

苏州市 O₃ 污染气象要素影响分析¹

吴也正¹, 吴旻妍², 魏恒¹, 熊宇¹, 缪青¹

(1. 江苏省苏州环境监测中心, 江苏 苏州 215004;

2. 苏州市环境科学研究所, 江苏 苏州 215004)

【摘要】根据 2015-2017 年苏州市南门站 O₃ 污染物和相关气象要素数据, 分析了太阳辐射、相对湿度、风速风向、气温等气象要素对苏州市 O₃ 污染的影响。结果表明: 在太阳总辐射量在 300W/m² 以下时, O₃ 浓度随太阳总辐射量上升较快, 在此后则上升速度趋缓。O₃ 污染天湿度主要分布在 30%-60%, 而 O₃ 优良天的湿度主要在 50% 以上。风速较小时 O₃ 浓度较低, 风速较大时 O₃ 浓度相对较高。O₃ 中度污染时, 受东北偏东方向的 O₃ 及其前体物传输影响较大。在日最高气温高于 15℃ 时, 可能出现 O₃ 轻度污染; 最高气温高于 25℃ 时可能出现 O₃ 中度污染。

【关键词】污染; 气象条件; 苏州市

【中图分类号】X51 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1007-1504(2021)01-0001-05

臭氧(O₃)是氧的同素异形体, 在常温下它是一种具有特殊气味的蓝色气体。平流层集中了大气中 O₃ 的绝大部分, 臭氧层吸收了 90% 以上对生物有害的太阳短波辐射。但作为一种强氧化剂, 对流层特别是近地面大气中的 O₃ 不仅会提高大气氧化性, 浓度较高时还会直接对人体造成伤害。近地面大气中高浓度 O₃ 会影响植物生长、导致农作物减产^[1]。对流层臭氧在 960nm 波段大气红外线区有很强的红外吸收带, 也是一种重要的温室气体, 对全球气候变暖有正效应, 会影响地气系统的辐射平衡^[2]。在我国颗粒物污染得到有效治理的背景下, 以 O₃ 二次污染为典型特征的大气复合污染问题却日趋严重^[3-5]。近地面 O₃ 主要是由 NO_x 和 VOCs 在合适的气象条件下生成的二次污染物^[6-7]。因此, 研究气象要素及其他污染物对 O₃ 污染的影响十分重要。

作为长三角及苏南地区大气复合污染的典型城市, 近年来苏州市空气质量总体情况改善趋势明显, 轻度污染以上天气明显减少, 重污染天气发生的频次降低、强度减弱, 但污染正在不断加重。

本文采用 2015—2017 年苏州南门站大气污染物小时浓度数据和同期相关要素数据探讨 O₃ 浓度特征以及形成 O₃ 浓度变化趋势的相关因素, 以期为城市和区域大气 O₃ 污染治理和预报预警提供参考。

1 研究方法

1.1 污染物监测点位和监测时间

本文污染数据采用 2013—2017 年苏州市大气国控监测站点南门站小时数据开展分析。南门站位于苏州市环境科学研究所办

¹收稿日期: 2020-04-08

基金项目: 苏州市环保科技项目(A201903)

作者简介: 吴也正(1983-), 男, 江苏吴江人, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境监测工作。

公大楼四楼楼顶(E120° 37' 39", N31° 17' 11"), 见图 1。站点采样高度距离地面约 15m。站点布设符合《环境空气质量监测点位布设技术规范(试行)》(HJ 664-2013)相关要求, 采样口周围均满足 270。以上的弧形开阔空间, 附近无固定的废气污染源主要为居民区, 往北直线距离 500m 为苏州市护城河, 往南直线距离 370m 为苏州市南环高架路。

1.2 数据质量保证

为保证 O₃ 标准的溯源性和监测数据的准确性、可比性, 按时开展 O₃ 自动监测量值溯源, 并每周按《国家环境空气质量监测网城市站运行管理实施细则》要求对 O₃ 分析仪进行零跨检查和校准。

1.3 气象数据

本文中太阳总辐射量监测于南门站, 监测仪器为北京塞克玛 EMM-04o 风速、风向、温度、相对湿度等气象要素数据均为同期气象部门苏州站(E120° 356", N31° 17' 56") 气象监测数据, 距离南门站 4km。

2 结果分析

2.1 苏州市 O₃ 污染概况

2013—2017 年各月, 苏州市区 O₃ 浓度评价(日最大 8h 平均浓度第 90 百分位数)统计情况如图 2, O₃ 高浓度时段主要集中在每年的 4—9 月。基于 AQI 评价体系, 2013—2017 年苏州市区环境空气质量达标率呈现逐年上升趋势, 分别为 59.5%、63.6%、66.9%、69.0% 和 71.5%。同期 O₃ 各年评价(日最大 8h 平均浓度第 90 百分位数)分别为: 157、162、168、167 和 173 μg/m³, 除 2016 年与前一年基本持平外, 2014 年、2015 年和 2017 年 O₃ 日最大 8h 平均第 90 百分位数均大于前一年, 如图 3。从超标天数看, 2013—2017 年, 苏州市区 O₃ 超标天数分别为 32、41、43、51d 和 53d, 呈逐年递增趋势。

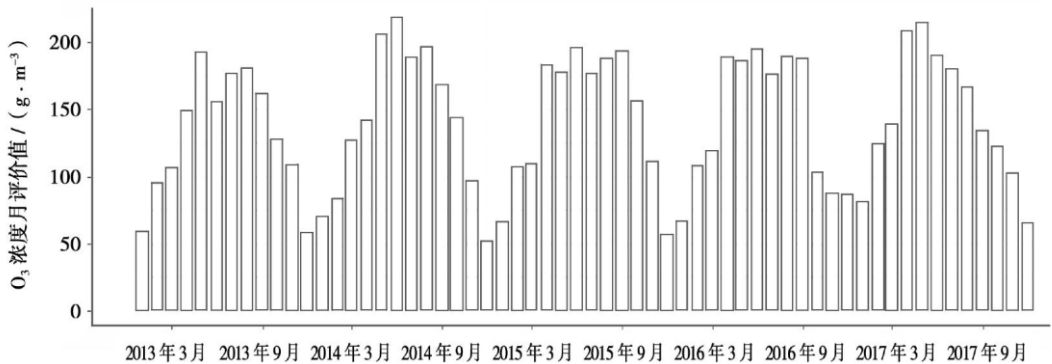


图 2 2013—2017 年苏州市区 O₃ 月浓度评价

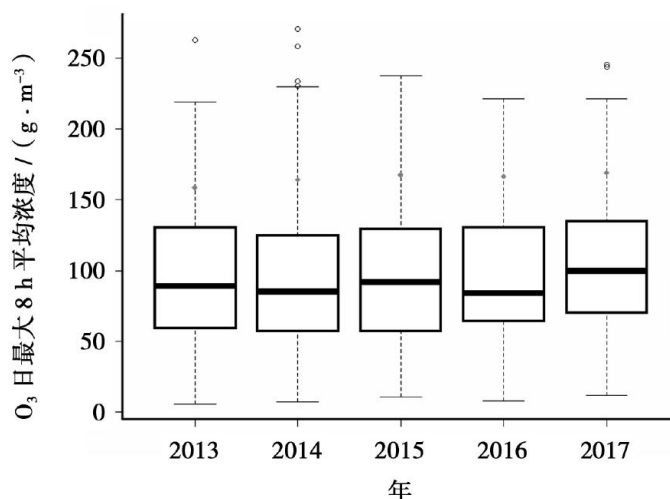


图3 2013—2017年苏州市区O₃日最大8 h平均浓度分布(实心点表示90百分位值)

2.2 太阳总辐射强度和相对湿度

影响分析

筛选苏州南门站2015—2017年O₃污染高发时段(4—9月每日09:00~16:00),并去除降水时段后,太阳总辐射强度影响方面,总体上O₃的浓度随着太阳总辐射的上升而上升,在太阳总辐射量在300W/m²以下时,O₃浓度随太阳总辐射量上升较快,在此后则上升速度趋缓;湿度的影响方面,O₃浓度较低时一般湿度较高,而O₃浓度较高时,湿度相对较低,如图4。

结合O₃各污染等级下的太阳辐射强度和相对湿度的频数统计(如图5),O₃污染等级为良以上时,太阳总辐射量主要分布在较高的水平段,O₃污染等级为优时,小时太阳总辐射量主要分布在300W/m²以下;对湿度而言,O₃污染天湿度主要分布在30%~60%,而O₃优良天的湿度主要在50%以上。

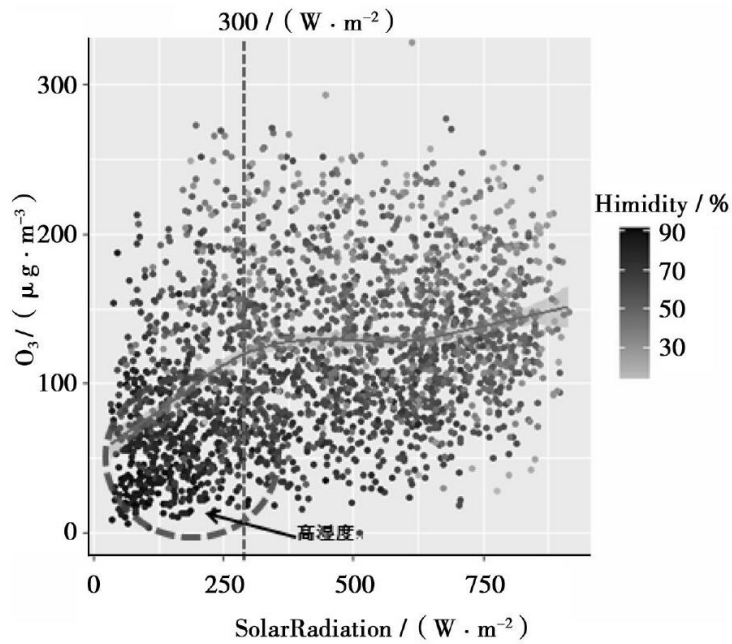


图4 O₃ 污染高发时段(4—9月每日09:00~16:00)
O₃ 与太阳辐射强度和环境湿度散点图

2.3 风速风向影响分析

通过分析各风速风向条件下的 O₃ 平均浓度(如图6),在 O₃ 污染日 IAQI 评价为优、良、轻度污染时,在各风向下分布状况比较相似,风速较小时 O₃ 污染物浓度较低,风速在约 5m/s 以上时浓度相对较高。O₃ 污染天的风速明显小于 O₃ 优良天中度污染天的风速又明显小于轻度污染天。当 O₃ 污染日 IAQI 评价为中度污染时,风速约为 5m/s 且东北偏东风时的 O₃ 的平均浓度明显高于其他风向风速,因此 O₃ 中度污染时, O₃ 的来源除本地生成外,来自东北偏东方向的及其前体物传输可能也是一个不可忽视的因素。

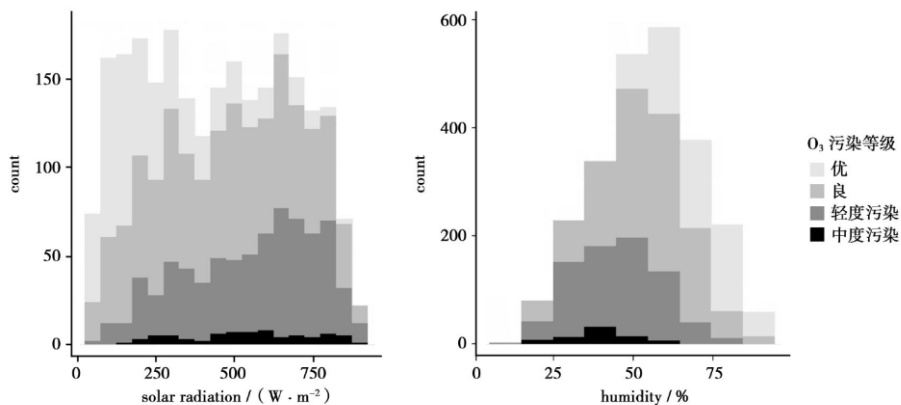


图5 不同 O₃ 污染等级下太阳辐射强度和相对湿度频数统计

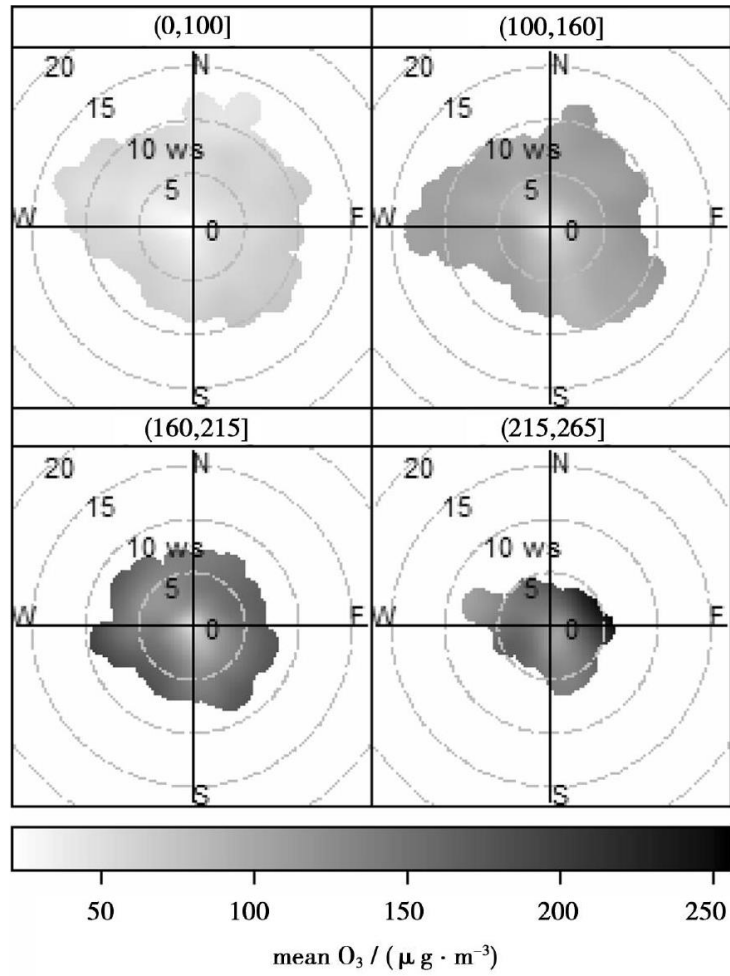


图6 在 O₃ 日评价为优、良、轻度污染、中度污染时
O₃ 小时平均浓度风玫瑰图

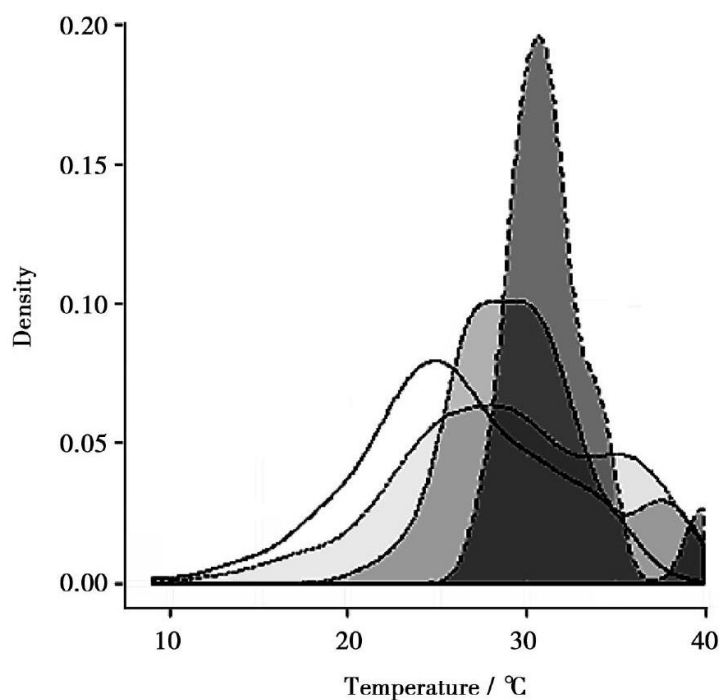


图7 在 O₃ 日评价为优、良、轻度污染、中度污染时
日最大气温概率分布

□优；■良；■轻度污染；■中度污染

2.4 气温影响分析

统计各污染等级下日最高气温的分布状况（如图7），随着气温的升高，O₃污染等级逐渐加重。在日最高气温高于15℃时，可能出现O₃轻度污染；最高气温高于25℃时可能出现O₃中度污染，气温在32℃时概率密度达到峰值；但当温度增加到37℃后，O₃超标率会有所下降。

2.5 典型 O₃ 污染过程气象条件分析

2017年7月25日至28日，苏州市发生了一次O₃污染过程。如图8所示，2017年7月25日至28日连续4d O₃浓度超标。结合太阳总辐射量和气温变化分析此次污染过程。25—28日最高气温均维持在25℃以上，太阳总辐射量逐日升高，这个时间段的气温和太阳总辐射量为光化学反应提供了较好的条件。结合风向、风速数据，本次过程中每日最大小时风速在3.9~6.0m/s（见表1），有利于O₃及其前体物O₃的输送和生成。

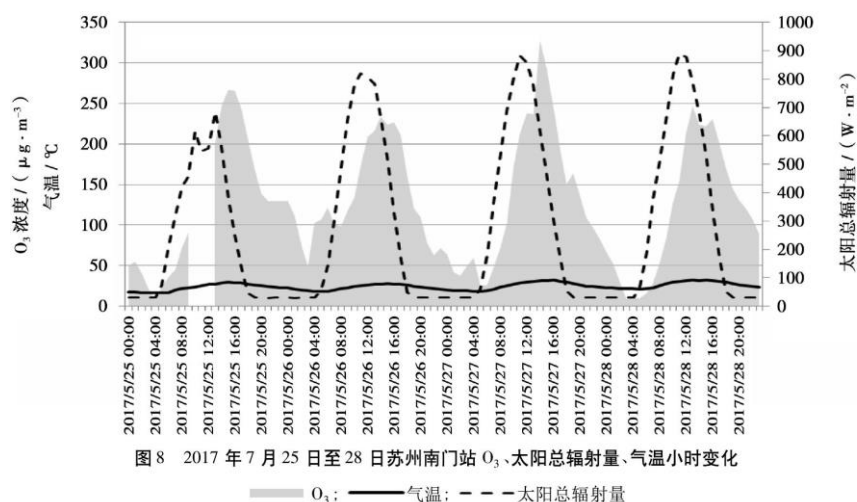


表 1 2017 年 7 月 25 日至 28 日空气质量实况和气象要素

日期	O ₃ 日最大 8h 浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	O ₃ 日最大小时浓度/ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	日最大小时风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	主导 风向	相对湿 度/%	太阳总辐射量/ ($\text{w}\cdot\text{m}^{-2}$)	日最高气温 /°C
7 月 25 日	245	267	4.8	N	57	230.2	29.4
7 月 26 日	207	234	3.9	N	60	285.0	27.4
7 月 27 日	241	328	4.4	S	54	293.1	31.8
7 月 28 日	208	247	6.0	SW	48	300.6	32.1

3 结论

1) 浓度随着太阳总辐射的上升而上升, 太阳总辐射量在 $300\text{w}/\text{m}^2$ 以下时, O₃ 浓度随太阳总辐射量上升较快, 在此后则上升速度趋缓; 浓度较高时, 湿度相对较低, O₃ 污染天湿度主要分布在 30%–60%, 而 O₃ 优良天的湿度一般在 50% 以上。

2) 风速较小时 O₃ 浓度较低, 风速较大时 O₃ 浓度相对较高。当 O₃ 污染物日 IAQI 评价为中度污染时, 东北偏东风向下 O₃ 的平均浓度较高, 说明 O₃ 中度污染时的来源除本地生成外, 来自东北偏东方向的 O₃ 及其前体物传输可能是一个不可忽视的因素。

3) 在日最高气温高于 15°C 时, 可能出现 O₃ 轻度污染; 最高气温高于 25°C 时可能出现 O₃ 中度污染; 但当温度增加到 37°C 后, O₃ 超标率会有所下降。

参考文献:

- [1] 石玉珍, 王庚辰, 徐永福. 北京市城近郊区光化学烟雾模拟研究[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 84–92.
- [2] Xie, B., H. Zhang, Z. L. Wang, et al. A modeling study of effective radiative forcing and climate response due to tropospheric ozone. Adv. Atmos. Sci., 2016, 33(7): 819–828.
- [3] 铁学熙, 戴文婷. 中国东部地区的 O₃ 污染形成机制及趋势的初步探讨[J]. 地球环境学报, 2016, 7(1): 37–43.

-
- [4]程麟钧, 王帅, 宫正宇, 等. 中国臭氧浓度的时空变化特征及分区[J]. 中国环境科学, 2017, 37(11):4003—4012.
- [5]李霄阳, 李思杰, 刘鹏飞, 等. 2016年中国城市臭氧浓度的时空变化规律[J]. 环境科学学报, 2018, 38(4):1263—1274.
- [6]Zhang Y N, Xiang Y R, Chan L Y, et al. Procuring the regional urbanization and industrialization effect on ozone pollution in Pearl River Delta of Guangdong, China [J] . Atmospheric Environment, 2011, 45 (28) :4898 — 4906.
- [7] Liu T, Li T T, Zhang YH, et al. The short-term effect of ambient ozone on mortality is modified by temperature in Guangzhou, China [J] .Atmospheric Environment, 2013(76):59—67.