超星·期刊

2020－2024 年忻州市近地面臭氧污染特征分析

史政都

（山西电子科技学院环境与生命科学学院，山西 临汾 041000）

摘要：利用 2020 年 1 月至 2024 年 12 月忻州市臭氧（O_3）监测数据，分析其臭氧污染特征。结果表明：2020－2024 年忻州市环境空气质量总体呈现改善趋势，O_3-8h-90%浓度值在 161～170 μg/m^3，2024 年 O_3 浓度较 2020 年下降 2.4%；O_3 浓度具有明显的季节变化特征，夏季＞春季＞秋季＞冬季，浓度最高值出现在 6 月份，最低值出现在 12 月份；O_3 浓度日变化特征呈现明显的单峰单谷型，谷值出现在 6:00－7:00，峰值出现在 15:00－16:00；O_3 浓度与 NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO 均呈负相关关系，与 NO_2 负相关程度最高。

关键词：臭氧污染；特征分析；忻州市

中图分类号：X51　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-9944(2025)20-0142-04

Analysis of Ground-Level Ozone Pollution Characteristics in Xinzhou City From 2020 to 2024

SHI Zhengdu

(*School of Environmental and Life Sciences, Shanxi University of Electronic Science and Technology, Linfen* 041000, *Shanxi, China*)

Abstract: Based on the ozone (O_3) monitoring data of Xinzhou City from January 2020 to December 2024, the characteristics of ozone pollution were analyzed. The results show that the ambient air quality in Xinzhou City shows an improvement trend from 2020 to 2024, and the concentration of O_3-8h-90% ranges from 161 to 170 μg/m^3, and the concentration of O_3 in 2024 decreases by 2.4% compared with that in 2020. The concentration of O_3 has obvious seasonal variation, which is summer＞spring＞autumn＞winter, with the highest concentration in June and the lowest concentration in December. The diurnal variation of O_3 concentration shows a single peak and single valley pattern, with the valley value occurring at 6:00~7:00 and the peak value occurring at 15:00~ 16:00 PM. The concentration of O_3 is negatively correlated with NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$ and CO, and the negative correlation with NO_2 is the highest.

Key words: ozone pollution; characteristic analysis; Xinzhou City

1　引言

臭氧（O_3）是一种蓝色、有刺激性特殊臭味的气体，平流层中的 O_3 可以吸收太阳紫外线，从而减少紫外线对地球生物的危害，但近地面 O_3 是一种有害气体，是光化学烟雾最主要的组成部分[1]。当 O_3 超过一定浓度时，会危害人体健康。同时，O_3 是一种强氧化剂，会降低植物光合作用，使叶片枯黄，造成农作物的减产。

自我国大气污染防治行动计划实施以来，整体的空气质量明显好转，但是 O_3 污染问题却日益凸显，根据 2023 年《中国生态环境状况公报》显示，全国 339 个地级及以上城市中，79 个城市 O_3 超标，占到 23.3%；以 O_3 为首要污染物的超标天数占到总超标天数的 40.1%，占比居于首位。许多专家学者对区域性 O_3 污染特征开展了大量研究，吴倩等[2]对 2018－2022 年湖北省臭氧污染特征进行分

收稿日期：2025-07-13

作者简介：史政都（1993－），男，硕士，助教，研究方向为大气污染控制。

超星·期刊

析,结果表明:时间上湖北省 O_3—8h 年均浓度呈现“N”形分布,空间上呈现“东部>中部>西部”的分布特征;冯春莉等[3]研究了徐州市臭氧污染特征,结果表明:O_3 浓度日变化呈单峰型,且高温时 O_3 前体物 VOCs 浓度明显高于平均值;胡亚男等[4]研究了内蒙古近地面污染时空分布特征,结果表明:O_3 超标率峰值主要出现在 5—7 月份,且高温、低湿、微风和较高的能见度均为诱发 O_3 污染的重要气象特征。

忻州市(38°6′—39°4′N,110°53′—113°58′E)位于山西省北中部,是以轻工业为主,同时发展煤、电、铝等重工业的综合性工业基地[5]。其山岳纵横、地貌多样,南、西、北三面环山,气候特征属于温带大陆性季风气候,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明。本文基于 2020 年 1 月至 2024 年 12 月忻州市环境空气质量监测数据,对 O_3 污染特征进行研究和分析,以期为忻州市 O_3 污染防治措施提供相关的科学依据。

2　数据来源与评价标准

2.1　数据来源

2020 年 1 月至 2024 年 12 月忻州市 O_3 日最大 8 h 滑动平均值数据来源于山西省生态环境监测和应急保障中心,逐小时数据来自中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台。

2.2　统计分析方法

O_3 的污染评价和分析依据《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)和《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012):O_3 的小时评价方法是 1 h 平均浓度(O_3-1 h),月评价和年评价标准为日最大 8 h 平均值第 90 百分位值(O_3-8 h-90%)。

3　结果与分析

3.1　忻州市 O_3 浓度年变化

2020—2024 年忻州市环境空气质量综合指数年均值分别为 4.96、4.46、4.21、4.36 和 4.42,年际变化整体呈下降趋势,说明忻州市环境空气质量总体呈现改善趋势,在省内 11 市排名分别为第 4、第 5、第 4、第 6 和第 7,排名有所下降。图 1 为 2020—2024 年忻州市 O_3-8 h-90%浓度变化情况,相较于 2020 年,2024 年 O_3-8 h-90%浓度降低了 2.4%,五年中 O_3-8 h-90%浓度值在 161～170 μg/m³,均已超过 O_3-8 h 二级标准限值 160 μg/m³,说明 O_3 污染形势依旧不容乐观,忻州市在控制 O_3 污染方面还需要进一步加强。

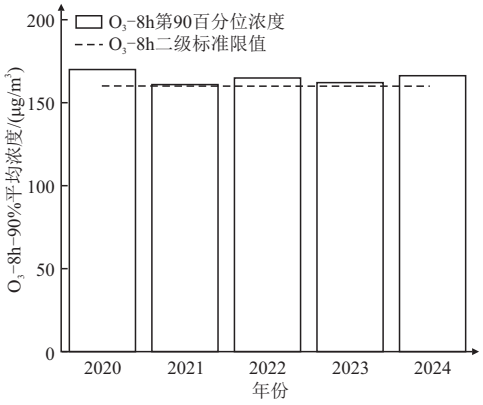


图 1　2020—2024 年 O_3-8 h-90%浓度变化

3.2　忻州市 O_3 浓度季节变化

2020—2024 年忻州市 O_3 季节平均浓度变化趋势如图 2 所示,忻州市 O_3 污染呈现出明显的季节性特征,夏季最高,各年平均值为 194、183、205、188、192 μg/m³;春季次之,各年平均值为 148、134、137、135、156 μg/m³;然后是秋季,各年平均值为 108、103、105、117、102 μg/m³;冬季浓度最低,各年平均值为 76、72、78、82、78 μg/m³。O_3 污染是 VOCs 和 NO_x 等前体物在太阳辐射下发生光化学反应,夏季太阳辐射强,有利于 O_3 生成;冬季紫外线强度低,同时颗粒物浓度较高,造成气溶胶光学厚度增大,削弱 O_3 生成率。

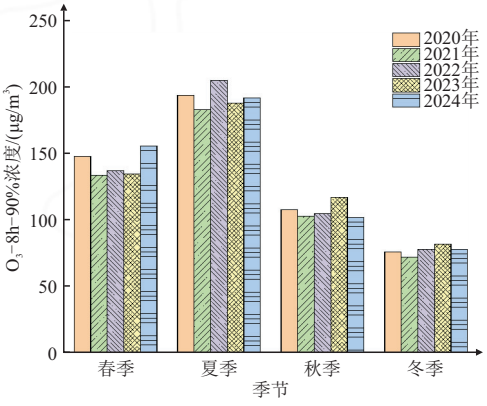


图 2　2020—2024 年 O_3 季节平均浓度变化

3.3　忻州市 O_3 浓度月变化

2020—2024 年忻州市 O_3 月平均浓度变化趋势如图 3 所示。由图 3 可知,2020—2024 年忻州市 O_3 浓度月变化呈先升后降的单峰型,即 1—6 月份 O_3 浓度不断上升,6—12 月份浓度水平逐渐下降,在 6 月份浓度达到最高,各年浓度平均值为 217、185、253、208、218 μg/m³,最低值出现在 12 月,各年浓度平均值为 58、57、71、71、64 μg/m³。有研究结果表明[6],O_3 浓度月变化特征随纬度的变化而

超星·期刊

变化，纬度高的地方，O_3 浓度月变化呈单峰型，而且纬度越高，单峰结构越明显，如沈阳市[7]、呼和浩特市[8]、太原市[9]等；在纬度较低的地方，O_3 浓度月变化呈双峰型，如宜春市[10]、成都市[11]、杭州市[12]等，本文的研究结论也正好验证了这一规律。

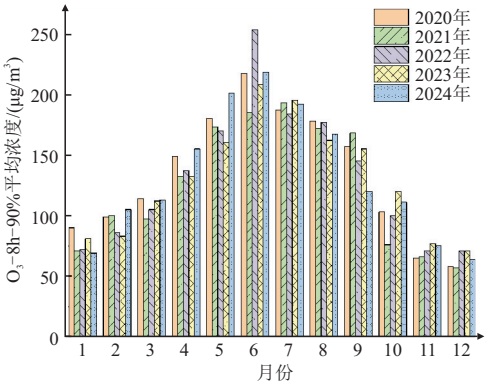


图 3　2020－2024 年 O_3 月平均浓度变化

3.4　忻州市 O_3 浓度日变化

统计 2020－2024 年忻州市 O_3-1 h 浓度均值，如图 4 所示。忻州市 O_3-1 h 日变化特征呈现明显的单峰单谷型，谷值出现在 6:00－7:00，峰值出现在 15:00－16:00，白天变化波动比较剧烈，晚上较为平缓。O_3 浓度变化与光化学反应、垂直混合、平流层输送等因素有关。日出后太阳辐射逐渐加强，同时气温升高，湿度降低，有利于臭氧生成，浓度不断上升。午后随着太阳辐射的减弱，O_3 生成速率逐渐降低，在夜间没有太阳辐射，主要以 NO_x 对 O_3 的消耗为主。

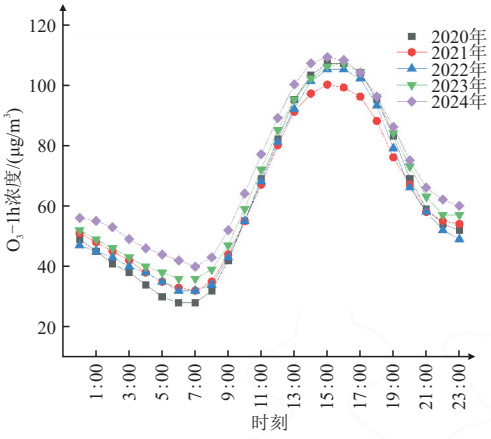


图 4　2020－2024 年 O_3-1 h 平均浓度变化

3.5　O_3 与其他污染物的关系

统计 2020 － 2024 年忻州市 NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、O_3 五种污染物小时浓度数据，如图 5 所示。由图 5 可以看出，O_3 与 NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO 均呈负相关关系，且 NO_2 负相关程度最高。对于大气污染中的 O_3 形成主要是前体物 NO_x、CO 和 VOCs 在光照作用下经过一系列的化学反应形成的二次光污染物[13]，所以 NO_2、CO 和 O_3 呈现一种此消彼长的关系，同时气溶胶对太阳辐射又会有影响，当 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度较高时，会增加气溶胶光学厚度，从而削弱了太阳辐射，影响 O_3 生成。

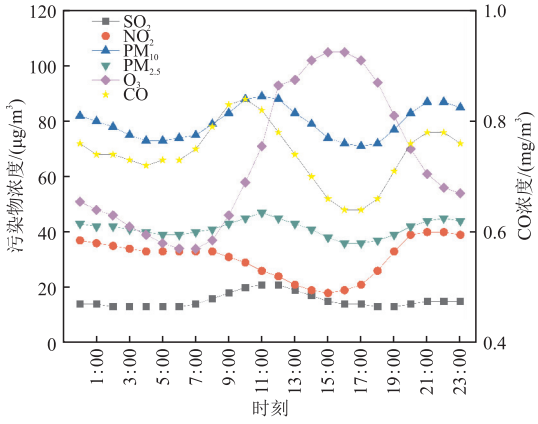


图 5　2020－2024 年不同污染物浓度变化

4　结论与建议

4.1　结论

(1)2020－2024 年忻州市 O_3-8 h-90%浓度值在 161～170 μg/m³，2024 年 O_3-8 h-90%浓度值较 2020 年下降了 2.4%，整体呈下降趋势。

(2)2020－2024 年忻州市 O_3 浓度呈现明显的季节性特征，夏季＞春季＞秋季＞冬季；O_3 月均浓度最高值出现在 6 月份，最低值出现在 12 月份。

(3)O_3 浓度日变化呈单峰单谷型，谷值出现在 6:00－7:00，峰值出现在 15:00－16:00。

(4)O_3 与 NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO 均呈负相关关系，与 NO_2 相关程度最高。

4.2　建议

(1)移动源是忻州市 O_3 污染前体物 NO_x 的主要来源，一方面可以通过调整公共交通、物流运输、工程机械能源使用结构，提升新能源利用率；另一方面增设自行车道和步行道系统建设，鼓励绿色出行，减少污染物排放。

(2)忻州市造成 O_3 污染的工业企业主要以电力、金属冶炼和压延加工、炼焦行业为主，一方面继续加大废气排放治理，严格执行行业超低排放标准，推行清洁生产技术，加快企业数字化、智能化进程；另一方面淘汰落后产能，布局新兴产业，如先进半导体产业、新材料产业、人工智能产业等，实现产业转型高质量发展。

(下转第 151 页)

超星·期刊

烷、乙苯占比排名前三,分别占 TVOCs 浓度的 40.88%(37.62 μg/m³)、7.57%(6.97 μg/m³)和 5.94%(5.47 μg/m³)。

(2)邢台市城区夏季 O_3 污染日和非污染日 OFP 值分别为 390.51 μg/m³、275.41 μg/m³,对 OFP 贡献较大前 10 VOCs 物种的总贡献率分别达到 82.20%和 74.65%,主要为 C_4～C_5 烷烃、C_2～C_5 烯烃和 C_8～C_{10} 芳香烃,包括顺-2-丁烯、环戊烷、乙苯、1,3-二乙基苯、异戊二烯等。

(3)异丁烷/正丁烷和间/对-二甲苯/乙苯(X/E)比值分析表明,邢台市夏季 VOCs 受机动车排放影响较大,远距离传输影响也不容忽视。PMF 分析表明,VOCs 来源有溶剂使用源、工业源、柴油车尾气源、汽油车尾气源、油气挥发源、植物源和燃烧源,贡献率分别为 19.43%、18.43%、14.32%、14.26%、11.43%、11.27%、10.86%,应重点加强有机溶剂使用管控和机动车尾气污染治理。

参考文献:

[1]周明卫,康平,汪可可,等. 2016—2018 年中国城市臭氧浓度时空聚集变化规律[J]. 中国环境科学,2020,40(5):1963-1974.

[2]Li J L, Zhang M G, Wu F K, et al. Assessment of the impacts of aromatic VOC emissions and yields of SOA on SOA concentrations with the air quality model RAMS-CMAQ[J]. Atmospheric Environment, 2017, 158: 105-115.

[3]张博韬,景宽,王琴,等. 北京城区夏季 VOCs 初始体积分数特征及来源解析[J]. 环境科学,2024,45(1):81-92.

[4]曹梦瑶,林煜棋,章炎麟,等. 南京工业区秋季大气挥发性有机物污染特征及来源解析[J]. 环境科学,2020,41(6):2565-2576.

[5]李会杰,东世宏,闫帅磊,等. 2018—2022 年邢台市 O3 污染特征及敏感性分析[J]. 环境监控与预警,2024,16(6):93-100.

[6]Carter W P L. Development of the SAPRC-07 chemical mechanism [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(40): 5324-5335.

[7]Zhang D, He B, Yuan M H, et al. Characteristics, sources and health risks assessment of VOCs in Zhengzhou, China during haze pollution season[J]. Journal of Environmental Sciences, 2021, 108: 44-57.

[8]张翼翔,尹沙沙,袁明浩,等. 郑州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析[J]. 环境科学,2019,40(10):4372-4381.

[9]Wang H L, Jing S G, Lou S R, et al. Volatile organic compounds (VOCs) source profiles of on-road vehicle emissions in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 607/608: 253-261.

[10]柯鹏振,胡金涛,吴雅琴,等. 咸宁市臭氧污染日 VOCs 组成及来源[J]. 环境科学与技术,2024,47(S1):102-110.

[11]张明棣,云龙,李成柳,等. 深圳市中心城区 VOCs 污染特征与臭氧来源量化分析[J]. 环境保护科学,2022,48(2):38-45.

[12]王鸣,陈文泰,陆思华,等. 我国典型城市环境大气挥发性有机物特征比值[J]. 环境科学,2018,39(10):4393-4399.

[13]Bari M A, Kindzierski W B. Ambient volatile organic compounds (VOCs) in communities of the Athabasca oil sands region: Sources and screening health risk assessment[J]. Environmental Pollution, 2018, 235: 602-614.

[14]Yurdakul S, Civan M, Kuntasal Ö, et al. Temporal variations of VOC concentrations in *Bursa* atmosphere[J]. Atmospheric Pollution Research, 2018, 9(2): 189-206.

[15]李云凤. 基于观测的北京市环境空气臭氧污染成因与来源分析[D]. 济南:山东大学,2021.

[16]刘芮伶,翟崇治,李礼,等. 重庆主城区夏秋季挥发性有机物(VOCs)浓度特征及来源研究[J]. 环境科学学报,2017,37(4):1260-1267.

[17]Liu P G, Yao Y C, Tsai J H, et al. Source impacts by volatile organic compounds in an industrial city of southern Taiwan[J]. Science of the Total Environment, 2008, 398(1/2/3): 154-163.

[18]叶露,邰菁菁,俞华明. 汽车工业区大气挥发性有机物(VOCs)变化特征及来源解析[J]. 环境科学,2021,42(2):624-633.

[19]Guan Y N, Wang L, Wang S J, et al. Temporal variations and source apportionment of volatile organic compounds at an urban site in Shijiazhuang, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2020, 97: 25-34.

[20]黄同林,王艳辉,王一秋,等. 聊城市秋冬季 VOCs 污染特征及来源解析[J]. 环境科学与技术,2024,47(1):189-200.

[21]齐一谨,王玲玲,倪经纬,等. 郑州市夏季大气 VOCs 污染特征及来源解析[J]. 环境科学,2022,43(12):5429-5441.

(上接第 144 页)

(3)加强环境监测能力,完善监测预警体系,掌握 O_3 和 VOCs、NO_x 等前体物浓度水平,深化数据分析,对臭氧污染进行精准、科学治理。

参考文献:

[1]贾静波. 锰基化合物催化分解气相臭氧的研究[D]. 北京:清华大学,2016.

[2]吴倩,刘丹,朱宽广,等. 2018—2022 年湖北省臭氧污染特征及气象条件影响分析[J]. 环境科学学报,2024,44(10):42-51.

[3]冯春莉,饶永才,李辉,等. 徐州市臭氧污染特征及前体物协同控制策略分析[J]. 环境科学学报,2023,43(5):325-332.

[4]胡亚男,王佳,徐丽娜,等. 内蒙古近地面臭氧污染时空分布特征及气象条件分析[J]. 中国环境监测,2022,38(5):65-72.

[5]刘凤娴,彭林,牟玲,等. 忻州市市区大气颗粒物中的元素组成特征[J]. 环境化学,2014,33(2):313-320.

[6]段晓瞳,曹念文,王潇,等. 2015 年中国近地面臭氧浓度特征分析[J]. 环境科学,2017,38(12):4976-4982.

[7]刘闽,王闯,侯乐,等. 沈阳臭氧污染时空分布特征及变化趋势[J]. 中国环境监测,2017,33(4):126-131.

[8]朝宝,马秀枝,萨日盖,等. 2016—2021 年呼和浩特市大气臭氧浓度变化特征分析[J]. 内蒙古气象,2023(1):14-19.

[9]史政都,田晋平,李秉正. 2015—2018 年太原市臭氧污染特征分析[J]. 能源环境保护,2020,34(2):99-104.

[10]刘慧婷. 宜春市中心城区臭氧污染变化分析[J]. 江西化工,2021,37(4):48-51.

[11]张青,宫正宇,孟晓艳,等. 成渝地区臭氧污染特征分析[J]. 环境科学与技术,2017,40(S1):9-11.

[12]张嘉月,康娜,邵生成,等. 杭州地区臭氧污染及台风烟花过程影响[J]. 中国环境科学,2024,44(3):1195-1203.

[13]卫尤文. 安徽省臭氧污染形成机制与改善路径研究[D]. 合肥:合肥学院,2020.