

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.09.011

中国“十三五”期间空气质量时空演变特征及社会经济驱动力

赵伟^{1,2}, 刘昊铮³, 蒲海霞^{1,2}

1. 重庆工商大学 公共管理学院, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 长江上游经济研究中心, 重庆 400067;
3. 重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067

摘要: 空气是人类赖以生存的自然条件, 开展空气质量时空演变特征及社会经济驱动力研究对生态文明建设和人类可持续发展具有理论价值和现实意义. 本文基于 2016—2020 年空气质量指数(AQI)数据, 刻画“十三五”期间我国空气质量时空演化特征, 运用空间效应模型, 从空间分异视角揭示空气质量的社会经济驱动力. 结果表明: (1) “十三五”期间, 我国空气质量整体较好, 空气质量类别大多为良, 优较少, 且空间差异显著; (2) 我国空气质量好转趋势明显, 仅 2017 年有较小程度的下滑, 但优占比提升不明显; (3) 我国 AQI 集聚程度呈减小趋势, 河南、河北、天津等北方地区空气质量较差, 云南、海南等南方地区空气质量较好, 且春、夏分别是 AQI 低值和高值集聚程度最高的季节; (4) 在全国层面及东部经济带, 人口聚集、能源消耗、社会发展是空气质量下降的主要原因, 技术进步对空气质量改善有明显的促进作用, 在中部及西部经济带, 能源消耗与人口集聚分别是 AQI 下降的主导因素.

关键词: 十三五; 空气质量; 时空演变; 社会经济驱动力

中图分类号: F124 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2022)09-0099-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Spatiotemporal Evolution and Socio-economic Driving Forces of Air Quality in China during the 13th Five-Year Plan Period

ZHAO Wei^{1,2}, LIU Haozheng³, PU Haixia^{1,2}

1. School of Public Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;
2. Economic Research Center of Upper Yangtze River, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;
3. School of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China

Abstract: Air is a natural condition that human beings depend on for survival. The research on spatiotem-

收稿日期: 2021-07-01

基金项目: 教育部人文社科重点研究基地重大项目(16JJD790064); 重庆市社会科学规划项目(2020QNGL39); 重庆市教委人文社科项目(20SKGH115, 20SKGH099); 重庆市教委哲学社会科学重大理论研究课题(19SKZDZX10); 重庆市教育科学规划项目(2020-DP-02).

作者简介: 赵伟, 博士, 副教授, 主要从事生态环境与可持续发展研究.

poral evolution characteristics of air quality and social and economic driving forces has theoretical value and practical significance for ecological civilization construction and sustainable development of human beings. Based on *AQI* data from 2016 to 2020, this paper describes the spatiotemporal evolution characteristics of air quality in China during the 13th Five-Year Plan period, and uses the spatial effect model to reveal the socio-economic driving forces of air quality from the perspective of spatial differentiation. The results showed that: (1) During the 13th Five-Year Plan period, the air quality in China was generally good, but the most of air quality were in the category of good, with a small number of excellent. The spatial distribution difference was significant. (2) China's air quality has an obvious trend of improvement. There was only a small degree of descent in 2017. However, the improvement on the proportion of excellent was not obvious. (3) The aggregation degree of *AQI* in China showed a decreasing trend. The air quality in northern regions such as Henan, Hebei and Tianjin was poor, while the air quality in southern regions such as Yunnan and Hainan was good. Spring and summer were the seasons with the highest aggregation degree of low and high *AQI*, respectively. (4) Population agglomeration, energy consumption and social development were the main reasons for the falling of air quality. Technological progress had a significant promoting effect on the improvement of air quality. In the central and western economic belts, energy consumption and population agglomeration were the main reasons for the declining of *AQI* respectively.

Key words: the 13th Five-Year Plan period; air quality; spatiotemporal evolution; socio-economic driving force

“十三五”期间,我国社会经济领域取得突破性进展,工业化、城市化快速推进,物质财富快速增长^[1].与此同时,生态环境问题大范围、高频率发生^[2],雾霾加剧^[3]、酸雨频发^[4]等现象对生态系统^[5]及人体健康^[6]造成了一定威胁,空气污染已经成为限制我国社会经济可持续发展的重要因素.刻画“十三五”期间我国空气质量时空演变特征,揭示其内在驱动机制,破解空气质量与社会经济发展不协调的现实困境,是“十四五”时期我国强化空气污染防治、提升大气治理能力、推进高质量发展的关键所在.

目前,相关学者从不同角度分析了空气质量的时空演变特征及驱动机制.纵观相关研究成果,在研究时空视角上,大多基于长时间序列^[7]、短时间序列^[8]及单一年份^[9]等数据,从全国尺度^[10-11]、典型区域尺度^[12-13]、重点城市尺度^[14-15]分析单一空气污染物^[16-17]、多种空气污染^[18-19]及空气质量综合指数^[20-21]等层面的时空分布及演变特征;在驱动因素及研究方法上,大多基于社会经济^[22]、气象条件^[23-24]和综合条件^[25-26]等因素,运用逐步回归模型^[27]、地理探测器^[28]、面板回归模型^[29]等方法分析全域空气质量的驱动机制.并且,对空气质量时空分布及演变特征的研究,大多侧重以长时间序列或空气污染严重年份为研究对象,尚缺乏以国民经济和社会发展为基础对空气质量时空演变进行定量分析;在空气质量驱动机制方面,从空间视角出发,分区探索其空间异质性的研究较少.因此,本文基于 2016—2020 年 *AQI* 数据,利用全局自相关、热点分析等方法,探索“十三五”期间我国空气质量时空演化特征,运用空间效应模型等方法揭示空气质量社会经济驱动机制,并在我国行政区划的基础上,探索其区域差异性,为“十四五”我国空气质量差异化治理提供现实依据.

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

AQI 数据(2016—2020 年)来源于空气质量在线监测分析平台(www.aqistudy.cn),港澳台及南海诸岛地区的 *AQI* 数据因缺失严重未列入统计分析,故本文统计 31 个省级行政区 *AQI* 数据. *AQI* 值越大表明空气质量越差,反之表明空气质量越好.分级标准来自《环境空气质量指数(*AQI*)技术规范(试行)》

(HJ633-2012)(表 1). 社会经济数据主要来源于《中国能源统计年鉴 2018》《中国城市统计年鉴 2018》及中国国家统计局网站(<http://www.stats.gov.cn>)等.

表 1 空气质量指数分级标准

空气质量指数范围	空气质量指数级别	空气质量类别	空气质量指数范围	空气质量指数级别	空气质量类别
0~50	一级	优	151~200	四级	中度污染
51~100	二级	良	201~300	五级	重度污染
101~150	三级	轻度污染	>300	六级	严重污染

1.2 研究方法

1.2.1 全局自相关模型

空气污染具有典型的区域传输性,其空间分布相关性显著,本文采用全局自相关模型分析中国 AQI 空间相关性,莫兰指数(Moran’s I)是全局自相关中使用最广泛的方法,其公式如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

(1)

式中: X_i, X_j 分别为城市单元 i 和 j 的 AQI, n 为城市总数, W_{ij} 为空间权重, $\bar{X}$ 为 AQI 平均值. Moran’s I 的取值范围在 $[-1, 1]$ 之间, $I < 0$, 表明 AQI 呈扩散或均匀分布, 当 $I = 0$, 表明 AQI 呈无规律分布, 当 $I > 0$, 表明 AQI 呈聚集分布. I 绝对值越大表明空间自相关性越强.

Moran’s I 的显著性通常采用 Z 统计量进行检测,其公式如下:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}}$$

(2)

式中: $E(I)$ 、 $\text{VAR}(I)$ 分别表示 Moran’s I 的数学期望和变异系数.

1.2.2 热点分析

热点分析(Getis-Ord G_i^*)可以度量局部空间单元聚集方式及程度,以探索中国 AQI 高值和低值集聚的具体区域. 其公式如下:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_j}{\sum_{j=1}^n X_j}$$

(3)

式中: X_j 为城市 j 的 AQI, n 为城市数量, W_{ij} 为空间权重矩阵, d 为距离尺度.

对 $G_i^*(d)$ 检验的标准化统计量为:

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{VAR}(G_i^*)}}$$

(4)

式中: $E(G_i^*)$ 、 $\text{VAR}(G_i^*)$ 分别为 G_i^* 的数学期望和变异系数.

1.2.3 AQI 驱动力基本模型设定及空间效应模型

1) AQI 驱动力基本模型设定

AQI 变化受到地形地貌、气候条件等自然因素及人类社会经济活动的双重影响,尤其是区域覆盖面积较大时,人类活动的影响更为显著. 结合已有研究成果^[30],选取第二产业比重(X_1)、人口密度(X_2)、人均 GDP(X_3)、能源消耗总量(X_4)、居民平均每百户家用汽车拥有量(X_5)、R&D 经费(X_6)、城镇人口占比(X_7)、建成区绿化覆盖率(X_8)分别表示工业化、人口聚集、经济发展、能源消耗、社会发展、技术进步、城市化、环境保护. 基本假设上述解释变量与空气质量存在线性关系,并设定模型如下:

$$Y=\alpha_0+\alpha_1X_1+\alpha_2X_2+\alpha_3X_3+\alpha_4X_4+\alpha_5X_5+\alpha_6X_6+\alpha_7X_7+\alpha_8X_8+\epsilon$$

(5)

式中： Y 为 AQI ； $X_1, \dots, X_8$ 分别为 8 个自变量； $\alpha_0, \dots, \alpha_8$ 为待估计的模型参数； ϵ 为误差随机项。西藏因能源数据缺失严重未列入此统计分析，以减小异常值对模型精度的影响。

2) 空间效应模型

AQI 区域性特征明显，空间效应对其影响显著。使用空间效应模型探索 AQI 的社会经济驱动机制。空间效应模型主要有空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)，在进行选择时，需要采用最小二乘法(OLS)确定空间相关性的约束模型，若拉格朗日乘数 $LM(lag)$ 比 $LM(error)$ 在统计上显著，且 $R-LM(lag)$ 比 $R-LM(error)$ 显著，则选择空间滞后模型，其表达式为：

$$Y=\rho WY+\alpha_0+\alpha_1X_1+\alpha_2X_2+\alpha_3X_3+\alpha_4X_4+\alpha_5X_5+\alpha_6X_6+\alpha_7X_7+\alpha_8X_8+\epsilon$$

(6)

式中： Y 为 AQI ； ρ 为空间回归系数； W 为空间权值矩阵； $X_1, \dots, X_8$ 分别为 8 个自变量； $\alpha_0, \dots, \alpha_8$ 为待估计的模型参数； ϵ 为误差随机项。

反之，则选择空间误差模型，其表达式为：

$$\ln Y=\alpha_0+\alpha_1X_1+\alpha_2X_2+\alpha_3X_3+\alpha_4X_4+\alpha_5X_5+\alpha_6X_6+\alpha_7X_7+\alpha_8X_8+\epsilon$$

(7)

$$\epsilon=\lambda W\epsilon+\mu$$

(8)

式中： Y 为 AQI ； λ 为空间误差系数； W 为 $n\times 1$ 阶的空间权值矩阵； $X_1, \dots, X_8$ 分别为 8 个自变量； $\alpha_0, \dots, \alpha_8$ 为待估计的模型参数； ϵ 为误差随机项； μ 为正态分布的随机误差向量。

2 结果分析

2.1 空气质量总体状况

“十三五”期间我国 AQI 均值处于轻度污染及以下。仅海南、云南的 AQI 为优，占比为 6.45%；有 25 个省份的 AQI 为良好，占比达到 80.65%；天津、河北、新疆、河南的 AQI 为轻度污染，占比为 12.90%（图 1）。结果表明，“十三五”期间我国空气质量整体较好，且呈现出两头少中间多的“枣核”型特征，空间上南方（海南、云南等）地区显著优于北方（河南、新疆等）地区，空间差异性显著。

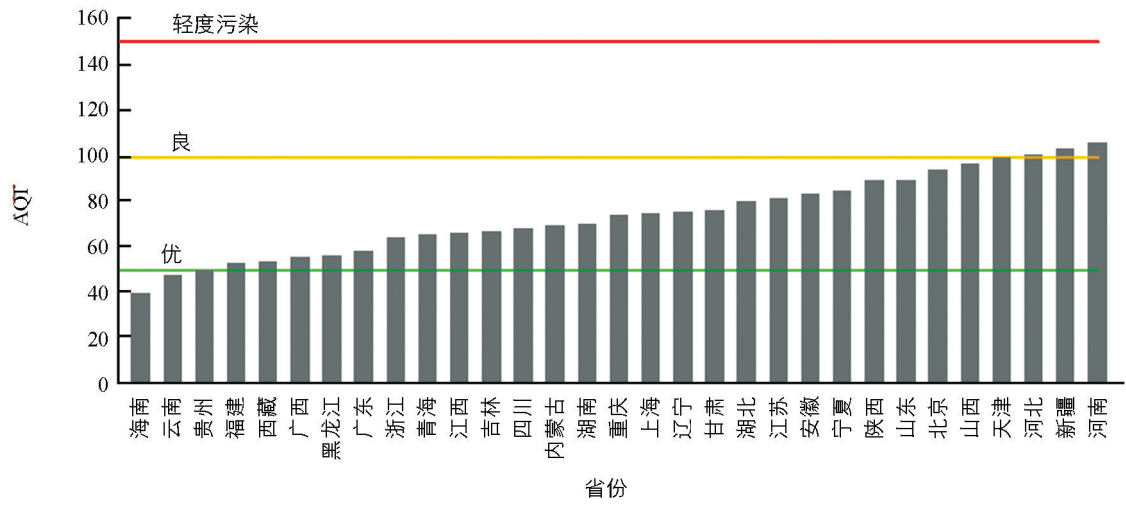


图 1 “十三五”期间中国 AQI 五年均值

2.2 时间变化特征

“十三五”期间我国海南、云南的 $AQI-Y$ (年均值)均保持为优，而河南、河北、新疆等地的 $AQI-Y$ 长期处于轻度污染（表 2）。2016—2020 年， $AQI-Y$ 为优的占比分别为：6.45%、6.45%、6.45%、12.90%、12.90%，2019 年有较小程度上升；轻度污染占比分别为：16.13%、19.35%、12.90%、3.23%、0，表现为先上升后下降，且到 2020 年 $AQI-Y$ 轻度污染已全部消除，进一步证实了我国 AQI 的“枣核”型特征。2016—2020 年，我国 $AQI-Y$ 分别为：78.80、79.55、75.70、72.38、67.29，下降趋势明显。结果表

明,“十三五”期间我国空气质量改善趋势明显,仅 2017 年有较小程度的下滑,AQI-Y 轻度污染已完全消除,但仍然以良为主,优占比较少且提升不明显.

表 2 2016—2020 年 AQI-Y

地域	年份									
	2016		2017		2018		2019		2020	
	AQI	空气质量类别	AQI	空气质量类别	AQI	空气质量类别	AQI	空气质量类别	AQI	空气质量类别
海南	39.50	优	41.08	优	39.33	优	42.58	优	37.88	优
云南	48.08	优	49.50	优	49.00	优	49.00	优	44.02	优
福建	51.75	良	56.75	良	56.00	良	52.58	良	50.65	良
贵州	55.83	良	53.42	良	51.25	良	47.00	优	45.04	优
广东	57.42	良	62.42	良	61.50	良	60.42	良	53.52	良
黑龙江	58.00	良	62.83	良	55.92	良	53.42	良	54.06	良
广西	58.75	良	61.17	良	58.25	良	54.00	良	50.06	良
西藏	62.33	良	60.42	良	54.25	良	47.92	优	47.67	优
浙江	69.50	良	67.75	良	65.75	良	64.17	良	58.85	良
江西	69.92	良	73.67	良	66.00	良	65.50	良	59.56	良
青海	71.42	良	69.00	良	68.17	良	63.50	良	58.96	良
内蒙古	71.50	良	72.17	良	74.67	良	66.75	良	65.48	良
湖南	74.67	良	75.42	良	69.83	良	71.33	良	63.13	良
吉林	75.00	良	74.00	良	63.08	良	64.17	良	60.88	良
四川	76.58	良	75.08	良	69.50	良	63.00	良	61.75	良
甘肃	80.25	良	82.67	良	83.42	良	69.00	良	67.96	良
上海	80.42	良	83.00	良	74.00	良	72.67	良	68.06	良
重庆	81.00	良	80.75	良	73.25	良	71.75	良	68.40	良
辽宁	81.83	良	81.08	良	73.50	良	73.33	良	70.44	良
安徽	82.67	良	91.50	良	84.75	良	85.50	良	75.81	良
江苏	84.33	良	86.00	良	85.33	良	81.92	良	75.44	良
湖北	85.83	良	83.75	良	80.92	良	82.33	良	70.83	良
宁夏	89.33	良	89.92	良	90.83	良	77.42	良	79.58	良
山西	94.67	良	107.00	轻度	100.58	轻度	96.50	良	88.54	良
陕西	96.92	良	96.25	良	91.83	良	86.75	良	78.90	良
山东	97.00	良	94.17	良	88.25	良	88.92	良	83.48	良
天津	103.42	轻度	107.08	轻度	99.50	良	100.00	良	90.38	良
河北	109.33	轻度	111.00	轻度	102.33	轻度	97.75	良	88.48	良
新疆	109.75	轻度	104.75	轻度	112.08	轻度	99.58	良	96.81	良
北京	112.75	轻度	101.83	轻度	94.33	良	86.75	良	78.71	良
河南	113.08	轻度	110.75	轻度	109.17	轻度	108.33	轻度	92.56	良
全国	78.80	—	79.55	—	75.70	—	72.38	—	67.29	—

2.3 空间分布特征

2.3.1 全局自相关分析

对 $AQI-Y$ 进行全局自相关分析(表 3),其 Moran's I 指数均大于 0,且均通过了 1% 的显著性检验($p<0.000\ 1$),表明 $AQI-Y$ 空间相关性显著,空间集聚效应明显. 2016—2020 年, $AQI-Y$ 的 Moran's I 指数分别是 0.561、0.564、0.481、0.499、0.492,其变化呈现出“M”型特征,整体有下降趋势. 结果表明, $AQI-Y$ 的空间集聚程度呈减小趋势,在空间上表现为高值区或低值区更加分散.

表 3 2016—2020 年 $AQI-Y$ 全局自相关参数

年份	2016	2017	2018	2019	2020
Moran's I	0.561	0.564	0.481	0.499	0.492
Z-score	7.821	7.846	6.762	6.996	6.894
p	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:表中 p 值大于 0,无限接近于 0.

2020 年新冠疫情导致部分产业发展放缓, AQI 指数不具有显著代表性,故本文以 2019 年季节 AQI 均值($AQI-S$)为研究对象,对 $AQI-S$ 进行全局自相关分析(表 4). 其 Moran's I 指数均大于 0,且均通过了显著性检验($p<0.000\ 1$),表明 $AQI-S$ 空间相关性显著,空间集聚明显. 其中,夏季的 $AQI-S$ 的空间聚集程度最高,春秋次之,冬季最低.

表 4 2019 年 $AQI-S$ 全局自相关参数

季节	春	夏	秋	冬
Moran's I	0.498	0.649	0.373	0.285
Z-score	7.001	8.968	5.328	4.216
p	0.000	0.000	0.000	0.000

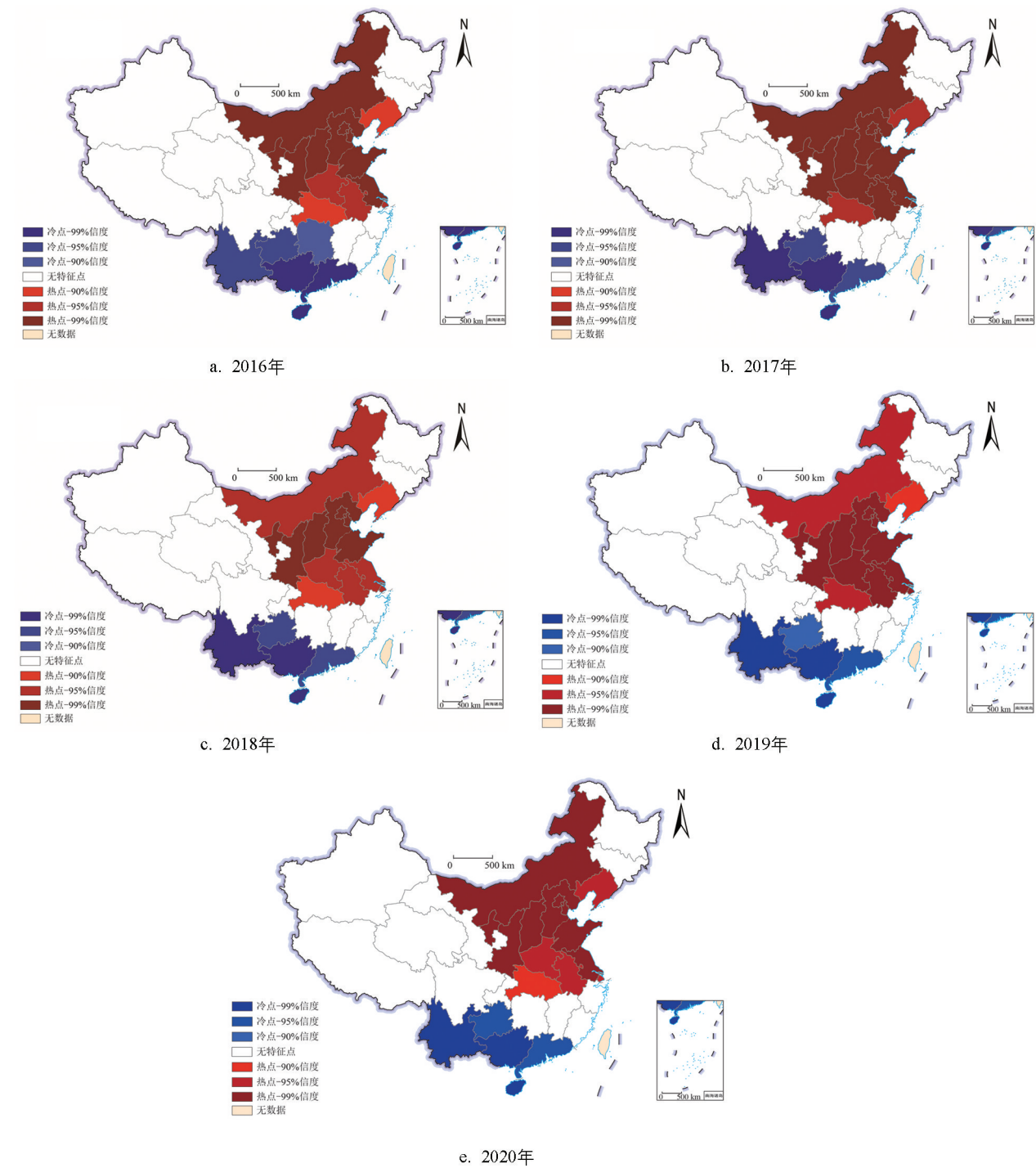
注:表中 p 值大于 0,无限接近于 0.

2.3.2 热点分析

“十三五”期间我国 $AQI-Y$ 的冷、热点分布特征基本一致,表现出北热、南冷的空间分异特征(图 2). 从热点区域来看,2016 年热点图显示(图 2a),高热点(99%信度)区域包括内蒙古、河北、北京等 9 个地区,中热点(95%信度)区域包括河南、安徽、上海,低热点(90%信度)区域包括湖北、辽宁;2017 年(图 2b)与 2018 年(图 2c)高热点区域先增加后减少;2019 年(图 2d)与 2020 年(图 2e)高热点区域呈增长趋势. 从 2020 年热点图来看,高热点区域与 2016 年一致,仅辽宁由 2016 年的低热点区域转变为中热点区域,说明 AQI 高值区域空间分布格局基本稳定,河北、北京等北部及中部地区 AQI 已长时间、大范围处于较高水平. 从冷点区域来看,2016 年高冷点(99%信度)区域为广东、广西、海南,中冷点(95%信度)区域为云南、贵州,低冷点(90%信度)区域为湖南,2017—2020 年,高冷点区域为云南、广东、海南,中冷点区域为贵州、广西,说明 AQI 低值区域空间分布格局稳定,海南、云南等南部地区是 AQI 水平较低的主要聚集区域.

以 2019 年为例,春、夏、冬季 $AQI-S$ 的冷、热点分布特征基本一致,均呈现出北热、南冷的空间分异特征,秋季则呈现热点集中、冷点零散分布的特征(图 3). 春季(图 3a)的热点图显示,高热点区域包括内蒙古、河北、北京等 7 个地区,低热点区域包括江苏、陕西、辽宁;夏季(图 3b)热点分布由北向南扩散;秋季(图 3c)热点分布逐渐向中部地区收缩,高热点区域减少至湖北、安徽等 6 个;冬季(图 3d)热点分布由中向北扩散. 说明我国春夏秋冬的 AQI 高值区域呈先扩散后收缩再扩散的特征,夏季 AQI 高值区域聚集最明显. 从冷点分布来看,春季的集中程度最高,其高冷点区域包括云南、广东、广西等 5 个地区,低冷点区域包括湖南、江西、福建,夏季冷点分布向南收缩趋势明显,秋季则表现为零散分布,冬季又呈现出南方集中且有进一步向南收缩的趋势,说明我国春夏秋冬的 AQI 低值区域呈现出向南收缩的趋势,春季 AQI 低值

区域聚集最明显. 进一步分析发现, 在 AQI 整体处于较高水平的春季 AQI 低值区域集聚趋势最明显, 在 AQI 整体处于较低水平的夏季 AQI 高值区域集聚趋势最显著, 表明 AQI 集聚程度与 AQI 值的相关性较低, 尽管 AQI 整体较低, 但仍会出现局部区域污染严重的情况.



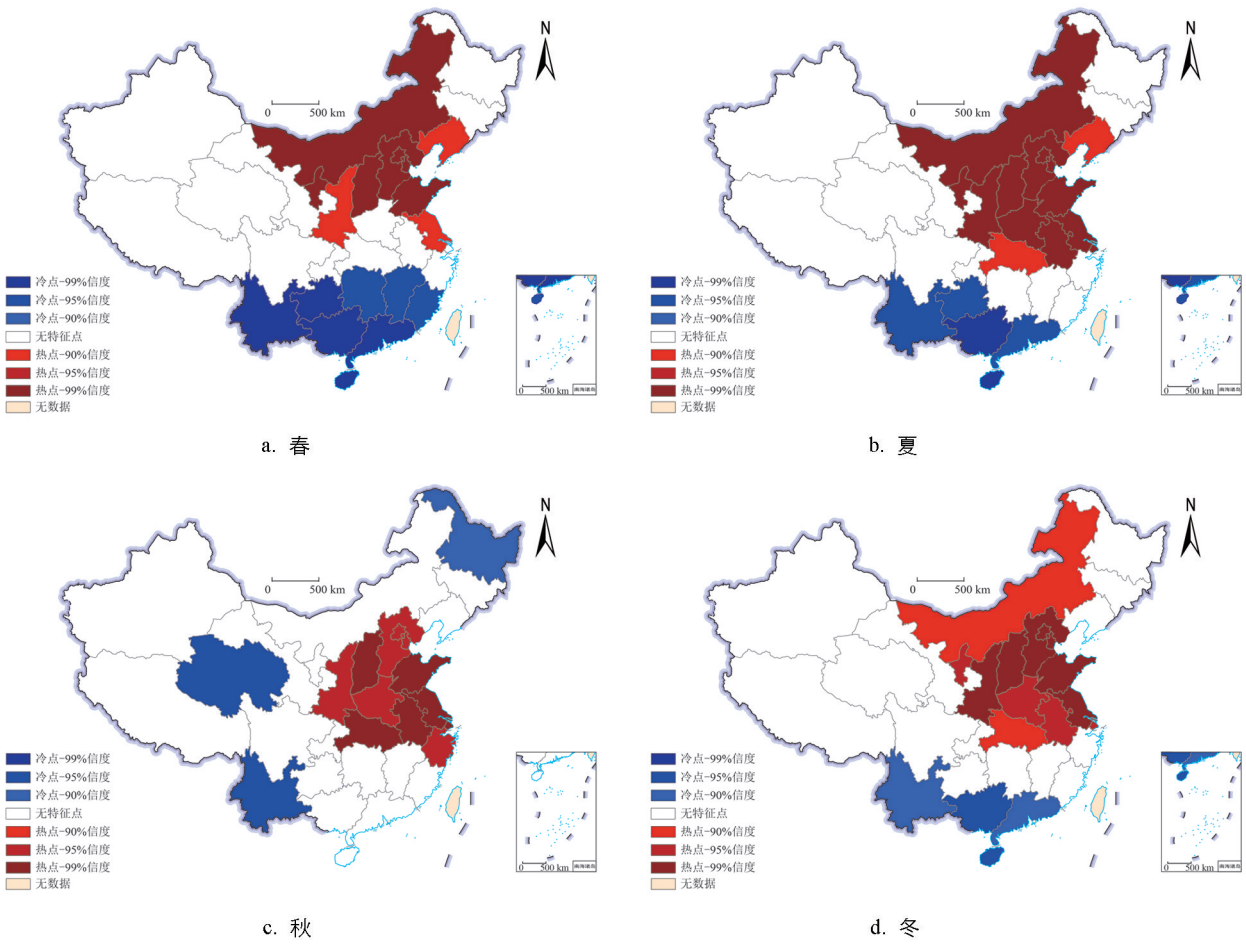
基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2019)1825 号标准地图制作, 底图边界无修改.

图 2 2016—2020 年中国 AQI 冷热点空间分布

2.4 空气质量社会经济驱动力

2.4.1 全国空气质量社会经济驱动力

社会经济发展对空气质量影响滞后效应显著, 参考已有研究成果^[31], 基于 2019 年 AQI 及 2018 年社会经济数据, 依据上述假设及公式, 分析空气质量变化的社会经济驱动机制.



基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2019)1825 号标准地图制作，底图边界无修改。

图 3 2019 年中国 AQI 季均值冷热点空间分布

采用 ArcGIS 检验 2019 年 AQI-Y 的空间相关性，其 Moran's I 指数为 0.499，空间相关性显著，使用 SPSS 进行社会经济自变量的多重共线性检验，方差膨胀因子(VIF)均远小于 10，表明模型不存在多重共线性，在 GeoDa 平台上，利用最小二乘法(OLS)选取空间回归模型，结果表明，LM(lag)较 LM(error)更为显著，且 R-LM(lag)较 R-LM(error)更为显著，故选择空间滞后模型(表 5)。

表 5 中国空气质量与社会经济回归结果参数

自变量	OLS 模型		空间滞后模型	
	系数	Z 值	系数	T 检验
X_1	0.592	1.325	0.217	0.500
X_2	0.598**	2.260	0.479**	2.503
X_3	0.049	0.255	0.016	0.117
X_4	0.927**	2.507	0.610**	2.216
X_5	0.513	0.183	0.275*	1.020
X_6	-0.449**	-2.749	-0.294**	-2.431
X_7	0.337	0.614	0.157	0.394
X_8	0.533	0.542	0.631	0.892
R^2	0.531	—	0.654	—
LOG likelihood	—	—	-112.490	—

OLS 模型回归结果与空间滞后模型基本一致, 但空间滞后模型精度($R^2=0.654$)显著优于 OLS 模型($R^2=0.531$). 模型回归结果显示: 工业化、经济发展、城市化、环境保护对 $AQI-Y$ 的变化影响不显著, 人口聚集、能源消耗、社会发展对 $AQI-Y$ 变化呈显著正相关. 其中, 人口密度每平方公里增加 100 人, 将引起 $AQI-Y$ 上升 0.479; 能源消耗每增加 1 亿吨标准煤, 将引起 $AQI-Y$ 上升 0.610; 居民平均每百户家用汽车拥有量增加 1 辆, 将引起 $AQI-Y$ 上升 0.275. 技术进步与 AQI 表现为显著负相关, $R\&D$ 经费每增加 1 亿元, 将引起 $AQI-Y$ 下降 0.294.

2.4.2 区域空气质量社会经济驱动力

基于地理分区的方式进一步探索空气质量变化机制的空间差异性. 采用分区较多的经济地理区划时存在样本数量不足、自变量多重共线性严重等问题, 故本文采用三大经济带(东部经济带包括: 辽宁、北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、海南, 中部经济带包括: 黑龙江、吉林、内蒙古、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南, 西部经济带包括: 新疆、西藏、青海、云南、贵州、四川、重庆、陕西、宁夏、甘肃)分区的方式, 选取人口聚集、能源消耗、社会发展、技术进步四个在上述模型中显著相关的自变量进行分析. OLS 模型表明, 三大经济带均适合空间滞后模型(表 6).

表 6 区域空气质量与社会经济回归结果参数

自变量	东部经济带		中部经济带		西部经济带	
	系数	Z 值	系数	Z 值	系数	Z 值
X_2	0.388**	2.549	0.094	0.240	0.907**	2.075
X_4	0.506***	2.981	1.341*	1.833	1.288	1.334
X_5	0.984***	5.480	0.066	0.073	-0.762	-1.024
X_6	-0.199***	-3.107	0.680	0.895	-1.549	-1.352
R^2	0.916	—	0.671	—	0.578	—
LOG likelihood	-36.841	—	-33.636	—	-34.228	—

在东部经济带, 人口聚集、能源消耗、社会发展与 $AQI-Y$ 显著正相关, 人口密度每平方公里增加 100 人, $AQI-Y$ 将会上升 0.388; 能源消耗每增加 1 亿吨标准煤, $AQI-Y$ 上升 0.506; 居民平均每百户家用汽车拥有量增加 1 辆, $AQI-Y$ 就会上升 0.984. 技术进步与 $AQI-Y$ 表现为显著负相关, $R\&D$ 经费每增加 1 亿元, $AQI-Y$ 就会下降 0.199. 在中部经济带, 人口聚集、社会发展、技术进步与 $AQI-Y$ 相关性不显著, 能源消耗与 $AQI-Y$ 显著正相关, 其每增加 1 亿吨标准煤, $AQI-Y$ 上升 1.341. 在西部经济带, 能源消耗、社会发展、技术进步与 $AQI-Y$ 相关性不显著, 人口集聚与 AQI 显著正相关, 人口密度每平方公里增加 100 人, $AQI-Y$ 将会上升 0.907.

3 结论和讨论

3.1 结论

本文基于 2016—2020 年 AQI 数据, 以 31 个省市为研究对象, 利用全局自相关、热点分析等方法分析了“十三五”时期我国空气质量时空演变特征, 结合 2018 年社会经济数据, 揭示了空气质量的社会经济驱动机制, 在此基础上, 分区探索了其驱动机制的空间异质性, 研究结果有利于加强空气污染治理能力, 推动区域“高质量发展”. 主要研究结论如下:

- 1) “十三五”期间, 我国空气质量整体较好, 大部分地区空气质量类别为良好, 海南、云南为优, 呈现较为明显的“枣核”型特征, 空间上南方地区显著优于北方地区.
- 2) “十三五”期间, 我国空气质量好转趋势明显, 仅 2017 年有较小程度下滑, 且轻度污染已经完全消除, 但优提升不明显; 季节变化表现出“春冬高, 夏秋低”的“V”型特征; 月变化呈现出“W”型规律且高值主要在 1、2、12 月, 低值主要在 7、8、10 等月.
- 3) “十三五”期间, 我国空气质量集聚程度呈减小趋势, 在空间上表现为 $AQI-Y$ 的高值区或低值区更

加分散;河南、河北、天津等地是我国主要空气质量较差聚集区域,较好区域主要聚集于云南、海南等地;季节空间分布格局与年均基本一致,春、夏分别是 *AQI* 低值和高值集聚程度最高的季节。

4) 空间滞后模型表明,在全国层面,人口聚集、能源消耗、社会发展是促使空气质量下降的主要原因,技术进步对空气质量改善有明显的促进作用;其空间异质性明显,在东部经济带其驱动机制与全国层面一致,在中部及西部经济带,能源消耗与人口集聚分别是其空气质量下降的主导因素。

3.2 讨论

“十三五”期间我国以“改善生态环境”为主要目标,习近平总书记多次强调“打赢蓝天保卫战”的必要性并做出重要指示。本文以“十三五”期间中国 *AQI* 数据为基础,对其演变特征进行分析。结果表明,“十三五”期间,我国空气质量整体处于较好状态,且得到了较大程度的改善,但空气质量类别两头少中间多的“枣核”型问题并未得到根本好转,我国大部分地区空气质量处于“良好”,且空间差异性显著,在河南、河北、天津等北方地区已经形成了大范围、长时间的空气污染。因此,在“十四五”期间,亟需以“深度改善空气质量”为目标,以“重点治理严重污染区域”为手段,进一步改善我国空气环境,以推进生态文明建设。

诸多研究已经证实,社会经济的发展必然会影 响空气质量。本文结合社会经济数据,揭示了空气质量的社会经济驱动机制。结果表明,社会经济的发展对空气质量的影响不尽相同,在东部沿海地带,人口聚集、能源消耗、社会发展是促使空气质量下降的主要原因,技术进步对空气质量改善有明显的促进作用,而在中部地带及西部地带,能源消耗与人口聚集分别是促使其空气质量下降的主导因素。表明社会经济处于不同阶段,空气质量的社会经济驱动力差异性显著。因此,在治理空气环境中,改善空气质量不等同于全面遏制社会经济的发展,首先必须在厘清其驱动机制的基础上,遴选关键指标,确定重点治理方向。其次,由于区域资源禀赋,社会经济发展水平差异较大,更需要认清自身实际情况,最大限度减少社会经济发展对空气质量带来的负面影响,以建立“生态优先、绿色发展”的新模式,实现区域社会经济与生态环境相互促进、协调发展,促进“高质量发展”。

参考文献:

- [1] 武力. “十三五”时期我国经济社会发展成就显著 [J]. 红旗文稿, 2020(20): 34-37, 1.
- [2] 崔学刚, 方创琳, 刘海猛, 等. 城镇化与生态环境耦合动态模拟理论及方法的研究进展 [J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1079-1096.
- [3] 徐冬, 黄震方, 黄睿. 基于空间面板计量模型的雾霾对中国城市旅游流影响的空间效应 [J]. 地理学报, 2019, 74(4): 814-830.
- [4] 解淑艳, 王胜杰, 于洋, 等. 2003-2018 年全国酸雨状况变化趋势研究 [J]. 中国环境监测, 2020, 36(4): 80-88.
- [5] ZAJCHOWSKI C A B, BROWNLEE M T J, ROSE J. Air Quality and the Visitor Experience in Parks and Protected Areas [J]. Tourism Geographies, 2019, 21(4): 613-634.
- [6] GU H J, CAO Y X, ELAHI E, et al. Human Health Damages Related to Air Pollution in China [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(13): 13115-13125.
- [7] 周亮, 周成虎, 杨帆, 等. 2000-2011 年中国 $PM_{2.5}$ 时空演化特征及驱动因素解析 [J]. 地理学报, 2017, 72(11): 2079-2092.
- [8] 许艳玲, 薛文博, 雷宇. 气象和排放变化对 $PM_{2.5}$ 污染的定量影响 [J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4546-4551.
- [9] 牟敬锋, 樊静洁, 严宙宁, 等. 2016 年深圳市大气 $PM_{2.5}$ 污染状况及其影响因素 [J]. 卫生研究, 2018, 47(3): 406-412.
- [10] 孔锋, 吕丽莉, 方建, 等. 中国空气污染指数时空分布特征及其变化趋势(2001-2015) [J]. 灾害学, 2017, 32(2): 117-123.
- [11] XIE R, ZHAO G M, ZHU B Z, et al. Examining the Factors Affecting Air Pollution Emission Growth in China [J]. Environmental Modeling & Assessment, 2018, 23(4): 389-400.
- [12] 孙爽, 李令军, 赵文吉, 等. 京津冀大气污染变化规律及其与植被指数相关性分析 [J]. 环境科学, 2019, 40(4): 1585-

1593.

[13] 郑小华, 李明星, 刘慧, 等. 汾渭平原空气质量的时空特征及其与气象因子的关系 [J]. 环境科学学报, 2020, 40(11): 4113-4121.

[14] 陈镭, 马井会, 甄新蓉, 等. 上海地区空气污染变化特征及其气象影响因素 [J]. 气象与环境学报, 2017, 33(3): 59-67.

[15] WANG Z H, TIAN Z H. Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of Air Quality Index in Xuchang [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 108(4): 042107.

[16] 王振波, 梁龙武, 王旭静. 中国城市群地区 PM_{2.5} 时空演变格局及其影响因素 [J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2614-2630.

[17] 韩婧, 李元征, 李锋. 2000-2015 年中国 PM_{2.5} 浓度时空分布特征及其城乡差异 [J]. 生态学报, 2019, 39(8): 2954-2962.

[18] 汤宇磊, 杨复沫, 詹宇. 四川盆地 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 高分辨率时空分布及关联分析 [J]. 中国环境科学, 2019, 39(12): 4950-4958.

[19] 沈楠驰, 周丙锋, 李珊珊, 等. 2015-2019 年天津市大气污染物时空变化特征及成因分析 [J]. 生态环境学报, 2020, 29(9): 1862-1873.

[20] 吴益玲, 李成名, 戴昭鑫, 等. 城区空气质量指数时空分布特征及影响机制分析 [J]. 测绘通报, 2020(4): 81-86.

[21] 张向敏, 罗桑, 李星明, 等. 中国空气质量时空变化特征 [J]. 地理科学, 2020, 40(2): 190-199.

[22] 程钰, 刘婷婷, 赵云璐, 等. 京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量时空演变与经济社会驱动机理 [J]. 经济地理, 2019, 39(10): 183-192.

[23] YU T Y, CHANG I C. Spatiotemporal Features of Severe Air Pollution in Northern Taiwan [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2006, 13(4): 268-275.

[24] 史旭荣, 逯世泽, 易爱华, 等. 全国 2018-2019 年秋冬季气象条件变化对 PM_{2.5} 影响研究 [J]. 中国环境科学, 2020, 40(7): 2785-2793.

[25] 黄小刚, 赵景波, 曹军骥, 等. 长江经济带 PM_{2.5} 分布格局演变及其影响因素 [J]. 环境科学, 2020, 41(3): 1013-1024.

[26] 黄小刚, 邵天杰, 赵景波, 等. 长江经济带空气质量的时空分布特征及影响因素 [J]. 中国环境科学, 2020, 40(2): 874-884.

[27] 戴孟莲, 王彤, 邓海银, 等. 基于偏相关与逐步回归方法的 AQI 影响因素分析及预测 [J]. 环境保护前沿, 2017(3): 191-201.

[28] 吴益玲, 李成名, 戴昭鑫, 等. 城区空气质量指数时空分布特征及影响机制分析 [J]. 测绘通报, 2020(4): 81-86.

[29] 张轩瑜, 宋晓军, 虞吉海. 时空效应下 PM_{2.5} 的环境库兹涅茨曲线——基于动态空间面板视角 [J]. 环境科学学报, 2020, 40(1): 315-324.

[30] 蔺雪芹, 王岱. 中国城市空气质量时空演化特征及社会经济驱动力 [J]. 地理学报, 2016, 71(8): 1357-1371.

[31] 吴力波, 任飞州, 徐少丹. 新冠肺炎疫情防控一级响应应对城市空气污染物减排的影响 [J]. 环境经济研究, 2020, 5(3): 1-20.

责任编辑 任剑乔