

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2020030301

查书平, 王文婧, 宋艳卿, 等. 受新型冠状病毒肺炎疫情影响下的芜湖市环境空气质量[J]. 环境化学, 2020, 39(11): 3094-3100.

ZHA Shuping, WANG Wenjing, SONG Yanqing, et al. Study on the ambient air quality of Wuhu City affected by the new type coronavirus pneumonia epidemic[J]. Environmental Chemistry, 2020, 39(11): 3094-3100.

受新型冠状病毒肺炎疫情影响下的芜湖市环境空气质量*

查书平¹ 王文婧^{2**} 宋艳卿³ 恽保平⁴

(1. 芜湖职业技术学院, 芜湖, 241006; 2. 芜湖市生态环境局, 芜湖, 241006;

3. 北京师达擎天环保科技有限公司, 北京, 100071; 4. 芜湖市环境监测中心站, 芜湖, 241006)

摘要 本文通过疫情防控期间(2020年1月24日至2月8日)芜湖市环境空气质量与去年同期相比较, 探讨城市居民生活活动水平下降对环境空气质量的影响程度. 结果表明, PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO各项污染物的浓度分别比去年同期下降大约40.2%、41.7%、30%、43.6%和33.3%; 综合指数为3.76, 同比下降34.5%; 空气优良率高达81.3%, 远高于扩散条件较好、环境容量较大的春夏季. 空气质量明显改善主要是因为燃放烟花爆竹、祭祀焚烧减少, 影响较小, 仅造成6h轻微轻度污染; 机动车流量较管控前下降86.5%; 工地停工, 扬尘量减少50.3%.

关键词 芜湖市, 新型冠状病毒肺炎, 环境空气质量.

Study on the ambient air quality of Wuhu City affected by the new type coronavirus pneumonia epidemic

ZHA Shuping¹ WANG Wenjing^{2**} SONG Yanqing³ YUN Baoping⁴

(1. Wuhu Institute of Technology, Wuhu, 241006, China; 2. Wuhu Ecological Environment Bureau, Wuhu, 241006, China;

3. Beijing Shida Qingtian Environmental Protection Technology Co., Ltd, Beijing, 100071, China;

4. Wuhu Environmental Monitoring Center Station, Wuhu, 241006, China)

Abstract: In this paper, the impact of the decline in the living standard of urban residents on the ambient air quality in Wuhu City during the period of epidemic prevention and control (January 24-February 8, 2020) was discussed. The results showed that: the concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ and CO decreased about 40.2%, 41.7%, 30%, 43.6% and 33.3% respectively compared with the same period last year; the comprehensive index was 3.76, 34.5% lower than the same period last year; the air excellent and good rate reached 81.3%, far higher than the spring and summer with better diffusion conditions and larger environmental capacity. The obvious improvement of air quality was mainly due to the small impact of fireworks and sacrificial burning, which only caused slight pollution for 6 hours; the vehicle flow was 86.5% lower than that before control; the

2020年3月3日收稿(Received: March 3, 2020).

* 国家自然科学基金(41475109, 41601189, 41701634), 安徽省高校自然科学重点研究项目(KJ2019A0984), 大气重污染成因与治理攻关项目(DQGG-05-32), 科技创新团队项目(wzyktd202001)和科技创新服务平台培育项目(Kjcxpt202007)资助.

Supported by the National Science Foundation of China(41475109, 41601189, 41701634), Key Research Projects of Natural Science in Colleges and Universities of Anhui Province(KJ2019A0984), Causes of Heavy Air Pollution and Tackling Key Projects(DQGG-05-32), Science and Technology Innovation Team Project(wzyktd202001) and Cultivation Project of Science and Technology Innovation Service Platform(Kjcxpt202007).

* 通讯联系人, Tel: 05533111227, E-mail: 273540324@qq.com

Corresponding author, Tel: 05533111227, E-mail: 273540324@qq.com

dust was reduced by 50.3% when the construction site was stopped.

Keywords: Wuhu, the new type coronavirus pneumonia, the ambient air quality.

近年来,环境空气质量越来越受到人们的关注,国内外学者也针对各类情况下的环境空气质量变化进行了一系列的研究^[1-6],如张小玲等^[3]针对不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响开展了研究,张珺等^[5]开展了抗战胜利 70 周年活动期间河北南部环境气象条件分析及应急减排效果研究,王涛等^[7]研究了春运期间北京市 PM_{2.5} 污染特征, Camilleri、周变红等深入研究了烟花爆竹对环境的影响^[8-9].但都主要针对单一特定情况下,单一影响因素改变对空气质量的影响.然而针对全区域大范围城市居民生活活动水平降低对城市环境空气质量的影响,尚未发现有明确的研究.

受新型冠状病毒感染疫情影响,全国大部分城市采取了严厉的管控防护措施,城市居民生活活动急剧下降,这为研究城市居民生活活动对城市环境空气质量的影响提供了便利条件.本文尝试通过研究疫情防控条件下芜湖市环境空气质量变化,探究居民生活活动水平对芜湖市环境空气质量的影响,以期能为改善芜湖市空气质量和开展大气污染防治工作提供有效的理论支撑.

1 实验部分 (Experimental section)

1.1 研究时段的确定

新型冠状病毒肺炎疫情爆发后,芜湖市积极采取相关防护保障措施^[10]:2020 年 1 月 23 日起,要求春节前后全市范围内各类庙会、招聘会、商业促销活动等大型公众聚集性活动一律取消;2020 年 1 月 27 日 12 时起,对全市高速公路和普通公路实行交通管制;2020 年 1 月 31 日中午 12:00 起,临时关闭芜湖市境内部分高速公路收费站出入口;2020 年 2 月 7 日起,全市所有小区、村组和机关事业单位实行封闭式管理;除涉及保障城市运行必需、疫情防控必需、群众生活必需和其它特殊需要企业外,本市区域内其它企业不得早于 2 月 9 日 24 时前复工.2020 年 1 月 24 日—2 月 8 日期间,芜湖市除了钢铁、水泥、玻璃等重工业存在大量不可中断工序,燃煤电厂、供热锅炉等要保障社会正常运行需求,仍需持续运行外,家电、家具、纺织、机械、板材加工等轻工业行业活动水平显著下降.另外,由于 2 月 9 日一些企业需要办理各种复工手续,居民活动水平有所增加.因此,2020 年 1 月 24 日至 2 月 8 日期间,芜湖市城市居民活动水平降至全年最低.鉴于以上分析,本研究时段为 2020 年 1 月 24 日至 2 月 8 日.

1.2 数据来源

环境监测数据主要来自于芜湖市环境监测中心站的监测数据 (<http://111.38.174.15:82/FiveMinQuery#>),主要污染物包括 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、O₃ 和 CO;交通流量数据主要来自于芜湖市机动车排气污染遥感监管平台 (<http://60.167.58.34:84/>).

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 总体分析

疫情防控期间(2020 年 1 月 24 日—2 月 8 日),芜湖市 PM_{2.5} 平均浓度为 52 μg·m⁻³,低于全省平均值(60.7 μg·m⁻³),与马鞍山、合肥并列排名全省第 6 位(见图 1);优良天数 13 d,优良率高达 81.3%,比芜湖扩散条件较好、环境容量较大的春夏季还要高(见表 1).

表 1 芜湖市 2018—2019 年春夏季空气优良率

Table 1 Air quality excellent rate of Wuhu City in spring and summer of 2018—2019

年份 Year	季节 Season	优良率 Excellent rate/%	年份 Year	季节 Season	优良率 Excellent rate/%
2018	春季	51.6	2019	春季	72.2
	夏季	70.7		夏季	69.6

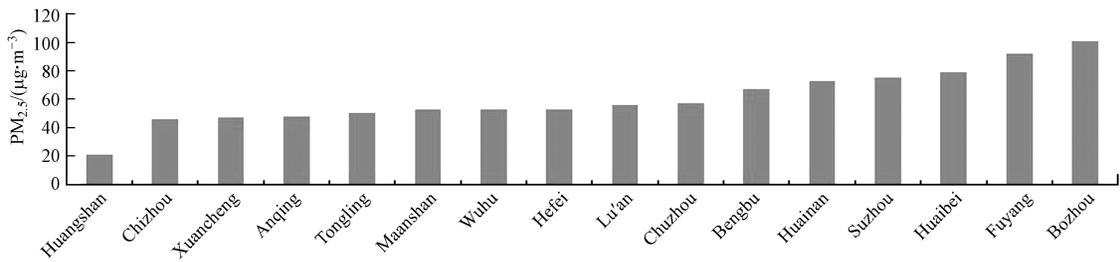


图1 2020年1月24日—2月8日安徽省16个地市PM_{2.5}平均浓度分布图

Fig.1 PM_{2.5} average concentration distribution map of 16 cities in Anhui Province from January 24 to February 8 in 2020

2.2 与去年同期数据对比分析

2020年1月24日至2月8日,从污染因子来看,6项因子(CO、PM_{2.5}、NO₂、O₃、SO₂、PM₁₀)下降幅度在30%至43.6%之间,综合指数为3.76,同比下降了34.5%,空气质量明显改善.其中,PM_{2.5}平均浓度为52 µg·m⁻³,同比下降40.2%;PM₁₀平均浓度为49 µg·m⁻³,同比下降41.7%;SO₂平均浓度为7 µg·m⁻³,同比下降30%;NO₂平均浓度为22 µg·m⁻³,同比下降43.6%;CO第95位百分数为1.0 mg·m⁻³,同比下降33.3%;空气质量综合指数为3.76,同比下降下降了34.5%;臭氧8 h第90位百分数为104 µg·m⁻³,远远优于《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中二级标准(160 µg·m⁻³)(见表2).优良天数同比增加6 d,轻度及以上污染天数同比减少6 d(见表3).

表2 各项污染物平均浓度和综合指数对比(µg·m⁻³)

Table 2 Comparison table of average concentration of various pollutants and comprehensive index

时段 Time interval	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO _{95per} (mg·m ⁻³)	O _{3-8 h-90per}	空气质量综合指数 Air quality comprehensive index
2020.1.24—2020.2.8	49	52	7	22	1	104	3.76
2019.1.24—2019.2.8	84	87	10	39	1.5	83	5.74

表3 研究时段环境空气质量等级天数分布

Table 3 Days distribution of ambient air quality level in research period

时段 Time interval	优 Excellent	良 Good	轻度污染 Light pollution	中度污染 Moderate pollution	重度污染 Heavy pollution	严重污染 Serious pollution
2020.1.24—2020.2.8	5	8	3	0	0	0
2019.1.24—2019.2.8	3	4	5	3	1	0

从PM_{2.5}达轻度污染的时次和频率来看,2020年1月24日至2月8日期间,仅在1月24—25日6 h、1月27—28日10 h、1月29日至2月1日46 h、2月2—5日19 h等连续达轻度污染,(而2019年同期则在1月24—25日48 h、27—30日68 h、2月3—6日66 h等连续达轻度污染及以上),同比减少101 h,轻度及以上污染的程度和频次都大大降低,如图2所示.

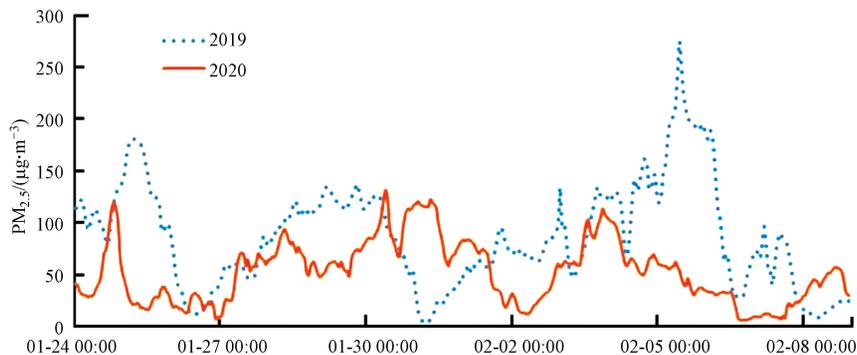


图2 2020年1月24日至2月8日及2019年同期芜湖市PM_{2.5}浓度分布图

Fig.2 PM_{2.5} concentration distribution map of Wuhu from January 24 to February 8, 2020 and the same period in 2019

2.3 与2019年春节对比分析

从6项污染物(CO、PM_{2.5}、NO₂、O₃、SO₂、PM₁₀)指标来看,与2019年春节(2月4日至2月19日,即除夕至元宵节)相比也明显下降(O₃除外),其中PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO平均浓度较2019年春节分别下降了5.4%、9.3%、12.5%、18.5%和33.3%。空气质量综合指数,是指城市环境空气质量综合状况的无量纲指数,表征了一个城市环境空气质量的整体状况,指数越低,空气质量就越好。与2019年春节相比较,空气质量综合指数下降了5.7%,空气质量较去年春节也明显改善,如表4所示。

从PM_{2.5}达轻度污染及以上的时次和频率来看,2020年春节期间(除夕至元宵节),仅在1月24—25日6h(中度污染1h)、1月27—28日10h、1月29日至2月1日46h(中度污染11h)、2月2—5日19h达轻度污染,而2019年春节则在2月4—6日54h(其中20h中度污染、28h重度污染)、2月7日7h、2月16日10h达轻度污染及以上。另外,2019年2月6日至19日,芜湖市持续阴雨天,对大气污染物有一定的清除作用,扩散条件明显优于2020年春节至元宵节期间。可见,2020年春节期间,因为疫情防控,芜湖市中度及重度污染的程度和频次大大降低。

表4 2020和2019年春节各项污染物平均浓度和综合指数对比($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Table 4 Comparison table of average concentration of various pollutants and comprehensive index during Spring Festival in 2020 and 2019 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

时段 Time interval	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO _{95per} / ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	O _{3-8 h-90per}	空气质量综合指数 Air quality comprehensive index
2019.2.4—2019.2.19	54	56	8	27	1.5	72	4.01
2020.1.24—2020.2.8	49	53	7	22	1	104	3.78

2.4 燃放烟花爆竹、祭祀焚烧的影响

燃放烟花爆竹和燃烧祭祀异物对环境空气质量的瞬时影响较大^[3,11]。国内外相关研究表明,大量燃放烟花爆竹、祭祀焚烧会导致空气中的PM₁₀、PM_{2.5}、CO浓度迅速明显增加,特别是对细粒子浓度贡献最大^[12-13]。通过分析2020年1月24—25日芜湖市空气质量发现,芜湖市PM_{2.5}小时浓度从1月24日9时左右逐渐上升,到19时达到峰值(115 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)后逐渐下降,并在1月25日5时左右趋于平稳,整个过程持续了近20h,仅造成6h持续轻微轻度污染,对芜湖市1月24日、1月25日空气质量没有造成根本性污染影响,1月24—25日芜湖市空气质量仍然为优良天。另外,通过与其他污染因子对比分析,发现PM₁₀、CO与PM_{2.5}协同升高和降低,这明显与前人研究结论一致^[11-13],是由于燃烧烟花爆竹以及老百姓祭祀焚烧纸钱造成的(见图3)。

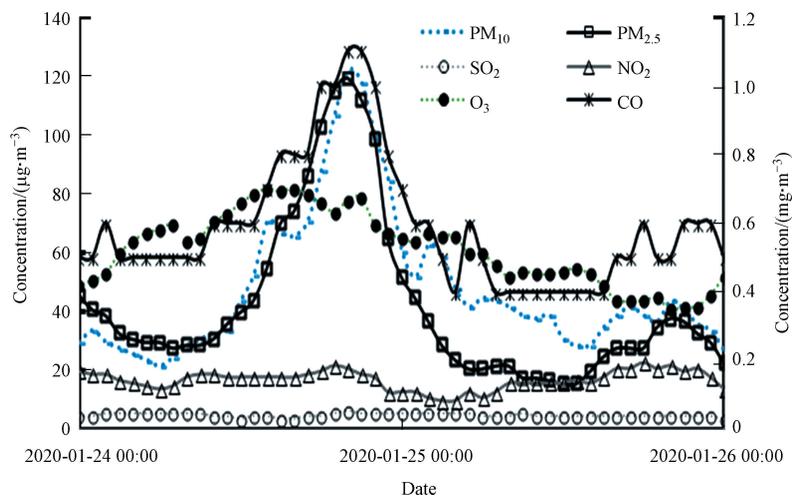


图3 2020年除夕前后芜湖市空气质量变化情况

Fig.3 Air quality change of Wuhu City before and after new year's Eve 2020

可见,2020年春节期间,芜湖市虽然进一步加大了禁燃禁放工作,但禁放范围主要在城区,而各县(市)及城乡结合部和农村地区燃放烟花爆竹的影响依然存在;另外,受传统风俗影响,还存在一些燃烧祭祀异物现象发生.但今年受疫情影响,人员外出减少,燃放烟花爆竹和燃烧祭祀异物大大降低.

2.5 机动车尾气排放影响

随着工业企业深度治理的持续推动,机动车尾气排放对城市空气质量的影响日益明显^[14].对2020年1月24日至2月8日期间城市主要入城道路车流量数据统计,可以看到,除除夕(1月24日)和初一(1月25日)因返程或走亲访友等原因车流量在每日15000辆以上外,其他时段车流量均保持较低水平,尤其1月31日至2月3日期间,车流量均在每日3500辆以下(见图4).从交通管制前后车流量统计数据来看,交通管制前(2020年1月16日至1月26日),芜湖市主要入城道路每日平均车流量为49230辆;交通管制后(2020年1月28日至2月8日),芜湖市主要入城道路每日平均车流量为6667辆,较交通管制前下降86.5%.从每天各时段的车流量的统计数据来看,交通管制前后车流变化趋势一致,车流高峰均集中在7—17时之间.交通管制后,每日各时段车流量均下降明显(见图5).

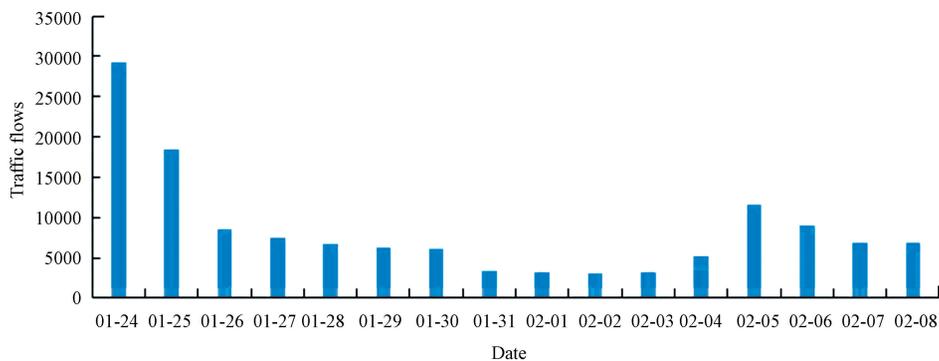


图4 2020年1月24日至2月8日期间芜湖市主要入城道路车流量

Fig.4 Traffic flows of main roads into Wuhu City from January 24 to February 8, 2020

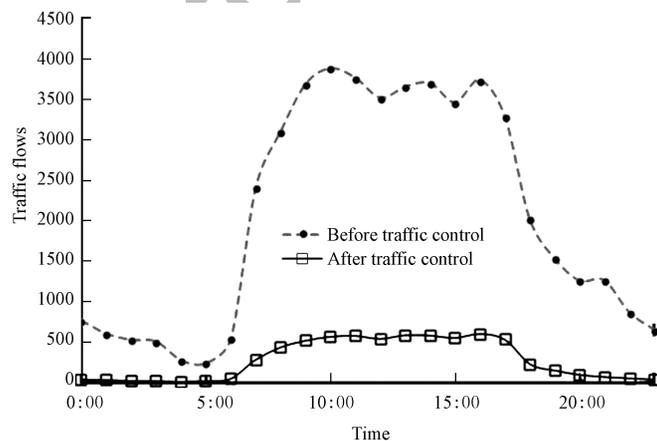


图5 芜湖市主要入城道路交通管制前后每日各时段平均车流量

Fig.5 Average traffic flows of main roads in Wuhu before and after traffic control

通过对比分析2020年1月24日至2月8日及2019年同期芜湖市二氧化氮日均浓度变化趋势,发现疫情防控期间,芜湖市二氧化氮的日均浓度普遍比2019年同期要低(1月31日外源性污染引起除外),平均下降率为43.6%,单日下降率最大达74%.而在疫情防控期间,芜湖市NO₂高排放源钢铁、水泥、玻璃等重点企业没有停限产,因此,NO₂浓度的降低主要是由于机动车排放量的减少造成的.孙俊玲等人也认为机动车停限行,可以明显的改善城市空气质量^[15].可见,路上车减少了,机动车尾气排放对城市环境空气质量的影响大大降低,对城市环境空气质量有明显改善作用(见图6).

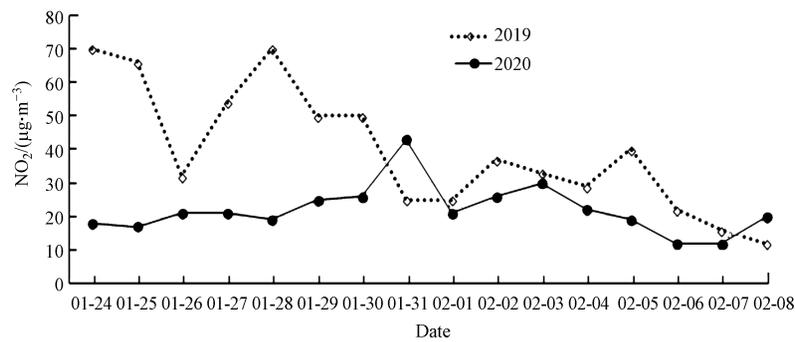


图6 2020年1月24日至2月8日及2019年同期NO₂日均浓度分布图

Fig.6 Distribution map of NO₂ daily average concentration from January 24 to February 8 in 2019 and 2020

2.6 工地停工影响

随着城市化进程的加快,工程建设量的增加,施工工地扬尘污染已成为城市空气主要污染源之一^[16-17].通过统计分析芜湖市监测数据,发现2020年1月24日至2月8日芜湖市PM₁₀的日均浓度普遍比2019年同期均低(1月30日—31日受区域污染传输影响),平均下降率为50.3%,最大下降率高达80.26%(见图7).赵普生等^[18]研究认为土壤尘、道路尘、水泥尘等源类对城市环境PM₁₀的总贡献达到50%左右,高可达70%.可见,2020年1月24日至2月8日(疫情防控)期间,芜湖市工地基本都停了,空气中的PM₁₀(可吸入颗粒物)也确实大幅度减少了.

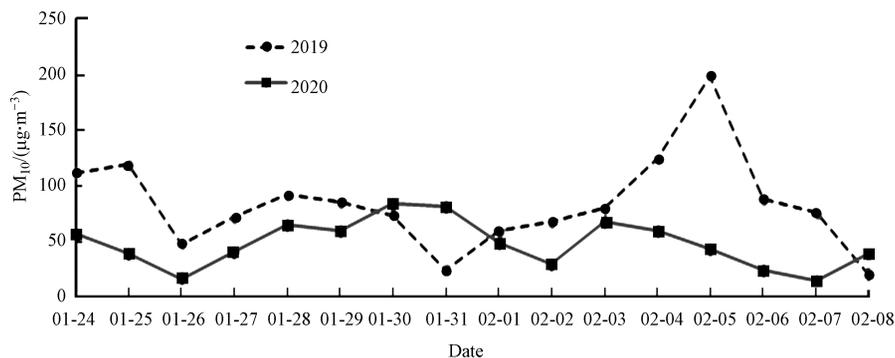


图7 2020年1月24日—2月8日及2019年同期PM₁₀日均浓度分布图

Fig.7 Distribution map of PM₁₀ daily average concentration from January 24 to February 8 in 2019 and 2020

3 结论(Conclusion)

2020年春节,受新型冠状病毒肺炎疫情影响,工地停了,酒店关闭、居民聚集性活动停止、外出走亲访友停止,城市居民活动水平大幅度降低,芜湖市环境空气质量也获得了明显的改善,主要表现为以下特征:

(1) PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 各项污染物的浓度均比去年同期下降了大约 40.2%、41.7%、30%、43.6%和 33.3%;即使由于不利气象条件和输入性污染叠加引起的污染过程也比去年的频次和程度要低得多;这段时间,芜湖市的优良率高达 81.3%,比扩散条件较好、环境容量较大的春夏季还要高.

(2) 春节期间,禁燃禁放力度加大以及受疫情管控影响,燃烧烟花爆竹和焚烧祭祀异物现象明显减少,仅造成 6 h 的轻微轻度污染.

(3) 居民出行明显减少,管控期间,车流量下降了 86.5%且趋于平稳,而芜湖市的二氧化氮浓度在管控期间也趋于平稳,比去年同期下降率最大高达 74%.

(4) PM₁₀日均浓度比去年同期平均下降了 50.3%,工地停工,扬尘明显减少.

可见,新型肺炎疫情防控期间,环境数据的变化对芜湖市大气污染治理指明了方向,控烧、控车、控尘是改善环境空气质量最快捷、最有效的措施。

参考文献 (References)

- [1] 孙峰,张大伟,孙瑞雯,等. 北京地区冬季典型 PM_{2.5}重污染案例分析[J]. 中国环境监测,2014,30(6):1-12.
SUN F,ZHANG D W,SUN R W,et al. Typical heavy pollution episode analysis on PM_{2.5} in winter of Beijing[J]. Environmental Monitoring in China,2014,30(6):1-12(in Chinese).
- [2] MORENO T,QUEVOL X,ALASLUEY A, et al. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays[J]. Atmospheric Environment,2007,41:913-922.
- [3] 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.
ZHANG X L,XU J,LI L P. Effect of fireworks burning on air quality under different meteorological conditions[J]. Journal of Meteorology and Environment,2008,24(4):6-12(in Chinese).
- [4] 薛佳平,田伟利,张清宇. 杭州市机动车 NO_x 排放清单的建立及其对空气质量的影响[J].环境科学研究,2010,23(5):613-618.
XUE J P,TIAN W L,ZHANG Q Y. Development of NO_x emission inventory from motor vehicles in Hangzhou and study on its influence on air quality[J]. Research of Environmental Sciences,2010,23(5):613-618(in Chinese).
- [5] 张珺,宋晓辉. 抗战胜利 70 周年活动期间河北南部环境气象条件分析及应急减排效果研究[J]. 中国农学通报,2016,32(34):153-158.
ZHANG J,SONG X H. Environmental and meteorological conditions and effect of emergency emission reduction in south Hebei [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(34):153-158(in Chinese).
- [6] ZHAO X J,ZHAO P S,XU J, et al. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain[J]. Atmospheric Chemistry Physics,2013,13:903-933.
- [7] 王涛,施梦琦,陈秀娟,等. 春运期间北京市 PM_{2.5} 污染特征[J].环境化学,2015,34(11):2127-2129.
WANG T,SHI M Q,CHEN X J,et al. Pollutions characteristics of PM_{2.5} in Beijing during the Spring Festival [J]. Environmental Chemistry,2015,34(11):2127-2129(in Chinese).
- [8] 周变红,王格慧,张承中,等. 春节期间西安市南郊细颗粒物中水溶性离子的污染特征[J]. 环境化学,2013,32(3):498-504.
ZHOU B H,WANG G H,ZHANG C Z,et al. Pollutions characteristics of water-soluble ions of fine particle during spring festival over Xi'an southern[J]. Environmental Chemistry,2013,32(3):498-504(in Chinese).
- [9] CAMILLERI R,VELLA A J. Effect of fireworks on ambient air quality in Malta[J]. Atmospheric Environment,2010,44(35):4521-4527.
- [10] 胡萍. 最新通告! 春节前后,芜湖市大型公众聚集性活动一律取消 [EB/OL]. [2020-01-24]. http://www.ahwang.cn/content/2020-01/24/content_1972321.html
HU P. Latest announcement! Before and after the Spring Festival, all large-scale public gathering activities in Wuhu City will be cancelled [EB/OL]. [2020-01-24]. http://www.ahwang.cn/content/2020-01/24/content_1972321.html(in Chinese).
- [11] 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, 2007,41:417-431.
- [12] 张琴. 2017 年春节期间燃放烟花爆竹对湖南省城市环境空气质量的影响研究[J]. 环境科学与管理,2017,42(7):102-106.
ZHANG Q. Study on impacts of setting of fireworks to air quality of Hunan Province during Spring Festival in 2017[J]. Environmental Science and Management,2017,42(7):102-106(in Chinese).
- [13] 潘本锋,李丽娜. 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,2016,12(1):74-77.
PAN B F,LI L N. The influence of burning fireworks on the air quality in major cities during the Spring Festival in China [J]. Environmental Engineering,2016,12(1):74-77(in Chinese).
- [14] 郭宇宏,王自发,康宏,等. 机动车尾气排放对城市空气质量的影响研究[J]. 环境科学学报,2014,34(5):1109-1117.
GUO Y H,WANG Z F,KANG H,et al. Impact of automobile vehicles exhaust emissions on metropolitan air quality: Analysis study on the air pollution change before and after the Spring Festival in Urumqi City, China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2014,34(5):1109-1117(in Chinese).
- [15] 孙俊玲,王鹏焱,张庆华. 机动车限行期间大气颗粒物(TSP、PM₁₀)中二噁英(PCDD/Fs)的削减[J]. 环境化学,2019,38(7):1582-1589.
SUN J L,WANG P U,ZHANG Q H. Reduction of PCDD/Fs in TSP and PM₁₀ during traffic restriction[J].Environmental Chemistry, 2019, 38(7): 1582-1589(in Chinese).
- [16] 赵普生,冯银厂,金晶,等. 建筑施工扬尘特征与监控指标[J].环境科学学报,2009,29(8):1618-1623.
ZHAO P S,FENG Y C,JIN J,et al. Characteristics and control indicators of fugitive dust from building construction sites[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2009,29(8):1618-1623(in Chinese).
- [17] 王荣. 成都市某工地施工扬尘排放特征研究[J]. 绿色科技,2017,2:41-44.
WANG R. Investigation of dust emission from a construction site in Chengdu[J]. Journal of Green Science and Technology,2017,2:41-44(in Chinese).
- [18] 赵普生,冯银厂,张裕芬,等. 建筑施工扬尘排放因子定量模型研究及应用[J]. 中国环境科学,2009,29(6):567-573.
ZHAO P S,FENG Y C,ZHANG Y F,et al. Modeling and impact study of fugitive dust emissions from building construction sites[J]. China Environmental Science,2009,29(6):567-573(in Chinese).