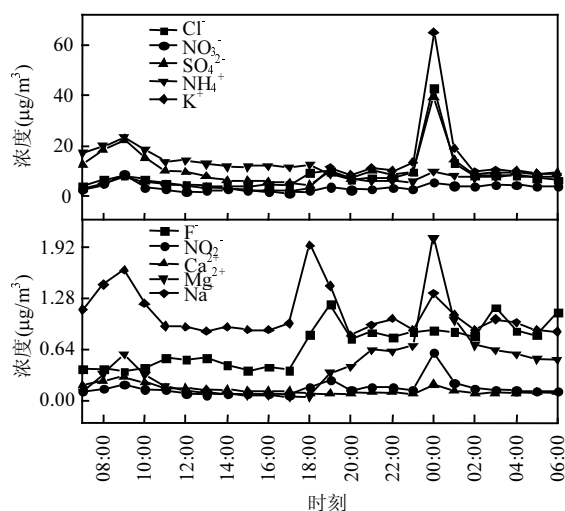


图 4 除夕日 $\text{PM}_{2.5}$ 水溶性离子小时平均浓度

Fig.4 Hourly average concentrations of water-soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ on Chinese New Year's Day

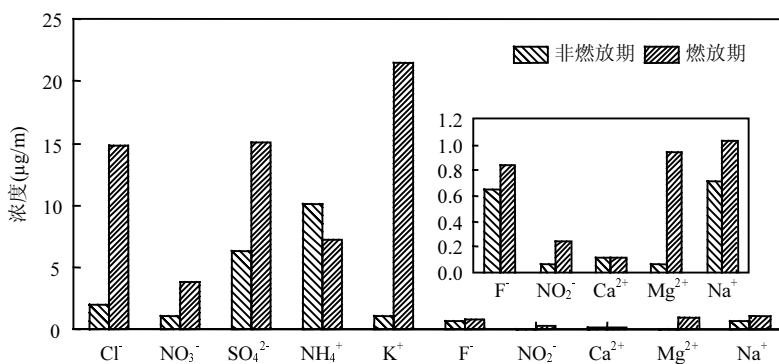


图 5 燃放期与非燃放期 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性离子平均浓度

Fig.5 The average concentrations of the water-soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ during the discharge and non-discharge period of fireworks

采用污染物相对比值法对颗粒物来源进行分析.当污染源较稳定时,某污染物浓度相对于参考标准污染物浓度的比值稳定;当污染源变化时,比值会发生明显变化.Wang 等^[7]、王占山等^[22]曾根据烟花爆竹燃放期间和非烟花爆竹燃放期间 $\text{PM}_{2.5}$ 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,如下式所示.

$$\eta = 1 - \frac{(X/F)_{\text{non-firework}} \times F}{X} \quad (1)$$

式中:由于 F^- 受烟花爆竹燃放的影响较小,故可将 F^- 视为标准污染物,用 F 表示除夕日 F^- 小时平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; X 为除夕日离子组分实际小时平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $(X/F)_{\text{non-firework}}$ 为非除夕日中离子组分与 F^- 小时平均浓度比值; η 为除夕日离子组分中受烟花爆竹燃放影响的比值.可推算出 K^+ 、 Cl^- 、

SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 NO_2^- 浓度中由烟花爆竹燃放产生的分别约占到 92.30%、78.74%、58.39%、93.33%、54.63%和 46.67%,这与王占山^[22]所得结果不同,可能与烟花爆竹成分不同有关。

表 2 不同城市除夕夜 $\text{PM}_{2.5}$ 中离子峰值浓度

Table 2 The peak values of the concentrations of the water-soluble ions in $\text{PM}_{2.5}$ during New Year's Eve in different cities

地区	年	K^+ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mg^{2+} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
天津 ^[本研究]	2015	65.10	39.42	42.91	2.03
北京 ^[23]	2015	95.63	92.24	57.43	5.90
苏州市 ^[27]	2014	115.60	93.20	42.30	2.03
上海市 ^[18]	2013	159.40	117.50	100.20	10.30
南京 ^[26]	2013	172.80	145.30	114.00	—

注:—为文章中未报道相关数据。

表 2 为不同城市除夕夜 $\text{PM}_{2.5}$ 中离子峰值浓度,由此可见,各地区观测结果不同,这主要与各地烟花成分及烟花爆竹燃放量不同有关;另外,不分城市地区, K^+ 质量浓度始终最大,与图 5 所得结果一致。

2.5 对 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC、EC 的影响

大气中的 EC、OC 都可来自于直接排放源,OC 还可来自于低蒸气压下化学反应形成的挥发性有机物。图 6 为除夕日 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC、EC 小时浓度及 OC/EC 值,由该图可以看出,OC 烟花燃放高峰期 0:00 左右,OC、EC 小时浓度出现明显的峰值(分别为:15.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),且分别是前一小时浓度的 2.00、1.37 倍,另外,与非燃放期间相比,燃放期间 OC、EC 分别增加了 0.17、0.04 倍,这都说明烟花爆竹燃放对 OC 的影响大于 EC。其中,厂家为了使爆竹响度增加,在爆竹中添加了蔗糖等物质,这可能是 OC 浓度升高的主要原因^[27]。另外,OC/EC 值 0:00 左右达到全天最大值(5.28),这与田英泽等^[28]研究结果相符。同时,从图 6 中也可以发现,OC 在 7:00 和 9:00 的峰值浓度比燃放高峰期 0:00 还大,这可能与 7:00 时湿度较大及气压较低(图 1)等因素有关,此时通过化学反应产生的 OC 仍然较多;而关于 9:00,随着湿度的降低、气压的升高,OC 本应减少,但此时处于交通高峰期,OC、EC 排放源增加,导致二者浓度增加,且 OC 增

加的浓度大于减少的浓度,故使得 OC 浓度又大于烟花燃放高峰期的浓度。图 7 为除夕日 OC、EC 小时浓度占相应时刻 $\text{PM}_{2.5}$ 百分比,由图可知,OC 与 EC 占 $\text{PM}_{2.5}$ 比例相对较低,表明烟花爆竹燃放对 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳元素组分的影响贡献相对较小。烟花燃放高峰期,OC、EC 占 $\text{PM}_{2.5}$ 比例最低,与该时期其他组分的含量大幅上升有关。

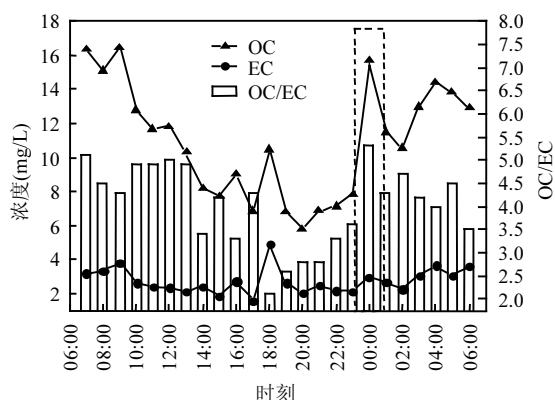


图 6 除夕日 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC、EC 小时平均浓度及 OC/EC 比值

Fig.6 Hourly average concentrations of OC, EC and the ratio of OC/EC in $\text{PM}_{2.5}$ on Chinese New Year's Day

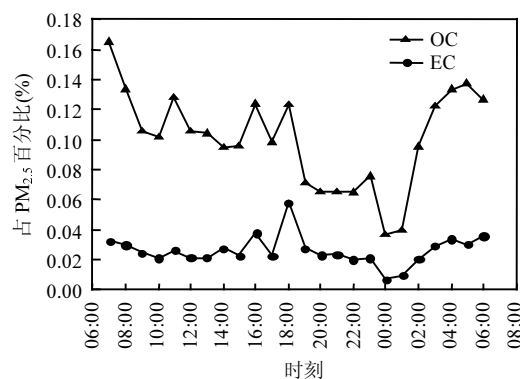


图 7 除夕日 OC、EC 占 $\text{PM}_{2.5}$ 百分比

Fig.7 The percentage contributions of OC and EC in $\text{PM}_{2.5}$ on Chinese New Year's Day

3 结论

3.1 春节期间,由于烟花爆竹的集中燃放,使得除夕夜(2 月 19 日 0:00)成为空气污染高峰时段,其中, SO_2 、 NO 、 NO_2 浓度明显上升、 O_3 浓度明显降低;与非燃放期相比,烟花爆竹燃放期 SO_2 、

NO、NO₂ 和 O₃ 的质量浓度分别增加了 3.27、0.90、0.13 和 -0.16 倍。

3.2 烟花爆竹燃放高峰时段(2 月 19 日 0:00),PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的小时平均质量浓度达到最大值,分别为 284.00、428.00 和 714.00 μg/m³。燃放期与非燃放期相比,PM_{1.0}、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的质量浓度分别增加了 2.99、2.54 及 2.07 倍。

3.3 春节烟花爆竹燃放高峰期,PM_{2.5} 中水溶性离子受到明显影响,受影响最大的是 K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺、Na⁺ 和 NO₂⁻ 等,这 6 种离子在 PM_{2.5} 浓度中占的比例为 35.38%,其中, K⁺ 浓度最高(65.10 μg/m³),且推算得出,除夕日,这 6 种离子浓度中由烟花爆竹燃放产生的依次约占到 92.30%、78.74%、58.39%、93.33%、54.63% 和 46.67%。

3.4 烟花爆竹燃放对 PM_{2.5} 中碳元素组分的影响贡献相对较小,OC 与 EC 占 PM_{2.5} 比例相对较低。烟花燃放高峰期(2 月 19 日 0:00),OC、EC 小时浓度出现明显的峰值(分别为:15.68、2.96 μg/m³),分别为前一小时平均浓度的 2.00、1.37 倍,但此时 OC、EC 占 PM_{2.5} 比例最低,OC/EC 值达除夕日最大(5.28)。

参考文献:

- [1] 李令军,李金香,辛连忠,等.北京市春节期间大气污染分析 [J]. 中国环境科学, 2006,26(5):537-541.
- [2] 王伟,孔少飞,刘海彪,等.南京市春节前后大气 PM_{2.5} 中重金属来源及健康风险评估 [J]. 中国环境科学, 2016,36(7): 2186-2195.
- [3] Perry K D. Effects of outdoor pyrotechnic displays on the regional air quality of western Washington State [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1999,49(2):146-155.
- [4] Drewnick F, Hings S S, Curtius J, et al. Measurement of fine particulate and gas-phase species during the New Year's in 2005 in Mainz, Germany [J]. Atmos. Environ., 2006,40(23):4316-4327.
- [5] 赵素平,余 晔,何建军,等.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, 2012,32(11):1939-1947.
- [6] Attri A K, Kumar U, Jain V K. Microclimate: formation of ozone by fireworks [J]. Nature, 2001,411(411):1015-1015.
- [7] Wang Y, Zhuang G S, Xu C, et al. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2007,41(2):417-431.
- [8] Dutcher D D, Perry K D, Cahill T A, et al. Effects of indoor pyrotechnic displays on the air quality in the Houston astrodome [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1999, 49(2):156-160.
- [9] 金 军,王 英,李令军,等.北京春节期间大气颗粒物污染及影响 [J]. 环境污染与防治, 2007,29(3):229-232.
- [10] Dyke P, Coleman P, James R. Dioxins in ambient air, bonfire night 1994 [J]. Chemosphere, 1997,34(5-7):1191-1201.
- [11] Fleischer O, Wichmann H, Lorenz W. Release of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans by setting off fireworks [J]. Chemosphere, 1999,39(6):925-932.
- [12] 李杏茹,郭雪清,刘欣然,等.2007 年春节期间北京大气颗粒物中多环芳烃的污染特征 [J]. 环境科学, 2008,29(8):2099-2104.
- [13] 刘立忠,么 远,韩 婧,等.西安市大气颗粒物数浓度分布及典型天气条件特征变化 [J]. 中国环境科学, 2015,35(12):3588-3594.
- [14] 王占山,李云婷,陈 添,等.北京城区臭氧日变化特征及与前体物的相关性分析 [J]. 中国环境科学, 2014,34(12):3001-3008.
- [15] Clapp L J, Jenkin M E. Analysis of the relationship between ambient levels of O₃, NO₂ and NO as a function of NO_x in the UK [J]. Atmos. Environ., 2001,35(36):6391-6405.
- [16] 王红磊,朱 彬,沈利娟,等.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, 2014,34(1):30-39.
- [17] Nishanth T, Praseed K M, Rathnakaran K, et al. Atmospheric pollution in a semi-urban, coastal region in India following festival seasons [J]. Atmos. Environ., 2012,47(1):295-306.
- [18] 乔利平.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, 2014,34(9):2398-2406.
- [19] 何松洁,王 英,李令军,等.元宵节燃放烟花爆竹对北京市空气质量的影响 [J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2012,21(1):22-27.
- [20] Van K I, Van P G, Stellato R K, et al. Physical and mental health shortly after a disaster: first results from the Enschede firework disaster study [J]. European Journal of Public Health, 2006,16(3):253-259.
- [21] Seinfeld J H, Pandis S N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change [M]. New York: Wiley, 1998:965.
- [22] 王占山,张大伟,李云婷,等.2014 年春节期间北京市空气质量分析 [J]. 环境科学学报, 2015,35(2):371-378.
- [23] 程念亮,陈 添,张大伟,等.2015 年春节北京市空气质量分析 [J]. 环境科学, 2015,36(9):3150-3158.
- [24] 徐 敬,丁国安,颜 鹏,等.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, 2006,6(5):79-82.
- [25] 潘本锋,李莉娜.春节期间燃放烟花爆竹对我国城市空气质量影响分析 [J]. 环境工程, 2016,(1):74-30.
- [26] 秦 玮,葛 顺,张祥志,等.烟花燃放对空气中 PM_{2.5} 及水溶性离子的影响研究 [J]. 环境监测与预警, 2013,5(3):1-4.
- [27] 邹 强,姚玉刚.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, 2014,30(4):100-106.
- [28] Tian Y Z, Wang J, Peng X, et al. Estimation of the direct and indirect impacts of fireworks on the physicochemical characteristics of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} [J]. Journal of Applied Physics, 2014,14(18):9469-9479.

作者简介: 杨志文(1989-),男,湖南娄底人,南开大学博士研究生,主要从事大气污染防治研究。