

典型化工区的大气智慧管控体系及应用研究

李丽婷

上海化学工业区管理委员会

DOI:10.12238/eep.v8i5.2705

[摘要] 大数据、云计算等信息技术的发展应用,为环境网格化监控提供了强有力的技术支持。为提升区域环境空气质量监测精度,本文聚焦于典型化工园区,引入大气网格化监测系统,该系统通过精细化采集大气污染浓度数据,可生成更贴合实际情况的空气质量监测结果,为精准实施大气污染防治措施提供依据。

[关键词] 化工区; 大气污染; 智慧管控体系; 环境保护

中图分类号: X131.1 文献标识码: A

Research on the Smart Atmosphere Management and Control System and Its Applications in Typical Chemical Industrial Areas

Liting Li

Shanghai Chemical Industry Park Management Committee

[Abstract] The development and application of information technologies such as big data and cloud computing have provided strong technical support for environmental grid monitoring. To enhance the accuracy of regional air quality monitoring, this paper focuses on typical chemical industrial parks and introduces an atmospheric grid monitoring system. This system, by collecting fine-grained data on air pollution concentrations, can generate air quality monitoring results that are more in line with the actual situation, providing a basis for the precise implementation of air pollution prevention and control measures.

[Key words] industrial district; atmospheric pollution; grid monitoring; environmental protection

在当今时代,环境保护与可持续发展已成为全球共识,智慧环保作为新兴模式,正引领着环境治理进入一个全新的阶段。其中,网格化大气监测平台以其高度集成、实时响应、精准管理的特点,成为城市空气质量改善的关键推手^[1]。近年来,典型化工区大气环境污染问题日益凸显,特别恶臭或异味扰民、挥发性有机物(VOCs)污染现象频繁出现。由于产业特征和发展需求,区内工业溶剂、涂料、燃料等使用量不断扩大并复杂化,而生物质燃烧、油料泄漏、溶剂和涂料的挥发都是大气VOCs的主要来源^[2-3]。污染治理需要从环境污染发展情况和污染源所在位置入手^[4-5],通过科学的措施改变当前环境质量。本文以典型化工园区为例,采用空气质量自动监测微站和环境大数据分析平台,构建大气网格化监测系统,基于2024年监测数据分析站点空气质量监测结果和网格污染物特征。

1 监测网络

特征污染监测体系的构建旨在即时精准地把握工业园区大气环境中特定污染物的浓度水平,为环境预警、应急处置等决策奠定数据基础。环境监测数据的代表性高度依赖监测点位的密度,点位密度越高,所获取的监测信息覆盖越全面。因此,监测网

络的布设旨在以最小点位规模,获取最具代表性、能够有效反映环境质量状况的监测信息。该化工分区现已建成6个园区空气监测站,监测因子包括:二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、一氧化碳(CO)、颗粒物(PM_{2.5}和PM₁₀)、臭氧(O₃)、挥发性有机物(VOCs)、气象五参数。



图1 园区空气监测站位置

2 数据分析

2.1 站点污染日历

根据2024年站点监测数据分析,该区域全年环境空气质量优良天数314天、优良天数率85.79%,首要污染物集中在 O_3 、 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 和 PM_{10} ,污染天数分别是152天、53天、35天和9天。

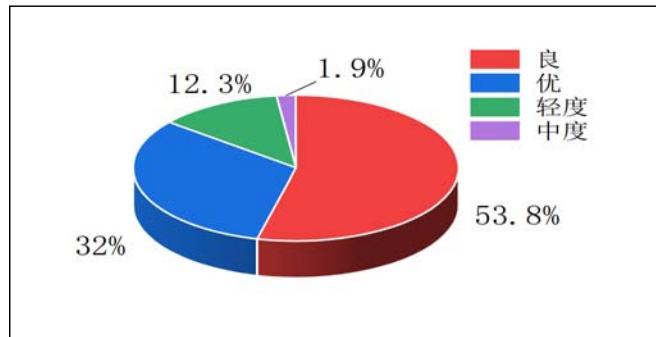


图2 2024年站点空气质量分布图

2024年1月有2天中度污染天气,集中在1月6日和1月11日;轻度污染天气集中在4日、10日、12日、13日、27日和28日。污染日集中于冬季扩散不利期(1月、12月)和夏季光化学活跃期(6~8月);轻度及以上污染共103天(28.2%),其中中度污染主要来自1月 $PM_{2.5}$ (1月6日AQI=166)及夏季 O_3 (6月4日AQI=151,8月2日AQI=173)。



图3 2024年站点每月AQI分布图

下图为该典型化工园区大气环境主导风向分布示意图,直观呈现了研究区域内不同风向的出现频次或占比特征。不同风向的频次分布存在显著差异,其中部分风向(如北风、西北偏北风等)的频次数值相对较高,提示其可能为该区域的主导风向类型;而其余风向(如东风、西风等)的频次数值较低,表明其出现频率较低。

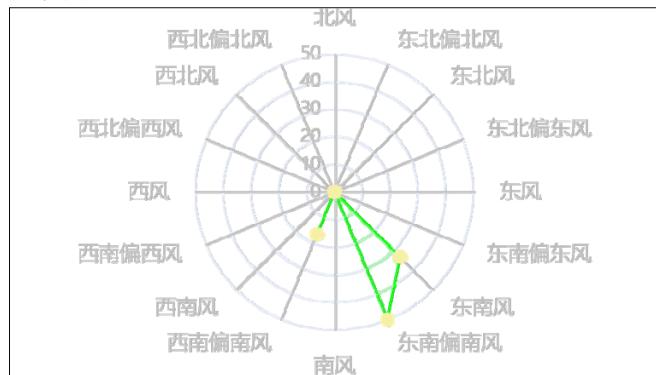


图4 主导风向图

2.2 污染物月变化趋势及分析

基于全年污染监测数据,2024年大气污染呈现显著的“季节分异特征”与“污染物类型交替规律”。冬春季(1~3月)以颗粒物污染为主, $PM_{2.5}$ 作为首要污染物占比达78%(其中1月出现年度最高值 $PM_{2.5}=130\mu g/m^3$),伴随 NO_2 阶段性升高(1月5日 $NO_2=74\mu g/m^3$;夏秋季(4~10月)时,臭氧(O_3)成为主导污染物,其作为首要污染物的天数占比达62%, O_3 -8h浓度频次突破 $160\mu g/m^3$ (4月9日达 $179\mu g/m^3$,7月5日创年度峰值 $253\mu g/m^3$);秋冬季节过渡期(11~12月),回归颗粒物与氮氧化物复合污染, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及 NO_2 协同升高(12月6日 $PM_{2.5}=106\mu g/m^3$, $NO_2=64\mu g/m^3$)。 NO_2 作为首要污染物集中在生产活动高峰期(1月、3月、11~12月),与工业排放相关性显著(如12月31日 $NO_2=62\mu g/m^3$); O_3 与前体物(VOCs/ NO_x)的耦合效应突出,夏季 O_3 轻度污染持续最长超7日(7月3~9日)。

本研究区域大气污染物呈现显著的季节性复合污染特征,冬季(1月、12月)受不利扩散条件及燃煤供暖影响, $PM_{2.5}$ 月均浓度达 $65\sim72\mu g/m^3$,1月峰值高达 $130\mu g/m^3$,同期 PM_{10} 亦同步升高(1月均值 $86\mu g/m^3$,12月6日达 $112\mu g/m^3$)。 NO_2 受工业排放与交通源叠加影响,1月、12月均值达 $45\sim55\mu g/m^3$ (12月2日峰值 $76\mu g/m^3$),与 $PM_{2.5}$ 呈显著正相关($r>0.7$),反映燃煤及机动车排放的协同贡献。春季(3~4月)受北方沙尘传输影响, PM_{10} 出现次高峰(3月20日 $154\mu g/m^3$,4月19日 $170\mu g/m^3$)。夏秋季(6~9月)扩散条件改善, $PM_{2.5}$ 降至 $20\sim35\mu g/m^3$,但臭氧(O_3)污染凸显,5月起浓度陡升,6~8月 O_3 -8h月均浓度超 $130\mu g/m^3$,7月峰值达 $253\mu g/m^3$,8月10日仍维持 $205\mu g/m^3$,反映强日照条件下VOCs与 NO_x 光化学反应活跃;而 NO_2 浓度则降至 $20\sim25\mu g/m^3$,提示交通源强度减弱与大气扩散增强的共同作用。10月后臭氧快速衰减(12月均值 $<60\mu g/m^3$)。上述规律揭示了冬春季“颗粒物- NO_2 ”耦合污染与夏秋季“ O_3 -VOCs/ NO_x ”非线性响应的复合污染特征。

表1 污染因子浓度情况

污染物	高峰月份	低谷月份	年均浓度	年度峰值及日期
$PM_{2.5}$	1月 ($72\mu g/m^3$)	8月 ($18\mu g/m^3$)	$38\mu g/m^3$	$130\mu g/m^3$ (2024-02-10)
PM_{10}	3月 ($94\mu g/m^3$)	9月 ($28\mu g/m^3$)	$52\mu g/m^3$	$170\mu g/m^3$ (2024-04-19)
O_3	7月 ($168\mu g/m^3$)	12月 ($58\mu g/m^3$)	$112\mu g/m^3$	$253\mu g/m^3$ (2024-07-05)
NO_2	12月 ($51\mu g/m^3$)	8月 ($22\mu g/m^3$)	$38\mu g/m^3$	$76\mu g/m^3$ (2024-12-02)

SO_2 与 NO_x 的峰值主要集中于年初与年末,已有研究普遍指出^[6~8],我国典型气态污染物(CO 、 SO_2 、 NO_2 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10})的季节分布具有冬季峰值、夏季谷值的共同特征。其中, SO_2 在高温、高湿、较大风速及明显降水的情境下清除效率最高;相反,在日照充沛的高压控制区内,其去除效率反而受限。研究区域毗邻杭州湾,属亚热带季风型气候,兼具高温与较高湿度的双重特征,为 SO_2 提供了相对优越的去除环境,因而除冬季略有升高外,其余春夏时段浓度均处于低位。 NO_x 的排放以工业源和机动车源为

主^[9],是光化学臭氧生成的前体物,其浓度变化对太阳辐射强度极为敏感。夏季因辐射增强,NO_x经光解反应迅速消耗,浓度随之下降;冬季辐射减弱,光化学反应活性降低,消耗量减少,加之低压环流抑制了污染物的扩散与稀释,导致NO_x在冬季出现累积性升高^[10]。

数据表明需建立季节差异化管控策略,冬季强化颗粒物与NO_x协同减排,夏季重点管控VOCs/NO_x光化学反应前体物,同时加强跨季度污染过程的动态预警能力。

3 结论

基于2024年典型化工园区网格化监测数据与空气质量模型分析,本研究得出以下结论:

(1)区域大气污染呈现显著的季节交替与复合污染特征:冬季以PM_{2.5}-NO₂协同污染为主,1月PM_{2.5}峰值达130μg/m³,NO₂最高高达76μg/m³;春、冬季沙尘传输导致PM₁₀出现次高峰(4月19日170μg/m³);夏季臭氧污染突出,7月03-8h峰值达253μg/m³,占全年首要污染物天数的62%,并与VOCs/NO_x呈非线性光化学反应关系。

(2)差异化管控策略可有效降低污染风险:冬季需重点强化工业及机动车排放的颗粒物与NO₂协同减排;夏季应以前体物削减为核心,重点控制VOCs与NO_x排放,阻断O₃光化学生成;春、冬季沙尘期间需启动区域联动应急措施,降低PM₁₀暴露风险。

(3)网格化智慧管控体系实现精准治理:通过6个园区微站与大数据平台实时联动,可提前1-2天预测污染过程,指导企业错峰生产与交通流量调控,验证“监测-预警-调控”闭环管理模式的有效性。

【参考文献】

[1]潘勇.探究大气污染防治网格化监测的应用[J].皮革制作与环保科技,2023,4(03):51-53.

[2]MO Ziwei,SHAO Min,LU Sihua.Compilation of a source profile database for hydrocarbon and VOC emissions in China[J].

Atmospheric Environment,2016,143:209-217.

[3]LYU Xiaopu,CHEN Nan,GUO Hai,et al.Ambient volatile organic compounds and their effect on ozone production in Wuhan,Central China[J].Science of the Total Environment,2016,548/549(60):483-483.

[4]尚伟,白笑晨,孙亚刚,等.大气网格化监测系统的构建及其在区域环境空气质量精细化管理中的应用[J].环境工程学报,2022,16(09):3081-3091.

[5]张霞,刘文楚,孟双双,等.环境空气质量监测数据采集与传输的标准化研究及设计[J].中国环境监测,2022,38(06):152-160.

[6]董佳丹,陈晓玲,蔡晓斌,等.基于中国大气环境监测站点的2015-2019年大气质量状况时空变化分析[J].地球信息科学学报,2020,22(10):1983-1995.

[7]楼俊伟,何叶萍,高昕瑜.武义县大气污染物浓度变化特征及气象要素影响分析.中国环境科学学会2022年科学技术年会论文集,489-496.

[8]钟漂斯.广州市黄埔区臭氧污染特征研究[D].广州:广州大学,2018.

[9]Yang Y Q,Wang J Z,Gong S L,et al.PLAM-a meteorological pollution index for air quality and its applications in fog/haze forecasts in North China[J].Copernicus Publications,2016,16(3):1353-1364.

[10]He J J,Gong S L,Yu Y,et al.Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014-2015 in major Chinese cities[J].Elsevier Ltd,2017,223:484-496.

作者简介:

李丽婷(1979--),女,汉族,上海人,研究生,工程师,上海化学工业区管理委员会,主要从事化工区管理方面的工作。