

doi: 10.6046/zrzyyg.2020266

引用格式: 韦耿,侯钰俏,查勇.新冠疫情影响下武汉市气溶胶类型变化分析[J].自然资源遥感,2021,33(3):238–245. (Wei G,Hou Y Q,Zha Y. Analysis of aerosol type changes in Wuhan City under the outbreak of COVID–19 epidemic[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(3):238–245.)

新冠疫情影响下武汉市气溶胶类型变化分析

韦耿,侯钰俏,查勇
(南京师范大学地理科学学院,南京 210023)

摘要:应用湖北省武汉市 2019 年 12 月 1 日—2020 年 4 月 30 日期间的大气颗粒物数据(PM₁₀与 PM_{2.5}),以及 MODIS 气溶胶产品,获取该区域的气溶胶光学厚度(aerosol optical depth,AOD)、精细模式分数(fine–mode fraction,FMF)数据,建立 4 种气溶胶类型(城市/工业型、沙尘型、干洁海洋型和混合型)模型,对比分析新冠肺炎疫情影响下,社会管控及产业停产对武汉市大气颗粒物及气溶胶类型特性的影响。结果表明,管控及停产期间由于人为排放量减少,大气颗粒物浓度值均呈现下降趋势,除春节假期以外,城市/工业型气溶胶占比同样呈下降趋势,干洁海洋型气溶胶占比则上升至 13.4%,而有序复工复产后,变化趋势则与管控停产期间相反。与 2017—2019 年同时期相比,春节后持续管控及停产期间,大气颗粒物浓度值和气溶胶参数同样低于往年同期。MODIS 气溶胶产品能够有效获取区域气溶胶特性,对区域大气环境的监测及治理提供数据帮助。

关键词:新冠肺炎;武汉市;大气颗粒物;MODIS;气溶胶类型

中图法分类号: P 407; X 87 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097–034X(2021)03–0238–08

0 引言

大气气溶胶定义为悬浮于大气中,空气动力学直径多在 0.001~100 μm 的固态和液态颗粒共同组成的体系。气溶胶可以通过直接辐射和间接辐射方式,对地球辐射的平衡以及气候变化造成一定程度的影响^[1–2]。此外,气溶胶还会对人类生产生活造成危害,气溶胶浓度值增高会导致大气能见度下降,造成局地性甚至区域性危害^[3–4]。由气溶胶转化形成的空气动力学直径小于 10 μm(PM₁₀)及 2.5 μm(PM_{2.5})的颗粒物,是目前主要的大气污染物,因其粒径小、活性高、易携带重金属和有害物质、滞留性强、传输距离远等特点,会对人体的心血管和呼吸系统造成直接伤害^[5–7]。我国在经济发展的同时,城市化和工业化的快速化推进导致气溶胶浓度值上升,最典型的事件就是雾霾天气的频繁出现,尤其在经济发达、城市化工业化程度高的京津冀、长三角、珠三角地区^[8–10],由气溶胶引发的大气污染较为严重,引起了全社会持续而广泛的关注,因此对气溶胶展开相关科学研究具有重要意义。

气溶胶对大气的影

响主要体现在其光学特性,传统的气溶胶光学参数获取方式依靠地面监测设备,虽然其获取的信息精度很高,但覆盖面积较小,且气溶胶浓度的空间变化性较大,因此地面监测无法提供大面积范围内的有效信息^[11]。卫星遥感技术具有观测范围广、实时性强、分辨率高等优势,并且和地面监测的相关性很高^[12–14],能够很好地代替地面监测设备获取区域的气溶胶光学特性,因此已被广泛运用于大气颗粒物时空分布、大气污染迁移和粒子特征等气溶胶特性的监测及研究之中^[15–16]。与 SPOT,TM 等卫星传感器相比,MODIS 传感器通道多,动态性强、空间覆盖广、可靠性高^[17],其获取的数据由美国航空航天局向全球每日免费发布,获取非常便捷,因此 MODIS 数据成为目前应用最广泛的卫星影像数据之一。一系列相关研究表明,MODIS 数据在中国同样能取得较好的实验结果,张瑞芳等^[18]利用 MODIS 气溶胶产品对河南省大气气溶胶光学特性进行研究;施益强等^[19]通过气溶胶 Level 2 光学厚度产品分析了厦门市气溶胶和空气污染指数的季节性特征;邬明权等^[20]通过 MODIS 气溶胶产品对北京市气溶胶类型特性和变化趋势做出分析;安晓丹等^[21]通过 MODIS 气溶胶产品分析了 2014 年华北地区秋收期间气溶胶时空分布特征。

收稿日期: 2020–08–28; 修订日期: 2020–12–08
基金项目: 国家自然科学基金项目“长三角地区气溶胶污染特征与形成机制研究”(编号: 41671428)资助。
第一作者: 韦耿(1996–),男,硕士研究生,主要研究方向为大气颗粒物质量浓度估算。Email: 347128908@qq.com。
通信作者: 查勇(1963–),男,教授,主要研究方向为大气遥感。Email: yzha@njnu.edu.cn。

2020 年初,新冠肺炎疫情在湖北省地区爆发,武汉市处于疫情中心。为保障人民的生命财产安全并防止疫情向外扩散,党中央迅速做出精准决策,各级政府纷纷制定措施,社会各界物资力量涌入湖北,武汉也进入全面严格的封闭管理期,在各方不懈努力下,疫情得到有效控制。据国务院联防联控机制新闻发布会介绍,在新冠疫情影响期间,除关键医疗物资、能源、粮食、物流等重点关键领域之外,武汉市其余各类型企业均处于停工状态。同时,武汉城市交通系统基本处于停运状态。据央视新闻等媒体报道,截至 2020 年 2 月 24 日,湖北全省复工率尚低于 20%,自 3 月 11 日有序复工复产以来,各生产生活秩序加快恢复,截至 3 月 31 日,武汉市复工率达到 85.4%,4 月 17 日则达到 97% 以上。由于各个系统行业都经历停滞或严格管控状态,武汉地区气溶胶类型也势必发生改变。本文利用地球观测系统中 Terra(上午过境)和 Aqua(下午过境)两颗卫星上搭载的 MODIS 传感器获取的气溶胶产品 (MOD04_3K、MYD04_3K),获取其中气溶胶光学厚度 (aerosol optical depth, AOD) 和精细模式分数 (fine - mode fraction, FMF) 数据,结合大气颗粒物数据 (PM_{10} 与 $PM_{2.5}$),对武汉市在受新冠肺炎疫情影响下,进行全面严格的封闭管控及停工停产 (以下称管控停产) 前后的气溶胶类型特性和变化做出分析,为区域环境分析和大气污染治理提供参考和帮助。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

武汉市是湖北省省会,地处中国中部地区,属于典型的亚热带季风区。如图 1 所示,武汉市地貌属鄂东南丘陵经汉江平原东缘向大别山南麓低山丘陵过渡地区,中间低平,南北为低山丘陵。武汉市是重要的交通枢纽及工业基地,大气污染问题较为严峻。

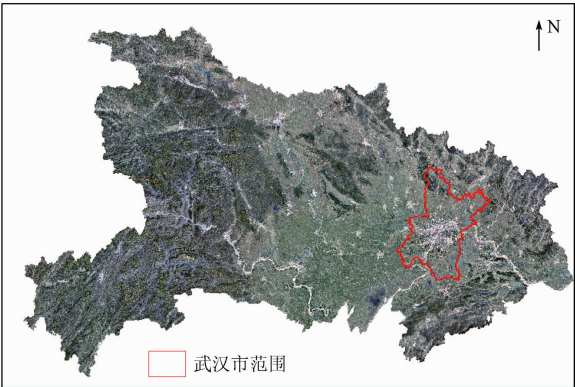


图 1 湖北省影像及武汉市范围

Fig.1 Image of Hubei Province and scope of Wuhan City

本文选取的研究时段为 2019 年 12 月 1 日—2020 年 4 月 30 日,其中以 2020 年 1 月 23 日湖北省新冠肺炎疫情防控指挥部发布暂时关闭离汉通道、交通全面停运公告,进入严格管控停产状态为第一个时间节点;因非城市地区未全面实行春节假期期间禁放烟花爆竹的规定,为排除部分区域可能因燃放烟花爆竹产生的大气污染对管控停产期间数据产生影响,因此以 2020 年 1 月 31 日春节假期结束为第二个时间节点;以 2020 年 3 月 11 日湖北省新冠肺炎疫情防控指挥部发布以限制清单管理有序复工或继续生产公告为第三个时间节点,将数据分为 4 个时间段,对比分析严格管控停产前、春节假期、节后持续停工和有序复工复产对当地大气颗粒物和气溶胶特性变化的影响,具体如表 1 所示。

表 1 新冠疫情影响期间时间阶段划分
Tab.1 Time stage division during COVID - 19 epidemic situation

阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段
起 止	20191001—	20200124—	20200201—	20200312—
日期	20200123	20200131	20200311	20200430
天数/d	54	8	40	51

第三阶段为春节假期过后持续管控停工的阶段,是本文重点分析的时间段。往年该时间段,各地工人陆续返岗、工业企业恢复生产状态,城市交通恢复正常运行秩序,因此搜集 2017—2019 年期间,以每年春节假期后第一天为起始日期,往后共 40 d 的大气颗粒物与气溶胶数据,与 2020 年疫情期间第三阶段数据进行对比,分析因停工对当地大气颗粒物和气溶胶特性造成的影响,具体如表 2 所示。

表 2 历年第三阶段划分
Tab.2 Division of stage III over past years

年份	2017 年	2018 年	2019 年
起止日期	0203—0314	0222—0402	0211—0322
天数/d	40	40	40

1.2 颗粒物数据

目前武汉市共有 10 个国控级空气质量监测站点,大气颗粒物质量浓度的每小时平均、日均数据均可通过中国生态环保部全国城市空气质量实时发布平台 (<http://106.37.208.233:20035/>) 获取。本文通过获取 7 个时段全部的数据,并分别对 7 个时段的数据进行筛选,计算全市每小时 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 的平均值。

1.3 气溶胶数据

气溶胶根据其来源可以分为自然来源与人为排放,自然来源主要是沙漠、海洋、火山喷发、植物燃烧等方面,人为排放则主要来自于化石燃料的燃烧。

本文采用的数据是 3 km 空间分辨率的 MODIS 气溶胶产品,MOD04_3K(Terra 卫星搭载)和 MYD04_3K(Aqua 卫星搭载),均采用最新的 C6. 1(Collection 6.1)处理级别算法。区域云层对卫星获取气溶胶数据有较强的干扰性,零星散点分布数据的参考性受到很大限制,两颗卫星共同使用可增加观测机会,从而得到更多有效数据组数。经筛选、剔除、几何纠正后根据武汉市轮廓进行裁剪,从中获取其中气溶胶光学厚度和精细模式分数数据集。

AOD 代表气溶胶在垂直方向上的分布密度,FMF 反映了细微粒 AOD 与总 AOD 的比值^[22],两者均为无量纲单位。2019 年 12 月—2020 年 4 月期间武汉市 AOD 与 FMF 空间分布如图 2 所示,AOD 高值主要集中于人口密集的城市区域,低值则集中于远离城市的山区及部分郊区。城市区域的 FMF 值同样偏高,FMF 低值则主要围绕城市外围分布。但北部山区却出现 FMF 高值区,原因在于山区植被茂盛,冬春季节因气候干燥可能引发山林火灾或者因部分人为活动影响,并且入春后植物开始生长,生物排放细颗粒物增多^[23],导致北部山区 FMF 值偏高。

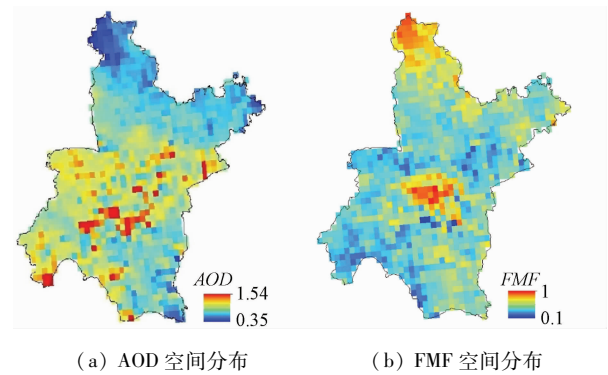


图2 武汉市 2019 年 12 月—2020 年 4 月 AOD 及 FMF 的空间分布

Fig.2 AOD and FMF spatial distribution in Wuhan City from December 2019 to April 2020

Barnaba 等^[24]提出将 AOD 与 FMF 结合对气溶胶进行分类的方法,具体分类原理图如图 3 所示。将 $AOD < 0.2$ 且 $FMF > 0.7$ 的气溶胶归类为干洁海洋型,该类型气溶胶的细颗粒占比较高,但光学厚度值较小,表明气溶胶总浓度较低,受到人为排放影响较小,主要影响来自于海洋和季风作用;将 $AOD > 0.3$ 且 $FMF < 0.6$ 的气溶胶归类为沙尘型,该类型的气溶胶受较大颗粒的沙尘影响较大;将 $AOD > 0.2$ 且 $FMF > 0.8$ 的气溶胶归类为城市/工业型,该类型气溶胶受细微颗粒影响较大,细气溶胶占总气溶胶的比值较高;其余的则归类为混合型,表示其他类型的气溶胶经过一系列凝结、转化反应后形成

的混合型气溶胶。

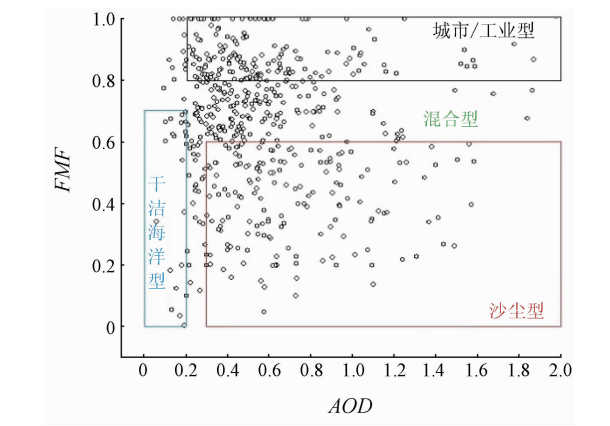


图3 气溶胶类型分类^[20]
Fig.3 Classification of aerosol types

2 疫情影响下的颗粒物和气溶胶变化

2.1 颗粒物变化分析

颗粒物质量浓度日均值如图 4 所示,各阶段颗粒物浓度及气溶胶参数见表 3。

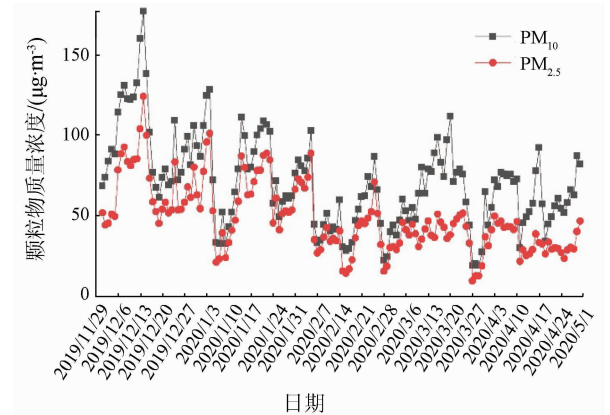


图4 颗粒物质量浓度日均值
Fig.4 Daily mean mass concentration of particulate matter

表3 新冠疫情各阶段颗粒物质量浓度与气溶胶参数平均值

Tab.3 Mean mass concentration of particulate matter and mean value of aerosol characteristics in each stage of COVID - 19 epidemic situation				
阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段
PM ₁₀ 浓度值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	91.9	62.3	53.2	59.3
PM _{2.5} 浓度值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	66.3	52.9	40.3	34.5
AOD	0.43	0.57	0.62	0.74
FMF	0.52	0.73	0.44	0.48

春节后持续管控停产的第三阶段期间,除必要物资的运输、人员转移和部分重要行业继续运转等情况外,城市交通和工业企业生产处于停滞状态,人为大气颗粒物排放量总体低于其他阶段,与管控停产前的第一阶段和春节假期期间的第二阶段相比,

PM₁₀的质量浓度值分别下降 42.1% 和 14.6%，PM_{2.5}的质量浓度值分别下降 39.2% 和 23.8%，管控停产对大气颗粒物质量浓度值造成的降幅较大。另一方面，同样是管控停产状态，节后相比春节期间，颗粒物质量浓度值同样有所下降，说明禁止燃放烟花爆竹的规定可以在一定程度上改善大气污染，但春节期间并未出现重污染现象，可以看出武汉市有关燃放烟花爆竹的规定执行较好。第三阶段与有序复工复产后的第四阶段相比，PM₁₀浓度值提高，原因在于由冬季进入春季后气温变暖，北方大陆解冻，加上气候干燥和偏北风的影响，造成外源沙尘的扩散输入^[25]，导致 PM₁₀浓度值提高。同时 PM_{2.5}的浓度值则继续下降，可以看出武汉市在有序复工复产

的同时,对大气污染的监管和治理也比较严格。

为进一步研究第三阶段期间因管控停产所带来的影响,选取往年“第三阶段”的颗粒物数据进行对比(图 5 和表 4)。2020 年第三阶段与往年相比,PM₁₀的质量浓度值分别下降 50.4%,38.5% 和 31.3%,PM_{2.5}的质量浓度值分别下降 47.4%,23.1% 和 27.4%。从图 5 可以看出,大气颗粒物质量浓度值总体处于下降状态,且逐年的重污染天气现象的程度和出现频率更低,说明武汉市制定大气污染治理的相关管理条例在 2017 年至 2019 年期间已逐步取得成效,相关研究结果同样可以说明这一趋势^[26],2020 年颗粒物质量浓度大幅下降主要是停工停产,导致排放源显著降低。

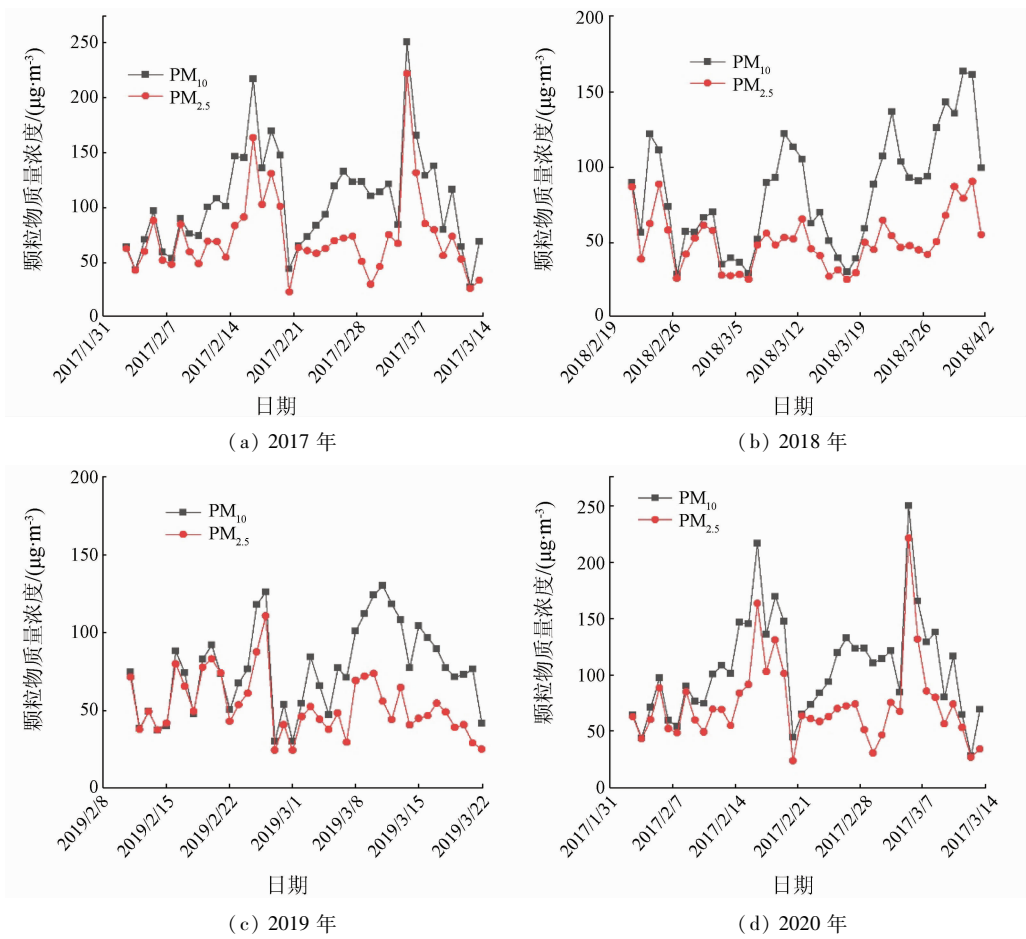


图 5 2017—2020 年第三阶段颗粒物质量浓度日均值

Fig. 5 Daily mean mass concentration of particulate matter in stage III from 2017 to 2020

表 4 2017—2020 年第三阶段颗粒物质量浓度与气溶胶参数平均值				
Tab. 4 Mean mass concentration of particulate matter and mean value of aerosol characteristics in stage III from 2017 to 2020				
年份	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
PM ₁₀ 浓度值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	107.3	86.5	77.5	53.2
PM _{2.5} 浓度值/($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	76.6	52.4	55.5	40.3
AOD	0.81	0.68	0.67	0.62
FMF	0.56	0.50	0.54	0.44

2.2 气溶胶参数变化分析

根据疫情期间 4 个阶段数据的对比分析,由图 6 与图 7 可以看出,AOD 值总体呈现上升趋势,FMF 值则总体呈现反“U”型变化,其中第二阶段 FMF 值有较大幅度上升,且高值区基本分布在远离城市的边缘区域,原因在于春节期间部分区域烟花爆竹的燃放以及城市供暖的影响。第三阶段受持续管控停产的影响,仅部分关键产业正常运作及必要人员物

资的转移输送外,人为排放较低,且后期逐渐入春,AOD 值则继续处于上升趋势。在有序复工复产的第四阶段,AOD 和 FMF 值均出现上升,AOD 值上升比较明显,FMF 值上升则较小,此阶段入春后,携带粗颗粒物的北方沙尘向南方扩散,且受到本地复工复产的影响,本地扬尘增多。从图 7 中也可以得出相似结论,第二阶段城市/工业型气溶胶占比出现上升,对应燃放烟花爆竹以及城市供暖导致 FMF 值上

升的趋势;第三阶段城市/工业型气溶胶下降幅度较大,干洁海洋型和混合型气溶胶占比则均有上升,对应人为排放减少后细气溶胶占比下降的趋势。第四阶段混合型和干洁海洋型气溶胶占比则出现下降趋势,城市/工业型气溶胶占比上升幅度较小,沙尘型气溶胶占比则出现较大幅度的上升,表明该阶段气溶胶受春季沙尘天气影响^[27],大气中粗颗粒占比高,与颗粒物浓度值变化趋势一致。

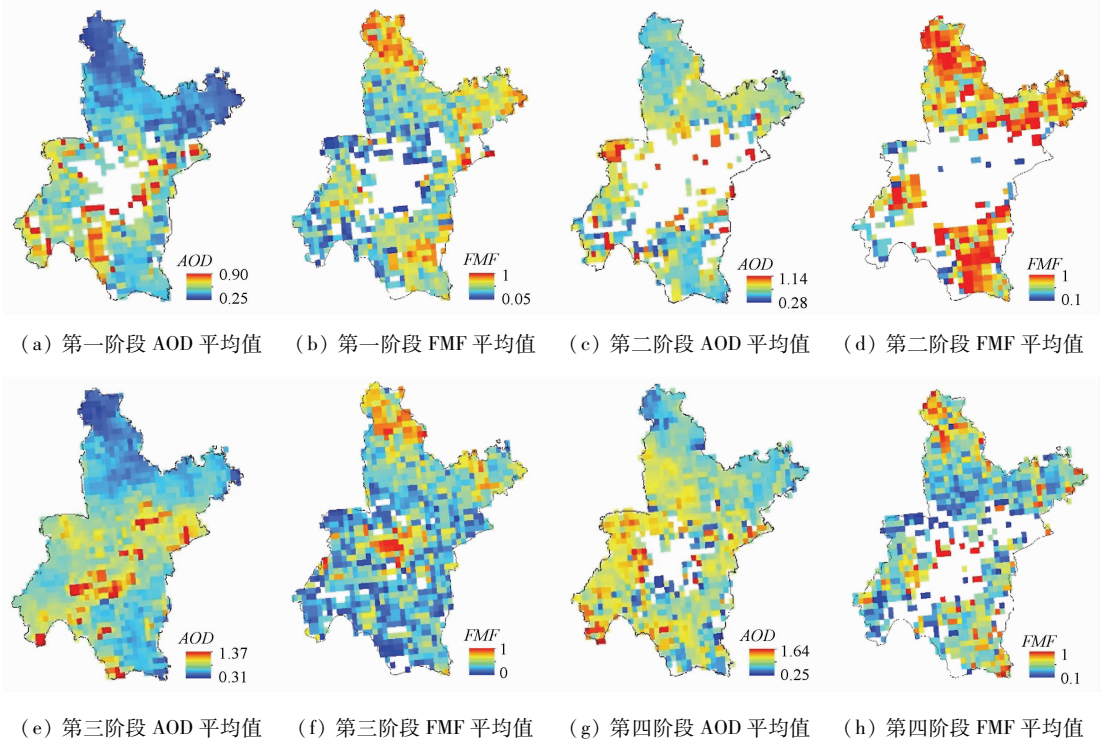


图 6 新冠疫情各阶段气溶胶参数空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of aerosol parameters in different stages of COVID - 19 epidemic situation

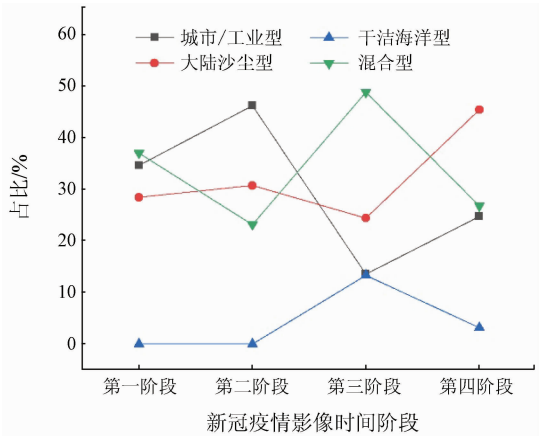


图 7 新冠疫情各阶段气溶胶特性分类

Fig. 7 Classification of aerosol characteristics in different stages of COVID - 19 epidemic situation

从图 8 管控停产的第三阶段与往年的第三阶段气溶胶参数的对比中可以发现 AOD 和 FMF 值均低于往年同期水平,并且除 FMF 值在 2019 年

有小幅度反弹之外,AOD 和 FMF 值均处于逐年下降的趋势,说明大气气溶胶类型正在逐年改善,而停工带来的下降幅度最为明显,2020 年第三阶段相比于 2019 年的第三阶段,AOD 和 FMF 值分别下降 25% 和 22%。图 9 为 2017—2020 年第三阶段气溶胶类型分类。从图 9 中可以看出,城市/工业型气溶胶占比总体处于下降趋势,混合型占比处于上升趋势,与 AOD 和 FMF 的变化趋势相对应。受人为排放量减少的影响,往年第三阶段期间干洁海洋型占比均低于 3%,城市/工业型占比均高于 29%,2020 年第三阶段期间干洁海洋型占比则上升至 13.4%,城市/工业型占比则降低至 13.4%。相比往年各类气溶胶占比变化总体趋于平稳,管控停产对城市/工业型气溶胶的降幅,对于干洁海洋型占比的增幅影响最为明显。

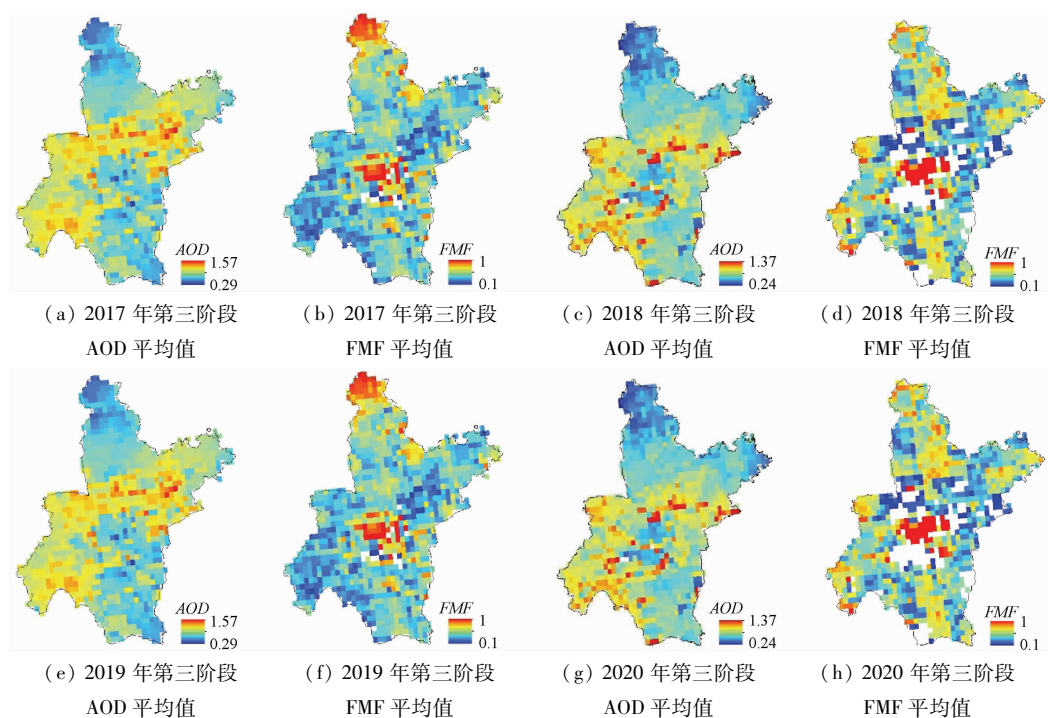


图 8 2017—2020 年第三阶段气溶胶参数空间分布
Fig. 8 Space distribution of aerosol parameters in stage III from 2017 to 2020

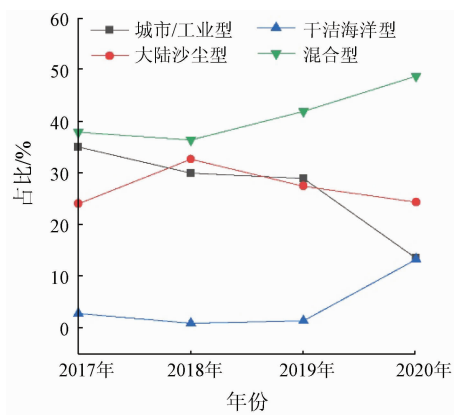


图 9 2017—2020 年第三阶段气溶胶特性分类
Fig. 9 Classification of aerosol characteristics
in stage III from 2017 to 2020

3 结论

1) 相比管控停产前,春节后持续管控停产期间大气颗粒物 PM_{10} , $PM_{2.5}$ 浓度值和大气气溶胶 AOD, FMF 值均出现下降趋势,城市/工业型气溶胶占比下降,干洁海洋型与混合型气溶胶占比均有提高,并且与往年春节过后期间相比,其变化趋势与管控停产前后的变化趋势总体一致。春节期间因部分区域燃放烟花及城市供暖,导致城市/工业型气溶胶有所提高,但节后停产期间其占比下降幅度较大。

2) 在有序复工复产后 AOD 出现较大幅度提高, PM_{10} 浓度值和 FMF 均有提高,但 $PM_{2.5}$ 浓度值则

继续下降,在有序复工复产的同时,武汉市对大气污染的严格监管和治理也在进行中。

3) 与往年相比,大气颗粒物浓度值和气溶胶特性值总体呈下降趋势,表明武汉市大气污染治理已获得成效,但管控停产期间各类大气数值均呈较大幅度下降趋势。MODIS 产品能够对评估区域气溶胶特性提供有力依据支撑,并能够对区域大气环境评价及治理提供较好帮助。

参考文献 (References):

[1] 毛节泰,张军华,王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. 气象学报,2002,60(5):625-634.
Mao J T, Zhang J H, Wang M H. Summary comment on research of atmospheric aerosol in China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2002, 60(5):625-634.

[2] 张小曳. 中国不同区域大气气溶胶化学成分浓度、组成与来源特征[J]. 气象学报,2014,72(6):1108-1117.
Zhang X Y. Characteristics of the chemical components of aerosol particles in the various regions over China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(6):1108-1117.

[3] 徐祥德. 城市化环境大气污染模型动力学问题[J]. 应用气象学报,2002(13):1-12.
Xu X D. Dynamic issues of urban atmospheric pollution models [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002(13):1-12.

[4] 徐祥德,施晓晖,张胜军,等. 北京及周边城市群气溶胶影响域及其相关气候效应[J]. 科学通报,2005,50(22):2522-2530.
Xu X D, Shi X H, Zhang S J, et al. The aerosol influence regions and related climate effects of Beijing and surrounding cities[J].

- Chinese Science Bulletin, 2005, 50(22): 2522–2530.
- [5] Raghu B, Sathish N B, Rajasekhar B B. Southeast Asian smoke haze: Fractionation of particulate-bound elements and associated health risk[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(8): 4327–4335.
- [6] Peng R D, Bell M L, Geyh A S. Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution[J]. Environmental Health Perspectives, 2009, 117(6): 957–963.
- [7] Kloog I, Ridgway B, Koutrakis P, et al. Long and short term exposure to PM_{2.5} and mortality[J]. Epidemiology, 2013(24): 555–561.
- [8] Che H, Xia X, Zhu J, et al. Column aerosol optical properties and aerosol radiative forcing during a serious haze-fog month over North China Plain in 2013 based on ground-based sunphotometer measurements[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(4): 2125–2138.
- [9] Qi B, Hu D Y, Che H Z, et al. Seasonal variation of aerosol optical properties in an urban site of the Yangtze Delta Region of China[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2016, 16(11): 2884–2896.
- [10] 郑彬, 吴兑, 李菲, 等. 南海夏季风背景下的广州气溶胶光学特性变化特征[J]. 热带气象学报, 2013, 29(2): 207–214.
- Zheng B, Wu D, Li F, et al. Variation of aerosol optical characteristics in Guangzhou on a background of South China Sea summer monsoon[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2013, 29(2): 207–214.
- [11] King M D, Kaufman Y J, Menzel W P, et al. Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS)[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30: 2–27.
- [12] Kang N, Kumar K R, Hu K, et al. Long-term (2002–2014) evolution and trend in Collection 5.1 Level-2 aerosol products derived from the MODIS and MISR sensors over the Chinese Yangtze River Delta[J]. Atmospheric Research, 2016, 181: 29–43.
- [13] 郑有飞, 董自鹏, 吴荣军, 等. MODIS 气溶胶光学厚度在长江三角洲地区适用性分析[J]. 地球科学进展, 2011, 26(2): 224–234.
- Zheng Y F, Dong Z P, Wu R J, et al. Validation of MODIS aerosol optical thickness retrieval over Yangtze delta region of China[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(2): 224–234.
- [14] 朱爱华, 李成才. 北京地区 MODIS 卫星遥感气溶胶资料的检验与应用[J]. 环境科学学报, 2004, 24(1): 86–90.
- Zhu A H, Li C C. Validation and application of MODIS remote aerosol information in Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24(1): 86–90.
- [15] Lee K H, Kim Y J, Wolfgand V, et al. Spatio-temporal variability of satellite derived aerosol optical thickness over Northeast Asia in 2004[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41: 3959–3973.
- [16] Lee K H, Kim Y J, Kim M J. Characteristics of aerosol observed during two severe haze events over Korea in June and October 2004[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40: 5146–5155.
- [17] 贺军亮, 张淑媛, 李佳, 等. 基于 MODIS 的城市大气颗粒物污染指数研究[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 126–131. doi: 10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 20.
- He J L, Zhang S Y, Li J, et al. Particulate matter indices derived from MODIS data for indicating urban air pollution[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(2): 126–131. doi: 10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 20.
- [18] 张瑞芳, 于兴娜. 河南省气溶胶光学特性的时空变化特征[J]. 环境科学, 2020, 41(2): 600–608.
- Zhang R F, Yu X N. Spatio-temporal distribution and variation characteristics of aerosol optical properties in Henan Province[J]. Environmental Science, 2020, 41(2): 600–608.
- [19] 施益强, 邓秋琴, 吴君, 等. 厦门市 MODIS 气溶胶光学厚度与空气质量指数的回归分析[J]. 国土资源遥感, 2020, 31(1): 106–113. doi: 10.6046/gtzyyg. 2020. 01. 15.
- Shi Y Q, Deng Q Q, Wu J, et al. Regression analysis of MODIS aerosol optical thickness and air quality index in Xiamen City[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 31(1): 106–113. doi: 10.6046/gtzyyg. 2020. 01. 15.
- [20] 邬明权, 牛铮, 乔玉良, 等. 基于 MODIS 数据的北京气溶胶类型特性与影响因素分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 541–547.
- Wu M Q, Niu Z, Qiao Y L, et al. Aerosol types and its affecting factors over Beijing based on MODIS data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(4): 541–547.
- [21] 安晓丹, 张佳华, 刘学锋, 等. 华北平原夏收期间气溶胶卫星遥感探测分析[J]. 环境科学学报, 2016, 36(9): 3386–3392.
- An X D, Zhang J H, Liu X F, et al. Aerosol detection analysis from satellite during the harvest season over North China Plain[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(9): 3386–3392.
- [22] Anderson T L, Wu Y, Chu D A, et al. Testing the MODIS satellite retrieval of aerosol fine-mode fraction[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2005, 110(D18): D18204.
- [23] Li L Y, Chen Y, Xie S D. Spatio-temporal variation of biogenic volatile organic compounds emissions in China[J]. Environmental Pollution, 2013, 182(6): 157–168.
- [24] Barnaba F, Gobbi G P. Aerosol seasonal variability over the Mediterranean region and relative impact of maritime, continental and Saharan dust particles over the basin from MODIS data in the year 2001[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2004, 4: 2367–2391.
- [25] 郑祚芳, 陈家华, 祁文. 湖北省近 50 年气候变化特征分析[J]. 气象科学, 2002, 22(3): 279–286.
- Zheng Z F, Chen J H, Qi W. The character of climate variation of Hubei Province during recent 50 years[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2002, 22(3): 279–286.
- [26] 许刚, 焦利民, 赵素丽, 等. 1990–2014 年武汉市空气质量时空变化[J]. 环境工程, 2016, 34(4): 80–85.
- Xu G, Jiao L M, Zhao S L, et al. Spatial and temporal variability of air quality in Wuhan City from 1990 to 2014[J]. Environmental Engineering, 2016, 34(4): 80–85.
- [27] 操文祥, 沈帆, 全继宏, 等. 武汉地区沙尘天气气溶胶粒径分布特性研究[J]. 中国环境监测, 2015, 31(6): 47–52.
- Cao W X, Shen F, Quan J H, et al. Aerosol particle size distribution

research during sand storm in Wuhan area[J]. Environmental Mo-

nitoring in China,2015,31(6):47-52.

Analysis of aerosol type changes in Wuhan City under the outbreak of COVID – 19 epidemic

WEI Geng, HOU Yuqiao, ZHA Yong

(School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: This study aims to compare and analyze the effects of social control and industrial shutdown induced by the COVID – 19 epidemic on the particulate matter and aerosol types in Wuhan City, Hubei Province. To this end, the aerosol optical depth (AOD) and fine mode fraction (FMF) data of Wuhan City from December 1, 2019 to April 30, 2020 were obtained based on the data of atmospheric particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) and the data from MODIS aerosol products. Then the models of four types of aerosols (urban/industrial, sand – dust, clean marine, and mixed types) were established, obtaining the following results. During the period of social control and industrial shutdown, the concentration of atmospheric particulate matter showed a downward trend owing to the reduction in anthropogenic emissions. Meanwhile, the proportion of urban/industrial aerosols also showed a downward trend, while the proportion of dry and clean marine aerosols increased to 13.4% in the period except for the Spring Festival holiday. In contrast, the atmospheric particulate matter and the aerosols of the above types showed opposite trends after the ordered resumption of work and production. Compared with the same period during 2017—2019, the concentration of atmospheric particulate matter and aerosol parameters were also lower during the continuous control and shutdown after the Spring Festival. It can be inferred that MODIS aerosol products can be used to effectively obtain the characteristics of regional aerosols and thus provide data for the monitoring and governance of the regional atmospheric environment.

Keywords: COVID – 19; Wuhan City; particulate matter; MODIS; aerosol types

(责任编辑: 张 仙)