

文章编号:2096 - 5389(2022)03 - 0091 - 05

新冠肺炎疫情期间遵义市大气污染物的变化

尚媛媛¹, 彭 波², 金凡琦¹, 黄建菲¹

(1. 贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:为研究云贵高原城市遵义新冠期间大气污染物变化特征,利用 2015—2020 年遵义市空气质量监测数据、地面气象观测资料,分析新冠肺炎疫情防控期间遵义市主要大气污染物和气象要素的变化情况,研究空气质量对污染物减排和气象要素变化的响应。结果表明:疫情防控导致遵义市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度明显下降,但 O_3 质量浓度小幅增加; $\text{PM}_{2.5}$ 和 NO_2 对人为减排的响应更敏感;防控期内遵义市气象条件比较有利于污染物的清除,防控减排措施导致 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度下降 25.34%。在疫情防控的背景下, O_3 浓度较 2015—2019 年明显偏高, $\text{PM}_{2.5}$ 显著下降,这与疫情防控期间人员车辆外出明显减少有关,导致夜间滴定消耗 O_3 的气体减少。减排措施对防控期间颗粒物污染浓度有明显的削弱作用。

关键词:新冠疫情;气象要素;大气污染物;遵义市

中图分类号:X511 **文献标识码:**B

Changes of Air Pollutants during COVID - 19 Duration in Zunyi city

SHANG Yuanyuan¹, PENG Bo², JIN Fanqi¹, HUANG Jianfei¹

(1. Guizhou Meteorological Service Center, Guiyang 550002, China ;

2. Guizhou Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to study the variation characteristics of air pollutants in Zunyi city of Yunnan Guizhou Plateau during the period of COVID - 19 occurrence, the air quality monitoring data and surface meteorological observation of Zunyi from 2015 to 2020 were used to analyse the changes of Zunyi City main air pollutants and meteorological elements during the epidemic prevention and control period and study the response of air quality to pollutant emission reduction and meteorological factors. The results show that: epidemic prevention and control leads to the fact that the mass concentrations of $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} and NO_2 decreased significantly, but the mass concentration of O_3 increased slightly; The response of $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 to human emission reduction was more sensitive. During the period of prevention and control, the meteorological conditions of Zunyi were conducive to the removal of pollutants. And the $\text{PM}_{2.5}$ mass concentration decreased by 25.34% due to prevention and control measures. Under the background of epidemic prevention and control, O_3 concentration was obviously higher and $\text{PM}_{2.5}$ decreased significantly compared with 2015—2019, Which was related to the obvious reduction of people and vehicles going out during lockdown period, resulting in the reduction of gas consumption of O_3 at night. Emission reduction measures have a significant weakening effect on the concentration of particulate matter pollution during the prevention and control period.

Key words: COVID - 19; meteorological elements; air pollutants; Zunyi City

收稿日期:2021 - 05 - 22

第一作者简介:尚媛媛(1987—),女,高工,主要从事短期天气预报及应用气象相关工作,E-mail:yys_syyc@163.com。

0 引言

2020 年新型冠状病毒肺炎疫情在全球蔓延,对世界各国经济、社会等诸多方面造成前所未有的影响。我国于 2000 年 1 月下旬在全国范围实施了交通管制、限制居民外出、停止集市集会、停工停业停课、小区全面封闭等措施。2020 年 3 月下旬,疫情得到显著缓解,全国大部分地区陆续实现复工复产。在疫情防控期间,多种举措对社会活动与经济建设带来了严重的影响与冲击^[1-3]。一方面,管控使疫情得到有效控制,另一方面,全国大部分公共交通暂停运营,机动车上路率急剧下降,交通排放大幅度减少;大部分企业生产停止,工业排放也明显降低,空气质量出现明显变化。客观减排情况为评估空气质量对排放量急剧减少的响应和污染减排与气象条件之间的相互作用提供了难得的大规模“对照实验”,分析研究这段特殊时期的污染物及气象条件的变化状况,对环保减排策略有重要作用。

疫情发生以来,许多学者针对新冠疫情管控措施所导致污染物排放变化,及其对空气质量的影响进行了一些研究。其中,冯春莉^[4]将管控措施对空气质量达标率和污染物浓度进行对比分析,发现移动源对徐州市区颗粒物污染的贡献较大,工业源、机动车源应是下一步颗粒物污染控制的两大主要方向。潘勇军等^[5]发现广州市新冠肺炎疫情隔离期间,各污染物浓度大幅度降低,SO₂、NO₂、CO、PM₁₀、PM_{2.5}浓度比往年同期(5 a 平均)分别下降约 72.7%、36.2%、20.7%、36.5%、59.1%,但 O₃ 浓度升高,比预测值高 7.6%,比往年同期增长了 18.3%。上述研究表明,管控期间我国大部分区域的空气质量有较明显的改善,但改善幅度与污染物减排幅度之间的关系,以及气象条件在其中所起作用因区域不同均有差别;在一些地区由于受不利气象条件和排放变化等原因,仍然出现了重污染天气,个别污染物(如 O₃)反而呈现增长趋势。因此,本文以遵义市为例,利用大气污染物和气象要素的地面观测数据,分析防控期间遵义市空气质量及大气污染物质量浓度变化,剖析人为减排和气象因素对大气污染物浓度变化的影响,为改善遵义城市空气质量和减排措施提供科学参考。

1 资料与方法

根据贵州省新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指挥部发布的第 1 号和第 9 号令要求,2020 年 1

月 26 日起施行全面的管控措施,2020 年 3 月底起全面恢复社会生产生活秩序。因此,本文将 2020 年 1—4 月划分为 3 个对照期,1 月为防控前的正常生活期(以下称正常期),2 月和 3 月为疫情防控期(以下称防控期),4 月为防控后的复工复产期(以下称复工期),分别计算 2015—2019 年 5 a 平均、2019 年和 2020 年的正常期、防控期和复工期遵义市大气污染物质量浓度和气象条件并进行对比。

本文应用遵义市环境监测实时发布 5 个监测站点的 2015 年 1 月 1 日—2020 年 4 月 30 日大气环境监测站数据,选取遵义市常见的首要大气污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂ 和 O₃ 作为代表污染物进行分析。另外,考虑到 NO₂ 是大气化学过程关键气态污染物,在 O₃ 和二次气溶胶的生成过程中可以作为前体物,而遵义市 NO₂ 的来源主要是交通排放,受人为活动影响较大,因此本文也将 NO₂ 作为代表污染物进行研究。气象资料为相同时段的遵义国家地面气象站逐小时观测数据,包括温度、湿度、风速、风向等;根据上述气象要素,利用罗氏算法可计算对应站点逐小时的混合层高度。环境监测的具体位置见图 1。

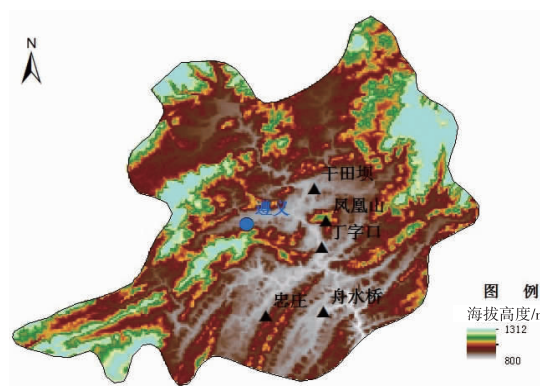
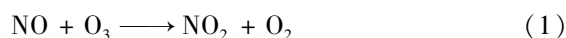
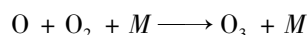
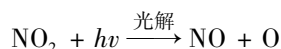


图 1 遵义市城区 5 个环境空气质量监测站(三角形)和气象站(圆形)分布图

Fig. 1 Distribution map of 5 ambient air quality monitoring stations (triangle) and meteorological stations (circle) in Zunyi

设备运行期间按照文献[6]定期进行校准和仪器维护,还剔除了因仪器校准等原因出现的异常数据。在进行数据处理时,若每天数据多于 4 个,则该天作为无效处理;若每月缺失天数超过 6 d,则该月作为无效月处理。

运用光化学^[10]反应方程式如下:



式中 NO_2 光解产生 NO 和 O , 产物 O 在 O_2 参与下可产生 O_3 , 而 NO 和 O_3 的反应又回到了 NO_2 , 因此氮氧化物作为滴定 O_3 的主要成分。

干洁大气位温定义式:

$$\theta_d = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{k_d} \quad (2)$$

式中 $k \approx K_d = 0.286$, 与日常观测中的气温的误差值相当, 在允许范围内, 所以未饱和湿空气值常用于干空气位温值代替。

通常采用 R_i 法来估算稳定边界层高度^[7-8] (stable boundary layer height, SBLH)。 R_i 的计算方法如下:

$$R_i(Z) = \frac{g(z) \times \theta(z)}{\theta(z) \times v(z)^2} \quad (3)$$

式中, z 是垂直高度, g 是重力加速度, θ 是位温, v 是高度 z 处的风速。

此外, 文中大气污染物变化率, 见公式(4):

$$y = \frac{b - a}{a} \quad (4)$$

式中 y 表示大气污染物变化率, a 表示起始值, b 表示期间末尾值, 文中进行分段计算, 即防控期与正常期比较, 复工期与防控期比较。

2 结果与分析

2.1 大气污染物质量浓度变化

图2为2020年、2015—2019年各阶段遵义市

$\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 和 O_3 质量浓度均值及变化率。

正常期: 2020年 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 质量浓度均低于前5a的平均值, 分别偏低26.0%、26.7%、43.8%, 但 O_3 质量浓度略高于前5a的平均值, 略偏高6.90%, 其中 PM_{10} 和 NO_2 等的变化程度更为明显。

防控期: 2020年 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度均低于前5a的平均值, 分别偏低41.1%、37.1%和45.6%, 这与乐旭等^[13]的研究结论一致。但是, 防控期内 O_3 质量浓度较前5a平均值出现了明显地增加, 偏高22.7%, 遵义市 O_3 质量浓度的增加可能与 NO_2 质量浓度的减少有关, 因为高浓度的 NO_x 水解对 HO_2 的吸收会促进光化学过程的终止, 使得 O_3 浓度降低^[9]。此外, 在一定的浓度范围内, 由于气溶胶辐射效应对 O_3 光化学反应过程影响和细颗粒对边界层结构的改变, $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的质量浓度表现出反相关特征。

复工期: $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 质量浓度较前5a同期表现出偏低的特征, 但比防控期明显升高, 变化率分别升高5.1%、30.4%、47.0%, 只有 O_3 质量浓度比防控期明显降低12.1%, 遵义市复工后大气污染物的增幅低于中国东部地区^[10], 这可能是防控期减排作用的持续影响以及春季季风、对流增强等利于污染物扩散的气象条件共同导致的。

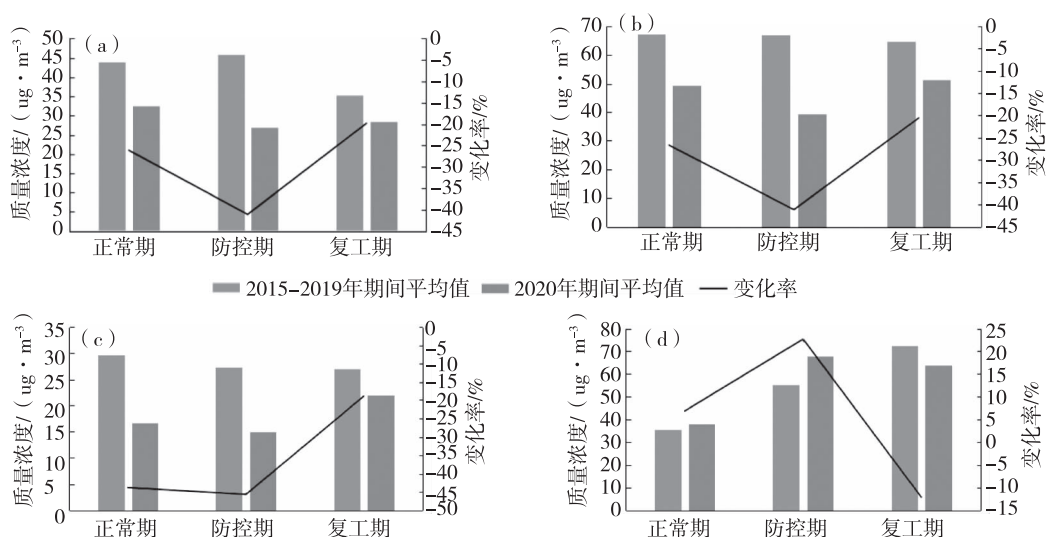


图2 2020年与2015—2019年遵义市各阶段大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ (a)、 PM_{10} (b)、 NO_2 (c) 和 O_3 (d) 质量浓度平均值及变化率

Fig. 2 Average value and change rate of air pollutant mass concentration at various stages

$\text{PM}_{2.5}$ (a)、 PM_{10} (b)、 NO_2 (c) and O_3 (d) in Zunyi in 2020 and 2015—2019

分析 2015—2019 逐年 2—3 月遵义市月均大气污染物质量浓度,发现 2—3 月 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度呈下降趋势, O_3 质量浓度呈上升趋势。为了探究新冠疫情防控措施对遵义市大气污染物质量浓度年变化趋势的影响,参考乐旭等^[10]的研究方法,根据 2015—2019 年 2—3 月遵义市大气污染物质量浓度值进行线性外推,得到 2020 年防控期大气污染物的理论质量浓度并与防控期内实际的质量浓度进行对比。可以发现(表 1),2020 年防控期内大气污染物的实际质量浓度均低于线性趋势外推值(除 2 月的 PM_{10} 和 O_3 偏高以外),防控措施使得遵义市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度较理论质量浓度降低了 $11.03\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $17.02\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $12.08\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, O_3 质量浓度偏高 $8.51\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, PM_{10} 和 NO_2 的减少程度大于 $\text{PM}_{2.5}$,说明遵义市 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度变化受人为活动的影响更大。此外,因为 O_3 存在光化学物质的二次转化,随着防控期间 NO_x 的降低,也就是滴定气体减少,导致 O_3 光化学物质的二次转化升高,所以 O_3 的实际值比理论值高。

表 1 2015—2020 年 2—3 月大气污染物线性变化趋势

Tab. 1 Linear change trend of air pollutants of February and March of each year from 2015 to 2020

	$\text{PM}_{2.5}$	PM_{10}	NO_2	O_3
理论/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	43.52	66.39	26.96	55.18
实际/ $(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	32.49	49.37	14.87	63.69
变化率/%	-25.34	-25.64	-44.82	15.42

表 2 2020 年防控期和 2015—2019 年同期的温度、气压相对湿度、混合层高度、风速和日照时数

Tab. 2 Temperature, barometric pressure, relative humidity, mixing layer height, wind speed and sunshine hours in 2020 and 2015—2019

年	温度/ $^{\circ}\text{C}$	气压/hPa	相对湿度/%	风速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	混合层高度/m	日照时数/h
2015—2019	8.9	906.04	80.43	1.41	946.03	2.25
2020	10.6	905.81	78.65	1.32	980.45	2.05

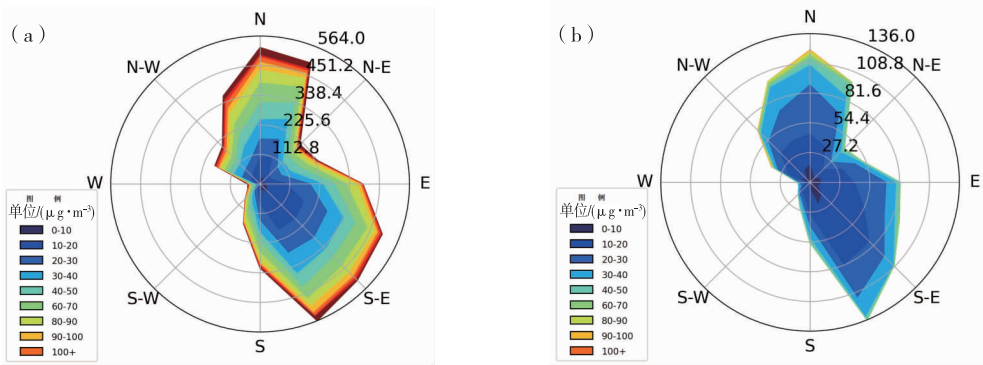


图 3 2020 年防控期(a)与同期 2015—2019 年平均(b)的风向风速和 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度

Fig. 3 Average wind direction, wind speed and $\text{PM}_{2.5}$ mass concentration in 2020 (a) and 2015—2019(b)

3 结论与讨论

利用 2015—2020 年遵义市空气质量监测数据及地面气象观测资料,分析新冠肺炎疫情防控期间遵义市主要大气污染物和气象要素的变化情况,研究空气质量对污染物减排和气象要素变化的响应。结果表明:

① 2020 年防控期内,大部分企业生产停止,工业排放也明显降低,空气质量出现明显变化,遵义市空气质量整体改善, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 NO_2 质量浓度低于 2015—2019 年同期平均值, O_3 质量浓度与 2015—2019 年同期平均值相比表现出先增加后降低的特征。遵义市 $PM_{2.5}$ 和 NO_2 质量浓度对污染物减排响应较为敏感。

② 疫情期间遵义市气象条件整体不利于污染天气出现,日照时数减少,相对湿度降低,东南风风速减小,污染物外来输送影响降低。疫情防控期间,气象条件比较利于遵义市 $PM_{2.5}$ 质量浓度下降,同时,防控减排措施导致遵义市 $PM_{2.5}$ 质量浓度下降了 25.34%。在减排背景下,人为排放的减少对大气污染物浓度降低的有着明显的贡献。

客观减排情况为评估空气质量对排放量急剧减少的响应和污染减排与气象条件之间的相互作用提供了难得的大规模“对照实验”。疫情期间,遵义市总体 O_3 浓度较 2015—2019 年同期明显偏高,这与疫情防控期间人员车辆外出明显减少有关,导致夜间滴定消耗 O_3 的气体减少,如 NO_x 的释放减少,使得夜间 O_3 浓度降不下来,白天温度较其他年份升高,同时 $PM_{2.5}$ 减少使辐射增加以及在光化学反应下, O_3 浓度升高,加之滴定消耗 O_3 的气体减少,导致 O_3 浓度持续偏高。这与人员车辆的外出减少直接导致氮氧化物减少,可吸入颗粒物 $PM_{2.5}$ 显著下降吻合,对环保减排策略有重要作用。

参考文献

- [1] 智艳,罗长远. 新冠肺炎疫情对中国经济的影响及其思考[J]. 学习与探索,2020(4):99-105.
- [2] 王成祥,刘加珍. 聊城市空气质量现状及污染原因分析[J]. 气象与环境学报,2016,32(1):108-112.
- [3] 余国忠,张迁,刘向春,等. 新冠病毒肺炎疫情防控期间信阳市中心城区空气质量变化[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2020,33(4):599-604.
- [4] 冯春莉. 2020 年新冠疫情对徐州市空气质量的影响分析[J]. 中国资源综合利用,2020,11(38):134-136.
- [5] 潘勇军,高瑶瑶,李智琦,等. 广州市空气质量时空特征及新冠疫情的干预[J]. 中国城市林业,2020,18(10):1-6.
- [6] 国家环境保护总公司. 环境空气质量自动监测技术规范:HJ/T 193—2005[S].
- [7] 秦瑜,赵春生. 大气化学基础[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [8] 廖国莲. 大气混合层厚度的计算方法及影响因素[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学、医学版),2005,26(4):66-73.
- [9] 曹蔚,赵天良,徐祥德,等. 基于加密探空观测的成都市一次重霾污染过程中大气边界层气溶胶垂直结构分析[J]. 地球化学,2020,49(3):344-352.
- [10] 乐旭,雷亚栋,周浩,等. 新冠肺炎疫情期间中国人为碳排放和大气污染物的变化[J]. 大气科学学报,2020,43(2):265-274.
- [11] 张小曳,徐祥德,丁一汇,等. 2013—2017 年气象条件变化对中国重点地区 $PM_{2.5}$ 质量浓度下降的影响[J]. 中国科学:地球科学,2020,50(4):483-500.
- [12] 郭青,罗碧瑜,曾东好,等. 气象条件对梅州城区臭氧浓度的影响研究[J]. 中低纬山地气象,2018,42(6):26-30.
- [13] 曹杨,王晨曦,赵晓莉,等. 成都市 $PM_{2.5}$ 污染特征及其地面气象要素的关系分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(4):59-64.
- [14] 何建军,余晔,刘娜,等. 气象条件和污染物排放对兰州市冬季空气质量的影响[J]. 高原气象,2016,35(6):1577-1583.
- [15] 程念亮,李云婷,张大伟,等. 2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系[J]. 环境科学,2016,37(6):2041-2051.
- [16] Tie X, Huang R J, Cao J, et al. Severe Pollution in China Amplified by Atmospheric Moisture[J]. Scientific Report,2017,7:15760.
- [17] 杨群,张李娟,胡萍,等. 铜仁市 2019 年 1 月 2 次空气污染过程及其气象条件特征分析[J]. 中低纬山地气象,2021,45(3):56-64.