周岳，屈垚，张勇，等. 人为管控下典型城市空气质量及经济指标特征[J]. 环境科学与技术，2024，47(S1)：118-126. Zhou Yue，Qu Yao，Zhang Yong，et al. Air quality and industrial characteristics of typical cities during control period in China[J]. Environmental Science & Technology，2024，47(S1)：118-126.

人为管控下典型城市空气质量及经济指标特征

周岳[1,4,5]，屈垚[1,4,5]，张勇[1,4,5]，刘卉昆[1,4,5]，
师菊莲[3]，朱崇抒[1,2,4,5*]

（1.中国科学院地球环境研究所，黄土与第四纪地质国家重点实验室，
中国科学院气溶胶化学与物理重点实验室，陕西 西安 710061；
2.中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心，陕西 西安 710061；
3.西安地球环境创新研究院，陕西 西安 710061；
4.陕西关中平原区域生态环境变化与综合治理国家野外科学观测研究站，陕西 西安 710061；
5.陕西省大气污染与雾霾防治重点实验室，陕西 西安 710061）

摘 要：为探讨中国典型城市在极端人为源管控条件下空气质量和产业特征，文章分析了2018-2020年1-5月武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨等7个城市空气质量及产业发展指标；同比了极端人为管控期大气污染物浓度及经济产业指标变化特征。结果表明：受极端人为管控影响，管控期各污染物浓度同比、环比均出现显著降低，其中NO_2浓度环比下降幅度最大，约为50%，其次是$PM_{2.5}$和PM_{10}，百分比为30%~40%。但O_3浓度总体呈现上升趋势，未来需进一步采取措施，加强$PM_{2.5}$和O_3协同控制，推动城市空气质量持续改善。各城市不同管控力度对大气污染浓度变化有显著影响。此外，对比了2020年第一和第二季度3类产业发展状况，北京、广州、西安和成都均为第一产业产值恢复速度较快，第三产业增长率最慢为10%；同比3类产业表明管控措施对第二产业影响较大。

关键词：空气质量； 大气污染特征； 产业结构； 人为源管控

中图分类号：X513 **文献标志码**：A **doi**：10.19672/j.cnki.1003-6504.2118.22.338 **文章编号**：1003-6504(2024)S1-0118-09

Air Quality and Industrial Characteristics of Typical Cities During Control Period in China

ZHOU Yue[1,4,5]，QU Yao[1,4,5]，ZHANG Yong[1,4,5]，LIU Huikun[1,4,5]，
SHI Julian[3]，ZHU Chongshu[1,2,4,5*]

（1. KLACP, SKLLQG, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China;
2. CAS Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Xi'an 710061, China;
3. Xi'an Institute for Innovative Earth Environment Research, Xi'an 710061, China;
4. Guanzhong Plain Ecological Environment Change and Comprehensive Treatment National Observation and Research Station, Xi'an 710061, China;
5. Shaanxi Key Laboratory of Atmospheric and Haze-fog Pollution Prevention, Xi'an 710061, China）

Abstract: The research was conducted in seven cities, including Wuhan, Beijing, Shanghai, Guangzhou, Xi'an, Chengdu, and Lhasa. The variations of several pollutants were investigated from January to May 2020, the air quality was discussed among the three periods, including the epidemic prevention and control period, before and after the epidemic prevention and control period. Basing on the indicators of economic development, the interannual variations of the industrial characteristics were explored for the period from 2018 to 2019. The results show that the concentrations of major pollutants decreased significantly during the period of epidemic prevention and control year on year. During the period of epidemic prevention and control, the concentrations of NO_2 decreased the most with around 50% in different cities, followed by $PM_{2.5}$ and PM_{10} with the percentages of 30%~40%. The concentrations of O_3 showed increasing trends. The development of primary industry recovered

《环境科学与技术》编辑部：（网址）http://fjks.chinajournal.net.cn（电话）027-87643502（电子信箱）hjkxyjs@vip.126.com
收稿日期：2022-12-16；修回2023-02-23
基金项目：国家重点研发计划项目（2017YFC0212200）
作者简介：周岳（1989-），女，硕士，研究方向为大气气溶胶物理与化学，（电子信箱）zhouyue@ieecas.cn；*通讯作者，男，研究员，博士，（电子信箱）chongshu@ieecas.cn。

faster in Beijing, Guangzhou, Xi'an, and Chengdu in the first and second quarters of 2020. While the growth rate of the tertiary industry in these cities was the slowest with the percentage of 10%.

Key words: air quality; air pollution characteristics; industrial structure; anthropogenic source control

2020年1月，为应对疫情，部分城市启动重大突发公共卫生事件Ⅰ级响应，采取了交通管制、限制居民外出、停止集市集会、停工停业停课等严格管控手段，这些措施对阻断疫情扩散起到了积极有效的作用[1−4]。由于极端人为源管控等防控对策，在一定程度上减少了大气污染物的排放，工业、交通和扬尘等污染源的大气污染物排放量显著降低，有利于空气质量改善[5−8]。迄今为止，在管控期间，中国已经报道了气溶胶和气态污染物的大幅减少[9−11]。生态环境部发布的“关于我国2020年环境空气质量状况报告”显示，1−2月全国337个地级及以上城市的空气质量得到了很大改善，其中1月平均优良天数比例为78%，相对2019年同期上升了8个百分点；2月平均优良天数比例高达88%，相对2019年同期上升了12个百分点。极端人为源管控对经济发展有一定影响，国家统计局数据显示，2020年一季度国内生产总值同比下降7%，全年国内生产总值同比增长2%，低于近5年全年国内生产总值增长速度。极端人为源管控期间空气质量与经济产业发展之间存在错综复杂的关系[12−14]。为探讨在极端人为源管控条件下我国典型城市空气质量和经济产业指标变化特征，选取我国东、中、西不同区域代表性城市，包括武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨，通过对比各城市在极端人为源管控期间不同年度间同比变化及管控前中后污染要素变化情况，深入分析空气质量和经济指标的变化规律。

1　数据与方法

1.1　数据来源

选取武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨7个城市的细颗粒物($PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)6项大气污染物浓度数据，数据来自实时空气质量指数监测平台(https://aqicn.org/city/shijiazhuang/cn/)；O_3以当日8 h滑动平均浓度作为日均浓度，其他污染物以当日24 h平均浓度作为日均浓度[15]；经济数据则参考各城市统计局发布数据。

1.2　研究时段

采用2018−2020年极端人为源管控期前后对照的方法，以武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨7个城市为研究对象，基于2020年1−5月每日各项污染物浓度数据，包括$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、CO、NO_2和O_3，探讨极端人为源管控期与极端人为源管控期前后空气质量的差异；同时对2018−2019年同时段数据均值进行年际变化对比分析。

根据各城市启动重大突发公共卫生事件Ⅰ级应急响应至解除Ⅰ级应急响应的时间，将此阶段定义为“极端人为源管控期”，之前和之后分别定义为“管控前”和“解控后”，其中各城市管控及解控时间如图1所示。



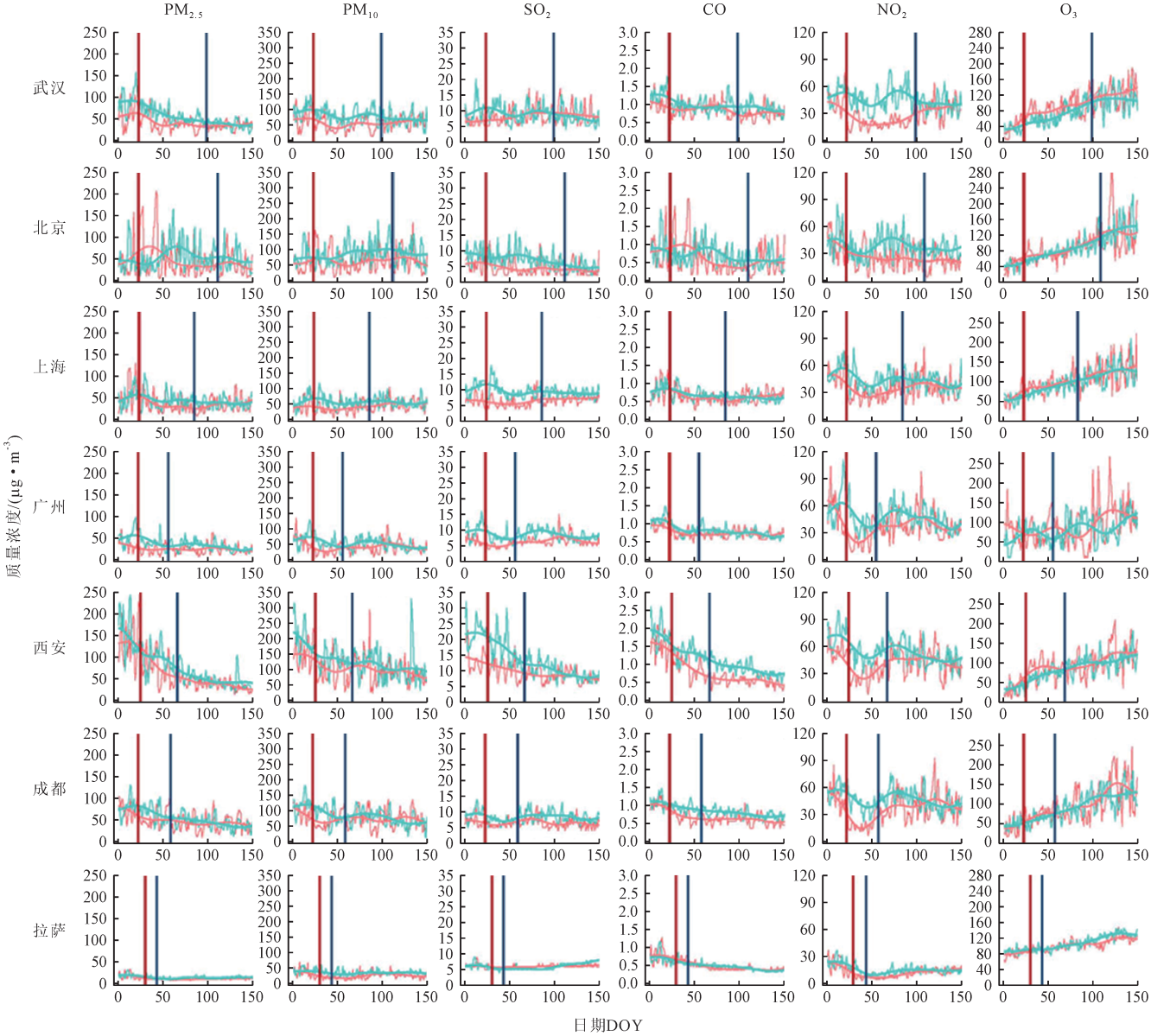
图1　不同城市管控和解控时间

2　结果与分析

2.1　不同年度间空气质量同比变化

开展了武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨同一时间段不同年份对比分析，年度选择为2018−2020年，时间段为1月1日−5月30日，对各城市6参数

（包括$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、CO、NO_2和O_3）日均浓度变化趋势进行了对比分析（图2）。2020年1月1日–5月30日，武汉市$PM_{2.5}$和PM_{10}的平均值分别为40.4 μg/m³和58.4 μg/m³；西安市二者的平均值分别为63.9 μg/m³和105.8 μg/m³，为7个城市最高；拉萨市的平均值最低，$PM_{2.5}$平均浓度为11.0 μg/m³，PM_{10}平均浓度为27.7 μg/m³。西安市NO_2的排放浓度最高（42.3 μg/m³），拉萨市NO_2排放浓度最低（14.1 μg/m³）；一次排放CO浓度范围为0.54 mg/m³（拉萨）至0.88 mg/m³（武汉）。O_3为一次排放的污染气体，其平均浓度上海最高（101.4 μg/m³），其次是拉萨（99.6 μg/m³），O_3平均浓度北京最低，浓度为89.5 μg/m³。



DOY：从1月1日(DOY=1)到5月31日(DOY=150)；红线：2020年，绿线：前2年(2018-2019年)的平均值；红色垂直线：2020年疫情Ⅰ级应急响应启动；蓝色垂直线：Ⅰ级应急响应解除；平滑线：平均趋势。CO质量浓度单位为mg/m³。

图2 武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨空气质量6参数日均浓度变化趋势

各城市2018–2019年NO_2排放量在春节期间均有明显减少，而2020年春节期间减少幅度更大，持续时间更长，这可能是极端人为源管控期间交通流量减少，使得NO_2排量降低（图2）。从2020年NO_2的时间序列可以看出，春节到2月24日显著减少[16]，这可能是受春节和极端人为源管控的综合影响[17]。对比数据可以看出，武汉市NO_2浓度在2020年1月26日（DOY=26）最低，比前2年（2018–2019年）平均水平减少76%，NO_2浓度在2月15日（DOY=46）之后开始增加，到2020年3月底几乎恢复到正常水平，表明极端人为源管控对NO_2排放的影响持续了近2个月，其他城市NO_2浓度变化也有类似趋势。

$PM_{2.5}$浓度变化趋势表明各城市$PM_{2.5}$浓度在春节前后略有增加。2020年在除春节当天其余的时间里，$PM_{2.5}$浓度较过去2年水平有小幅度下降（下降10%~20%）。同比发现武汉市2020年极端人为源管控对SO_2浓度没有显著影响，表明极端人为源管控措施对某些行业，如热电厂等影响相对较小，各城市2020年SO_2浓度水平略低于前2年（2018–2019年）平均水平[18]。与2018–2019年相比，2020年管控期间所有城市O_3日平均浓度均明显升高。

2.2　污染参数月均浓度变化

分析了2020年1–5月不同城市6参数的月均浓度数据，并与2018年和2019年同期月均浓度进行比较（图3）。结果表明，各城市2020年$PM_{2.5}$浓度在1–3月都比之前2年有所下降，这与极端人为源管控措施有关。2020年2月，武汉和西安的$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、CO和NO_2浓度下降较多，与前2年同期相比也下降明显。北京、上海、广州、成都和拉萨也出现了类似的下降趋势。

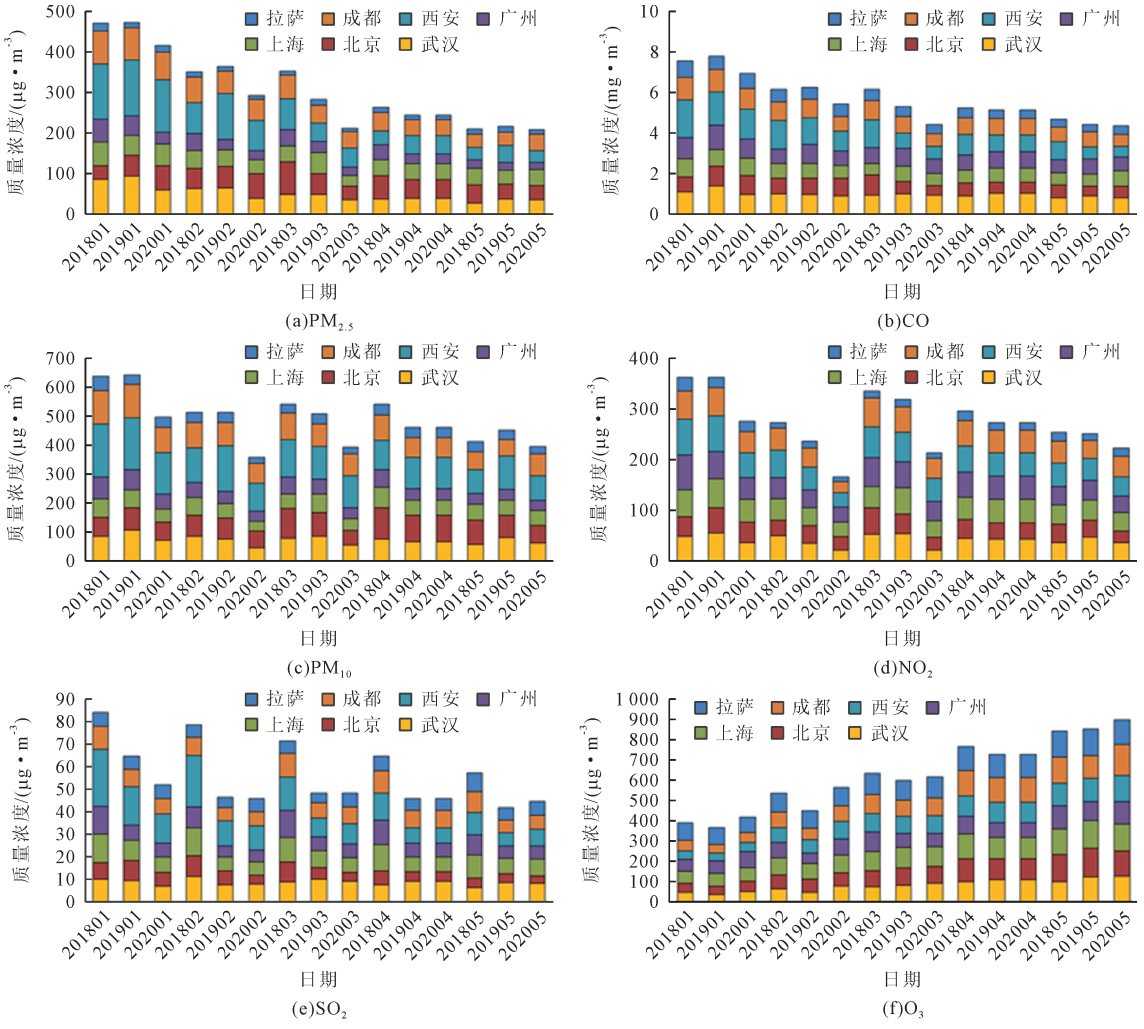


图3 2018-2020年武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨6参数月均浓度

武汉市2020年1–5月$PM_{2.5}$的平均浓度约为40.4 μg/m³，其中3月$PM_{2.5}$浓度与2月相比显著下降（36%），说明管控措施对空气质量影响显著；与前2年相比，1月、2月下降率在40%左右，3月浓度略有回升，2020年4–5月平均浓度和2019年月均浓度基本持平。西安市1–5月$PM_{2.5}$平均值为63.9 μg/m³，2020年1月、3月和4月的$PM_{2.5}$浓度与2019年浓度差异不大，但2月同比下降了35%，说明2月极端人为源管控对$PM_{2.5}$浓度影响较大。2020年1–3月，上海、广州、成都和拉萨$PM_{2.5}$呈下降趋势，4月浓度回升。北京市2020年1–5月$PM_{2.5}$平均浓度为47.9 μg/m³，2020年3月与2019年3月$PM_{2.5}$同比下降34%，与本年度2月环比下降45%，这主要受严格管控措施影响。上海$PM_{2.5}$浓度2020年3月比2019年3月降低了48%，比2020年2月降低了19%；这种变化与管控和降雨有关，空气质量显著改善。

2018–2020年武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨1–5月NO_2月均浓度变化见图3。与2019年2月相比，2020年2月各城市NO_2分别下降了39%、23%、20%、15%、36%、42%和34%，表明各城市管控期间人为活动以及机动车排放减少。3月开始部分城市开

始逐渐解控，2020年3月NO_2浓度环比2月回升了1%、−8%、13%、23%、38%、44%和13%，4月开始NO_2浓度回升至与2019年基本相同水平。

2.3 极端人为源管控不同时期空气质量变化特征

分别计算了管控期(CLD)、管控前(Pre-CLD)和城市解控后(Reopen)浓度变化，以及过去2年(2018-2019年)同期浓度变化特征(图4)。武汉、上海、广州、西安、成都、拉萨和北京的管控前$PM_{2.5}$浓度最高，对比管控期间各城市$PM_{2.5}$平均浓度分别减少19%、40%、30%、43%、36%和35%。武汉解控后$PM_{2.5}$比管控期间减少4.3 μg/m³(11%)，北京减少15.7 μg/m³(31%)，上海减少0.3 μg/m³(1%)，广州减少0.7 μg/m³(3%)，西安减少40.1 μg/m³(51%)，成都减少8.5 μg/m³(17%)和拉萨减少0.9 μg/m³(9%)。

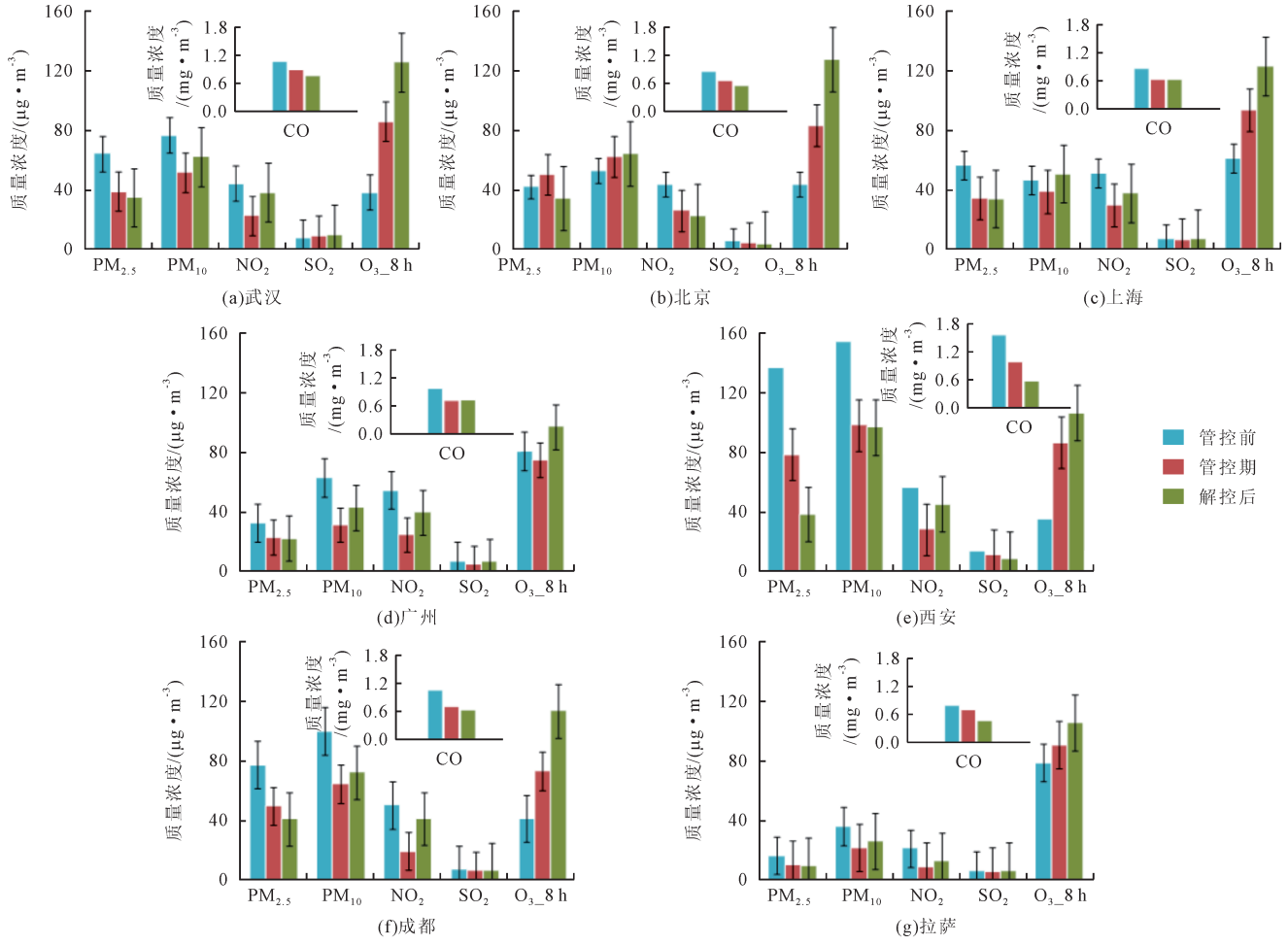


图4 2020年7个城市管控期间，城市管控前和城市解控后的$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、NO_2、CO和O_3平均值比较

武汉市管控期间$PM_{2.5}$、PM_{10}、NO_2和SO_2的平均浓度低于管控前的平均浓度。$PM_{2.5}$和PM_{10}平均浓度分别比管控前减少了25.5 μg/m³(40%)和24.8 μg/m³(33%)(表1)。与$PM_{2.5}$的变化不同，武汉市O_3浓度在管控期间比管控前增加了47.4 μg/m³(128%)。广州、上海、西安、成都和拉萨等主要城市在管控期间的气体和颗粒物水平变化与武汉类似。

与南方、西部和中部相比，华北地区在城市解控后$PM_{2.5}$显著增加，这是由于在2020年极端人为源管控期间(2020-CLD)，北京发生了多起雾霾事件，$PM_{2.5}$日均最高浓度为207.0 μg/m³。与2019-CLD和2018-CLD相比，2020-CLD北京市$PM_{2.5}$分别增加了0.5 μg/m³(+1%)和−12.4 μg/m³(−25%)。尽管如此，PM_{10}、NO_2和SO_2的浓度仍然是近2年来最低的，其他城市与其情况类似[19,20]。北京市O_3浓度的变化与$PM_{2.5}$的浓度有不同的趋势，在城市重新开放期间达到峰值。

通过比较2020年与2018-2019年封城期间的O_3平均浓度，除广州外其余城市2020年管控期O_3浓度均为最高[21]。北京、上海、西安、成都、拉萨5个城市管控期间O_3平均浓度分别比管控前高90%、54%、146%、78%和15%(表1)，而在广州，管控期间O_3水平较之前下降了6%。城市解控后，武汉、北京、上海、广州、西安、成都和拉萨的O_3水平分别比管控期间高47%、53%、32%、28%、23%、56%和17%。

管控期间，除北京外所有城市的NO_2平均浓度均为最低(图4)。武汉、北京、上海、广州、西安、成都和

表1　2018-2020年7个城市6参数管控期间,城市管控前和城市解控后平均浓度同期对比　(μg/m³)

城市		$PM_{2.5}$			PM_{10}			SO_2		
		2020年	2019年	2018年	2020年	2019年	2018年	2020年	2019年	2018年
武汉	管控前	63.5	93.6	95.2	75.7	104.6	97.7	6.7	8.9	10.6
	管控期	38.0	58.5	55.8	50.9	83.8	78.2	8.1	8.9	9.2
	解控后	33.8	37.1	35.1	61.4	73.5	64.6	8.7	8.2	6.6
北京	管控前	42.0	55.2	38.1	52.7	83.3	69.1	5.7	9.4	7.9
	管控期	50.0	49.5	62.4	62.0	81.5	92.2	4.3	5.8	8.3
	解控后	34.3	42.0	52.1	64.0	77.0	87.4	3.6	3.8	4.5
上海	管控前	56.3	54.0	53.6	45.8	64.0	61.6	6.8	9.2	12.2
	管控期	34.0	44.4	44.5	38.5	56.9	55.6	6.1	6.9	11.7
	解控后	33.7	37.2	40.3	50.3	53.3	61.7	7.3	6.8	11.2
广州	管控前	32.7	44.8	65.8	63.0	65.1	85.2	6.8	6.5	13.9
	管控期	23.0	32.9	43.4	31.4	49.3	56.5	5.1	5.4	9.5
	解控后	22.3	24.9	32.6	43.1	44.8	52.3	6.7	6.1	10.6
西安	管控前	136.3	150.3	149.4	153.6	193.9	206.3	13.9	17.0	27.8
	管控期	78.2	105.7	86.2	97.5	147.8	120.4	10.7	12.0	21.7
	解控后	38.0	43.7	51.3	96.3	113.5	102.1	8.3	7.0	12.0
成都	管控前	77.0	75.9	86.7	99.5	113.3	130.5	7.0	8.0	11.1
	管控期	49.2	63.4	71.0	64.2	90.3	86.1	6.1	6.1	7.6
	解控后	40.7	39.3	47.2	71.8	68.5	81.5	6.6	6.6	9.8
拉萨	管控前	16.4	14.7	20.5	36.2	35.0	50.2	6.3	6.0	6.1
	管控期	10.6	12.0	13.5	21.9	32.1	38.6	5.8	4.9	5.4
	解控后	9.6	12.3	11.8	26.2	34.6	34.7	6.2	5.0	6.8

城市		CO			NO_2			O_3		
		2020年	2019年	2018年	2020年	2019年	2018年	2020年	2019年	2018年
武汉	管控前	1.1	1.5	1.2	43.1	56.0	53.3	37.3	30.9	38.2
	管控期	0.9	1.0	0.9	21.6	46.9	48.7	85.0	68.0	69.8
	解控后	0.8	1.0	0.9	37.4	43.6	39.9	125.1	115.3	100.0
北京	管控前	0.9	1.1	0.8	43.6	53.5	41.5	43.7	41.4	44.7
	管控期	0.7	0.7	0.8	26.1	36.9	40.7	83.0	80.3	80.4
	解控后	0.5	0.5	0.7	22.2	33.0	36.5	127.0	131.8	131.6
上海	管控前	0.9	0.9	0.9	50.8	59.2	54.7	60.4	57.1	55.0
	管控期	0.6	0.7	0.7	29.6	43.6	42.6	93.1	84.6	82.2
	解控后	0.6	0.7	0.6	37.4	43.4	41.0	122.4	117.7	121.4
广州	管控前	1.0	1.3	1.1	54.9	48.5	77.7	81.3	40.3	70.8
	管控期	0.7	0.9	0.8	24.8	42.1	41.5	76.3	75.3	67.7
	解控后	0.7	0.8	0.7	39.7	46.0	47.4	97.4	75.4	97.6
西安	管控前	1.6	1.8	2.1	55.8	73.5	76.4	35.0	34.1	37.5
	管控期	1.0	1.3	1.4	27.9	47.1	54.1	86.1	62.8	73.3
	解控后	0.6	0.7	1.1	44.9	49.1	52.9	106.1	101.4	100.1
成都	管控前	1.1	1.1	1.1	49.9	56.4	61.1	40.8	42.9	53.3
	管控期	0.7	1.0	0.9	19.2	40.5	41.8	72.5	54.3	65.8
	解控后	0.6	0.8	0.8	40.9	43.7	50.3	112.9	101.1	116.1
拉萨	管控前	0.8	0.7	0.8	21.4	21.8	26.4	78.8	84.0	87.7
	管控期	0.7	0.6	0.7	9.1	15.0	17.0	90.6	86.3	93.0
	解控后	0.5	0.4	0.5	12.8	14.3	15.3	105.9	110.0	112.4

注:CO质量浓度单位为mg/m³。

拉萨等7个城市的NO_2水平分别比管控之前降低50%、40%、42%、55%、50%、61%和58%。城市解控后,武汉、上海、广州、西安、成都和拉萨NO_2浓度分别比管控期间高73%、26%、60%、61%、113%和41%。而北京解控后的NO_2水平比管控前降低15%,浓度降低幅度较小,这可能是因为北京的管控期最长导致的。所有的城市管控期间SO_2水平均略低于管控前水平(7%~25%);PM_{10}也发现了类似的情况[22]。

2.4　极端人为源管控对经济产业的影响

疫情发生以来,按照极端人为源管控需要,居民主动减少外出购物,纷纷取消聚餐聚会,非生活必需类商品销售和餐饮业受到明显冲击[23]。同时,文化和旅游部发布有关暂停旅游企业经营活动的紧急通知,景区订票大幅取消,旅游企业暂停经营,旅游住宿等相关行业也受到严重影响。居民消费受到抑制,春节假期消费市场受冲击明显[24]。

本研究对比了2020年7个城市主要经济指标发现(图5),第一季度各地区生产总值(GDP)前3位的城市均为一线城市,其中上海最高,其次是北京和广州,北京市第三产业生产值最高,上海市第二产业生产值最高,而第一产业成都市最高;与第一季度规律相同,1-6月各地区生产总值依旧上海最高,3类产业最高城市并无变化。由于第二季度开始部分城市已经开始逐渐解除Ⅰ级响应,随着复工复产步伐的加快,产业经济开始恢复,大部分地区第二季度生产总值较第一季度总值均略有增加,其中上海增长最快,相比较第一季度增长了21%,广州市增长最慢也增长了10%。3类产业中,上海市第二产业恢复速度较快,相比较第一季度增长了44%;北京、广州、西安和成都均为第一产业恢复速度较快,其中北京和西安相较第一季度增长在2倍以上;各城市第三产业虽为3类产业中增速最慢,但增长均在10%左右。对比5个城市,3类产业增长最快的城市分别为,第一产业:西安、第二产业:北京和第三产业:上海,可以说明不同区域城市产业结构的差异和在经济上受管控影响也是存在不同。

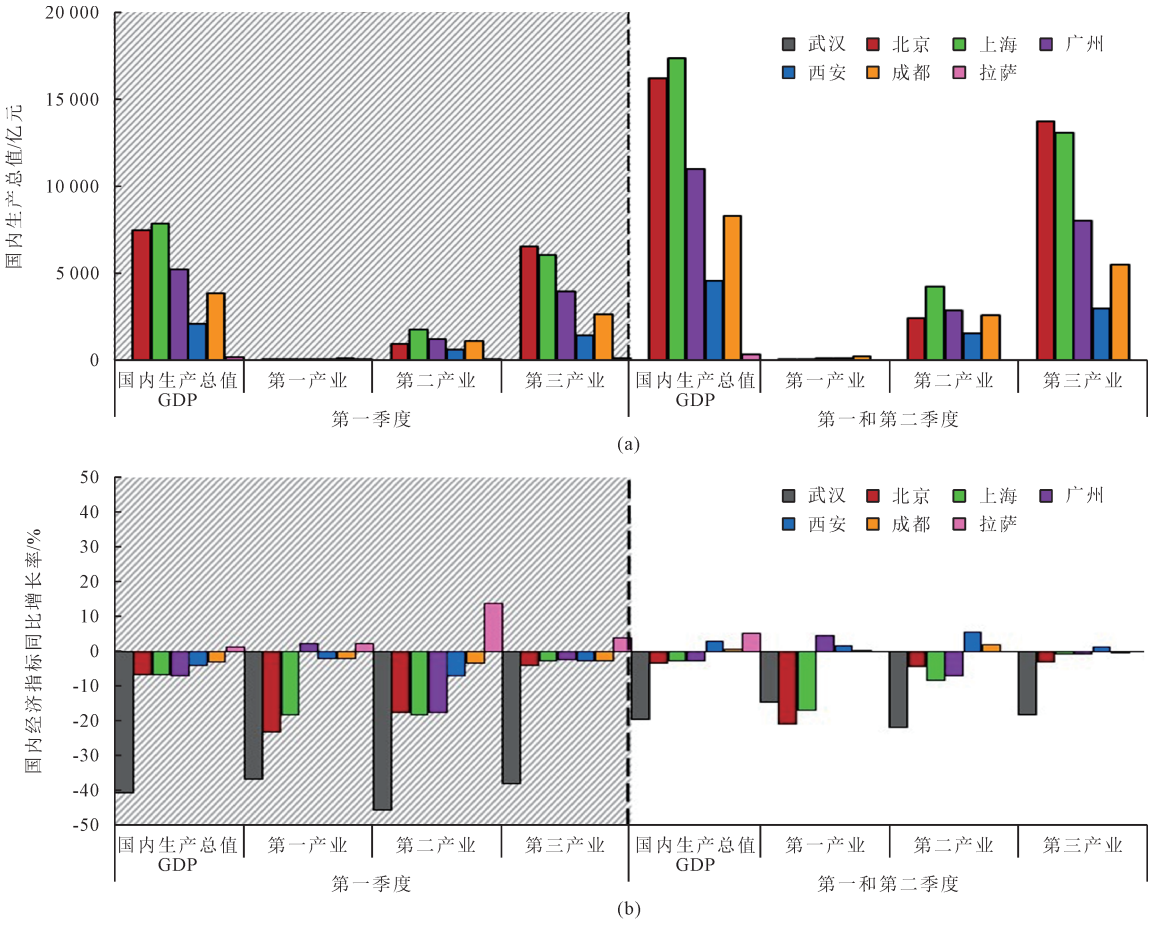


图5 2020年1-6月7城市主要经济指标同比增长率

对比各地区同比增长率发现,武汉市第一季度生产总值较去年下降41%,为7个城市中下降幅度最高,其余城市下降幅度均在7%以下,拉萨同比去年生产总值还略有增长,这说明不同地区受疫情程度的差异所采取的管控响应措施也不同,由于武汉市为疫情第一发现地区,管控相对严格。其中武汉市3类产业下降率也都在40%左右,除拉萨外,所有城市3类产业的同比增长率均为第二类产业下降率最高,这说明由于疫情期间管控需要,各个城市工业生产全面停工,因此对工业影响最大。而根据1-6月主要经济指标增长率发现,随着统筹极端人为源管控和经济社会发展工作稳步推进,各市工业生产保持恢复态势,各地区逐渐解控后生产总值同比下降的幅度开始减少,其中西安、成都和拉萨为正增长,说明各个城市经济生产已经逐渐开始恢复,其中广州和西安第一产业已恢复正增长,但北京和上海市第一产业同比下降率依旧较高,这可能由于北京市持续推进农业结构调整,同时受极端人为源管控影响,农林牧渔业总产值继续呈下降态势。

极端人为源管控条件下给经济运行带来较大冲击,虽然一季度负增长,绝大多数企业处于停工停产的状态,但大企业支撑依然强劲,复工复产快于预计、

好于预期。面对疫情管控严峻考验,“封城”期间各个城市关系国计民生的重要行业生产稳定,防疫物资保障有力,生活必需品供应充裕,基本民生得到较好保障。总的来看,第一和第二季度各地区上下齐心协力克服管控带来的不利影响,一系列政策措施效应持续显现,全市经济延续回升态势。

3　结论

(1)通过2018-2020年1月1日至5月30日各城市6参数(包括$PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、CO、NO_2和O_3)日均浓度表明,随着大气防治工作的持续推进,近年来我国不同地区的主要大气污染物($PM_{2.5}$、PM_{10}、SO_2、CO、NO_2)浓度均存在不同程度的下降,尤其是颗粒物浓度降低更显著,其中北方城市(西安和北京)的总体下降幅度更高;但是O_3污染近年来却呈现上升趋势,例如西安、武汉这些城市均有显著体现。

(2)受极端人为源管控影响,人为活动水平显著降低,人为源污染物排放也大幅度减少,使得在极端人为源管控期期间各污染物浓度同比、环比均出现显著降低,其中NO_2浓度环比下降幅度最大,不同城市的下降幅度均在50%左右,其次是$PM_{2.5}$和PM_{10},环比下降幅度在30%~40%之间,O_3浓度呈现上升的趋势。对比不同城市在极端人为源管控期间的污染物浓度降低水平可以发现不同城市下降程度存在差异。对人为源进行管控,空气质量能得到明显改善,表明我国大气污染根本原因是污染物排放量较大,超过环境容量所致,大气污染防治需持续优化产业结构、能源结构和交通运输结构。

(3)通过对比2020年7个城市主要经济指标发现,对比2020年第一和第二季度,北京、广州、西安和成都均为第一产业恢复速度较快,其中北京和西安相较第一季度增长在2倍以上;各城市第三产业增长均在10%左右。对比7个城市,3类产业增长最快的城市均有所不同,第一产业为西安、第二产业为北京和第三产业为上海解控后恢复速度最快,可以说明不同区域城市产业结构的差异和在经济上受管控影响也是存在不同。同比所有城市3类产业的同比增长率均为第二类产业下降率最高,这说明由于疫情期间管控需要,各个城市工业生产全面停工,因此对工业影响最大。

[参考文献]

[1] 范俊强,于静静. 新冠肺炎疫情期间某高校大学生睡眠质量与压力负荷现状[J]. 环境与职业医学, 2020,37(9):862-866.
Fan Junqiang, Yu Jingjing. Status quo of sleep quality and stress load of students from a college during the coronavirus disease 2019 pandemic[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020,37(9):862-866.

[2] Pan A, Liu L, Wang C L, et al. Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China[J]. JAMA, 2020,323(19):1915-1923.

[3] 湖北省新型冠状病毒感染肺炎疫情防控指挥部. 湖北省新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指挥部通告[EB/OL]. [2020-01-31].
Hubei provincial headquarters for the Prevention and control of pneumonia caused by novel coronavirus. Notice of the headquarters for the prevention and control of pneumonia caused by novel coronavirus in Hubei Province[EB / OL]. [2020-01-31]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/01/content_5473551.htm

[4] Kraemer M U G, Yang C H, Gutierrez B, et al. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China[J]. Science, 2020,368(6490):493-497.

[5] Chen S M, Yang J T, Yang W Z, et al. COVID-19 control in China during mass population movements at New Year [J]. Lancet, 2020,395(10226):764-766.

[6] Tian H Y, Liu Y H, Li Y D, et al. An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China[J]. Science, 2020, 368(6491): 638-642.

[7] Abdullah S, Abu Mansor A, Napi N N L M, et al. Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic[J]. Science of the Total Environment, 2020, 729: 139022.

[8] Berman J D, Ebisu K. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic[J]. Science of the Total Environment, 2020,739:139864.

[9] Li L, Li Q, Huang L, et al. Air quality changes during the COVID-19 lockdown over the Yangtze River Delta Region: an insight into the impact of human activity pattern changes on air pollution variation[J]. Science of the Total Environment, 2020,732:139282.

[10] Wang Y C, Yuan Y, Wang Q Y, et al. Changes in air quality related to the control of coronavirus in China: implications for traffic and industrial emissions[J]. Science of the Total Environment, 2020,731:139133.

[11] Zhao Y B, Zhang K, Xu X T, et al. Substantial changes in nitrogen dioxide and ozone after excluding meteorological impacts during the COVID-19 outbreak in mainland China[J]. Environmental Science & Technology Letters, 2020, 7(6): 402-408.

[12] Kim H C. Interactive comment on "Quantitative assessment of changes in surface particulate matter concentrations over China during the COVID-19 pandemic and their implications for Chinese economic activity[J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2020,2020:1-21.

[13] Zhang Q, Tong Q. The economic impacts of traffic consumption during the COVID-19 pandemic in China: a CGE analysis[J]. Transport Policy, 2021,114:330-337.

[14] Han Y, Zhao W W, Pereira P. Global COVID-19 pandemic trends and their relationship with meteorological variables, air pollutants and socioeconomic aspects[J]. Environmental Research, 2022,204:112249.

[15] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
GB 3095-2012, Ambient Air Quality Standard[S].

[16] Tian J, Wang Q Y, Zhang Y, et al. Impacts of primary emissions and secondary aerosol formation on air pollution in an urban area of China during the COVID-19 lockdown[J]. Environment International, 2021,150:106426.

[17] Shakoor A, Chen X Y, Farooq T H, et al. Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China: two sides of COVID-19 pandemic [J]. Air Quality Atmosphere & Health, 2020, 13(11): 1335-1342.

[18] Wang L Q, Li M Y, Yu S C, et al. Unexpected rise of ozone in urban and rural areas, and sulfur dioxide in rural areas during the coronavirus city lockdown in Hangzhou, China: implications for air quality[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020,18(5):1713-1723.

[19] Martorell-Marugán J, Villatoro-García J A, García-Moreno A, et al. DatAC: a visual analytics platform to explore climate and air quality indicators associated with the COVID-19 pandemic in Spain[J]. Science of the Total Environment, 2021,750:141424.

[20] Nakada L Y K, Urban R C. COVID-19 pandemic: impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil[J]. Science of the Total Environment, 2020,730: 139087.

[21] Sicard P, De Marco A, Agathokleous E, et al. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown [J]. Science of the Total Environment, 2020,735:139542.

[22] Chauhan A, Singh R P. Decline in $PM_{2.5}$ concentrations over major cities around the world associated with COVID-19 [J]. Environmental Research, 2020,187:109634.

[23] Chen Y, Zhang S M, Peng C, et al. Impact of the COVID-19 pandemic and control measures on air quality and aerosol light absorption in Southwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2020,749:141419.

[24] Le T H, Wang Y, Liu L, et al. Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China[J]. Science, 2020,369(6504):702-706.