

# Analysis of Causes and Control Measures of Ozone Pollution

Jiahui Li<sup>1</sup> Xin Li<sup>2</sup> Pengcheng Yan<sup>1</sup>

1. Nanjing Environmental Planning and Research Institute (Jiangsu) Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

2. Academy of Environmental Planning & Design, Co., Ltd., Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

## Abstract

With the improvement of urbanization level and the acceleration of industrialization process, the emissions of volatile organic compounds (VOCs) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) continue to be at high levels, resulting in an increasingly severe situation of near-ground ozone pollution. At present, ozone pollution has replaced particulate matter pollution as the main factor restricting the further improvement of excellent ambient air quality in China. This paper takes a city in the Yangtze River Delta as an example to analyze its ozone pollution situation, explore the main factors affecting ozone pollution, explain the main sources of ozone pollution, and propose targeted pollution measures from the aspects of comprehensive management, regional coordinated emission reduction, and monitoring and supervision capabilities.

## Keywords

ozone pollution; VOCs; NO<sub>x</sub>; environmental governance

# 大气臭氧污染成因分析及控制对策研究

李佳慧<sup>1</sup> 李鑫<sup>2</sup> 严鹏程<sup>1</sup>

1. 南大环境规划研究院(江苏)有限公司, 中国·江苏南京 210000

2. 南京大学环境规划设计研究院集团股份公司, 中国·江苏南京 210000

## 摘要

随着城市化水平提高和工业化进程加快, 中国挥发性有机物(VOCs)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放量持续处于高位, 导致近地面臭氧污染形势日益严峻。目前, 臭氧污染已取代颗粒物污染成为制约我国环境空气质量优良率进一步改善的主要因素。论文以长三角某市为例, 分析了其臭氧污染形势, 探究影响臭氧污染的主要因素, 阐述臭氧污染的主要来源, 从综合治理、区域协同减排、监测监管能力等方面提出针对性的污染治理策略, 以实现大气臭氧污染的有效治理。

## 关键词

臭氧污染; VOCs; NO<sub>x</sub>; 环境治理

## 1 引言

臭氧(O<sub>3</sub>)是大气化学重要的组成物质之一, 它对地气辐射平衡、生态环境等有着十分重要的影响。地球大气中90%以上的臭氧分布于平流层, 剩余10%左右的臭氧分布于对流层中<sup>[1]</sup>。平流层臭氧对全球地气辐射收支平衡起到关键作用, 一方面其作为“地球保护伞”, 通过吸收了大部分200~320nm的太阳紫外辐射对平流层大气加热, 保护了地球生物免受过多紫外线伤害; 一方面作为一种重要的温室气体, 其在9.6μm波段有很强的吸收带, 放出红外长波辐射对对流层起到明显加热效应<sup>[2]</sup>。对流层臭氧主要来源于挥发性有机物(VOCs)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等前体物光化学反应生成的二次污染物质。近地面臭氧的活性较强, 能够与多种物质

发生反应, 对人类活动、生态环境产生严重的影响<sup>[3]</sup>。研究表明, 近地面高浓度的臭氧对人体健康、植物生长有着显著的负面影响。

近年来, 中国环境空气质量持续改善, 区域细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)浓度普遍降低, 2023年地级及以上城市PM<sub>2.5</sub>年均浓度为30μg/m<sup>3</sup>, 较2019年下降16.7%, 但是臭氧改善形势并不明显, 2023年臭氧平均浓度为144μg/m<sup>3</sup>, 仍处于较高水平, 仅较2019年下降了2.7%。以臭氧为首要污染物的污染天已经逐渐超过以细颗粒物为主的污染天, 臭氧已经成为许多城市和地区环境空气质量进一步改善的主要制约因素。挥发性有机物(VOCs)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)作为臭氧生成的重要前体物排放量仍处于高位水平, 研究表明, 二者排放量是美国地区排放的二倍及以上, 居全球前列。因此, 推进挥发性有机化合物和氮氧化物协同减排, 加强大气污染治理和监测是减轻臭氧污染的关键措施。此背景下, 论文以某市为例探讨大气臭氧污染成因, 阐述污染的来源, 并制定针对性的解决策略, 以实现

【作者简介】李佳慧(1990-), 女, 蒙古族, 中国吉林白城人, 硕士, 工程师, 从事城市大气污染防治与环境规划研究。

臭氧的有效治理。

## 2 臭氧污染现状分析

2023年1—5月某市空气质量优良率较2022年同期有明显下滑,整体下降了2.8个百分点。如图1所示, $O_3$ 日最大八小时滑动平均第90百分位浓度为 $182\mu g/m^3$ ,同比恶化1.7%,尤其是3月份以臭氧为首要污染物的污染天较同期增加了4天,直接导致优良率明显下降。下文以该市3月份数据为主要分析基础,研究臭氧污染天增加原因。

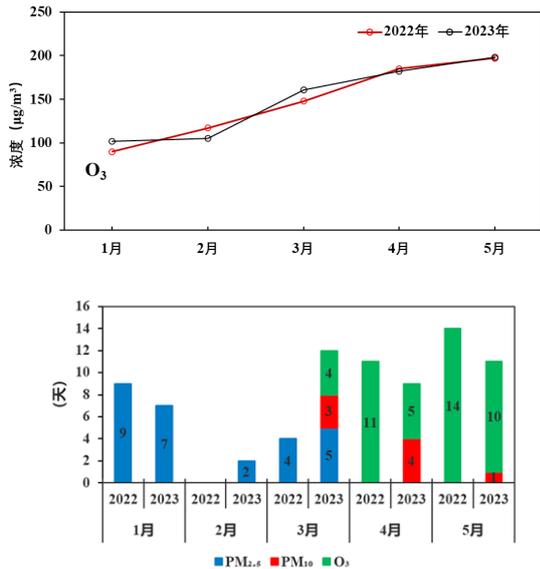


图1 某市2023年1—5月 $O_3$ 浓度及污染特征变化趋势

## 3 臭氧污染成因

臭氧污染受到内源排放、气象条件以及垂直水平传输等多方面影响。相较于其他市区,该市臭氧浓度处于较高水平且同比恶化。结合该市实际从温度、风速等气象要素,不同风向下 $O_3$ 生成速率、 $O_3$ 敏感性等角度分析该市 $O_3$ 污染主要成因。

### 3.1 气象条件影响

高浓度臭氧出现的气象条件一般表现为强辐射、高温低湿、少云和小风。研究表明,臭氧生成过程中,温度是臭氧二次生成的转化速率的影响因素之一,而不是决定条件,阳光照射产生的大气自由基所提供的大气氧化性才是臭氧生成的核心驱动力。近地面臭氧浓度与太阳辐射和气温有很好的相关性,太阳辐射强、气温高有利于臭氧生成相关的大气化学或光化学过程。而相对湿度可以直接影响大气中自由基的数量,从而对臭氧浓度产生影响。地面的小风速导致空气中的污染物扩散速度慢,使得污染物在空气中停留时间延长,有利于臭氧的累积和积聚。结合某市数据,2月和3月平均气温分别同比提高 $1.9^\circ C$ 和 $0.8^\circ C$ ,高于该市同级别其他5个市区。某市 $O_3$ 日最大8小时浓度和日最高气温的变化趋势相似,表明气温对 $O_3$ 浓度有重要影响。某市2023年3

月气温同比偏高、辐射增强,光化学反应增强是造成 $O_3$ 污染天显著增多的一大因素。

### 3.2 污染传输影响

臭氧污染的成因复杂,不同地区的臭氧污染特征与当地的气象条件和一次污染情况密切相关。此外,臭氧污染也具有长距离、跨区域水平输送的特性,传输过程对其生成和扩散起着重要作用。如上游区域产生的前体物通过气流输送到下游地区,间接导致下游区域臭氧浓度的升高。此外,平流层与对流层交换、洲际传输等大气动力相关过程也会对臭氧产生影响。2023年某市东南方向上风频同比明显增多,且东南风主导风向下该市臭氧上升最为显著,受传输影响明显增强。2023年1—5月某市平均风速为 $2.3m/s$ ,与2022年相比( $2.2m/s$ )基本持平,主导风向由东北风转向为东东北风及南东南风,东南风明显增多。根据2023年该市春季臭氧污染风玫瑰图上看,在春季东南风、偏南风、西南风主导且风速较大时易出现 $O_3$ 浓度高值,风速大于 $2m/s$ 时臭氧浓度均处于较高水平,且当主导风向为偏南风且风速大于 $4m/s$ 时污染浓度出现浓度高值。2022—2023年某市2—5月污染风玫瑰图如图2所示。

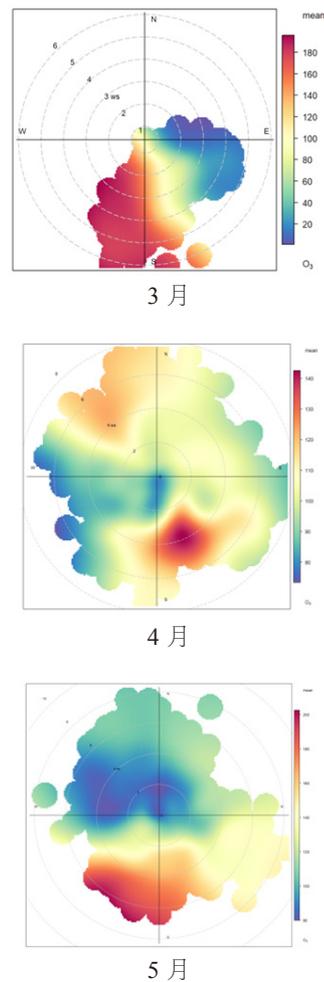


图2 2023年2—5月某市臭氧污染风玫瑰图

当主导风向为偏北风时,臭氧生成速率与温度呈非线性

性相关,表明该方向存在随机影响因素,或在正处于风向转变的特殊天气形势过程中,贡献源并不稳定。当主导风向为偏南风、东南风时,随着温度升高, $O_3$ 生成速率增大, $O_3$ 生成速率与气温的呈线性相关(见图3)。 $O_3$ 的快速生成对于中午前后该市本地 $O_3$ 峰值浓度起到了决定性的作用,因此,东南方向上风频增多也是该市 $O_3$ 污染加剧的原因之一。

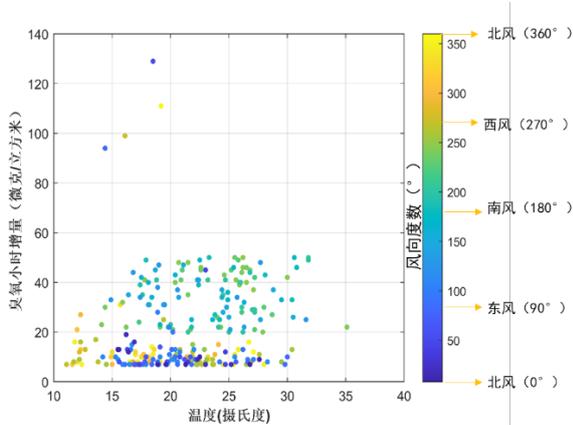


图3 不同主导风向下 $O_3$ 生成速率与日最高气温相关性

### 3.3 臭氧敏感性角度

该市春季处于VOCs及氮氧化物混合控制区,夏季则明显处于氮氧化物控制区。该市 $NO_2$ 浓度较2022年有明显增加(同比恶化11.1%)。由于该市处于 $NO_x$ 控制区, $NO_x$ 浓度升高易造成 $O_3$ 大幅度升高。以某超标天为例,对比该市其他地级市,仅该市臭氧超标,当日该市 $NO_2$ 浓度最低,但相较于前一日,该市 $NO_2$ 同比上升25%,恶化程度最为明显。

## 4 臭氧污染的控制对策

当前中国正处于持续推动环境空气质量改善的关键时期,这一时期对区域协同治理、重点行业污染治理以及监测监管有效性等提出了更高的要求。基于以上分析结果,为扭转臭氧恶化形势,持续改善环境空气质量,提出以下建议。

### 4.1 深入推进臭氧污染成因研究

厘清臭氧污染生成机制,识别臭氧污染主控因子和影响因素。开展臭氧生成潜势大的VOCs关键物种排放清单研究,加强空气质量与污染源、气象条件关联分析,推动臭氧污染溯源追踪与成因研判。

### 4.2 推进VOCs精细化治理

建立城市精细化VOCs排放清单,摸清重点行业和企业VOCs排放特征。在此基础上,研究行业企业深度治理

技术路线。针对石化、化工、涂装、包装印刷等重点行业,需强化源头减排,落实全过程管理,提高源头替代率、收集效率和处理效率,对存在问题或者排放量大的企业需编制VOCs治理方案,实施减排治理工程。

### 4.3 推动重点污染物协同减排

臭氧和 $PM_{2.5}$ 具有同源性,两者有共同的前体物。需研究建立 $PM_{2.5}$ 和臭氧协同控制机制,着力推进VOCs和 $NO_x$ 协同减排。坚持“减污降碳协同增效”,推动大气污染物和温室气体协同减排。

### 4.4 深化区域联防联控机制

优化区域一省一市一县细颗粒物( $PM_{2.5}$ )和臭氧等污染物协同减排和责任分配机制。统一污染天应急启动标准,实施统一预警溯源、统一监管执法、统一考核评估与奖惩,构建大气环境管理长效机制。

### 4.5 强化臭氧监测能力建设

加大臭氧监测工作力度,构建重点污染物监测网络,加强城市上下风向和重点区域的VOCs、氮氧化物等对臭氧生成影响较大前体物的监测,掌握其浓度水平、主要来源和传输路径等,支撑大气污染协同治理。加强监测数据分析,提高污染预警预报能力。强化重点污染源监测监控,构建覆盖重点工业企业固定源排放、无组织排放、厂区厂界排放、非正常工况排放等监测预警网络。

### 4.6 加强执法监管能力建设

加强基层执法监管能力,通过定期培训和执法比武等手段,提升执法队伍的业务素质。加强对基层环境执法的业务指导,将环境执法力量向乡镇延伸,打造一支覆盖各乡镇街道、工业集中区的基层环境执法监管队伍。建立以污染源自动监控为主的非现场监管执法体系,加强污染源自动监测设备运行监管,提高监测数据质量,确保数据能够及时且完整传输。加强执法APP、便携式监测设备、自动监控、卫星遥感、无人机、VOCs走航监测等配备和应用,提升执法效能。持续加强重点领域监督执法,依法依规打击废气治理设施与自动监控设备不正常运行、偷排漏排、数据造假等行为。

### 参考文献

- [1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等.大气物理学(第2版)[M].北京:北京大学出版社,2013.
- [2] 张健恺,刘玮,韩元元,等.平流层臭氧变化对对流层气候影响的研究进展[J].干旱气象,2014,32(5):685-693.
- [3] 易睿.长江三角洲地区城市臭氧污染特征与影响因素分析[J].环境科学学报,2015,35(8):2370-2377.