

南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征

张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁铎, 侯思宇



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年7月

第43卷 第7期
Vol.43 No.7

目次

两种模式下中国未来发电行业发展情景及其环境效益分析	刘春景, 吕建毅, 赵汶畅, 徐卿, 金玉佳 (3375)
基于 LEAP 模型的兰州市道路交通温室气体与污染物协同减排情景模拟	庞可, 张芊, 马彩云, 祝禄祺, 陈恒葵, 孔祥如, 潘峰, 杨宏 (3386)
基于半级别的城市空气质量预报评估方法探讨	王晓彦, 朱莉莉, 许荣, 高愈霄, 朱媛媛, 汪巍, 刘冰 (3396)
厦门港大气 PM _{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价	肖思晗, 蔡美君, 李香, 黄屋, 王坚, 朱清墩, 吴水平 (3404)
南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征	张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁铖, 侯思宇 (3416)
晋中盆地主要城市冬季 PM _{2.5} 传输特征分析	王小兰, 王雁, 闫世明, 岳江, 郭伟, 郝振荣 (3423)
鄂尔多斯市夏秋季黑碳气溶胶时间演变特征及其来源解析	孔祥晨, 张连霞, 张彩云, 王红磊, 许晶, 郑佳峰 (3439)
济源冬季 VOCs 污染特征、来源和 SOAP	王芳, 李利霞, 王红果, 赵宗生, 张建平, 张栋 (3451)
长株潭城区 8 月 VOCs 污染特征及来源分析	罗达通, 张青梅, 刘湛, 尤翔宇, 黄杰, 宋云飞, 张敬巧 (3463)
2019 年 7 月石家庄市 O ₃ 生成敏感性控制策略解析	朱家贤, 王晓琦, 欧盛菊, 张新宇 (3473)
华北平原 AOD 时空演化与影响因素	郭霖, 孟飞, 马明亮 (3483)
基于地基太阳光度计观测的长安区气溶胶光学特性变化及其与颗粒物浓度的关系	郑玉蓉, 王旭红, 崔思颖, 冯子豪, 张秀, 刘康 (3494)
基于长时序“地-星”数据的京津冀大气污染时空分布及演变特征	王耀庭, 殷振平, 郑祚芳, 李炬, 李青春, 孟春雷, 李威 (3508)
近十年洪泽湖富营养化状态变化趋势及原因分析	陈天宇, 刘常清, 史小丽, 李云, 范子武, 贾本有, 廖轶鹏 (3523)
高原湖泊周边浅层地下水: 磷素时空分布及驱动因素	杨恒, 李桂芳, 叶远行, 陈清飞, 崔荣阳, 张丹, 陈安强 (3532)
三峡水库不同支流库湾蓄水期溶解氧分层特性及差异性	纪道斌, 方娇, 龙良红, 杨正健, 赵星星, 杨霞, 郭亚丽 (3543)
典型喀斯特城市湖泊溶解性有机质成分特征及来源解析	倪茂飞, 周慧, 马永梅, 苏印, 王晓丹, 王志康 (3552)
骆马湖表层水和沉积物中全氟化合物赋存特征、来源及健康风险评估	黄家浩, 吴玮, 黄天寅, 陈书琴, 项颂, 庞燕 (3562)
千岛湖浮游植物群落结构的垂向分布特征及其影响因素	王吉毅, 霍翟, 国超旋, 朱广伟, 龚志军, 范亚文, 王建军 (3575)
泗河水系沉积物磷的存在形态及其空间分布特征	张子涵, 张鑫茹, 贾传兴, 甘延东, 王世亮 (3587)
降雨径流过程中土地利用优化配置对磷流失的影响	周豪, 陈方鑫, 罗义峰, 龙翼, 周继, 王小燕, 李丹丹, 陈晓燕 (3597)
典型生物滞留设施重金属累积分布特征与风险评价	储杨阳, 杨龙, 周媛, 王喜龙, 王嗣禹, 张敏 (3608)
筑坝蓄水对不同水深浮游微生物群落结构和种间互作模式的影响	王洵, 张佳佳, 袁秋生, 胡斌, 刘胜 (3623)
天津独流减河流域不同等级河流沉积物细菌区系及功能辨识	刘嘉元, 丰玥, 杨雪纯, 张彦, 李德生, 刘福德 (3635)
地表水悬浮态多环芳烃时空变化特征及主要输入源响应机制	彭珂醒, 李瑞飞, 周亦辰, 卓泽铭, 张晋, 李梅, 李雪 (3645)
北京市通州区河流中微塑料组成的空间分布及潜在来源解析	门聪, 李頔, 左剑恶, 邢薇, 刘梦瑶, 魏凡钦, 胡嘉敏, 谢珍雯, 邢鑫, 沈杨贵 (3656)
微塑料对鲫鱼生长、肝脏损伤和肠道微生物组成的影响	胡嘉敏, 左剑恶, 李金波, 张艳艳, 艾翔, 龚大惠, 张继文, 孙丁明 (3664)
不同类型脱水药剂对底泥固化效果和理化性质的影响	任俊, 殷鹏, 王威振, 唐婉莹, 尹洪斌, 朱丽娟 (3672)
微纳米粒径生物炭的结构特征及其对 Cd ²⁺ 吸附机制	马文艳, 裴鹏刚, 高歌, 孙约兵 (3682)
不同生物炭对磷的吸附特征及其影响因素	连宁海, 张树楠, 刘锋, 邢宏霖, 吴金水 (3692)
Mg-La-Fe/沸石复合材料的制备及其处理低浓度含磷废水的性能	印学杰, 宋小宝, 丁陈蔓, 冯彦房, 杨根, 何世颖, 薛利红 (3699)
一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺污泥膨胀发生和恢复过程中微生物群落演替及 PICRUS2 功能预测分析	李亚男, 闫冰, 郑蕊, 姚丽, 隋倩雯, 魏源送 (3708)
丝状菌膨胀污泥好氧颗粒化稳定性及微生物多样性	高春娣, 杨箫阳, 欧家丽, 韩颖璐, 程阳阳, 彭永臻 (3718)
2000~2020 年长江流域植被 NDVI 动态变化及影响因素探测	徐勇, 郑志威, 郭振东, 宴世卿, 黄雯婷 (3730)
近 40 年来福建省水稻土有效磷富集效应及潜在生态风险评估	陈中星, 邱龙霞, 陈瀚闾, 范协裕, 毋亭, 沈金泉, 邢世和, 张黎明 (3741)
土地利用变化对西南喀斯特土壤团聚体组成、稳定性以及 C、N、P 化学计量特征的影响	何宇, 盛茂根, 王轲, 王霖娇 (3752)
长江经济带矿山土壤重金属污染及健康风险评价	张浙, 卢然, 伍思扬, 贾智彬, 王宁 (3763)
煤矸石堆积区周边土壤重金属污染特征与植物毒性	尚誉, 桑楠 (3773)
燃煤工业区不同土地利用类型土壤汞含量污染评价	李强, 姚万程, 赵龙, 张朝, 张恩月, 苏迎庆, 刘庚 (3781)
广州市南沙区第四剖面镉富集特征及生物有效性	王芳婷, 包科, 黄长生, 赵信文, 顾涛, 曾敏 (3789)
黔西北山区耕地重金属健康风险评价及环境基准	徐梦琪, 杨文毅, 杨利玉, 陈勇林, 景灏楠, 吴攀 (3799)
土壤重金属生物可利用性影响因素及模型预测	张加文, 田彪, 罗晶晶, 吴凡, 张聪, 刘征涛, 王晓南 (3811)
添加有机物料对豫中烟田土壤呼吸的影响	鲁琪飞, 叶协锋, 韩金, 潘昊东, 张明杰, 王晶, 杨佳豪, 姚鹏伟, 李雪利 (3825)
不同稻作系统土壤的 CH ₄ 产生潜力与产生途径	沈皖豫, 黄琼, 马静, 张广斌, 徐华 (3835)
东部平原矿区复垦土壤微生物群落特征及其组装过程	马静, 董文雪, 朱燕峰, 肖栋, 陈浮 (3844)
同质环境下不同锦鸡儿属植物根际土壤细菌群落结构差异及其影响因素	李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐潞, 马飞 (3854)
岩溶与非岩溶区水稻土团聚体细菌群落结构和功能类群比较	肖筱怡, 靳振江, 冷蒙, 李雪松, 熊丽媛 (3865)
紫色土中微生物群落结构及功能特征对土壤 pH 的差异响应	王智慧, 蒋先军 (3876)
有机物料还田对稻田土壤 DOM 碳源代谢能力的影响	肖怡, 李峥, 黄容, 汤奥涵, 李冰, 王昌全 (3884)
《环境科学》征订启事 (3403) 《环境科学》征稿简则 (3462) 信息 (3493, 3655, 3834)	

基于半级别的城市空气质量预报评估方法探讨

王晓彦, 朱莉莉, 许荣, 高愈霄, 朱媛媛, 汪巍, 刘冰*

(中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 环境空气质量预报评估是提升预报能力的重要助力, 为更好支撑空气质量精细化管理, 将我国空气质量细化为 12 个半级别, 参照英国预报评估方法, 对 2020 年“2+26”城市 AQI、PM_{2.5} 浓度和 O₃-8h 浓度预报开展探索性半级别预报效果评估, 通过与 AQI 范围预报和 AQI 级别范围预报评估对比发现, 半级别预报评估方法可将两者兼容合一, 在城市业务预报评估中具有一定可行性和应用价值。具体的半级别预报评估结果表明, “2+26”城市 AQI 和 O₃-8h 浓度在低段级别和高段级别的预报效果明显差于中段级别, 不同级别 PM_{2.5} 浓度预报效果相对稳定; AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度预报准确率月变化曲线分别呈双峰型、先升后降型和平缓型, PM_{2.5} 浓度各月偏高预报显著; 不同城市 AQI 和 O₃-8h 浓度预报准确率差距相对较小, PM_{2.5} 浓度预报准确率波动较大; 北京和天津 AQI 预报准确率高于周边省份, 北京和河南 PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度效果相对最好。

关键词: 空气质量; AQI; 半级别; 预报评估; “2+26”城市

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)07-3396-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202109280

Discussion of Air Quality Forecasting Evaluation for Cities Based on Half-level Method

WANG Xiao-yan, ZHU Li-li, XU Rong, GAO Yu-xiao, ZHU Yuan-yuan, WANG Wei, LIU Bing*

(China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: Ambient air quality forecasting evaluation plays an important role in improving forecasting capability. In order to provide better support for refined air quality management, with reference to the UK air quality forecasting evaluation method, this study divided six air quality index (AQI) levels into 12 half-levels and explored AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration forecasting evaluation based on the half-level method in “2+26” cities during 2020. Comparison with the AQI range forecasting and AQI level range forecasting evaluation showed that the half-level forecasting evaluation method could combine these two indicators into one, providing feasibility and application value in operational air quality forecasting evaluation. Specific half-level forecasting evaluation showed that the forecasting effect of AQI and O₃-8h concentration at the low and high levels was significantly worse than that of the middle levels in “2+26” cities. The forecasting effect of the PM_{2.5} concentration was relatively stable in different half-levels. The monthly variation curves of AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration forecasting accuracy exhibited a bimodal pattern, first rising and then falling and a flat pattern, respectively. The overestimate of PM_{2.5} concentration forecasting was significant in each month. The accuracy gaps of AQI and O₃-8h concentration forecasting in different cities was relatively small; however, the PM_{2.5} concentration forecasting accuracy fluctuated greatly. The AQI forecasting accuracies of Beijing and Tianjin were higher than that of neighboring provinces. Additionally, the PM_{2.5} and O₃-8h concentration forecasting effects in Beijing and Henan province were relatively the best.

Key words: air quality; AQI; half-level; forecasting evaluation; “2+26” cities

为落实《大气污染防治行动计划》有关要求, 2013 年以来, 全国直辖市、省会城市和计划单列市等重点城市率先推进环境空气质量业务预报工作, 2015 年 9 月开始面向社会公众发布城市环境空气质量预报信息。2019 年 1 月城市环境空气质量指数 (air quality index, AQI) 预报扩展至全国 337 个地级及以上城市, 随后逐渐增补城市 PM_{2.5} 和 O₃-8h 单项污染物浓度预报。近年来, 我国已积累大量城市环境空气质量预报数据, 但针对城市空气质量预报效果评估, 目前国内尚无国家层面统一的技术规范。《环境空气质量数值预报技术规范》(HJ 1130-2020) 涉及到空气质量数值模式的预报评估^[1], 但难以适用经人工订正后的城市 AQI 范围或单项污染物浓度范围的预报评估。相关研究在评估城市空气质量预报效果时, 多围绕模型预报结果开展, 对人工订正的预报结果评估相对较少, 同时评估中采用的评估指标和评估方法也不尽一致^[2~10]。在缺少统一标尺的情况下, 不同城市围绕预报准确率的评估结果缺乏

可比性, 难以客观反映全国城市业务预报总体水平。

有别于国外 AQI 单值和空气质量单级别预报^[11~13], 我国城市空气质量采用 AQI 范围、空气质量级别范围和单项污染物浓度范围的预报形式, 虽然有城市 AQI 预报范围幅度的建议性研究^[14, 15], 但国家层面对各项预报指标的范围大小无强制性规定, 各地对同一指标的预报范围跨度存在较大差异, 这也成为统一评估全国城市预报效果的难度之一。为使预报评估基于同一标准, 同时参照国外单值预报方式, 近两年在对全国所有城市 AQI 预报统一评估方面逐步达成一定共识, 即首先提取各城市 AQI 范围预报的中值 (范围上限和下限的平均值), 对中值上下浮动一定数值或比例, 得到浮动后的 AQI 范围及其对应的 AQI 级别范围预报结果, 分别评估其

收稿日期: 2021-09-30; 修订日期: 2021-12-03

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0209805)

作者简介: 王晓彦 (1985~), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为空气质量监测预报, E-mail: wangxy@cncem.cn

* 通信作者, E-mail: liubing@cncem.cn

与实况 AQI 值和 AQI 级别的相符程度^[16]. 提取 AQI 中值的目的是促进 AQI 预报值向实况值不断逼近, 围绕中值开展 AQI 预报评估有望成为提升预报准确率的重要手段.

采用上述方法评估城市 AQI 预报效果时发现, AQI 级别预报准确率明显高于 AQI 范围预报准确率, 相对来说, AQI 范围预报评估较为严格, 尤其是对于 AQI 低值区间; 而 AQI 级别预报评估又略显宽松, 以 AQI 中值上下浮动 20% 为例, 当中值处于 168 ~ 188 时, 浮动后的空气质量级别范围会跨越轻度污染、中度污染和重度污染这 3 个级别; 此外两项评估指标的预报准确率常常出现趋势不一致的情况. 目前基于环境空气质量 6 个级别^[17]开展预报评估已稍显笼统, 针对性有所不足. 为满足我国日益精细化的空气质量管理需求, 本文参照英国 DAQI 划分 10 级的方式^[18, 19], 尝试将我国 AQI 的 6 个级别进一步细化为 12 个“半级别”, 以“2+26”城市 2020 年每日 AQI 预报、PM_{2.5} 浓度和 O₃-8h 浓度预报为例, 评估中值 AQI (或 IAQI) 与实况值分别对应的半级别数的相符程度, 基于不同方法的评估结果对比, 探讨半级别预报评估方法应用的可行性, 以期科学评估城市空气质量预报效果、助力提升城市预报能力提供借鉴.

1 材料与方法

1.1 数据来源

“2+26”城市每日 AQI、PM_{2.5} 浓度和 O₃-8h 浓度等环境空气质量实况数据均来自中国环境监测总站国家环境空气质量监测网的发布数据. 城市每日 AQI 范围预报、PM_{2.5} 浓度和 O₃-8h 浓度范围预报信

息均来自各城市在全国空气质量预报联网信息发布管理平台的填报结果. 其中, AQI 范围和 PM_{2.5} 浓度范围预报评估时段为 2020 年全年 (4 月 26 日北京 PM_{2.5} 浓度预报数据缺失), 考虑到各城市自 2020 年 5 月初开始开展 O₃-8h 浓度范围预报, 选取京津冀及周边区域臭氧污染高发的 6 ~ 9 月作为 O₃-8h 浓度范围预报评估时段 (8 月 13 日山东 7 个城市 O₃-8h 浓度预报数据缺失). 参与评估的预报结果均为各城市 24 h (即未来 1 d) 预报结果.

1.2 分析方法

1.2.1 半级别划分

将英国 DAQI 分级中涉及到的 PM_{2.5}、PM₁₀、O₃、NO₂ 和 SO₂ 共 5 种污染物规定时段的平均浓度限值与我国 AQI 分级中对应污染物的相同或类似时段的平均浓度限值相对比 (表 1)^[17~19], 发现相对于英国 10 个 DAQI 分级所规定的污染物浓度区间, 我国 6 个 AQI 分级对应的污染物浓度区间明显较为宽泛, 例如我国 PM_{2.5} 单项污染物 1 ~ 2 级 (优至良) 对应的 1 ~ 75 μg·m⁻³ 的浓度区间可覆盖英国 1 ~ 10 的 DAQI 级别, 我国 O₃ 单项污染物 1 ~ 3 级 (优至轻度污染) 对应的 0 ~ 215 μg·m⁻³ 的浓度区间相当于英国 1 ~ 8 级所对应浓度范围. 各国在划分空气质量级别时综合考虑了各项污染物的当前浓度水平, 近年来我国空气质量的总体改善, 严重污染、重度污染等高浓度污染事件出现频率明显减少^[20~23], 未来大气污染管控有必要向侧重于较低污染物浓度区间的精细化管理方向发展, 因此尝试在目前城市空气质量预报评估中引入“半级别”的概念, 将我国目前 6 个空气质量级别分别“对半”细化为 12 个半级别 (表 2), 以此为基础探索开展城市预报效果评估.

表 1 我国 AQI 和英国 DAQI 分级及对应的污染物浓度限值¹⁾ / μg·m⁻³

中国						英国					
AQI 分级	污染物浓度限值					DAQI 分级	污染物浓度限值				
	PM _{2.5} (24 h)	PM ₁₀ (24 h)	O ₃ -8h	NO ₂ (1 h)	SO ₂ (1 h)		PM _{2.5} (24 h)	PM ₁₀ (24 h)	O ₃ -8h	NO ₂ (1 h)	SO ₂ (15 min)
1 (优)	0 ~ 35	0 ~ 50	0 ~ 100	0 ~ 100	0 ~ 150	1 (低)	0 ~ 11	0 ~ 16	0 ~ 33	0 ~ 67	0 ~ 88
2 (良)	36 ~ 75	51 ~ 150	101 ~ 160	101 ~ 200	151 ~ 500	2 (低)	12 ~ 23	17 ~ 33	34 ~ 66	68 ~ 134	89 ~ 177
3 (轻度污染)	76 ~ 115	151 ~ 250	161 ~ 215	201 ~ 700	501 ~ 650	3 (低)	24 ~ 35	34 ~ 50	67 ~ 100	135 ~ 200	178 ~ 266
4 (中度污染)	116 ~ 150	251 ~ 350	216 ~ 265	701 ~ 1 200	651 ~ 800	4 (中)	36 ~ 41	51 ~ 58	101 ~ 120	201 ~ 267	267 ~ 354
5 (重度污染)	151 ~ 250	351 ~ 420	266 ~ 800	1 201 ~ 2 340	/	5 (中)	42 ~ 47	59 ~ 66	121 ~ 140	268 ~ 334	355 ~ 443
6 (严重污染)	≥ 251	≥ 421	/	≥ 2341	/	6 (中)	48 ~ 53	67 ~ 75	141 ~ 160	335 ~ 400	444 ~ 532
						7 (高)	54 ~ 58	76 ~ 83	161 ~ 187	401 ~ 467	533 ~ 710
						8 (高)	59 ~ 64	84 ~ 91	188 ~ 213	468 ~ 534	711 ~ 887
						9 (高)	65 ~ 70	92 ~ 100	214 ~ 240	535 ~ 600	888 ~ 1 064
						10 (很高)	≥ 71	≥ 101	≥ 241	≥ 601	≥ 1 065

1) 仅列出我国 AQI 分级与英国 DAQI 分级所对应的 5 项污染物及其浓度限值, 括号中时长为各污染物浓度平均值统计时段

1.2.2 评估指标及方法

首先采用 AQI 半级别预报、以及目前预报部门

常用的 AQI 范围和 AQI 级别范围共 3 项评估指标对比分析 2020 年“2+26”城市 AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h

表 2 空气质量指数 12 个半级别划分

Table 2 Division of 12 half-levels of AQI

空气质量级别	优		良		轻度污染		中度污染		重度污染		严重污染	
空气质量半级别	1 优上	2 优下	3 良上	4 良下	5 轻上	6 轻下	7 中上	8 中下	9 重上	10 重下	11 严上	12 严下
半级别 AQI 区间	0 ~ 25	26 ~ 50	51 ~ 75	76 ~ 100	101 ~ 125	126 ~ 150	151 ~ 175	176 ~ 200	201 ~ 250	251 ~ 300	301 ~ 400	401 ~ 500

浓度整体预报效果,再重点基于半级别方法评估城市预报效果的时空特征.具体评估指标和方法如下.

(1) AQI 半级别预报评估 参照英国 DAQI 预报评估方法,当预报 DAQI 与实况 DAQI 级别相差不超过 1 个级别时,则记为预报准确^[24, 25].类似地,将“2+26”城市 AQI 范围预报中值和当日实况 AQI 分别对应的半级别数相比较,若两者半级别数相差不超过 1(例如实况半级别为 5 级,预报中值为 4、5 和 6 级,或预报中值半级别为 5 级,实况为 4、5 和 6 级),则为预报准确,否则为预报偏高或偏低.其中当预报中值和实况半级别数一致时,记为“完全准确”,当两者半级别数相差 1 时,记为“基本准确”.

(2) AQI 范围预报评估 当 AQI 预报中值小于等于 50(优级)时,对中值上下浮动 10(下限数值大于等于 0),当 AQI 预报中值超过 50 时,对中值上下浮动 20%,得到浮动后的 AQI 预报范围(向上取整),若实况 AQI 落入浮动 AQI 预报范围内,则记为预报准确,否则为预报偏高或偏低.

(3) AQI 级别范围预报评估 若实况空气质量级别落入浮动 AQI 预报范围对应的级别预报范围内(可能为单级别或跨级别),则记为预报准确,否则为预报偏高或偏低.

对于 PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度范围预报,同样取浓度范围中值,按照《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633-2012)将其换算为对应的 IAQI,参照上述 AQI 预报评估指标和方法进行统一评估.

2 结果与分析

2.1 多指标预报评估对比

对比 3 种不同指标下 2020 年“2+26”城市

AQI、PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度预报效果发现(图 1),各项目 AQI(IAQI)半级别预报准确率均高于 AQI(IAQI)范围预报准确率,且低于 AQI(IAQI)级别范围预报准确率,偏高率和偏低率同理.三项指标偏高率和偏低率的趋势表现一致,预报偏差均以偏高为主.相对来说,“2+26”城市 AQI 和 O₃-8h 浓度预报效果相当,均明显优于 PM_{2.5}浓度预报效果.总体上,半级别预报评估与级别范围预报评估结果的相符程度较高,与 AQI(IAQI)范围预报评估结果相差较大,在 PM_{2.5}浓度预报上表现尤为明显.采用 IAQI 范围指标评估时,PM_{2.5}浓度预报准确率仅为 33.8%,偏高预报占到一半以上(53.0%);采用 IAQI 半级别评估时,预报准确率提升至 58.0%,偏高率和偏低率均有明显下降,在由 IAQI 范围预报不准确转成 IAQI 半级别预报准确的天次中(占总天次的 28.6%),有 84.2%发生在空气质量优良级别,而由 IAQI 范围预报准确转成 IAQI 半级别预报不准确的天次中(占总天次的 4.4%),轻度污染至中度污染级别占到 68.8%.由此可见,采用半级别指标评估可在一定程度上避免优良级别 AQI(IAQI)浮动范围偏小导致预报不准,高污染级别浮动范围过大导致预报准确率虚高的问题,对不同空气质量水平预报结果能够赋予相对公平的评估区间,可探索性应用于城市业务预报评估中.

2.2 不同级别预报评估

基于半级别评估方法,对 2020 年“2+26”城市在 12 个空气质量半级别下的 AQI、PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度预报效果进行对比分析(图 2).结果显示, AQI、PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度预报准确率在不同空气质量半级别下存在一定波动.具体来看,“2+26”城市

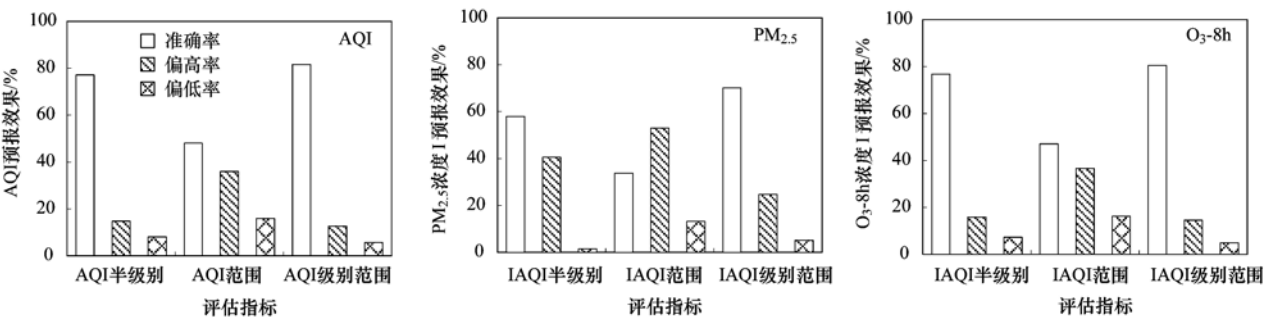
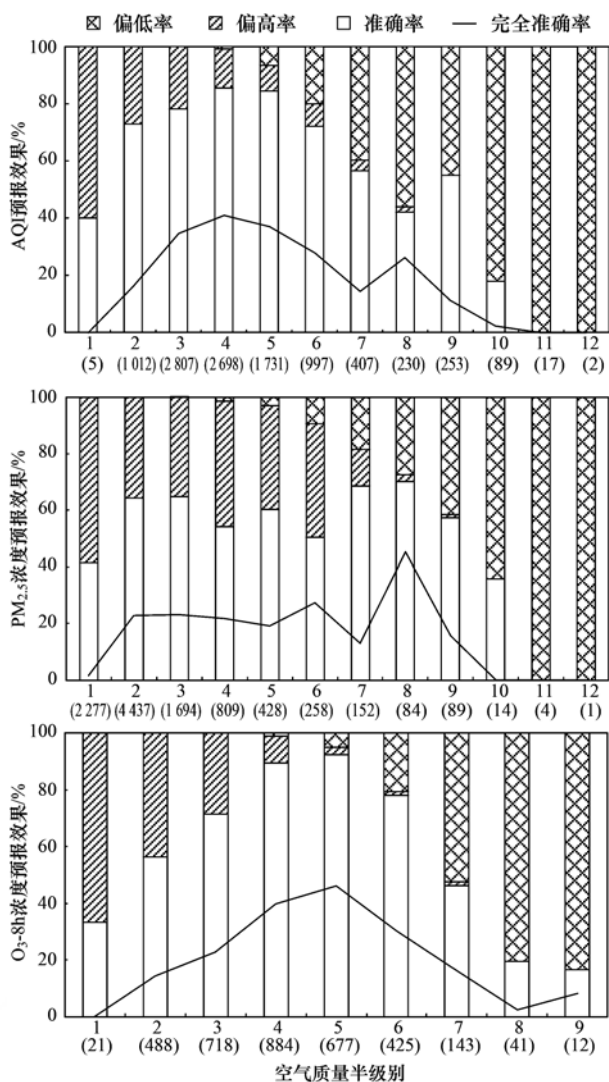


图 1 不同指标下 2020 年“2+26”城市 AQI、PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度预报效果对比

Fig. 1 Comparison of forecasting effects of AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration in “2+26” cities during 2020 using different indicators



各级别下括号内数字为该级别出现的天次数

图 2 不同空气质量半级别下的 AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度预报效果对比

Fig. 2 Comparison of AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration forecasting effects in different air quality half-levels

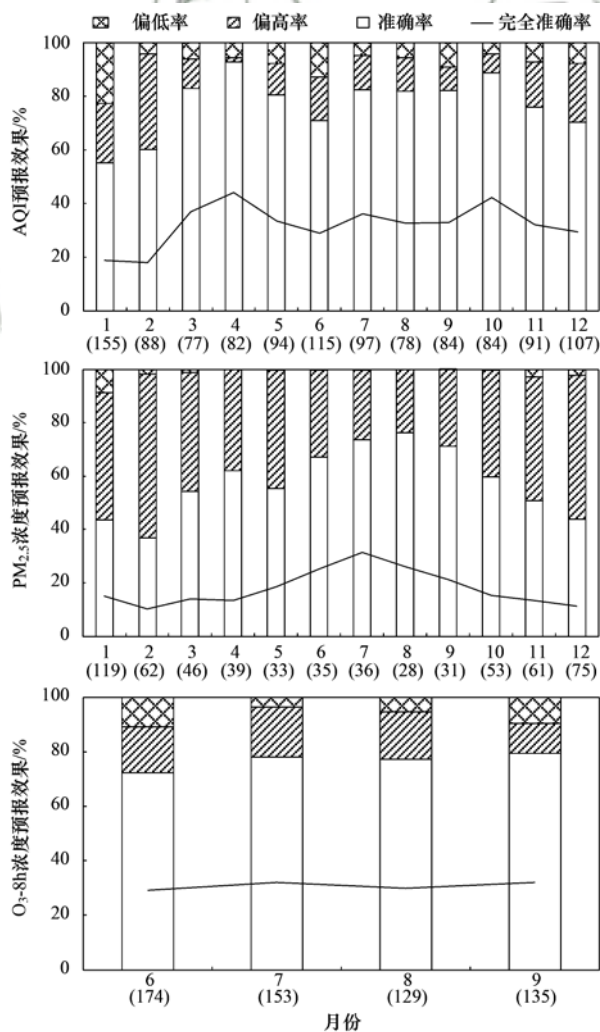
PM_{2.5} 浓度在半级别 1 (优上) ~ 3 (良上) 的占比高达 82.1%，除去半级别 11 和 12 偶发情况外，PM_{2.5} 浓度预报准确率变化相对平缓，在 35.7% ~ 70.2% 之间，不同级别预报准确率基本上呈小幅度升降交替；AQI 和 O₃-8h 浓度绝大多数集中于半级别 2 (优下) ~ 6 (轻下) 之间 (总占比均超过 90.0%)，预报准确率随不同级别波动明显，总体上呈现先升后降的趋势，AQI 和 O₃-8h 浓度预报准确率最高值分别出现在半级别 4 (85.8%) 和半级别 5 (92.5%)，对低段级别和高段级别的预报效果明显差于中段级别。AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度预报完全准确的情况在全部准确中的占比分别为 41.8%、31.0% 和 40.1%，三者不同级别预报完全准确占比普遍低于 50.0%。

AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度预报偏差均呈现出低

段级别以偏高预报为主、高段级别以偏低预报为主的总体趋势，其中，三者预报偏低率超过偏高率的转折级别分别为半级别 6 (轻下)、半级别 7 (中上) 和半级别 5 (轻上)，反映出“2 + 26”城市在优良水平或临界污染预报时，容易有偏高倾向，对较好空气质量预报缺乏一定信心，而在较高污染级别显著的偏低率则反映出高值漏报情况较为普遍。

2.3 不同时段预报评估

2020 年“2 + 26”城市 AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度逐月半级别预报评估结果显示 (图 3)，AQI 预报准确率月变化曲线呈“双峰型”，峰值分别为 4 月的 93.0% 和 10 月的 88.8%，其完全准确占比也相对最高 (47.6% 和 47.7%)。1、2、6、11 和 12 月的预报准确率均低于 80.0%，受区域秋冬季 PM_{2.5} 和夏季 O₃ 污染高发影响，其对应的 AQI 月均值也相对较高，其中 1 月 AQI 均值最高 (155)，预报准确率为最



各月下括号内数字为该月 AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h

浓度均值，浓度单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

图 3 AQI、PM_{2.5} 和 O₃-8h 浓度逐月预报效果对比

Fig. 3 Comparison of forecasting effects of AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration each month

低(55.2%);除1、4和9月预报偏低率高于偏高率或相当外,其他月份预报偏差均以偏高为主,2月偏高情况尤为显著。

PM_{2.5}浓度预报准确率月变化曲线基本呈先升后降的趋势,8月预报准确率最高(76.4%),1、2和12月PM_{2.5}污染频发时段的预报准确率相对最低(36.8%~43.8%),各月“完全准确”在预报准确中的占比相较于AQI预报明显偏低,其中有7个月份完全准确占比低于30.0%。各月预报偏差的共同特点是偏高率占绝对主导,3~10月偏低率几乎为零,反映出为减少秋冬季PM_{2.5}浓度高值漏报,城市预报有明显“从重”倾向,而在PM_{2.5}浓度较低月份,对PM_{2.5}浓度改善程度估计不足,偏高倾向未得到及时纠正,导致预报偏高率同样显著。

6~9月O₃-8h浓度预报准确率变化平缓,在72.4%~79.5%之间小幅波动,其中6月O₃-8h浓度最高(174 μg·m⁻³),预报准确率最低,每月完全

准确占比均在40.0%左右。各月预报偏差均以偏高为主,7月和8月预报偏高相对明显。总体上,在区域夏季O₃污染高发时段,城市O₃-8h浓度预报准确率较高,且相对稳定,能够较好预测O₃浓度水平及变化趋势。

2.4 不同城市预报评估

2020年“2+26”城市AQI、PM_{2.5}和O₃-8h浓度半级别预报效果对比显示(图4),不同城市AQI预报准确率差距较小,在70.5%(保定)~85.8%(北京)之间,北京AQI预报完全准确率(48.6%)和完全准确占比(56.7%)均为最高值,其他城市预报完全准确占比均低于50%。在预报偏差上,天津偏高率和偏低率相当,濮阳、淄博、焦作和安阳这4个城市偏低率高于偏高率,其他城市预报偏差均以偏高为主,总体上,AQI预报准确率较低的城市偏高率普遍较为显著。

不同城市PM_{2.5}浓度预报准确率相差较大,鹤壁

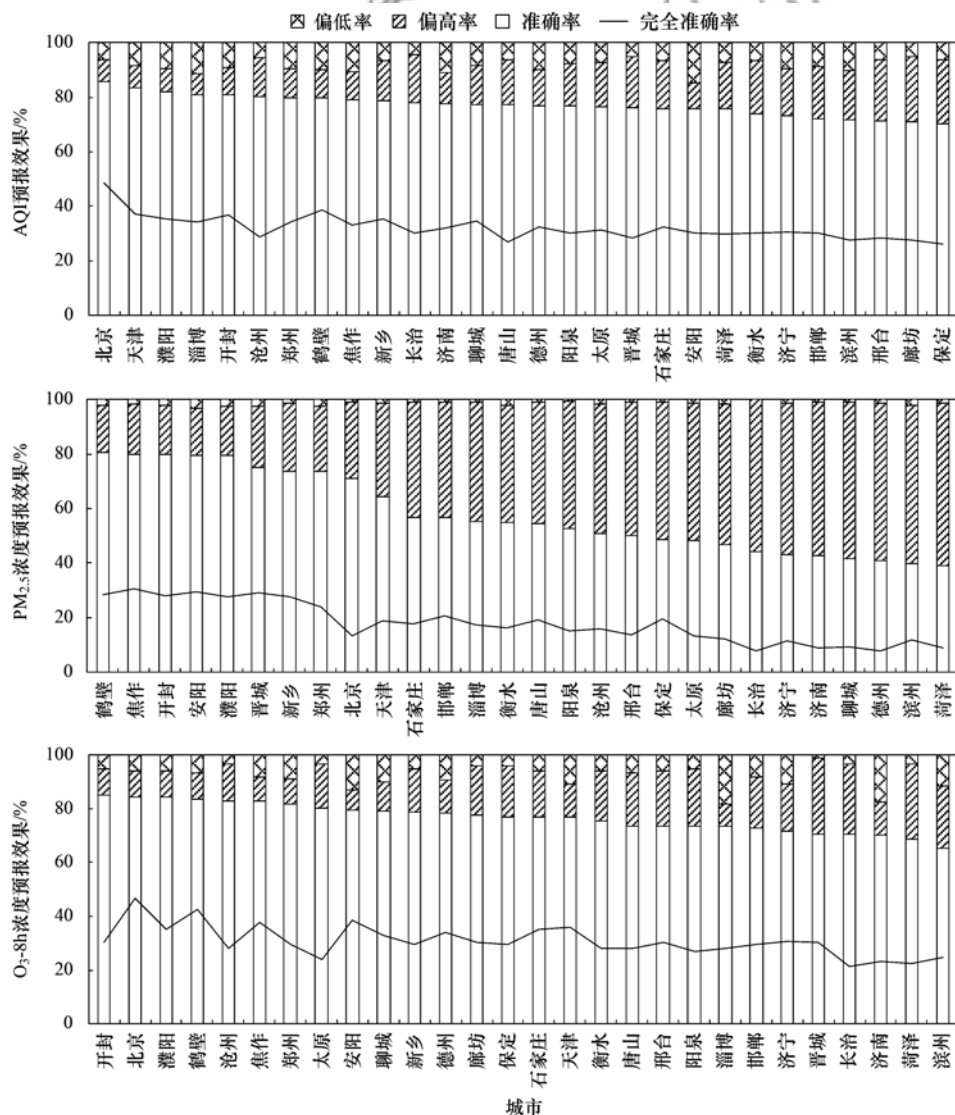


图4 “2+26”城市AQI、PM_{2.5}和O₃-8h浓度预报效果对比

Fig. 4 Comparison of forecasting effects of AQI, PM_{2.5}, and O₃-8h concentration “2+26” cities

预报准确率最高(80.6%),有9个城市预报准确率高于70.0%,其他城市预报准确率明显下降,菏泽预报准确率最低(39.1%),各城市预报完全准确占比普遍较低,均未超过40.0%。“2+26”城市 $PM_{2.5}$ 浓度预报的偏高率均显著高于偏低率,预报准确率后10位城市的偏高率甚至超过了准确率,预报偏高情况均占到全年预报的一半以上。

不同城市 O_3 -8h浓度预报准确率差距相对较小,在65.3%(滨州)~85.2%(开封)之间,除淄博、安阳、济南和郑州等个别城市偏低率高于偏高率或相当外,其他城市预报偏差均以偏高为主。各城市

O_3 -8h浓度预报准确率和完全准确占比普遍高于 $PM_{2.5}$ 浓度预报。

从各省和直辖市总体情况来看(表3),在AQI预报上,北京和天津预报准确率高于周边省份,河北AQI预报准确率最低,天津、北京和河南的预报高低偏差相对均衡,河北、山西和山东预报偏差以偏高为主。在污染物浓度预报上,北京和河南 $PM_{2.5}$ 和 O_3 -8h浓度预报准确率相对最高,山东 $PM_{2.5}$ 和 O_3 -8h浓度预报准确率均为最低,各省和直辖市两项污染物浓度预报偏差均以偏高为主,河北、山东和山西偏高倾向更为明显。

表3 各省和直辖市AQI、 $PM_{2.5}$ 和 O_3 -8h浓度预报效果对比¹⁾/%

Table 3 Comparison of forecasting effects of AQI, $PM_{2.5}$, and O_3 -8h concentration in provinces and municipalities directly under the central government/%

省/直辖市	AQI 预报				$PM_{2.5}$ 浓度预报				O_3 -8h 浓度预报			
	准确率	偏高率	偏低率	完全准确占比	准确率	偏高率	偏低率	完全准确占比	准确率	偏高率	偏低率	完全准确占比
北京	85.8	8.2	6.0	56.7	71.2	27.7	1.1	18.5	84.4	9.8	5.7	55.3
天津	83.6	8.2	8.2	44.4	64.5	34.2	1.4	29.2	77.0	12.3	10.7	46.8
河北(8)	74.1	19.5	6.4	39.0	52.4	46.3	1.3	32.2	76.3	18.2	5.4	39.1
山西(4)	76.9	17.0	6.1	39.1	55.1	43.8	1.1	29.6	73.8	23.2	3.1	34.7
山东(7)	76.2	14.2	9.6	41.5	43.2	55.5	1.3	24.9	72.5	16.1	11.5	38.6
河南(7)	79.5	10.6	9.9	43.9	78.1	19.8	2.1	35.8	82.3	10.2	7.5	42.2

1) 各省括号内数字为省内所属“2+26”城市数

3 讨论

我国城市空气质量采用范围预报的形式,相较于美国、英国等单值或单级别预报,从预报信息发布形式上就决定了国内在开展预报评估时需要考虑更多因素。国际上常用的基于统计指标(例如相关系数、平均偏差、均方根误差等)单纯比较预报值和实况值的方式,难以满足我国城市范围预报的评估需求。相对来说,我国城市预报评估指标更加多样化,从与预报信息直接匹配、最为基础的AQI范围预报评估和AQI级别范围预报评估,扩展到为趋近于国外单级别预报而采用的AQI范围中值级别预报评估,以及参照美国常用的污染物浓度限值预报准确率(faction correct)指标^[26],逐步开展的超标限值预报评估等。同时,与国内气象部门预报效果检验常用的TS评分对比,该方法重点关注的是降水“点对点”是否发生的命中情况^[27,28],但难以给出降水带位置、范围和强度等偏差的判断,而国内多数空气质量预报评估指标能够同时统计预报准确率、偏高率和偏低率,可全面评估预报偏差倾向和偏差程度。

本研究所采用的基于半级别的预报评估方法,在结合我国实际的基础上,借鉴英国空气质量分级和级别预报评估经验,首先通过提取AQI范围预报

中值的方式向单值预报靠近,其次通过细化空气质量级别的方式加严级别范围预报评估,聚焦预报偏差较大的具体AQI区间,有利于更有针对性地提高空气质量预报效果,具有一定的可行性和操作性。同时,本方法以国内空气质量分级标准和城市原始空气质量预报结果为基础,能够客观反映城市预报准确率的高低和预报偏差倾向,在不同区域空间范围和不同时间尺度均具有一定的普适性。但方法也存在一定局限性,与英国评估方法不同的是,此处的“半级别”属于一个新概念,与国内空气质量分级标准并非一一对应,即便较易理解,但在实际应用中,预报员仍需要一定时间去接受和熟悉。

不同预报评估指标各有侧重点,为综合体现整体预报效果,后续可根据各阶段管理需求,在考虑城市空气质量稳定性和波动程度等对预报难度存在不同影响的前提下,对筛选的主要评估指标适当赋予不同权重,研究形成一套面向管理需求的综合性预报评估方法体系。

4 结论

(1)通过3种不同指标对2020年“2+26”城市AQI、 $PM_{2.5}$ 和 O_3 -8h浓度预报效果评估发现,基于空气质量半级别方法的预报评估能够将目前常用的AQI范围预报和AQI级别范围预报评估兼容合一,

级别细化也更有利于支撑空气质量精细化管理,其在城市业务预报评估中具有一定的应用价值。

(2)“2+26”城市 AQI 和 O₃-8h 浓度半级别预报准确率随不同级别波动明显,对低段级别和高段级别的预报效果明显差于中段级别,PM_{2.5}浓度半级别预报准确率随级别变化相对平缓,三者预报偏差均呈现出低段级别以偏高预报为主、高段级别以偏低预报为主的总体趋势。

(3)“2+26”城市 AQI 半级别预报准确率月变化曲线呈“双峰型”,在区域秋冬季 PM_{2.5}和夏季 O₃污染高发月份预报准确率相对较低,PM_{2.5}浓度预报准确率随月份基本呈先升后降趋势,O₃-8h 浓度预报准确率变化较为平缓,三者预报偏差以偏高为主,PM_{2.5}浓度各月预报偏高率均占绝对主导。

(4)不同城市 AQI 和 O₃-8h 浓度半级别预报准确率差距相对较小,PM_{2.5}浓度预报准确率波动较大;北京和天津 AQI 预报准确率高于周边省份,北京和河南 PM_{2.5}和 O₃-8h 浓度效果相对最好。

参考文献:

- [1] HJ 1130-2020, 环境空气质量数值预报技术规范[S].
- [2] 高愈霄, 汪巍, 黄永海, 等. 基于神经网络和数值模型的重点区域 PM_{2.5} 预报比较分析[J]. 环境科学, 2022, 43(2): 663-674.
Gao Y X, Wang W, Huang Y H, *et al.* Comparison and analysis of PM_{2.5} forecast in key areas based on neural network model and numerical model[J]. Environmental Science, 2022, 43(2): 663-674.
- [3] 芦华, 谢曼, 吴钰, 等. 基于机器学习的成渝地区空气质量数值预报 PM_{2.5} 订正方法研究[J]. 环境科学学报, 2020, 40(12): 4419-4431.
Lu H, Xie M, Wu Z, *et al.* Adjusting PM_{2.5} prediction of the numerical air quality forecast model based on machine learning methods in Chengyu region[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(12): 4419-4431.
- [4] 徐旗, 吴其重, 李冬青, 等. 北京市城六区 2018 年空气质量数值预报效果评估[J]. 气候与环境研究, 2020, 25(6): 616-624.
Xu Q, Wu Q Z, Li D Q, *et al.* Assessment of the air quality numerical forecast in the main district of Beijing (2018) [J]. Climatic and Environmental Research, 2020, 25(6): 616-624.
- [5] 周广强, 瞿元昊, 余钟奇. 长江三角洲城市臭氧数值预报与释用[J]. 中国环境科学, 2021, 41(1): 28-36.
Zhou G Q, Qu Y H, Yu Z Q. Numerical forecast and improvement of ozone over YRD cities[J]. China Environmental Science, 2021, 41(1): 28-36.
- [6] 朱媛媛, 高愈霄, 刘冰, 等. 京津冀秋冬季 PM_{2.5} 污染概况和预报结果评估[J]. 环境科学, 2019, 40(12): 5191-5201.
Zhu Y Y, Gao Y X, Liu B, *et al.* Concentration characteristics and assessment of model-predicted results of PM_{2.5} in the Beijing-Tianjin-Hebei region in autumn and winter[J]. Environmental Science, 2019, 40(12): 5191-5201.
- [7] 杨关盈, 石春娥, 邓学良, 等. 多模式集成方法在安徽地区 PM_{2.5} 预报中的应用研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(3): 806-816.
Yang G Y, Shi C E, Deng X L, *et al.* Application study of multi-mode integration method in PM_{2.5} forecast in Anhui Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(3): 806-816.
- [8] 胡鸣, 赵倩彪, 伏晴艳. 上海环境空气质量预报考核评分方法研究和应用[J]. 中国环境监测, 2015, 31(4): 54-57.
Hu M, Zhao Q B, Fu Q Y. Study on the method of environmental air quality forecast assessment score and application in Shanghai[J]. Environmental Monitoring in China, 2015, 31(4): 54-57.
- [9] 曹凯, 唐晓, 孔磊, 等. 京津冀及其周边地区“2+26”城市 PM_{2.5} 的蒙特卡罗集合预报试验[J]. 气候与环境研究, 2021, 26(2): 182-191.
Cao K, Tang X, Kong L, *et al.* Monte Carlo ensemble forecast experiment of PM_{2.5} in “2+26” cities in Beijing-Tianjin-Hebei [J]. Climatic and Environmental Research, 2021, 26(2): 182-191.
- [10] 李冬青, 吴其重, 徐旗, 等. 不同分辨率 CMAQ 模式系统对北京 PM_{2.5} 预报效果研究[J]. 环境科学学报, 2020, 40(5): 1587-1593.
Li D Q, Wu Q Z, Xu Q, *et al.* Study on the model performance of different resolution CMAQ Model System on Beijing PM_{2.5} forecast [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(5): 1587-1593.
- [11] Department for Environment Food & Rural Affairs. Air pollution forecast map [EB/OL]. <https://uk-air.defra.gov.uk/forecasting>, 2021-09-01.
- [12] AirNow [EB/OL]. <https://www.airnow.gov/state/?name=alabama>, 2021-09-01.
- [13] Government of Canada. Toronto-air quality health index [EB/OL]. https://weather.gc.ca/airquality/pages/onaq-001_e.html, 2021-09-01.
- [14] 王晓彦, 陈佳, 朱莉莉, 等. 城市环境空气质量指数范围预报方法初探[J]. 中国环境监测, 2015, 31(6): 139-142.
Wang X Y, Chen J, Zhu L L, *et al.* Discussion on the methods of urban ambient air quality index range forecasting [J]. Environmental Monitoring in China, 2015, 31(6): 139-142.
- [15] 中国环境监测总站. 环境空气质量预报成效评估方法技术指南[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [16] 中国环境监测总站. 关于印发《城市环境空气质量指数(AQI)预报评估技术规定(暂行)》和《区域环境空气质量预报评估技术规定(暂行)》的通知, 总站预报字〔2020〕549号[Z]. 2020.
- [17] HJ 633-2012, 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)[S].
- [18] Department for Environment Food & Rural Affairs. Daily air quality index [EB/OL]. <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info>, 2021-09-01.
- [19] Ayres J, Smallbone K, Holgate S, *et al.* Review of the UK air quality index[R]. Brighton: University of Brighton, 2011.
- [20] 中华人民共和国生态环境部. 2020 中国生态环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2021.
- [21] 孙峰, 姚欢, 刘保献, 等. 2013—2019 年京津冀及周边地区 PM_{2.5} 重污染特征[J]. 中国环境监测, 2021, 37(4): 46-53.
Sun F, Yao H, Liu B X, *et al.* Characteristics of PM_{2.5} heavy pollution in Beijing-Tianjin-Hebei and surrounding areas from 2013 to 2019[J]. Environmental Monitoring in China, 2021, 37(4): 46-53.
- [22] 党莹, 张小玲, 饶晓琴, 等. 北京与成都大气污染特征及空气质量改善效果评估[J]. 环境科学, 2021, 42(8): 3622-3632.
Dang Y, Zhang X L, Rao X Q, *et al.* Evaluation of air pollution

- characteristics and air quality improvement effect in Beijing and Chengdu[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(8): 3622-3632.
- [23] 张懿华. 长三角地区 $PM_{2.5}$ 区域性污染时空变化特征[J]. *环境科学研究*, 2022, **35**(1): 1-10.
- Zhang Y H. Spatial-temporal characteristics of $PM_{2.5}$ regional pollution in the Yangtze River Delta region[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, **35**(1): 1-10.
- [24] Griffin A. UK air quality forecasting: annual report 2011[R]. Harwell: Ricardo-AEA, 2013.
- [25] Griffin A, Fraser A. UK air quality forecasting: annual report 2012[R]. Harwell: Ricardo-AEA, 2013.
- [26] Lee P, McQueen J, Stajner I, *et al.* NAQFC developmental forecast guidance for fine particulate matter ($PM_{2.5}$) [J]. *Weather and Forecasting*, 2017, **32**(1): 343-360.
- [27] 刘凑华, 牛若芸. 基于目标的降水检验方法及应用[J]. *气象*, 2013, **39**(6): 681-690.
- Liu C H, Niu R Y. Object-based precipitation verification method and its application[J]. *Meteorological Monthly*, 2013, **39**(6): 681-690.
- [28] 盛春岩, 曲巧娜, 范苏丹, 等. 基于目标对象的数值模式区域降水预报选优方法[J]. *气象*, 2021, **47**(10): 1206-1218.
- Sheng C Y, Qu Q N, Fan S D, *et al.* Object-oriented selection method of numerical model regional precipitation forecast[J]. *Meteorological Monthly*, 2021, **47**(10): 1206-1218.

欢迎订阅 2022 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如工程索引 Ei Compendex;医学索引 MEDLINE;Scopus;化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

国内统一连续出版物号:CN 11-1895/X

国际标准连续出版物号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205

国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;E-mail:hjlx@rcees.ac.cn;网址:www.hjlx.ac.cn

CONTENTS

Development Scenarios and Environmental Benefits Analysis of Future Power Generation Industry Under Two Modes in China	LIU Chun-jing, LÜ Jian-yi, ZHAO Wen-chang, <i>et al.</i>	(3375)
Forecasting of Emission Co-reduction of Greenhouse Gases and Pollutants for the Road Transport Sector in Lanzhou Based on the LEAP Model	PANG Ke, ZHANG Qian, MA Cai-yun, <i>et al.</i>	(3386)
Discussion of Air Quality Forecasting Evaluation for Cities Based on Half-level Method	WANG Xiao-yan, ZHU Li-li, XU Rong, <i>et al.</i>	(3396)
Characterization and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} in Xiamen Port	XIAO Si-han, CAI Mei-jun, LI Xiang, <i>et al.</i>	(3404)
Deposition Characteristics of Water-soluble Inorganic Nitrogen and Organic Nitrogen in Atmospheric Precipitation in the Northern Suburbs of Nanjing	ZHANG Jia-ying, YU Xing-na, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i>	(3416)
Analysis of PM _{2.5} Transmission Characteristics in Main Cities of Jinzhong Basin in Winter	WANG Xiao-lan, WANG Yan, YAN Shi-ming, <i>et al.</i>	(3423)
Temporal Evolution and Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in Ordos During Summer and Autumn 2019	KONG Xiang-chen, ZHANG Lian-xia, ZHANG Cai-yun, <i>et al.</i>	(3439)
Characteristics, Sources, and SOAP of VOCs During Winter in Jiyuan	WANG Fang, LI Li-xia, WANG Hong-guo, <i>et al.</i>	(3451)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in August in the Chang-Zhu-Tan Urban Area	LUO Da-tong, ZHANG Qing-mei, LIU Zhan, <i>et al.</i>	(3463)
Ozone Sensitivity Analysis and Control Strategy in Shijiazhuang City in July 2019	ZHU Jia-xian, WANG Xiao-qi, OU Sheng-ju, <i>et al.</i>	(3473)
Spatiotemporal Variation and Influencing Factors of AOD in the North China Plain	GUO Lin, MENG Fei, MA Ming-liang	(3483)
Aerosol Optical Characteristics with Ground-based Measurements via Sun Photometer and Its Relationship with PM Particle Concentration in Chang'an	ZHENG Yu-rong, WANG Xu-hong, CUI Si-ying, <i>et al.</i>	(3494)
Spatial-temporal Distribution and Evolution Characteristics of Air Pollution in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Long-term "Ground-Satellite" Data	WANG Yao-ting, YIN Zhen-ping, ZHENG Zuo-fang, <i>et al.</i>	(3508)
Ten-year Trend Analysis of Eutrophication Status and the Related Causes in Lake Hongze	CHEN Tian-yu, LIU Chang-qing, SHI Xiao-li, <i>et al.</i>	(3523)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Phosphorus and Its Driving Factors	YANG Heng, LI Gui-fang, YE Yuan-hang, <i>et al.</i>	(3532)
Characteristics and Differences of Dissolved Oxygen Stratification in Different Tributaries of Three Gorges Reservoir During Impoundment Period	JI Dao-bin, FANG Jiao, LONG Liang-hong, <i>et al.</i>	(3543)
Dissolved Organic Matter Component and Source Characteristics of the Metropolitan Lakes and Reservoirs in a Typical Karst Region	NI Mao-fei, ZHOU Hui, MA Yong-mei, <i>et al.</i>	(3552)
Characteristics, Sources, and Risk Assessment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Water and Sediment of Luoma Lake	HUANG Jia-hao, WU Wei, HUANG Tian-yin, <i>et al.</i>	(3562)
Vertical Distribution Characteristics and Influencing Factors of Phytoplankton Community Structure in Qiandao Lake	WANG Ji-yi, HUO Di, GUO Chao-xuan, <i>et al.</i>	(3575)
Chemical Forms and Spatial Distribution of Phosphorus in the Sediment of Sihe River	ZHANG Zi-han, ZHANG Xin-ru, JIA Chuan-xing, <i>et al.</i>	(3587)
Influence of Optimal Land Use Allocation on Phosphorus Loss in the Process of Rainfall and Runoff	ZHOU Hao, CHEN Fang-xin, LUO Yi-feng, <i>et al.</i>	(3597)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Accumulated Heavy Metals in Bioretention Systems	CHU Yang-yang, YANG Long, ZHOU Yuan, <i>et al.</i>	(3608)
Effects of Damming and Impoundment on Planktonic Microbial Community Structure and Interspecific Interaction Patterns in Different Water Depths	WANG Xun, ZHANG Jia-jia, YUAN Qiu-sheng, <i>et al.</i>	(3623)
Identification of Bacterial Flora and Metabolic Function of Sediments in Different Channels of Duliujian River Basin, Tianjin	LIU Jia-yuan, FENG Yue, YANG Xue-chun, <i>et al.</i>	(3635)
Spatiotemporal Distribution and Source Apportionment of Suspended Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water	PENG Ke-xing, LI Rui-fei, ZHOU Yi-chen, <i>et al.</i>	(3645)
Spatial Variation and Potential Sources of Microplastics in Rivers in Tongzhou District, Beijing	MEN Cong, LI Di, ZUO Jian-e, <i>et al.</i>	(3656)
Effects of Microplastic Exposure on Crucian Growth, Liver Damage, and Gut Microbiome Composition	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Jin-bo, <i>et al.</i>	(3664)
Influence of Different Types of Dewatering Agents on the Solidification Effect and Physical and Chemical Properties of Sediment	REN Jun, YIN Peng, WANG Wei-zhen, <i>et al.</i>	(3672)
Structural Characteristics of Micro-nano Particle Size Biochar and Its Adsorption Mechanism for Cd ²⁺	MA Wen-yan, PEI Peng-gang, GAO Ge, <i>et al.</i>	(3682)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Different Biochar Types and Its Influencing Factors	LIAN Shen-hai, ZHANG Shu-nan, LIU Feng, <i>et al.</i>	(3692)
Development of Zeolite Loaded Mg-La-Fe Ternary (hydr)oxides for Treatment of Low Concentration Phosphate Wastewater	YIN Xue-jie, SONG Xiao-bao, DING Chen-man, <i>et al.</i>	(3699)
Succession and PICRUS2-based Predicted Functional Analysis of Microbial Communities During the Sludge Bulking Occurrence and Restoration in One-stage Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	LI Ya-nan, YAN Bing, ZHENG Rui, <i>et al.</i>	(3708)
Aerobic Granulation Stability and Microbial Diversity of Filamentous Bulking Sludge	GAO Chun-di, YANG Xiao-yang, OU Jia-li, <i>et al.</i>	(3718)
Dynamic Variation in Vegetation Cover and Its Influencing Factor Detection in the Yangtze River Basin from 2000 to 2020	XU Yong, ZHENG Zhi-wei, GUO Zhen-dong, <i>et al.</i>	(3730)
Enrichment and Ecological Risk Assessment of Available Phosphorus in Paddy Soil of Fujian Province Over Past 40 years	CHEN Zhong-xing, QIU Long-xia, CHEN Han-yue, <i>et al.</i>	(3741)
Effects of Land Use Change on Constitution, Stability, and C, N, P Stoichiometric Characteristics of Soil Aggregates in Southwest China Karst	HE Yu, SHENG Mao-yin, WANG Ke, <i>et al.</i>	(3752)
Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment of Mine Soil in Yangtze River Economic Belt	ZHANG Zhe, LU Ran, WU Si-yang, <i>et al.</i>	(3763)
Pollution Characteristics and Phytotoxicity of Heavy Metals in the Soil Around Coal Gangue Accumulation Area	SHANG Yu, SANG Nan	(3773)
Evaluation of Mercury Pollution in Soil of Different Land Use Types in Coal-fired Industrial Area	LI Qiang, YAO Wan-cheng, ZHAO Long, <i>et al.</i>	(3781)
Cadmium Enrichment and Bioavailability of Quaternary Profiles in Nansha District, Guangzhou, China	WANG Fang-ting, BAO Ke, HUANG Chang-sheng, <i>et al.</i>	(3789)
Health Risk Assessment and Environmental Benchmark of Heavy Metals in Cultivated Land in Mountainous Area of Northwest Guizhou Province	XU Meng-qi, YANG Wen-tao, YANG Li-yu, <i>et al.</i>	(3799)
Effect Factors and Model Prediction of Soil Heavy Metal Bioaccessibility	ZHANG Jia-wen, TIAN Biao, LUO Jing-jing, <i>et al.</i>	(3811)
Effect of Organic Material Amendments on Soil Respiration in Tobacco Fields of Central Henan	LU Qi-fei, YE Xie-feng, HAN Jin, <i>et al.</i>	(3825)
Methane Production Potential and Methanogenic Pathways in Paddy Soils Under Different Rice-based Cropping Systems	SHEN Wan-yu, HUANG Qiong, MA Jing, <i>et al.</i>	(3835)
Characteristics and Assembly Process of Reclaimed Soil Microbial Communities in Eastern Plain Mining Areas	MA Jing, DONG Wen-xue, ZHU Yan-feng, <i>et al.</i>	(3844)
Differences in Bacterial Community Structure in Rhizosphere Soil of Three <i>Caragana</i> Species and Its Driving Factors in a Common Garden Experiment	LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i>	(3854)
Comparison of Bacterial Community Structure and Functional Groups of Paddy Soil Aggregates Between Karst and Non-karst Areas	XIAO Xiao-yi, JIN Zhen-jiang, LENG Meng, <i>et al.</i>	(3865)
Contrasting Responses of the Microbial Community Structure and Functional Traits to Soil pH in Purple Soils	WANG Zhi-hui, JIANG Xian-jun	(3876)
Effects of Agricultural Organic Waste Incorporation on the Metabolic Capacity of Microbial Carbon Sources of Dissolved Organic Matter in Paddy Soil	XIAO Yi, LI Zheng, HUANG Rong, <i>et al.</i>	(3884)