

2016—2024 年上海市奉贤区空气质量特征研究

陈如冰 蔡依云

上海市奉贤区环境监测站, 中国·上海 201400

摘要: 通过分析 2016—2024 年上海市奉贤区 4 个大气监测站点的 6 项基本污染物数据, 评价奉贤区在“十三五”以及“十四五”期间大气的变化情况, 研究奉贤区空气质量特征。通过分析奉贤区 2016—2024 年空气质量指数 (AQI) 指数、首要污染物情况、基本污染物浓度情况, 表征奉贤区大气污染的总体特征, 并且通过分析 2024 年污染物浓度的月际变化规律及不同监测站点的空间分布特征, 从而全面揭示奉贤区大气污染的时空演变格局。

关键词: 大气监测; 奉贤区; Air Quality Index (AQI); 首要污染物; 基本污染物

Research on Air Quality Characteristics in Fengxian District, Shanghai from 2016 to 2024

Chen Rubing Cai Yiyun

Fengxian District Environmental Monitoring Station, Shanghai, Shanghai, 201400, China

Abstract: By analyzing the data of six basic pollutants from four atmospheric monitoring stations in Fengxian District, Shanghai from 2016 to 2024, this study evaluates the changes in the atmosphere during the 13th and 14th Five Year Plans and investigates the characteristics of air quality in Fengxian District. By analyzing the Air Quality Index (AQI) index, primary pollutant situation, and basic pollutant concentration in Fengxian District from 2016 to 2024, the overall characteristics of air pollution in Fengxian District are characterized. By analyzing the monthly variation pattern of pollutant concentration in 2024 and the spatial distribution characteristics of different monitoring stations, the spatiotemporal evolution pattern of air pollution in Fengxian District is comprehensively revealed.

Keywords: Atmospheric monitoring; Fengxian district; Air Quality Index(AQI); Primary pollutant; Basic pollutants

0 前言

大气环境是人类生存与发展的基础^[1], 与人类的健康以及区域的可持续发展息息相关。随着城市化与工业化的不断推进, 大气污染问题成为人们关注的重点。2016—2020 年是中国“十三五”规划的实施期, 期间深入实施《大气污染防治行动计划》, 出台了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》等专项行动, 大气环境治理成效显著。2021—2025 年为“十四五”规划期, 随着《空气质量持续改善行动计划》等行动的大力推进, 中国大气环境治理已进入了精准化、科学化、系统化的新阶段。

AQI 指数作为大气环境的综合评价指标, 通过可吸入颗粒物 (PM₁₀)、细颗粒物 (PM_{2.5})、二氧化硫 (SO₂)、二氧化氮 (NO₂)、臭氧 (O₃)、一氧化碳 (CO) 六类基本污染物浓度计算得来, 通常用来表征各个区域的空气质量状况。而上海奉贤区作为长三角城市群的重要组成部分, 如何实现高质量发展与大气环境质量共同提升也成为当前关注的重要问题。因此, 研究奉贤区大气污染特征, 对于推进美丽奉贤、美丽上海建设具有重要意义。论文通过分析 2016—2024 年的奉贤区基本污染物浓度, 从而研究奉贤区空气质量演变趋势、首要污染物的变化特征以及污染物的时空演变格局, 从而为奉贤区大气污染治理提供科学依据, 以建设更美奉贤。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

奉贤区 (121°21'~121°46'E, 30°47'~31°01'N) 位于上海的南部, 全区总面积 720.68 平方千米, 处于长江三角洲的东南端, 地貌形态比较单一, 地势平缓, 属于北亚热带季风气候。

论文的大气数据来源于奉贤区的 4 个环境空气质量自动监测站点 (新城站、南桥站、海湾站、奉浦站), 其中南桥新城站为国控点位, 具体位置分布图见图 1。

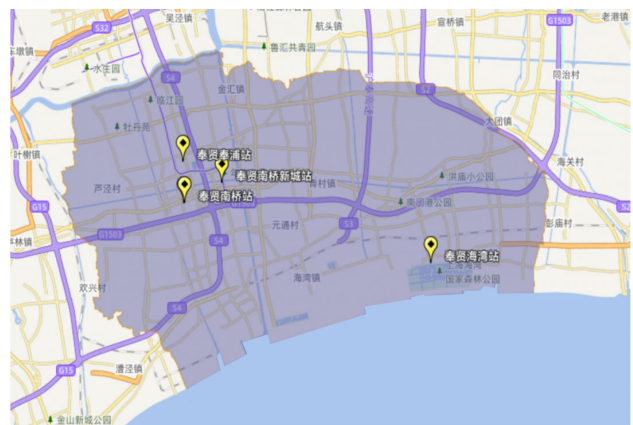


图 1 奉贤区 4 个环境空气质量自动监测站点

1.2 研究数据分析方法

2016—2024 年奉贤区 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、O₃、CO 共 6 项基本污染物浓度数据来自上海市奉贤区环境监测站，其中 O₃ 采用日最大 8h 滑动平均值的第 90 百分位数进行评价，CO 采用 24h 平均第 95 百分位数进行评价。

依据 HJ 633—2012《环境空气质量指数 (AQI) 技术规范 (试行)》，空气质量指数级别共分为六级：一级为优 (0 ≤ AQI ≤ 50)、二级为良 (51 ≤ AQI ≤ 100)、三级为轻度污染 (101 ≤ AQI ≤ 150)、四级为中度污染 (151 ≤ AQI ≤ 200)、五级为重度污染 (201 ≤ AQI ≤ 300)、六级为严重污染 (AQI > 300)。AQI 指数数值越低，代表该区域空气质量越佳。AQI 优良率指一年中空气质量处于优或良级别的天数所占的比率。

论文在分析空气质量季度差异时，根据中国气候划分四季，其中春季为 3~5 月，夏季为 6~8 月，秋季为 9~11 月，冬季为 12 月至次年 2 月。

2 2016—2024 年奉贤区大气环境质量现状

2.1 奉贤区空气质量年度差异分析

2.1.1 空气质量年度变化特征

图 2 展现了 2016—2024 年上海奉贤区 AQI 等级分布情况以及年度 AQI 优良率变化趋势。“十三五”期间，奉贤区空气质量以优、良为主，污染天气仍有一定比例，其中轻度污染频次介于 36~56 天/年，中度污染为 4~14 天/年，重度污染为 1~3 天/年；进入“十四五”时期，各等级污染天数均显著下降，其中轻度污染减少至 27~40 天/年，中度污染降至 1~3 天/年，重度污染控制在 0~2 天/年，表明奉贤区在“十四五”后持续大气污染治理取得一定成效。2016—2024 年奉贤区均未出现严重污染天气。从 AQI 优良率变化来看，整体呈现波动上升的趋势，优良率从 2016 年的最低值 80.6% 稳步提升至 2021 年的峰值 92.2%，虽然 2024 年波动下调至 90.1%，但仍高于“十三五”平均水平，整体趋势向好。

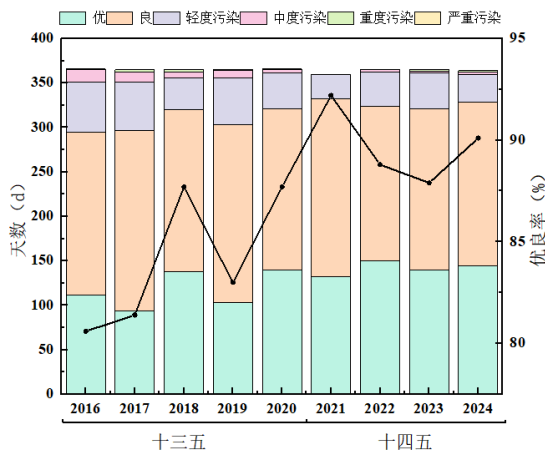


图 2 2016—2024 年奉贤区 AQI 等级分布以及 AQI 年度优良率

通过对比 2016—2024 年奉贤区首要污染物出现天数 (见图 3)，可以发现，从整体趋势而言，首要污染物的出现天数呈下降趋势，O₃、PM_{2.5} 是影响奉贤区空气质量的主要污染物，表明奉贤区的大气污染以光化学污染和细颗粒物污染为主。O₃ 作为首要污染物的出现频次在 18~44 天/年之间波动，在 2017 年达到 44 天/年的峰值后波动下降，2024 年降至 18 天/年，整体呈下降趋势但仍占主导地位；PM_{2.5} 作为首要污染物出现频次从 2017 年的 22 天/年降至 2021 年的 2 天/年，但 2024 年回升至 16 天/年，可能与气象条件和区域传输有关。PM₁₀ 作为首要污染物出现频次较低，年均出现天数均 ≤ 3 天。CO、SO₂ 在 2016—2024 年中从未作为首要污染物出现过，NO₂ 也仅在 2021 年作为首要污染物出现过。整体而言，奉贤区首要污染物结构主要为 O₃、PM_{2.5} 复合污染，其他污染物影响微弱，未来需重点关注 O₃、PM_{2.5} 的协同控制。

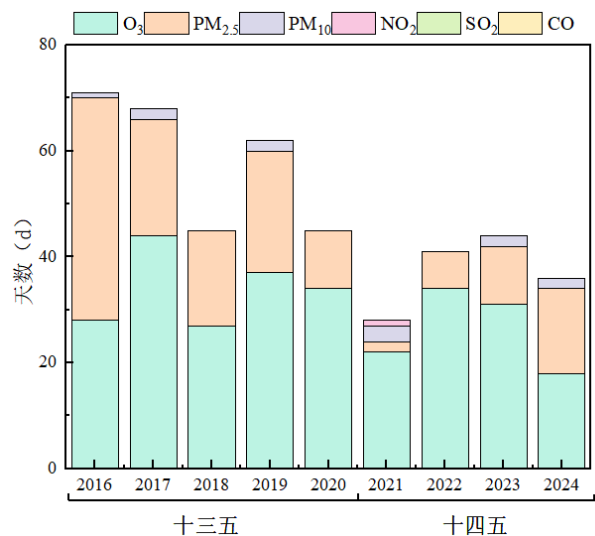


图 3 2016—2024 年奉贤区首要污染物出现天数

通过对奉贤区 6 种基本大气污染物浓度进行 Pearson 分析 (见表 1)，这六种基本污染物浓度之间的系数 r 均为正值，表明污染物之间存在正相关性，这与许多研究相似^[2,3]。其中，CO、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂ 之间的系数 r 大于 0.8，呈现出高度相关性 (p < 0.05)，其中 CO 与 SO₂ 的相关性最强，为 0.90。依据奉贤区的实际情况考量，SO₂ 主要来自化工企业的排放，CO 主要来自移动源排放以及工艺中燃烧不充分^[4]，扬尘以及企业工艺过程则是 PM_{2.5}、PM₁₀ 的主要来源。可以发现，这些污染物的产生具有一定的同源性，表明了污染物协同治理的重要性。研究表明氮氧化物、挥发性有机物等前体物通过光化学反应生成 O₃^[5]，然而，论文分析发现 O₃ 与 NO₂ 的相关性并非十分强烈，由此推断，奉贤区部分 O₃ 可能来自跨区域传输等外来因素。

表 1 奉贤区 6 种基本大气污染物之间的相关系数

	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂
CO	1.00					
NO ₂	0.50*	1.00				
O ₃	0.20	0.41*	1.00			
PM ₁₀	0.82*	0.75*	0.30	1.00		
PM _{2.5}	0.84*	0.61*	0.19	0.89*	1.00	
SO ₂	0.90*	0.49*	0.27	0.86*	0.89*	1.00

注：* 在 0.05 的水平下显著相关。

2.1.2 基本污染物浓度年度变化特征

基于 2016—2024 年的基本污染物监测数据（见图 4），奉贤区的空气质量在“十三五”和“十四五”时期呈现改善趋势。这一改善趋势与中国大气污染防治政策的落实密切相关，“十三五”时期是中国大气污染防治的关键时期，随着《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的实施，除 O₃ 外的其余基本污染物均呈现下降趋势，其中 PM_{2.5} 质量浓度年均值从 43μg/m³ 降至 30μg/m³，下降 30.2%；PM₁₀ 质量浓度年均值从 54μg/m³ 降至 37μg/m³，下降 31.5%，反映出扬尘治理以及工业排放颗粒物控制的工作

有效性。SO₂ 质量浓度年均值从 10μg/m³ 降至 6μg/m³，下降 40%，得益于燃煤污染控制工作的推进；CO 浓度第 95 百分位数从 1.1mg/m³ 降至 0.9mg/m³，下降 18.2%，可能与机动车排放标准升级密切相关。NO₂ 质量浓度年均值从 29μg/m³ 降至 26μg/m³，下降 10.3%，下降幅度略低，可能与机动车保有量持续增长有关。值得注意的是，O₃ 日最大 8h 滑动平均值第 90 百分位数未呈现明显下降趋势，甚至在 2017 年达到峰值 166μg/m³，表明 NOx 和 VOCs 的协同控制仍需加强。

“十四五”时期，空气质量改善速度有所放缓，部分污染物质量浓度小幅波动。CO 浓度第 95 百分位数在“十四五”时期稳定在 0.8mg/m³，NO₂ 在 25~28μg/m³ 间波动；O₃、PM₁₀、PM_{2.5} 呈现波动下降趋势，2024 年 O₃ 日最大 8h 滑动平均值第 90 百分位数为 144μg/m³，相较于“十三五”末下降 11μg/m³，臭氧污染防控初见成效。2024 年 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度年均值分别为 35、28μg/m³，相较于“十三五”末均下降 2μg/m³。随着污染治理进入“深水期”，空气质量改善进入“平台优化”时期，减排空间收窄，需要采取更精细化的手段以突破瓶颈。

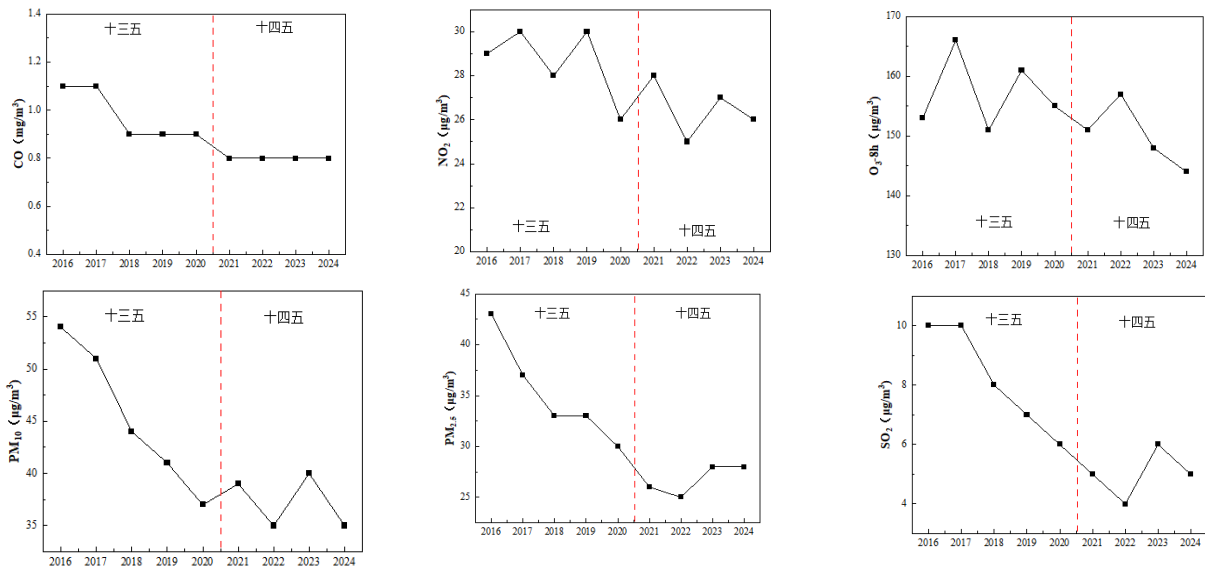


图 4 2016—2024 年奉贤区污染物浓度年均值变化趋势

2.2 奉贤区空气质量季度、月度差异分析

基于奉贤区 2024 年 AQI 月度监测数据以及首要污染物情况（见图 5），发现区域空气质量呈现显著的季节性波动。冬季大气污染较为严重，在 1 月份 AQI 达到最高值 83.5。奉贤区冬季的首要污染物主要为 NO₂、PM_{2.5}，推测冬季恰逢春运期间，交通流量激增带来机动车污染源排放强度的大幅提升，加剧了 NO₂、PM_{2.5}^[6]，且奉贤处于外环，大部分区域春节期间仍然允许燃放烟花，贡献了大量 PM_{2.5}^[7]。从气象条件来看，上海冬季降水量偏低，风速较小，大气层结稳定性显

著增强，逆温频率较其他季节有所提升^[8]，这种稳定的气象条件严重抑制了污染物的垂直扩散。此外，受东亚冬季风影响，区域输送的污染物与本地排放叠加，进一步加剧了污染累积效应。夏季 AQI 值也较高，且 6~8 月 AQI 呈现上涨趋势，由 59.7 上升到 76.2，与一些研究中恰恰相反^[9]。奉贤区夏季以 O₃ 作为首要污染物的天数最多，主要是由于太阳光照强造成大量光化学反应，带来了 O₃ 的积累。秋季 AQI 最低，其中 9 月份 AQI 达到最低值 42.5，可能是由于秋季平均风速较高，降雨量偏高，气象条件更有利于污染物扩散。

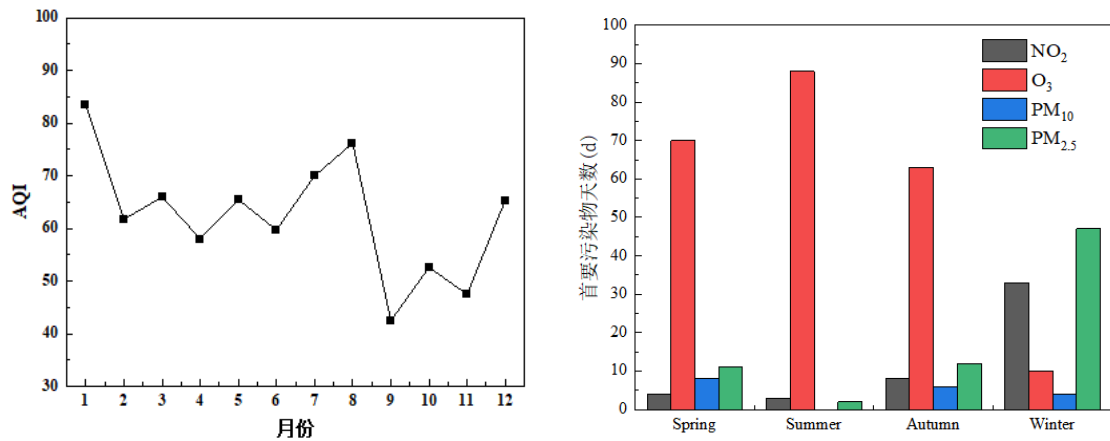


图 5 奉贤区 2024 年 AQI 月变化特征 (左) 以及首要污染物天数 (右)

2.3 奉贤区不同监测站点污染物浓度差异分析

基于 2016—2024 年奉贤区四个站点的 6 类基本污染物年均浓度分析 (见图 6), 站点间污染物浓度存在一定程度的空间差异, 可能受地理位置、周边污染物分布的影响。

南桥新城站作为城区的国控点位, 在多数污染物上都呈现最高或较高浓度水平, 特别是 SO₂ (2023—2024 年达 8μg/m³)、NO₂ (2024 年 30μg/m³) 和 PM_{2.5} (2023 年 54μg/m³), 分别较海湾站高出 100%、43% 和 125%, 体现

城区交通源以及靠近工业排放的影响。海湾站各项污染物浓度普遍偏低, 其中 NO₂、PM₁₀、PM_{2.5} 浓度显著低于其他三个站点, 这与海湾站的地理位置有显著关系。奉浦站、南桥站、南桥新城站近市区, 人口密集, 受周围企业、交通的影响, 建筑物密集, 污染物扩散能力弱。海湾站位于上海海湾国家森林公园, 附近基本无城市开发, 均为基本农田保护区, 附近无工业源, 机动车密度低于城市内, 且近海, 大气流动性高, 有着优越的大气扩散条件。

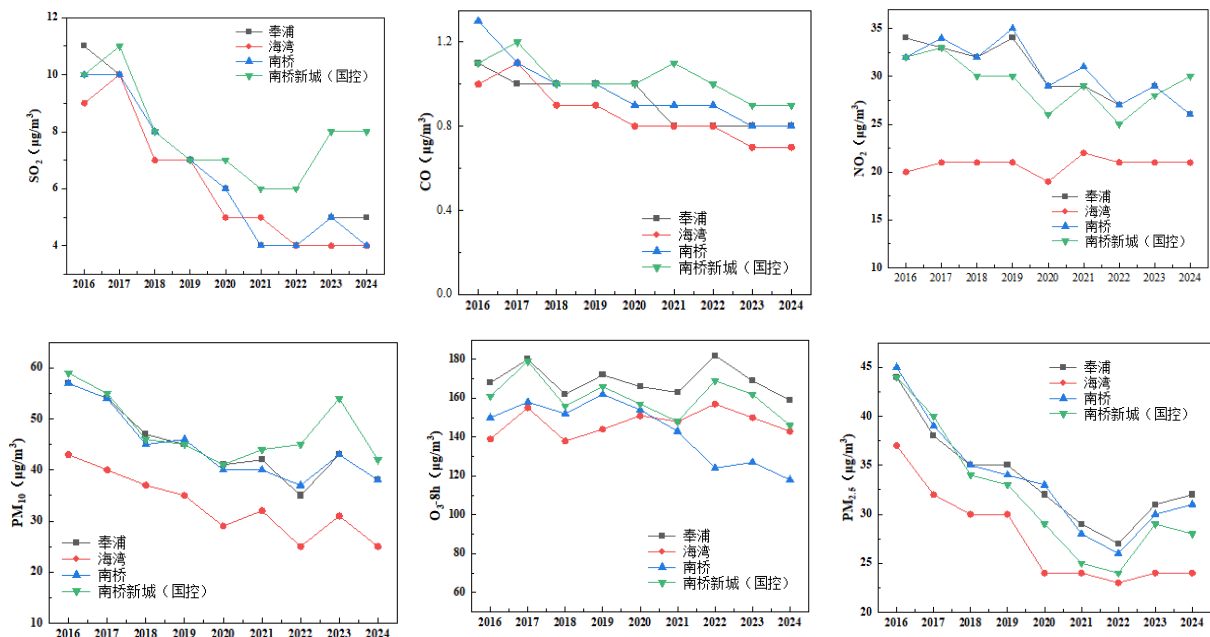


图 6 奉贤区 2016—2024 年不同站点六项基本污染物浓度

3 结论

本研究基于 2016—2024 年上海市奉贤区空气质量监测数据, 系统分析了 AQI 等级分布、首要污染物特征、污染物相关性及浓度时空变化规律, 得出以下主要结论:

2016—2024 年, 奉贤区空气质量优良率从 80.6% 提升至 90.1%, 污染天数显著减少, 未出现严重污染天气,

表明大气污染治理措施取得积极成效。“十三五”期间, PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO 浓度分别下降 30.2%、31.5%、40% 和 18.2%; “十四五”时期进入平台期, 除 O₃ 浓度下降 11μg/m³, 其余指标稳定或波动, 显示治理进入深水区, 亟待更精细化管控。

奉贤区大气污染呈现 O₃ 与 PM_{2.5} 复合型污染特征,

PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO 之间存在高度相关性,未来需重点关注污染物协同治理,尤其是 NO_x 和 VOCs 的协同减排。

奉贤区大气污染存在显著时空差异。冬季 AQI 指数最高,夏季较高,春季其次,秋季 AQI 指数最低。冬季首要污染物主要为 NO₂、PM_{2.5};夏季 O₃ 污染突出。奉浦站、南桥站、南桥新城站污染物浓度高于海湾站,反映工业、交通源排放及扩散条件的区域影响,需实施差异化防控策略。

参考文献:

- [1] 钱永康,王韦华,刘阳.大气环境污染监测及环境保护研究[J].绿色中国,2025(1):151-153.
- [2] 韩静.2016—2021年上海市杨浦区环境空气的基本污染物分析[J].中国资源综合利用,2023,41(7):146-148.
- [3] 张春艳.2014—2022年重庆市空气质量变化特征及影响因素分析[J].绿色科技,2024,26(10):149-155.
- [4] 白煜,王晶,徐茜,等.2019年上海市空气质量特征研究[J].环境科学与技术,2023,46(S2):135-141.
- [5] 史晶,李净,刘德仁,等.基于可解释自动机器学习的日O₃浓度估算[J].环境科学学报:1-13.
- [6] 孟琛琛,倪爽英,陆雅静,等.新冠肺炎疫情期间河北省国道机动车交通量及大气污染物排放量变化分析[J].环境科学学报,2021,41(3):905-913.
- [7] 杨永安,张凯,许肖云,等.遂宁市主城区环境空气质量现状及原因分析研究[J].环境科学与管理,2017,42(8):146-149.
- [8] 井元元,李宏宇,许启慧.河北省采暖期低空大气逆温特征时空变化[J].干旱气象,2018,36(4):624-635.
- [9] 张岚晶,张岚彪,郭海明.呼和浩特市中心城区空气污染时空分布特征分析[J].环境卫生学杂志,2024,14(11):877-882+925.