

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第12期

Vol.36 No.12

**2015**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次(卷终)

|                                             |                                            |                         |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| 2014年APEC前后北京城区PM <sub>2.5</sub> 中水溶性离子特征分析 | 杨懂艳,刘保献,张大伟,石爱军,周健楠,景宽,富佳明                 | (4325)                  |
| 2013年北京市不同方位PM <sub>2.5</sub> 背景浓度研究        | 李云婷,程念亮,张大伟,孙瑞雯,董欣,孙乃迪,陈晨                  | (4331)                  |
| APEC期间北京空气质量改善对比分析                          | 李文涛,高庆先,刘俊蓉,李亮,高文康,苏布达                     | (4340)                  |
| 嘉兴市春季PM <sub>10</sub> 、主要污染气体和气溶胶粒径分布的周末效应  | 沈利娟,王红磊,吕升,李莉,张孝寒,章国骏,王翥                   | (4348)                  |
| 烟花燃放对珠三角地区春节期间空气质量的影响                       | 赵伟,范绍佳,谢文彰,孙家仁                             | (4358)                  |
| 典型钢铁行业汞排放特征及质量平衡                            | 张雅惠,张成,王定勇,罗程钟,杨熹,徐凤                       | (4366)                  |
| 上海市公园绿地树叶对大气重金属污染的磁学响应                      | 刘飞,褚慧敏,郑祥民                                 | (4374)                  |
| 重庆金佛山降雪中飞灰单颗粒特征及来源解析                        | 于正良,杨平恒,景伟力,袁道先,任坤,李林立                     | (4381)                  |
| 利用新型组合填料的生物滴滤塔净化混合废气研究                      | 梅瑜,成卓韦,王家德,陆胤                              | (4389)                  |
| 低浓度CO <sub>2</sub> 在聚苯胺/Y分子筛复合材料上的吸附        | 刘凤玲,卢霞,张慧,葛鑫,刘杰,张泳真                        | (4396)                  |
| 红壤丘陵区冬季大气湿沉降化学特征及森林冠层对其截留作用机制               | 郝卓,高扬,张进忠,于贵瑞                              | (4403)                  |
| 中亚热带常绿阔叶林湿沉降过程中盐基离子变化特征                     | 安思危,孙涛,马明,王定勇                              | (4414)                  |
| 基于Landsat 8影像估算新安江水库光合有效辐射衰减系数              | 张毅博,张运林,查勇,施坤,周永强,刘明亮                      | (4420)                  |
| 白石水库颗粒有机物及沉积物中碳、氮稳定同位素的空间分布特征               | 郭凯,赵文,王珊,戴玉新,张荣坤,李东明                       | (4430)                  |
| 小关水库夏季浮游植物功能群对富营养化特征的响应                     | 李磊,李秋华,焦树林,李钥,肖晶,邓龙,孙荣国,高永春,骆兰             | (4436)                  |
| 湖泊基质客土改良的环境效应:对芦苇生长及光合荧光特性的影响               | 余居华,钟继承,范成新,黄蔚,商景阁,古小治                     | (4444)                  |
| 贵州纳朵洞洞穴水水文地球化学变化特征及其环境意义                    | 沈蔚,王建力,王家录,蒋先淑,毛庆亚,陈挚秋,刘肖                  | (4455)                  |
| 碧水岩地下河中微量金属元素对降雨的响应特征及来源分析                  | 邹艳娥,蒋萍萍,张强,汤庆佳,康志强,龚晓萍,陈长杰,俞建国             | (4464)                  |
| 钱塘江(杭州段)表层水中全氟化化合物的残留水平及分布特征                | 张明,唐访良,俞雅雯,徐建芬,李华,吴敏华,张伟,潘见阳               | (4471)                  |
| 长江中游沉积物中多溴联苯醚的污染特征及风险评价                     | 田奇昌,唐洪波,夏丹,王莎莎,高丽荣                         | (4479)                  |
| 城市地表水表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评估:以永康市为例           | 齐鹏,余树全,张超,梁立成,车继鲁                          | (4486)                  |
| 柠檬酸对三峡水库消落区土壤中汞活化及甲基化的影响                    | 覃蔡清,梁丽,游蕊,邓晗,王定勇                           | (4494)                  |
| 微生物对冰封期湖泊沉积物中有机磷降解释放的影响                     | 左乐,吕昌伟,何江,王伟颖,颜道浩                          | (4501)                  |
| 扰动和加藻共同作用下太湖沉积物中形态磷变化规律                     | 陈俊,李大鹏,朱培颖,黄勇,王忍                           | (4509)                  |
| 生态沟渠对氮、磷污染物的拦截效应                            | 张树楠,肖润林,刘锋,吴金水                             | (4516)                  |
| 开放系统下方解石对磷的去除                               | 李振炫,刁家勇,黄利东,陈艳芳,刘大刚,许正文                    | (4523)                  |
| 铜在壳核结构磁性颗粒上的吸附:效能与表面性质的关系                   | 李秋梅,陈静,李海宁,张晓蕾,张高生                         | (4531)                  |
| 基于优质碳源提供的CMBR复合工艺短程硝化-反硝化除磷研究               | 程继辉,吴鹏,程朝阳,沈耀良                             | (4539)                  |
| ANAMMOX菌利用零价铁转化氨和硝酸盐实验                      | 周健,黄勇,袁怡,刘忻,李祥,沈杰,杨朋兵                      | (4546)                  |
| 基于GIS的天津市饮用水水质健康风险评价                        | 符刚,曾强,赵亮,张玥,冯宝佳,王睿,张磊,王洋,侯常春               | (4553)                  |
| 北京自备井水源内毒素污染及与其他水质参数的相关分析                   | 张灿,刘文君,敖澍,史云,安代志,刘治平                       | (4561)                  |
| 广州市小学生多环芳烃内暴露水平                             | 苏慧,赵波,张素坤,刘珊,任明忠,李杰,石小霞                    | (4567)                  |
| 构建三元混合污染物的三维等效图                             | 刘雪,刘树深,刘海玲                                 | (4574)                  |
| 化学提取法表征污染土壤中PAHs老化规律和蚯蚓富集特征                 | 张亚楠,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,刘总堂,李娇,王代长,蒋新              | (4582)                  |
| 不同取样尺度下华北落叶松人工林土壤呼吸的空间变异性                   | 严俊霞,梁雅南,李洪建,李君剑                            | (4591)                  |
| 基于环境效应的土壤重金属临界负荷制图                          | 施亚星,吴绍华,周生路,王春辉,陈浩                         | (4600)                  |
| 土壤中铅锌的稳定化处理及机制研究                            | 谢伟强,李小明,陈灿,陈寻峰,钟宇,钟振宇,万勇,王琰                | (4609)                  |
| 纳米氧化锌、硫酸锌和AM真菌对玉米生长的影响                      | 李帅,刘雪琴,王发园,苗艳芳                             | (4615)                  |
| 蜈蚣草中砷与磷的赋存特征及其相互作用                          | 张玉秀,马旭,廖晓勇,阎秀兰,马栋,龚雪刚                      | (4623)                  |
| 纳米沸石对土壤Cd形态及大白菜Cd吸收的影响                      | 熊仕娟,徐卫红,谢文文,陈蓉,陈永勤,迟苏琳,陈序根,张进忠,熊治庭,王正银,谢德体 | (4630)                  |
| 黑麦草、丛枝菌根对番茄Cd吸收、土壤Cd形态的影响                   | 陈永勤,江玲,徐卫红,迟苏琳,陈序根,谢文文,熊仕娟,张进忠,熊治庭         | (4642)                  |
| 耐盐类固醇激素降解菌交替赤杆菌MH-B5的降解特性、降解途径及其固定化         | 马聪,秦丹,孙倩,于昌平                               | (4651)                  |
| 浙江省瓯江氨氧化古菌和氨氧化细菌分布及多样性特征                    | 李虎,黄福义,苏建强,洪有为,俞慎                          | (4659)                  |
| 缙云山马尾松林和柑橘林土壤微生物PLFA沿海拔梯度的变化                | 曾清苹,何丙辉,毛巧芝,吴耀鹏,黄祺,李源                      | (4667)                  |
| 华北平原耕作土壤特性对基因工程菌迁移的影响                       | 张静,刘平,刘春,陈晓轩,张磊                            | (4676)                  |
| 再生铜冶炼过程多氯萘与二噁英类排放特征分析与控制技术评估                | 田亚静,姜晨,吴广龙,丁琼,王铁宇,吕永龙                      | (4682)                  |
| 《环境科学》第36卷(2015年)总目录                        |                                            | (4690)                  |
| 《环境科学》征订启事(4347)                            | 《环境科学》征稿简则(4454)                           | 信息(4463,4530,4573,4581) |

# 烟花燃放对珠三角地区春节期间空气质量的影响

赵伟<sup>1,2</sup>, 范绍佳<sup>2</sup>, 谢文彰<sup>1</sup>, 孙家仁<sup>1</sup>

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

**摘要:** 为研究烟花爆竹燃放对珠三角区域城市空气质量的影响, 对2015年春节期间珠三角地区环境空气质量自动监测站的数据进行了分析. 结果表明, 春节期间珠三角地区PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>和CO污染最严重的城市均为肇庆市, 臭氧污染最严重的为惠州, 广州市NO<sub>2</sub>污染最严重; 与去年同期相比, 各地SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>的浓度普遍有大幅的降低, 但春节期间臭氧浓度有所增加; 春节期间烟花燃放行为主要集中在郊区, 市区内燃放现象较少; 烟花燃放对SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>浓度的短期影响极大, 造成除夕夜间污染物浓度迅速升高, 甚至成倍增加, 对CO、O<sub>3</sub>和NO<sub>2</sub>没有明显的影响; 烟花燃放造成PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>比例迅速下降, 在颗粒物浓度达到峰值后, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>的比例也到达最小值; 烟花燃放对各地PM<sub>2.5</sub>的小时浓度最大贡献值在16~65 μg·m<sup>-3</sup>之间, 对各地PM<sub>10</sub>的小时浓度最大贡献值在28~138 μg·m<sup>-3</sup>之间, 对各地SO<sub>2</sub>的小时浓度最大贡献值在9~43 μg·m<sup>-3</sup>之间.

**关键词:** 珠三角; 春节; 烟花燃放; 空气质量; 浓度贡献

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)12-4358-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.12.005

## Influence of Burning Fireworks on Air Quality During the Spring Festival in the Pearl River Delta

ZHAO Wei<sup>1,2</sup>, FAN Shao-jia<sup>2</sup>, XIE Wen-zhang<sup>1</sup>, SUN Jia-ren<sup>1</sup>

(1. South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Based on data from the air quality monitoring stations in the Pearl River Delta during the 2015 Spring Festival, the regional air quality was investigated and the impact of burning fireworks on urban air quality was assessed. The results showed that: Zhaoqing was the worst polluted city in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> and CO in terms of concentrations in the region during the period, Huizhou was the worst polluted city in O<sub>3</sub> and Guangzhou was the most polluted city in NO<sub>2</sub> at the same time. Compared to the data of last year, the SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations had decreased significantly, but the O<sub>3</sub> concentration had increased during the Spring Festival. Burning fireworks during the Spring Festival were mainly concentrated in the suburbs. The concentrated discharge of fireworks made the SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations increased significantly in the New Year's Eve night, even multiplied, but had no significant effect on CO, O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>. The rapid decline in PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> proportion was caused by the discharge of fireworks, and the ratio of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> reached the minimum when concentration of particles reached the peak. By assessing, the maximum contribution of hourly concentration from burning fireworks in each city was between 16 μg·m<sup>-3</sup> and 65 μg·m<sup>-3</sup> for PM<sub>2.5</sub>, between 28 μg·m<sup>-3</sup> and 138 μg·m<sup>-3</sup> for PM<sub>10</sub> and between 9 μg·m<sup>-3</sup> and 43 μg·m<sup>-3</sup> for SO<sub>2</sub>.

**Key words:** Pearl River Delta; Spring Festival; burning fireworks; air quality; contribution of concentration

春节期间燃放鞭炮的习俗由来已久, 烟花爆竹燃放会释放大量的二氧化硫、颗粒物、重金属以及有毒有机物, 导致空气质量在短时间内迅速恶化<sup>[1-5]</sup>. 近年来, 针对烟花燃放对城市空气质量影响的研究越来越多. 李令军等<sup>[6]</sup>发现烟花燃放对不同大气污染物影响存在明显差别, PM<sub>10</sub>响应最明显, SO<sub>2</sub>与NO<sub>x</sub>等气态污染物也形成明显的烟花燃放浓度峰值, 但CO受影响程度较小, 烟花燃放导致的细颗粒排放远远高于粗颗粒; 张小玲等<sup>[7]</sup>发现北京市除夕和元宵节大量燃放烟花爆竹导致颗粒物浓度在短时内快速上升, 但对SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>浓度的影响不明显; 金军等<sup>[8]</sup>发现春节期间特别是除夕夜大量烟花

的集中燃放导致了大气颗粒物浓度的急剧升高, 主要以细粒子为主; 王哲等<sup>[9]</sup>基于北京市监测数据, 提出了定量估算烟花燃放对大气PM<sub>2.5</sub>影响的污染物相对比值法, 并定量评估了烟花燃放对PM<sub>2.5</sub>的贡献; Wang等<sup>[10]</sup>的研究表明北京烟花燃放造成PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>的浓度可以达到平时的4~6倍; 王占山等<sup>[11]</sup>的研究发现北京烟花学组分中影响最大的是钾离子、硫酸根离子、氯离子、镁离子和钠离子

收稿日期: 2015-03-11; 修订日期: 2015-07-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275017); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(PM-zx021-201311-024)

作者简介: 赵伟(1984~), 男, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气环境数值模拟, E-mail: zhaowei@scies.org

等; Zhang 等<sup>[12]</sup>在上海春节期间的观测发现烟花燃放造成积聚模态气溶胶数浓度和  $PM_{1.0}$  的质量浓度急速增加; 王红磊等<sup>[13]</sup>研究表明, 南京春节烟花爆竹燃放期间气溶胶数浓度谱为单峰型分布, 且峰值朝大粒径段偏移, 质量浓度谱为双峰型分布, 细粒子的质量浓度受影响较大.

珠三角地区是中国最为发达的城市群之一, 国内外学者针对该地区大气环境污染问题进行了许多的观测研究<sup>[14~20]</sup>, 但对春节期间空气质量尤其是烟花燃放大气环境影响的研究非常少. 本研究利用珠三角地区 9 个城市 56 个自动监测站的污染物逐时监测数据, 分析春节期间珠三角地区的空气质量情况, 详细探讨了除夕夜间烟花燃放对大气环境的影响, 以期对珠三角地区的大气污染防治工作提供支持.

1 资料来源

珠江三角洲地区包含 9 个地级市(广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、肇庆市、江门市、中山市和东莞市). 本研究选取了 2015 年春节期间(2 月 18 日~2 月 24 日)珠三角 9 个城市共计 56 个环境空气质量自动监测站逐日逐时的污染物浓度数据, 污染物包括  $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、CO 和  $O_3$  等国家环境空气质量标准(GB 3095-2012)规定的 6 种环境空气污染物基本项目, 监测站点分布如图 1 所示.

监测数据来源于中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台, 这些数据已大量使用在国

内的大气环境研究中<sup>[21]</sup>. 该平台发布的数据由各城市监测站自动上报汇总而来, 由于各种原因, 发布的数据存在部分时次的缺漏, 因为不影响研究结果, 本文在分析时对这部分数据予以剔除.

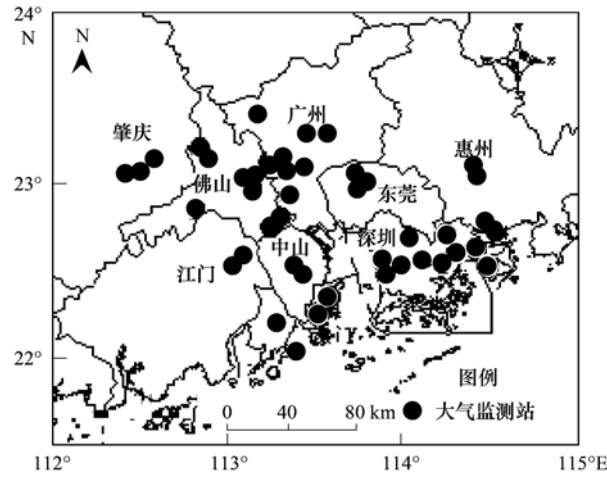


图 1 珠三角地区空气监测站分布

Fig. 1 Distribution of air quality monitoring stations in PRD

2 结果与分析

2.1 春节期间气象条件

2015 年春节期间珠三角地区天气总体平稳, 无明显冷空气影响, 无强降温、强降水等重大灾害性天气, 期间受弱冷空气影响, 各地有零星小雨, 春节期间各地湿度大, 平均气温均在  $20^{\circ}C$  左右, 风速小, 污染物扩散条件较差.

表 1 是春节期间广州白云机场和深圳宝安机场观测到的气象要素的具体情况.

表 1 春节期间气象要素

Table 1 List of meteorological elements during the Spring Festival

| 地点 | 项目                     | 2 月 18 日 | 2 月 19 日 | 2 月 20 日 | 2 月 21 日 | 2 月 22 日 | 2 月 23 日 | 2 月 24 日 |
|----|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 广州 | 平均风速/ $m \cdot s^{-1}$ | 1.1      | 1.6      | 1.9      | 0.8      | 1.2      | 1        | 2.3      |
|    | 主导风向                   | 东南风      | 东南风      | 东南风      | 东北风      | 东南风      | 东南风      | 东南风      |
|    | 平均温度/ $^{\circ}C$      | 20       | 20       | 20       | 21       | 22       | 21       | 22       |
|    | 平均相对湿度/%               | 74       | 71       | 74       | 85       | 88       | 92       | 88       |
|    | 天气情况                   | 多云       | 小雨/阴     | 小雨/阴     | 小雨       | 小雨       | 中雨       | 阵雨/阴     |
|    | 能见度/m                  | 6.1      | 5.8      | 8.1      | 6        | 5.2      | 4.9      | 6        |
| 深圳 | 平均风速/ $m \cdot s^{-1}$ | 2.8      | 3.6      | 3.3      | 2.2      | 1.4      | 2.2      | 3.3      |
|    | 主导风向                   | 东南风      | 东南风      | 东南风      | 偏南风      | 偏南风      | 偏东风      | 偏南风      |
|    | 平均温度/ $^{\circ}C$      | 20       | 19       | 20       | 22       | 22       | 22       | 22       |
|    | 平均相对湿度/%               | 66       | 63       | 74       | 84       | 87       | 85       | 82       |
|    | 天气情况                   | 多云       | 多云       | 多云       | 多云/阴     | 阴/小雨     | 多云/小雨    | 多云/阴     |
|    | 能见度/m                  | 8        | 10       | 11       | 8.8      | 5.6      | 10.6     | 8.8      |

2.2 春节期间珠三角地区环境空气质量总体情况

根据监测结果, 2015 年春节期间珠三角地区的污染物浓度处于较低水平, 各污染物的小时浓度和

日均浓度均可以满足国家环境空气质量标准(GB 3095-2012)二级标准, 其中  $SO_2$ 、 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$  和  $O_3$  的区域 7 d 平均浓度分别为 9、52、33、20 和

59  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , CO 的区域 7 d 平均浓度为 0.84  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,春节期间各地的首要污染物为  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$ (表 2)。

与 2014 年 2 月同期相比,由于大量的工厂停工,人口返乡,使得珠三角区域春节期间  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、CO、 $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度普遍有大幅的降低,但是  $\text{O}_3$  的情况比较特殊,虽然春节期间臭氧前体物的浓度有所降低,但是相对于去年同期,臭氧的浓度却有明显的增加,这个现象的发生机制目前还不清楚,有待进一步研究。

春节期间珠三角地区  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_2$  和 CO 污染最严重的城市均是肇庆市, $\text{NO}_2$  污染最严重的城市是广州。肇庆市近年来接收佛山等地大量陶

瓷、水泥及印染行业的产业转移,加之本身处于盆地里,三面环山,污染物难以扩散,使得肇庆的空气质量近几年持续恶化,2014 年第一、二季度,肇庆市环境空气质量均在全省排名中垫底<sup>[22, 23]</sup>。肇庆市需要针对重污染行业采取控制措施,遏制空气质量的恶化趋势。

臭氧污染最严重城市是位于珠三角东部边缘的惠州,而非珠三角中心城市,这是因为臭氧的前体物( $\text{NO}_x$  和 VOCs)主要来自城市污染源,但这些前体物自排放后至臭氧形成及达到峰值,一般都需要数个小时,这期间臭氧及其前体会随风输送到其下风向的地方,因而臭氧高浓度常常出现在郊区<sup>[24]</sup>。

表 2 珠三角各市春节期间污染物浓度 7 d 的平均值<sup>1)</sup>

| Table 2 Average concentration of pollutants during the Spring Festival period in PRD |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 项目                                                                                   | 污染物               | 广州   | 佛山   | 肇庆   | 深圳   | 东莞   | 惠州   | 江门   | 中山   | 珠海   | 区域平均 |
| 春节期间平均浓度                                                                             | $\text{SO}_2$     | 6    | 9    | 16   | 7    | 7    | 7    | 10   | 9    | 7    | 9    |
|                                                                                      | $\text{PM}_{10}$  | 53   | 44   | 60   | 53   | 45   | 52   | 54   | 45   | 60   | 52   |
|                                                                                      | $\text{PM}_{2.5}$ | 35   | 30   | 42   | 34   | 31   | 27   | 35   | 30   | 35   | 33   |
|                                                                                      | CO                | 0.87 | 0.76 | 0.99 | 0.98 | 0.84 | 0.83 | 0.8  | 0.7  | 0.78 | 0.84 |
|                                                                                      | $\text{NO}_2$     | 31   | 20   | 17   | 20   | 15   | 10   | 20   | 20   | 22   | 20   |
|                                                                                      | $\text{O}_3$      | 45   | 57   | 45   | 67   | 74   | 81   | 60   | 43   | 63   | 59   |
|                                                                                      |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 去年同期平均浓度                                                                             | $\text{SO}_2$     | 15   | 20   | 39   | 7    | 21   | 16   | 28   | 34   | 11   | 21   |
|                                                                                      | $\text{PM}_{10}$  | 67   | 56   | 82   | 46   | 57   | 50   | 77   | 46   | 44   | 58   |
|                                                                                      | $\text{PM}_{2.5}$ | 48   | 41   | 69   | 30   | 46   | 36   | 47   | 34   | 33   | 43   |
|                                                                                      | CO                | 0.92 | 1.36 | 1.03 | 1.06 | 1.05 | 0.72 | 1.34 | 1.32 | 0.52 | 1.04 |
|                                                                                      | $\text{NO}_2$     | 57   | 58   | 47   | 29   | 45   | 30   | 55   | 41   | 36   | 44   |
|                                                                                      | $\text{O}_3$      | 36   | 31   | 53   | 62   | 52   | 63   | 33   | 39   | 59   | 48   |
|                                                                                      |                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

1)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$  的单位为  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,CO 的单位为  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

2.3 燃放烟花对颗粒物的影响

2.3.1 对  $\text{PM}_{2.5}$  的影响

2015 年春节期间,珠三角地区的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度存在明显的规律,各地的变化趋势基本一致,整体呈波动式降低的趋势。从监测结果来看,春节期间肇庆

的  $\text{PM}_{2.5}$  污染最严重,平均浓度和最大浓度均超过其他城市。

在除夕夜间珠三角地区出现了大面积的  $\text{PM}_{2.5}$  高浓度现象(图 2),其中广州、佛山、肇庆、东莞、深圳和惠州等地春节期间  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的最大值就出

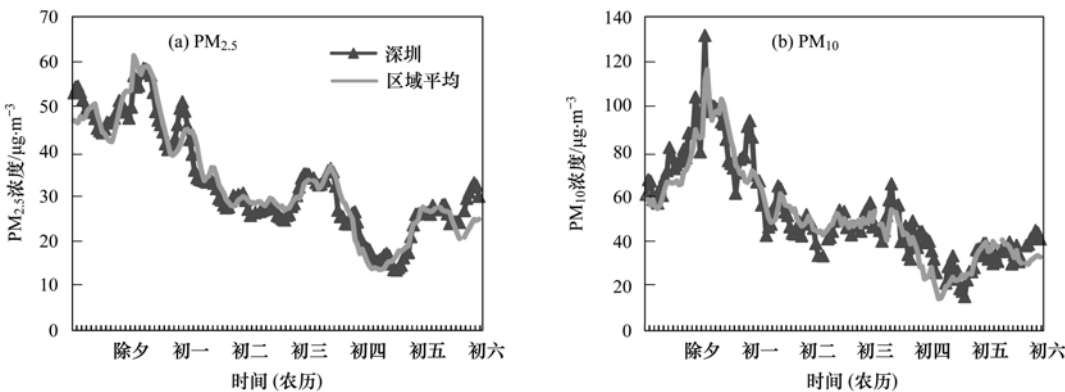


图 2 珠三角春节期间颗粒物的小时浓度变化

Fig. 2 Hourly changes of particulate matter concentration during the Spring Festival in PRD

现在 2 月 19 日(正月初一)凌晨 01:00~05:00. 其中肇庆市的  $\text{PM}_{2.5}$  的小时浓度在 2 月 19 日夜间从 00:00 的  $74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 急剧攀升到  $104 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (01:00) 和  $109 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (02:00), 远超  $\text{PM}_{2.5}$  的日均浓度二级标准 ( $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 一个小时内浓度增加了 50% 左右.

江门、中山和珠海三地受外界污染输送的影响, 春节 7 d 的浓度最高值并没有发生在除夕夜间, 但是在 2 月 19 日凌晨后, 三地的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度也迅速地增加, 出现一个明显的峰值.

除夕夜间  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的升高与燃放烟花爆竹密切相关. 烟花爆竹的主要化学成分包括可燃物质、氧化剂、火焰着色物以及其他化学药物等, 在引发后会产生大量的烟尘颗粒, 导致空气质量明显恶化.

烟花燃放的污染经过几个小时的扩散衰减之后, 其产生的  $\text{PM}_{2.5}$  污染在大年初一的中午基本消失.

### 2.3.2 对 $\text{PM}_{10}$ 的影响

春节期间珠三角各城市  $\text{PM}_{10}$  浓度变化情况与  $\text{PM}_{2.5}$  类似, 除夕夜间浓度出现峰值, 之后呈波动下降趋势, 肇庆市依然是区域内  $\text{PM}_{10}$  污染最严重的城市.

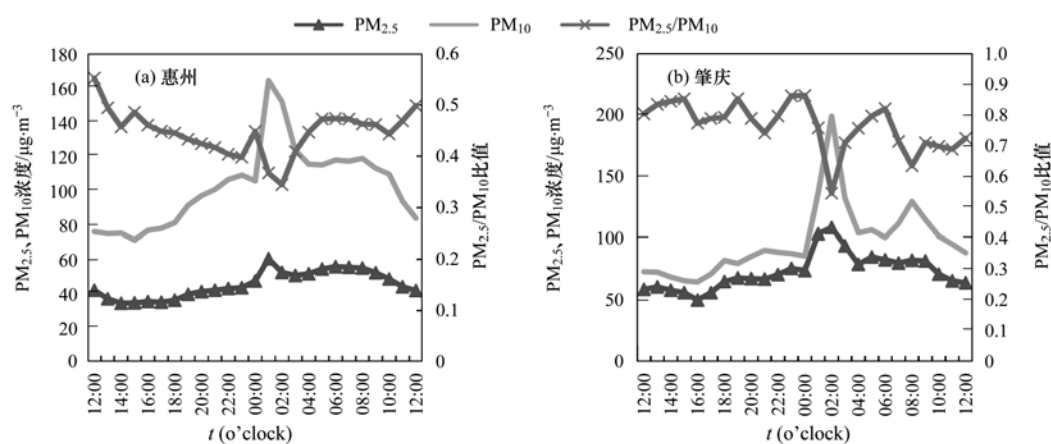
在除夕夜间珠三角地区出现了大面积的  $\text{PM}_{10}$  浓度高值现象, 9 个城市春节 7 d 的  $\text{PM}_{10}$  浓度的最大值均出现在 2 月 19 日凌晨 01:00~09:00, 其中肇庆市的  $\text{PM}_{10}$  的小时浓度在 19 日夜间从 00:00 时的  $86 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 急剧攀升到  $137 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (01:00) 和  $199 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (02:00), 两个小时内  $\text{PM}_{10}$  浓度增加了

130% 左右, 一度超过了  $\text{PM}_{10}$  的日均浓度二级标准 ( $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

### 2.3.3 对 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比例的影响

研究发现在除夕夜燃放烟花爆竹之后,  $\text{PM}_{10}$  与  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度均迅速增加 (图 3), 但是  $\text{PM}_{10}$  的浓度增加更快, 因此造成  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  比例的迅速下降. 在  $\text{PM}_{10}$  与  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度达到峰值后,  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  的比例也到达最小值, 最小达到 0.34 (惠州). 随后,  $\text{PM}_{10}$  与  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度开始降低,  $\text{PM}_{10}$  浓度的衰减速度快于  $\text{PM}_{2.5}$ , 这与 Dutcher 等<sup>[1]</sup> 对室内燃放鞭炮产生的颗粒物浓度半衰期的研究结果一致, 这种现象造成了  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  的比例迅速上升, 很快恢复到烟花燃放之前的比例.

徐敬等<sup>[25]</sup> 对北京 2003 年春节期间监测结果的研究表明烟花燃放会导致  $\text{PM}_{2.5}$  的比例上升, 这与本文在珠三角地区的观测结果正好相反, 为了解释这个问题, 本研究从中国环境监测总站的环境空气质量监测数据库中调取了 2015 年春节期间北京万寿西宫监测站的数据, 发现该站  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  的小时浓度在 2 月 19 日 00:00 分别为  $201 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $257 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 1 h 后浓度骤升至  $525 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $783 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 到 2 月 19 日 02:00,  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  小时浓度迅速下降至  $243 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $334 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 相应的  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  的比例从 0.78 降至 0.67, 随后回升到 0.73, 这与珠三角地区的变化趋势是完全一致的. 因此, 与徐敬等研究结论的不同可能还受其它因素的影响, 比如大气污染背景、气象条件等.



2 月 18 日 12:00~2 月 19 日 12:00, 下同

图 3 除夕夜  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  浓度及比值的逐时变化

Fig. 3 Hourly changes of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  concentration and  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  ratio during the New Year's Eve

### 2.3.4 烟花燃放的主要区域分析

1991 年 1 月深圳率先实施《深圳经济特区禁止

销售燃放烟花爆竹管理规定》, 禁止在经济特区内燃放烟花, 随后将禁燃区域扩大到整个市区, 珠三角



其它几个城市也相继制订了本地的烟花燃放管理规定。总的来说,除深圳外,其他几个城市的烟花禁燃区范围集中在主城区内,郊区部分区域可以燃放烟花。通过对颗粒物浓度的分析发现,2015 年春节期间珠三角地区各城市仍然存在大量的燃放烟花现象,本节以深圳和广州为例子,研究春节期间群众燃放烟花的具体区域分布情况。

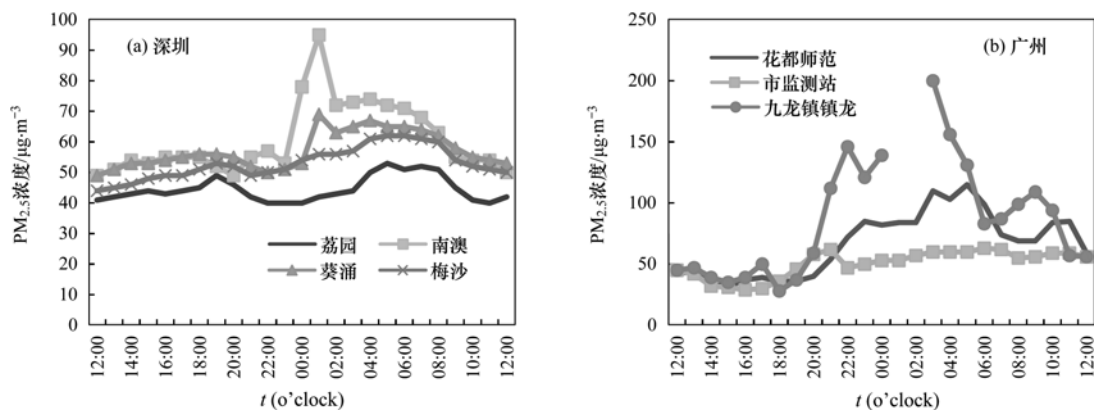


图4 除夕夜市区、郊区  $\text{PM}_{2.5}$  小时浓度变化

Fig. 4 Hourly changes of  $\text{PM}_{2.5}$  concentration during the New Year's Eve in urban and suburban areas

深圳市烟花禁燃的范围是整个市区。监测结果显示,深圳市关外的南澳、葵涌监测站附近仍有大量的烟花燃放现象,使得这两个监测站  $\text{PM}_{2.5}$  浓度迅速上升。而关内的梅沙和荔园监测点的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度没有出现直线上升的现象,仅仅是缓慢的升高,这说明这两处监测点附近不存在大量的烟花燃放现象,浓度升高很可能是污染物输送引起的。

广州市禁止在主城区内燃放烟花,仅允许在郊区部分区域内燃放。监测结果与深圳类似,广州市郊区(花都师范、萝岗区九龙镇镇龙监测站)的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度在除夕夜 01:00 ~ 02:00 直线上升,表明郊区存在有大量的烟花燃放现象;市区(市监测站)  $\text{PM}_{2.5}$  浓度没有突然增大的情况发生,说明主城区内燃放烟花的现象很少,但是  $\text{PM}_{2.5}$  的浓度 02:00 之后有缓慢上升的趋势,可能与污染物的输送有关。

以上分析表明广州市和深圳市的烟花燃放行为主要集中在郊区,市区内的烟花燃放现象较少。

## 2.4 燃放烟花对气体污染物的影响

### 2.4.1 对 $\text{SO}_2$ 的影响

烟花爆竹的燃放会产生大量的二氧化硫,2月19日01:00左右,珠三角各城市的  $\text{SO}_2$  浓度迅速到达峰值,均达到非燃放期(本文假定19日00:00前后12 h 外为非燃放期)浓度的3倍以上,其中惠州除夕夜间  $\text{SO}_2$  浓度甚至达到非燃放期平均浓度的5

根据广州和深圳监测站点的分布情况,分别选取有代表性的市区(关内)、郊区(关外)监测点来分析。广州市选取市监测站(市区)、花都师范(郊区)、九龙镇镇龙(郊区)3个站点;深圳市选取荔园(关内)、梅沙(关内)、南澳(关外)、葵涌(关外)4个站点。除夕其后,深圳和广州的市区和郊区监测点  $\text{PM}_{2.5}$  的逐时浓度如图4所示。

倍(图5)。

在9个城市中间,肇庆依然是  $\text{SO}_2$  污染最严重的城市,浓度平均值和最大值均远高于其他城市。肇庆除夕夜间的  $\text{SO}_2$  小时浓度从  $13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  飙升至  $61 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (出现在19日01:00时),到达春节期间的最大值,一个小时内  $\text{SO}_2$  浓度增大4倍多,随后浓度快速下降,在19日04:00时,浓度降到  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

### 2.4.2 对 CO 的影响

监测结果显示,春节期间珠三角地区 CO 浓度先降后升,在初二有个低谷。从平均浓度来看,肇庆和深圳最高,中山最低。除广州和肇庆外,其他城市除夕夜间烟花爆竹燃放后 CO 的浓度并没有增加,可见烟花爆竹的燃烧对 CO 的贡献并不明显,这与其他学者在北京的研究结果<sup>[6, 11]</sup>一致。

### 2.4.3 对 $\text{NO}_2$ 的影响

监测结果显示,春节期间珠三角地区  $\text{NO}_2$  浓度的变化呈波动式变化,除夕夜间并没有出现明显的峰值。以广州市为例,除夕夜间广州  $\text{NO}_2$  浓度的峰值出现在18日21:00 ~ 23:00,而不是在烟花燃放的凌晨;烟花燃放后,  $\text{NO}_2$  的浓度并没有立即增加,反而是减少的,一直到早晨08:00才出现另一个峰值,显然,这个峰值是由交通尾气造成的。因此可以推断珠三角地区的烟花爆竹燃放对  $\text{NO}_2$  的浓度影

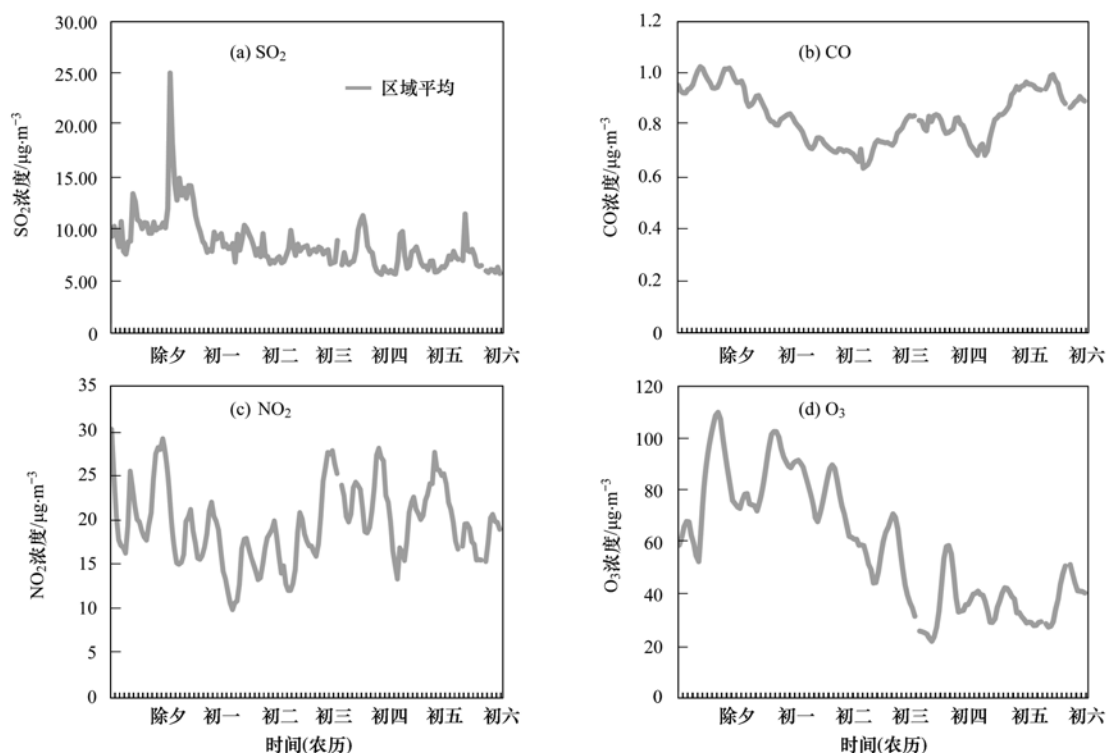


图5 珠三角春节期间气体污染物的小时浓度变化

Fig. 5 Hourly changes of gas pollutant concentrations during the Spring Festival in PRD

响很小,王占山等<sup>[11]</sup>的研究也发现了这种现象。

#### 2.4.4 对 O<sub>3</sub> 影响

O<sub>3</sub> 是由氧气、氮氧化物及挥发性有机化合物在阳光作用下发生光化学反应形成,是光化学烟雾的主要成分,烟花燃放对 O<sub>3</sub> 的影响在国内很少被研究,珠三角地区的监测结果显示,春节期间珠三角地区 O<sub>3</sub> 浓度呈波动式下降趋势,除夕夜间各地并未出现 O<sub>3</sub> 高浓度峰值,烟花燃放对 O<sub>3</sub> 浓度没有明显的影响。

#### 2.5 除夕夜烟花燃放对空气质量影响的定量评估

根据以上分析可知,烟花燃放对 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的浓度有较大的影响,对 CO、NO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的影响很小。

为了定量的评估烟花燃放对珠三角地区空气质量的影响程度,从而为以后的控制对策提供借鉴,本文参考王哲等<sup>[9]</sup>的研究成果,采用相对值法,取 CO 作为参考标准污染物,定量评估春节期间烟花燃放对污染物浓度的贡献。

相对值法常用于颗粒物源解析研究中<sup>[26]</sup>,某污染物浓度相对于参考标准污染物浓度的比值稳定,意味着污染源在监测期间的变化不大,当比值发生明显变化时就意味着污染源发生了改变。

烟花燃放对污染物浓度贡献的计算公式为:

$$X_g = X - CO \times (X_a / CO_a)$$

式中,  $X_g$  是烟花爆竹燃放对污染物 (PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>) 的小时浓度贡献值,  $X$  是污染物 (PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>) 逐时监测浓度值,  $X_a$  为非燃放时段污染物 (PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>) 的平均浓度,  $CO_a$  为非燃放时段 CO 的平均浓度。其中  $CO \times (X_a / CO_a)$  为使用 CO 浓度回归得到的逐时污染物 (PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>) 浓度。本研究假定 29 日 00:00 前后 12 h 外为非燃放期。

采用相对值法计算出除夕夜烟花燃放对珠三角地区污染物浓度的最大贡献值,具体结果见表 2。结果显示,烟花燃放对 PM<sub>2.5</sub> 的最大小时浓度贡献值在 16 μg·m<sup>-3</sup> (珠海) ~ 65 μg·m<sup>-3</sup> (肇庆) 之间; 烟花燃放贡献的 PM<sub>2.5</sub> 浓度达到非燃放期平均浓度的 50% (珠海) ~ 176% (肇庆)。春节期间肇庆市的空气污染最严重,烟花燃放更加重空气污染。除夕夜间燃放烟花对珠三角地区各地 PM<sub>10</sub> 的最大小时浓度贡献值在 28 μg·m<sup>-3</sup> (江门) ~ 138 μg·m<sup>-3</sup> (肇庆) 之间; 烟花燃放贡献的 PM<sub>10</sub> 浓度达到非燃放期平均浓度的 56% (江门) ~ 265% (惠州)。燃放烟花对气态污染物 SO<sub>2</sub> 的最大小时浓度贡献值在 9 μg·m<sup>-3</sup> (中山) ~ 43 μg·m<sup>-3</sup> (肇庆) 之间; 烟花燃放



贡献的 SO<sub>2</sub> 小时浓度最大值达到非燃放期平均浓度的 110% (江门) ~400% (惠州). 可见,烟花燃放排放对 SO<sub>2</sub> 浓度的相对贡献要高于颗粒物.

以上分析可见,烟花燃放对珠三角地区空气质

量的短期影响很大,从某种程度上相当于区域的大气污染物排放量瞬间翻了若干倍. 烟花排放对不同污染物的影响有所区别,其中对 PM<sub>10</sub> 浓度的绝对贡献值最大,对 SO<sub>2</sub> 浓度的相对贡献最大.

表 2 烟花燃放对珠三角各城市污染物小时浓度的最大贡献值/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

| Table 2 Maximum hourly contribution of concentration from burning fireworks for each city in PRD/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ |                   |    |    |     |    |    |     |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|----|-----|----|----|-----|----|----|----|
| 项目                                                                                                                                | 污染物               | 广州 | 佛山 | 肇庆  | 深圳 | 东莞 | 惠州  | 江门 | 中山 | 珠海 |
| 烟花燃放最大贡献                                                                                                                          | PM <sub>2.5</sub> | 49 | 19 | 65  | 27 | 33 | 33  | 17 | 24 | 16 |
|                                                                                                                                   | PM <sub>10</sub>  | 79 | 52 | 138 | 84 | 79 | 114 | 28 | 51 | 59 |
|                                                                                                                                   | SO <sub>2</sub>   | 14 | 10 | 43  | 21 | 11 | 24  | 11 | 9  | 10 |
| 非燃放期平均浓度                                                                                                                          | PM <sub>2.5</sub> | 31 | 28 | 37  | 30 | 27 | 24  | 33 | 27 | 32 |
|                                                                                                                                   | PM <sub>10</sub>  | 46 | 40 | 53  | 47 | 38 | 43  | 50 | 39 | 54 |
|                                                                                                                                   | SO <sub>2</sub>   | 5  | 8  | 14  | 7  | 6  | 6   | 10 | 8  | 6  |

由于春节期间珠三角地区的大气环流较弱,扩散条件差,因此,烟花燃放的影响更加需要重视,以免产生严重的污染事件,给人民群众春节期间的生产生活产生影响.

3 结论

(1)春节期间珠三角地区 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub> 和 CO 污染最严重的城市均是肇庆市,臭氧污染最严重的是惠州,广州市的 NO<sub>2</sub> 污染最严重;与去年同期相比,各地 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>的浓度普遍有大幅的降低,但是春节期间臭氧浓度有所增加.

(2)珠三角地区的烟花燃放行为对 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub>浓度的短期影响极大,造成除夕夜间污染物浓度的迅速升高,甚至成倍增加;烟花燃放对 CO、O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 没有明显的影响.

(3)除夕夜烟花燃放后,PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>比例迅速下降,在 PM<sub>10</sub>与 PM<sub>2.5</sub>的浓度达到峰值后,PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>的比例也到达最小值,随后,PM<sub>10</sub>与 PM<sub>2.5</sub>的浓度开始降低,PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>的比例迅速上升,并很快恢复到烟花燃放之前的比例.

(4)广州和深圳市春节期间群众的烟花燃放行为主要集中在郊区,市区内的燃放现象较少.

(5)烟花燃放对各地 PM<sub>2.5</sub>小时浓度的最大贡献值在 16 ~ 65  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间;对 PM<sub>10</sub>小时浓度的最大贡献值在 28 ~ 138  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间;对 SO<sub>2</sub> 小时浓度的最大贡献值在 9 ~ 43  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间.

参考文献:

[ 1 ] 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.

[ 2 ] Drewnick F, Hings S S, Curtius J, *et al.* Measurement of fine

particulate and gas-phase species during the New Year's fireworks 2005 in Mainz, Germany[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(23): 4316-4327.

[ 3 ] Vecchi R, Bernardoni V, Cricchio D, *et al.* The impact of fireworks on airborne particles [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(6): 1121-1132.

[ 4 ] 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.

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

[ 6 ] 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.

[ 7 ] 张小玲, 徐敬, 李腊平. 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*, 2008, **24**(4): 6-12.

[ 8 ] 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.

[ 9 ] 王哲, 王自发, 郑海涛. 一种评估烟花爆竹燃放对大气 PM<sub>2.5</sub>影响的新方法[J]. *中国环境监测*, 2014, **30**(3): 31-36.

[ 10 ] 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.

[ 11 ] 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.

[ 12 ] Zhang M, Wang X M, Chen J M, *et al.* Physical characterization of aerosol particles during the Chinese New Year's firework events [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(39): 5191-5198.

[ 13 ] 王红磊, 朱彬, 沈利娟, 等. 春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(2): 442-450.

[ 14 ] 陶俊, 张仁健, 董林, 等. 夏季广州城区细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>中水溶性无机离子特征[J]. *环境科学*, 2010, **31**(7): 1417-1424.

[ 15 ] 吴兑, 刘放汉, 梁延刚, 等. 粤港细粒子(PM<sub>2.5</sub>)污染导致能见度下降与灰霾天气形成的研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(11): 2660-2669.

- [16] 陶俊, 柴发合, 高健, 等. 16 届亚运会期间广州城区  $\text{PM}_{2.5}$  化学组分特征及其对霾天气的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 409-415.
- [17] Lin Z J, Tao J, Chai F H, *et al.* Impact of relative humidity and particles number size distribution on aerosol light extinction in the urban area of Guangzhou [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, **13**(3): 1115-1128.
- [18] Lin Z J, Zhang Z S, Zhang L, *et al.* An alternative method for estimating hygroscopic growth factor of aerosol light-scattering coefficient: a case study in an urban area of Guangzhou, South China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, **14**(14): 7631-7644.
- [19] 谭吉华, 赵金平, 段青春, 等. 广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1982-1987.
- [20] 段青春, 谭吉华, 盛国英, 等. 广州灰霾期间颗粒态 PAHs 的污染特征及来源[J]. 环境科学, 2009, **30**(6): 1574-1579.
- [21] 许丽忠, 陈芳, 陈峰, 等. 中国八大经济区域 5 月与 7 月 CO 地面浓度时空分布规律研究[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(8): 1934-1941.
- [22] 广东省城市环境空气质量状况(2014 年第一季度) [EB/OL]. [http://www.gdep.gov.cn/news/xwfb/201404/t20140421\\_169140.html](http://www.gdep.gov.cn/news/xwfb/201404/t20140421_169140.html), 2014-04-21.
- [23] 广东省城市环境空气质量状况(2014 年第二季度) [EB/OL]. [http://www.gdep.gov.cn/news/xwfb/201407/t20140724\\_171738.html](http://www.gdep.gov.cn/news/xwfb/201407/t20140724_171738.html), 2014-07-24.
- [24] 王雪梅, 韩志伟, 雷孝恩. 广州地区臭氧浓度变化规律研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, **42**(4): 106-109.
- [25] 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.
- [26] 董海燕, 古金霞, 陈魁, 等. 天津市区  $\text{PM}_{2.5}$  中碳组分污染特征及来源分析[J]. 中国环境监测, 2013, **29**(1): 34-38.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                  |                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Characterization of Water-soluble Ions in PM <sub>2.5</sub> of Beijing During 2014 APEC .....                                                                    | YANG Dong-yan, LIU Bao-xian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (4325)   |
| PM <sub>2.5</sub> Background Concentration at Different Directions in Beijing in 2013 .....                                                                      | LI Yun-ting, CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (4331) |
| Comparative Analysis on the Improvement of Air Quality in Beijing During APEC .....                                                                              | LI Wen-tao, GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, <i>et al.</i> (4340)     |
| Weekend Effect in Distributions of Particulate Matters, Main Gas Pollutants and Aerosol Size in Spring of Jiaxing .....                                          | SHEN Li-juan, WANG Hong-lei, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (4348)       |
| Influence of Burning Fireworks on Air Quality During the Spring Festival in the Pearl River Delta .....                                                          | ZHAO Wei, FAN Shao-jia, XIE Wen-zhang, <i>et al.</i> (4358)       |
| Characteristic of Mercury Emissions and Mass Balance of the Typical Iron and Steel Industry .....                                                                | ZHANG Ya-hui, ZHANG Cheng, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4366)   |
| Magnetic Response of Dust-loaded Leaves in Parks of Shanghai to Atmospheric Heavy Metal Pollution .....                                                          | LIU Fei, CHU Hui-min, ZHENG Xiang-min (4374)                      |
| Characteristics and Resources of Fly Ash Particles in the Snowpack of Jinfo Mountain, Chongqing .....                                                            | YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, JING Wei-li, <i>et al.</i> (4381) |
| Removal of Mixed Waste Gases by a Biotrickling Filter Packed with a Novel Combined Packing Material .....                                                        | MEI Yu, CHENG Zhuo-wei, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (4389)         |
| Low-Concentration CO <sub>2</sub> Adsorption on Polyaniline/Zelite Y Composites .....                                                                            | LIU Feng-ling, LU Xia, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (4396)            |
| Chemical Characteristics of Atmospheric Wet Deposition in Winter and Its Forestry Canopy Interception Mechanism in Red Soil Hilly Area .....                     | HAO Zhuo, GAO Yang, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (4403)         |
| Dynamic Characteristics of Base Cations During Wet Deposition in Evergreen Broad-leaf Forest Ecosystem .....                                                     | AN Si-wei, SUN Tao, MA Ming, <i>et al.</i> (4414)                 |
| Estimation of Diffuse Attenuation Coefficient of Photosynthetically Active Radiation in Xin'anjiang Reservoir Based on Landsat 8 Data .....                      | ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i> (4420)        |
| Spatial Distribution of Stable Isotopes in Particle Organic Matters and Sediments from Baishi Reservoirs .....                                                   | GUO Kai, ZHAO Wen, WANG Shan, <i>et al.</i> (4430)                |
| Response of Phytoplankton Functional Groups to Eutrophication in Summer at Xiaoguan Reservoir .....                                                              | LI Lei, LI Qiu-hua, JIAO Shu-lin, <i>et al.</i> (4436)            |
| Environmental Effect of Substrate Amelioration on Lake; Effects on <i>Phragmites communis</i> Growth and Photosynthetic Fluorescence Characteristics .....       | YU Ju-hua, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (4444)    |
| Variation Characteristics of Cave Water Hydrogeochemistry in Naduo Cave of Guizhou and Its Implications for Environment Research .....                           | SHEN Wei, WANG Jian-li, WANG Jia-lu, <i>et al.</i> (4455)         |
| Response Mechanism of Trace Metals in the Bishuiyan Subterranean River to the Rainfall and Their Source Analysis .....                                           | ZOU Yan-e, JIANG Ping-ping, ZHANG Qiang, <i>et al.</i> (4464)     |
| Residue Concentration and Distribution Characteristics of Perfluorinated Compounds in Surface Water from Qiantang River in Hangzhou Section .....                | ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, <i>et al.</i> (4471)      |
| Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Surface Sediments from Middle Reaches of the Yangtze River .....          | TIAN Qi-chang, TANG Hong-bo, XIA Dan, <i>et al.</i> (4479)        |
| Pollution Characteristics and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Urban Surface Water Sediments from Yongkang .....                                     | QI Peng, YU Shu-quan, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (4486)            |
| Effects of Citric Acid on Activation and Methylation of Mercury in the Soils of Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir .....                 | QIN Cai-qing, LIANG Li, YOU Rui, <i>et al.</i> (4494)             |
| Impacts of Microorganisms on Degradation and Release Characteristics of Organic Phosphorus in Lake Sediments During Freezing Season .....                        | ZUO Le, LÜ Chang-wei, HE Jiang, <i>et al.</i> (4501)              |
| Sedimentary Phosphorus Forms Under Disturbances and Algae in Taihu Lake .....                                                                                    | CHEN Jun, LI Da-peng, ZHU Pei-ying, <i>et al.</i> (4509)          |
| Interception Effect of Vegetated Drainage Ditch on Nitrogen and Phosphorus from Drainage Ditches .....                                                           | ZHANG Shu-nan, XIAO Run-lin, LIU Feng, <i>et al.</i> (4516)       |
| Removal of Phosphate by Calcite in Open-System .....                                                                                                             | LI Zhen-xuan, DIAO Jia-yong, HUANG Li-dong, <i>et al.</i> (4523)  |
| Adsorption of Cu on Core-shell Structured Magnetic Particles: Relationship Between Adsorption Performance and Surface Properties .....                           | LI Qiu-mei, CHEN Jing, LI Hai-ning, <i>et al.</i> (4531)          |
| Shortcut Nitrosation-Denitrifying Phosphorus Removal Based on High-quality Carbon Source in Combined Process of CAMBR .....                                      | CHENG Ji-hui, WU Peng, CHENG Chao-yang, <i>et al.</i> (4539)      |
| Simultaneous Biotransformation of Ammonium and Nitrate via Zero-Valent Iron on Anaerobic Conditions .....                                                        | ZHOU Jian, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4546)              |
| Health Risk Assessment of Drinking Water Quality in Tianjin Based on GIS .....                                                                                   | FU Gang, ZENG Qiang, ZHAO Liang, <i>et al.</i> (4553)             |
| Endotoxin Contamination and Correlation with Other Water Quality Parameters of Groundwater from Self-Contained Wells in Beijing .....                            | ZHANG Can, LIU Wen-jun, AO Lu, <i>et al.</i> (4561)               |
| Internal Exposure Levels of PAHs of Primary School Students in Guangzhou .....                                                                                   | SU Hui, ZHAO Bo, ZHANG Su-kun, <i>et al.</i> (4567)               |
| Construction of Three-Dimensional Isobologram for Ternary Pollutant Mixtures .....                                                                               | LIU Xue, LIU Shu-shen, LIU Hai-ling (4574)                        |
| Aging Law of PAHs in Contaminated Soil and Their Enrichment in Earthworms Characterized by Chemical Extraction Techniques .....                                  | ZHANG Ya-nan, YANG Xing-lun, BIAN Yong-rong, <i>et al.</i> (4582) |
| Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Larch Plantation of North China at Different Sampling Scales .....                                                | YAN Jun-xia, LIANG Ya-nan, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (4591)     |
| Mapping Critical Loads of Heavy Metals for Soil Based on Different Environmental Effects .....                                                                   | SHI Ya-xing, WU Shao-hua, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i> (4600)     |
| Stabilization Treatment of Pb and Zn in Contaminated Soils and Mechanism Studies .....                                                                           | XIE Wei-qiang, LI Xiao-ming, CHEN Can, <i>et al.</i> (4609)       |
| Effects of ZnO Nanoparticles, ZnSO <sub>4</sub> and Arbuscular Mycorrhizal Fungus on the Growth of Maize .....                                                   | LI Shuai, LIU Xue-qin, WANG Fa-yuan, <i>et al.</i> (4615)         |
| Occurrence Characteristics of Pyrene and Arsenate and Their Interaction in <i>Pteris vittata</i> L. ....                                                         | ZHANG Yu-xiu, MA Xu, LIAO Xiao-yong, <i>et al.</i> (4623)         |
| Effect of Nano Zeolite on Chemical Fractions of Cd in Soil and Its Uptake by Cabbage .....                                                                       | XIONG Shi-juan, XU Wei-hong, XIE Wen-wen, <i>et al.</i> (4630)    |
| Effect of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhizal on Cd Absorption by Varieties of Tomatoes and Cadmium Forms in Soil .....                                          | CHEN Yong-qin, JIANG Ling, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4642)      |
| Degradation of Steroidal Hormones by Salt-tolerant <i>Altererythrobacter</i> Strain MH-B5; Degradation Characteristics, Metabolites and Its Immobilization ..... | MA Cong, QIN Dan, SUN Qian, <i>et al.</i> (4651)                  |
| Distribution and Diversity of Ammonium-oxidizing Archaea and Ammonium-oxidizing Bacteria in Surface Sediments of Oujiang River .....                             | LI Hu, HUANG Fu-yi, SU Jian-qiang, <i>et al.</i> (4659)           |
| Effects of Different Altitudes on Soil Microbial PLFA and Enzyme Activity in Two Kinds of Forests .....                                                          | ZENG Qing-ping, HE Bing-hui, MAO Qiao-zhi, <i>et al.</i> (4667)   |
| Effects of Cultivation Soil Properties on the Transport of Genetically Engineered Microorganism in Huabei Plain .....                                            | ZHANG Jing, LIU Ping, LIU Chun, <i>et al.</i> (4676)              |
| Assessment of Emission and Co-Reduction of PCDD/Fs and PCNs in the Secondary Copper Production Sector .....                                                      | TIAN Ya-jing, JIANG Chen, WU Guang-long, <i>et al.</i> (4682)     |

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

( HUANJING KEXUE )

(月刊 1976年8月创刊)

2015年12月15日 第36卷 第12期(卷终)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 12 Dec. 15, 2015

|         |                                                                                                                                                                           |                  |    |                                                                                                                                                                                                                           |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 管     | 中国科学院                                                                                                                                                                     | Superintended    | by | Chinese Academy of Sciences                                                                                                                                                                                               |
| 主 办     | 中国科学院生态环境研究中心                                                                                                                                                             | Sponsored        | by | Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences                                                                                                                                               |
| 协 办     | (以参加先后为序)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清 华 大 学 环 境 学 院                                                                                                                              | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>School of Environment, Tsinghua University                                                                                                            |
| 主 编     | 欧 阳 自 远                                                                                                                                                                   | Editor-in -Chief |    | OUYANG Zi-yuan                                                                                                                                                                                                            |
| 编 辑     | 《环境科学》编辑委员会<br>北京市 2871 信箱(海淀区双清路<br>18 号, 邮政编码: 100085)<br>电话: 010-62941102, 010-62849343<br>传真: 010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码: 100717                                                                                                                                | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                                                              |
| 印 刷 装 订 | 北京北林印刷厂                                                                                                                                                                   | Printed          | by | Beijing Bei Lin Printing House                                                                                                                                                                                            |
| 发 行     | 科 学 出 版 社<br>电话: 010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                     | Distributed      | by | Science Press<br>Tel: 010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                                                                |
| 订 购 处   | 全国各地邮电局                                                                                                                                                                   | Domestic         |    | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                                                           |
| 国外总发行   | 中国国际图书贸易总公司<br>(北京 399 信箱)                                                                                                                                                | Foreign          |    | China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China                                                                                                                        |

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国 内 定 价: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行