

# 无锡市新吴区夏冬季VOCs走航数据的时空分布特征

华青

无锡市生态环境监测监控中心新吴分中心, 江苏 无锡

收稿日期: 2026年4月17日; 录用日期: 2026年5月15日; 发布日期: 2026年5月28日

## 摘要

挥发性有机化合物(VOCs)是大气环境中重要的前体污染物,对臭氧和二次有机气溶胶的生成具有重要贡献。研究基于2024年夏季(7~8月)和冬季(12月~次年1月)无锡市新吴区走航监测数据及同步气象数据,系统分析了该区域VOCs的时空分布特征及成因机制。研究表明,新吴区夏季VOCs平均浓度为140.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,冬季为180.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,冬季浓度显著高于夏季,增幅达28.5%。空间分布上,旺庄街道和江溪街道为VOCs高值区,主要受工业排放和交通源影响。组分分析显示,烷烃和芳香烃为优势组分,夏季烷烃占比32.5%,冬季芳香烃占比上升至31.4%。日变化特征呈现双峰型,早晚高峰时段浓度明显升高。结合气象因素分析,冬季边界层压缩与静稳天气是浓度剧增的主导因素。基于上述特征,提出了差异化的VOCs精准管控建议,研究结果可为新吴区大气污染防治提供科学依据。

## 关键词

VOCs, 走航监测, 时空分布, 气象机制, 无锡新吴区

# Spatiotemporal Distribution Characteristics of VOCs Mobile Monitoring Data in Summer and Winter in Xinwu District, Wuxi City

Qing Hua

Xinwu Branch of Wuxi Municipal Ecological Environment Monitoring Center, Wuxi Jiangsu

Received: April 17, 2026; accepted: May 15, 2026; published: May 28, 2026

## Abstract

Volatile organic compounds (VOCs) are important precursor pollutants in the atmospheric environment,

contributing significantly to the formation of ozone and secondary organic aerosols. This study systematically analyzed the spatiotemporal distribution characteristics and formation mechanisms of VOCs in Xinwu District, Wuxi City, based on mobile monitoring data and synchronous meteorological data from the summer (July-August) and winter (December-January) of 2024. The results showed that the average VOCs concentration in Xinwu District was  $140.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in summer and  $180.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in winter, with the winter concentration significantly higher than the summer concentration, increasing by 28.5%. Spatially, Wangzhuang Street and Jiangxi Street were high-value VOCs areas, mainly affected by industrial emissions and traffic sources. Component analysis showed that alkanes and aromatic hydrocarbons were the dominant components, with alkanes accounting for 32.5% in summer and aromatic hydrocarbons increasing to 31.4% in winter. The diurnal variation exhibits a bimodal pattern, with significant increases in concentration during the morning and evening peak periods. Combined with meteorological factor analysis, boundary layer compression and stable weather conditions in winter are the dominant factors driving the dramatic increase in concentration. Based on these characteristics, this study proposes differentiated and precise VOCs control recommendations. The results of this study can provide a scientific basis for air pollution prevention and control in Xinwu District, Wuxi.

## Keywords

VOCs, Mobile Monitoring, Spatiotemporal Distribution, Meteorological Mechanism, Wuxi Xinwu District

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

挥发性有机化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)是指在标准状态下饱和蒸气压大于 70 Pa、常压下沸点在  $260^\circ\text{C}$  以下的有机化合物,是大气环境中重要的前体污染物。VOCs 不仅对人体健康具有直接危害,还是臭氧( $\text{O}_3$ )和二次有机气溶胶(SOA)生成的重要前体物,对区域大气复合污染的形成起着关键作用。近年来,随着我国工业化进程的加快和城市化水平的提高,VOCs 排放量持续增加,已成为制约大气环境质量改善的关键因素之一。长三角地区作为我国经济发展最活跃的区域之一,VOCs 污染问题日益突出,亟需开展系统性的监测与研究工作。无锡市新吴区作为无锡国家高新技术产业开发区,集聚了大量电子信息、精密机械、新材料等工业企业,VOCs 排放源复杂多样。开展该区域 VOCs 走航监测研究,对于准确掌握区域 VOCs 污染特征、识别重点污染源、制定针对性防控措施具有重要的现实意义。本研究通过夏冬季两个典型季节的走航监测,结合同步气象参数,系统分析新吴区 VOCs 的时空分布特征及内在机制,以期为区域大气污染防治提供科学依据和技术支撑[1]。

## 2. 研究区域与数据来源

### 2.1. 研究区域概况

无锡市新吴区位于无锡市东南部,总面积约 220 平方公里,下辖旺庄、硕放、鸿山、新安、江溪、梅村 6 个街道。该区域是无锡国家高新技术产业开发区的核心区域,工业基础雄厚,形成了以电子信息、精密机械、生物医药、新材料为主导的产业体系。区域内交通网络发达,京沪高速、沪宁高速穿境而过,苏南硕放国际机场位于区内。独特的产业结构和地理位置使得该区域 VOCs 排放源类型多样,包括工业源、交通源、生活源等,为 VOCs 污染研究提供了典型的研究场景。

## 2.2. 数据来源与处理

本研究数据来源于 2024 年夏季(7~8 月)和冬季(12 月~次年 1 月)两个典型季节的走航监测。监测设备采用车载式 VOCs 在线监测系统,包括质子转移反应质谱仪(PTR-MS)和便携式气相色谱仪(GC-PID),可检测 C2~C12 范围内的 VOCs 组分。

1) 走航监测方案:走航路线覆盖新吴区 6 个街道的主要道路和工业区(具体路线见图 1)。监测时段为每日 8:00~20:00,监测频率为每秒采集一次数据。各街道主要污染源类型各异,旺庄街道和江溪街道以工业和交通源为主,硕放街道受航空运输影响较大,鸿山街道农业源贡献相对突出。各街道走航里程在 85.6~168.4 km 之间,有效数据量在 30,856~61,245 条之间(见表 1)。

2) 质量控制与质量保证(QA/QC):为确保数据可靠性,严格执行 QA/QC 流程。仪器每日走航前使用标准气体(包含甲苯、丙烷等)进行多点校准,偏差控制在±5%以内;走航结束后进行零点漂移检查,漂移超过 10%则当日数据作废。数据处理阶段,结合 GPS 轨迹剔除由于红绿灯等待、堵车等导致的局部异常高值(采用滑动平均法及 95%置信区间剔除极端异常值),最终保留有效数据用于统计分析。

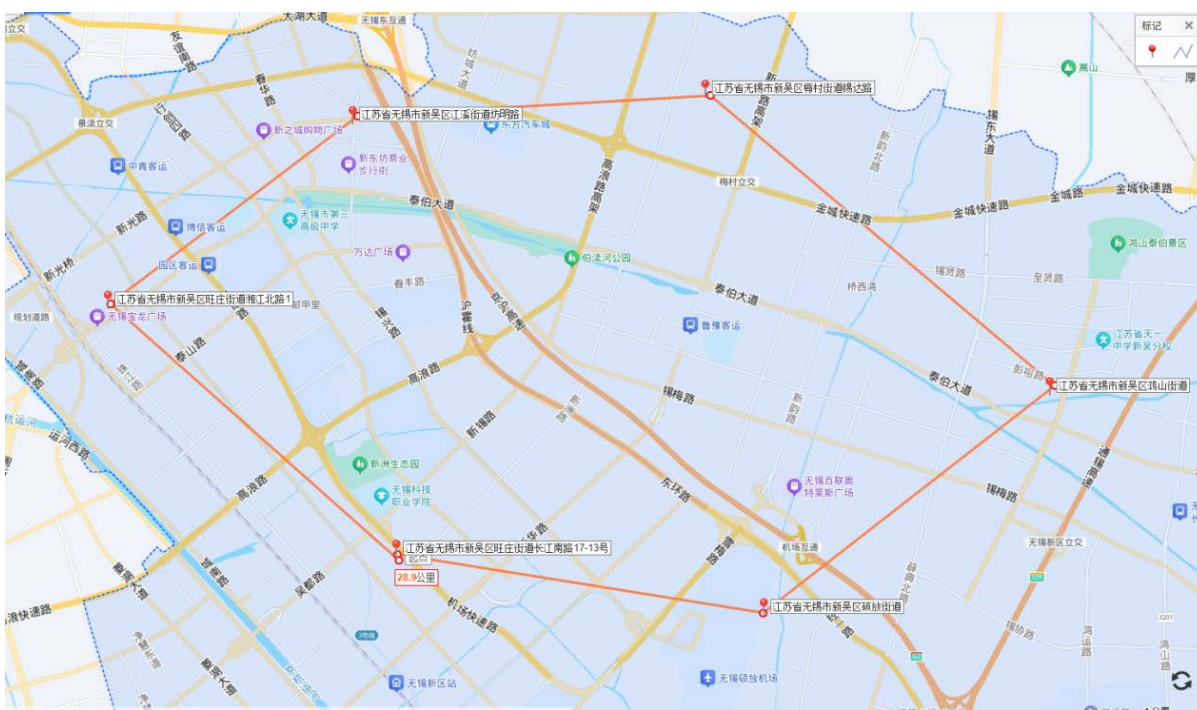


Figure 1. Schematic diagram of VOCs mobile monitoring route in Xinwu District, Wuxi City

图 1. 无锡市新吴区 VOCs 走航监测路线示意图

Table 1. Basic information on mobile monitoring in various subdistricts of Xinwu District

表 1. 新吴区各街道走航监测基本情况

街道名称	监测面积(km <sup>2</sup> )	走航里程(km)	有效数据量(条)	主要污染源类型
旺庄街道	35.6	128.5	45,862	工业、交通
硕放街道	42.3	145.2	52,368	航空、工业
鸿山街道	58.5	168.4	61,245	农业、工业
新安街道	28.4	98.6	35,624	工业、生活

续表

江溪街道	32.8	112.5	40,258	交通、商业
梅村街道	22.4	85.6	30,856	工业、生活

### 3. 夏冬季 VOCs 时空分布及气象机制分析

#### 3.1. 浓度水平与空间分布特征

夏季监测期间, 新吴区 VOCs 平均浓度为  $140.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 浓度范围为  $85.2\sim 215.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。从空间分布来看, 各街道 VOCs 浓度存在明显差异, 呈现“北高南低”的分布格局。旺庄街道 VOCs 平均浓度最高, 达到  $156.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 主要受区域内电子制造、印刷包装等工业企业排放影响; 其次为江溪街道( $148.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 该区域交通流量大, 机动车尾气排放贡献显著; 鸿山街道浓度最低( $128.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 与该区域农业用地比例较高、工业分布相对分散有关。夏季高温天气条件下, VOCs 挥发速率加快, 部分工业源排放强度增大, 二者是导致夏季 VOCs 浓度升高的重要因素[2]。

#### 3.2. 气象因素对季节与日变化的影响机制

夏冬季浓度倒挂与日变化特征受气象条件深刻影响。同步气象数据显示, 冬季平均混合层高度(BLH)仅为 450 m 左右, 显著低于夏季的 900 m; 冬季平均风速( $1.2 \text{ m}/\text{s}$ )亦低于夏季( $2.1 \text{ m}/\text{s}$ ), 且静稳天气频发。低矮的边界层和弱风环境如同“锅盖”, 将冬季工业与燃煤排放的 VOCs 压缩在近地面, 导致其平均、最大浓度及标准差全面升高(表 2)。

**Table 2.** Comparison of statistical characteristics of VOCs concentration in summer and winter

**表 2.** 夏冬季 VOCs 浓度统计特征对比

统计指标	夏季( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	冬季( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	变化率(%)
平均浓度	140.5	180.5	+28.5
最大浓度	215.6	285.3	+32.3
最小浓度	85.2	112.4	+31.9
标准差	28.6	38.4	+34.3
变异系数(%)	20.4	21.3	+4.4

日变化特征均呈双峰型(图 2), 但冬季峰值(早 7:00~8:00 达  $228.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 晚 17:00~18:00 达  $242.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )较夏季(早 8:00~9:00, 晚 18:00~19:00)提前约 1 小时, 且浓度更高。这主要是因为冬季日出晚, 早高峰时段边界层极低且存在夜间辐射逆温残余, 交通尾气排放后难以扩散, 造成剧烈累积; 而晚高峰后边界层快速塌陷, 再次导致污染物“截留”。

#### 3.3. 组分结构特征及其变化

夏冬季 VOCs 组分构成存在显著的结构性演变(图 3、表 3)。夏季烷烃为绝对优势组分(占比 32.5%), 主要含丙烷、正丁烷等; 冬季芳香烃占比跃升至首位(31.4%), 浓度较夏季激增 63.9%。这种转变不仅反映了夏季高温促使溶剂挥发(烷烃增加), 更凸显了冬季燃煤取暖及工业燃烧过程排放大量苯系物(芳香烃

增加)的源头特征。此外, 冬季含氧 VOCs 占比下降(由 8.4%降至 6.5%), 与冬季大气氧化性(如 OH 自由基浓度)减弱、光化学二次生成受抑直接相关。

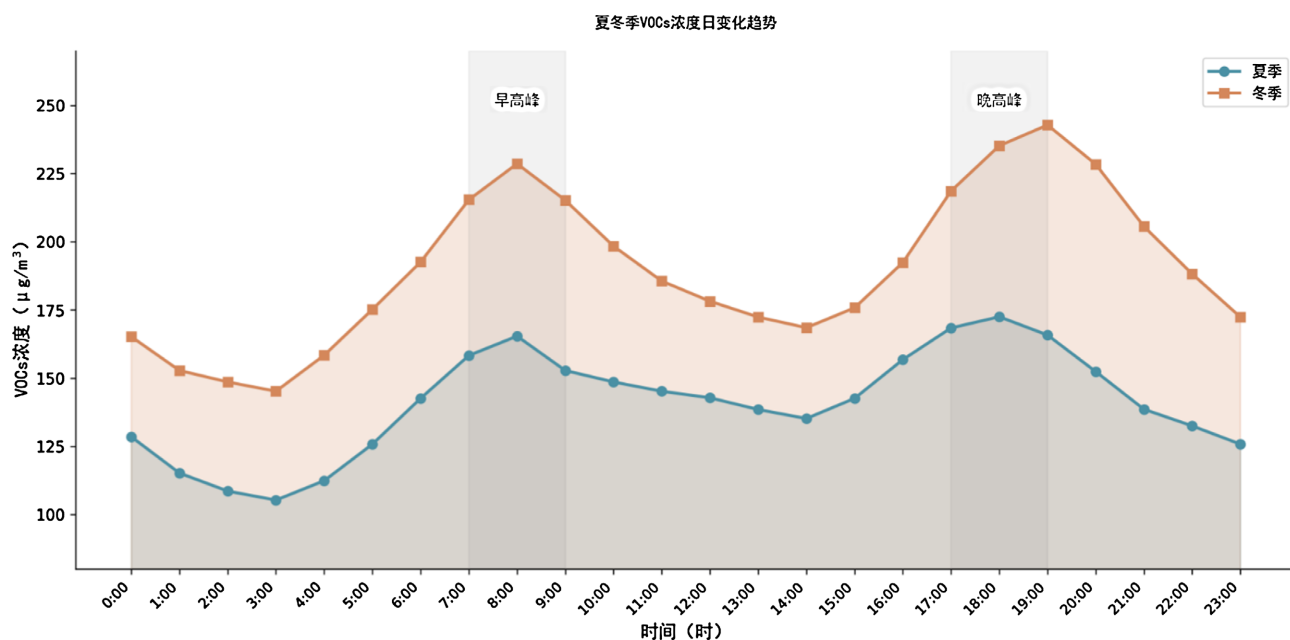


Figure 2. Line graph showing the diurnal variation trend of VOCs concentration in summer and winter  
图 2. 夏冬季 VOCs 浓度日变化趋势折线图

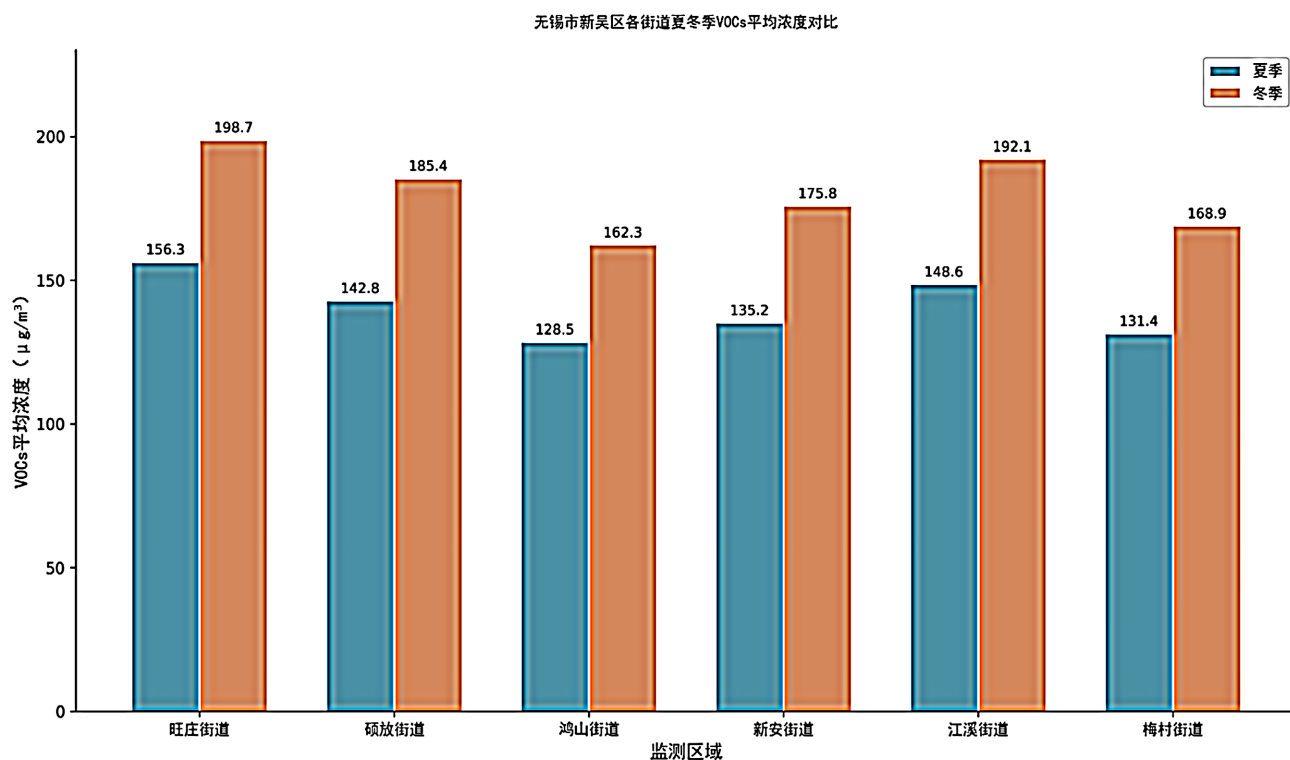


Figure 3. Packed bar chart of VOCs composition percentages in summer and winter  
图 3. 夏冬季 VOCs 组分构成百分比堆积柱状图

**Table 3.** Comparison of concentrations of major VOCs components in summer and winter**表 3.** 夏冬季主要 VOCs 组分浓度对比

组分类别	夏季浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	夏季占比(%)	冬季浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	冬季占比(%)
烷烃	45.7	32.5	51.8	28.7
烯烃	25.7	18.3	27.4	15.2
芳香烃	34.6	24.6	56.7	31.4
卤代烃	18.0	12.8	26.4	14.6
含氧 VOCs	11.8	8.4	11.7	6.5
其他	4.7	3.4	6.5	3.6

#### 4. 讨论

将本研究的发现与国内其他同类区域进行横向比较,能够更好地凸显新吴区的污染特征。在浓度水平上,新吴区冬夏季 VOCs 浓度略高于上海郊区(冬季约  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,夏季约  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),但显著低于珠三角部分典型工业城市(如东莞冬季普遍超  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )。这表明新吴区作为国家级高新区,近年来产业结构升级与源头减排取得了一定成效,整体处于中等污染水平。

在组分特征上,新吴区冬季芳香烃占比(31.4%)与长三角其他以制造业为主的城区(如苏州工业园区,约 30%~33%)较为接近,显著高于北方典型采暖城市(如石家庄,冬季烷烃和含氧 VOCs 占比较高,受散煤燃烧影响大)。这反映出新吴区冬季 VOCs 主要受“工业燃烧 + 集中供暖”复合影响,而非原生散煤燃烧。此外,新吴区夏季烷烃高占比特征与深圳等以电子制造为主导的城市相似,印证了电子信息和精密机械制造中溶剂使用是长三角与珠三角高新区共同的 VOCs 排放痛点[3][4]。这些对比表明,针对新吴区的 VOCs 治理不能照搬北方采暖城市经验,而应紧扣“高新区特色产业 + 交通枢纽”的属地化特征。

#### 5. 结论与管控建议

本研究基于无锡市新吴区 2024 年夏冬季走航监测及气象数据,系统分析了其 VOCs 的时空分布特征,得出主要结论如下: 1) 冬季 VOCs 浓度( $180.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )较夏季( $140.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )升高 28.5%,冬季低边界层与静稳天气是浓度累积的核心机制。2) 空间呈现“北高南低”格局,旺庄、江溪及冬季的硕放街道为污染核心区。3) 组分由夏季的“烷烃主导”向冬季的“芳香烃主导”转变。4) 日变化双峰型特征在冬季更为陡峭且峰值前移。

基于上述结论,对新吴区 VOCs 污染防治提出以下针对性建议: 1) 实施“时-空”精准错峰管控。针对旺庄、江溪等高值区,在冬季早高峰(7:00~8:00)前及晚高峰后,加大道路洒水与雾炮作业,减轻逆温层下的累积效应;对涉溶剂使用的工业企业,强制要求在夏季高温时段(10:00~16:00)降低涉 VOCs 工序负荷,减少光化学反应前体物排放。2) 深化“源-类”差异化靶向治理。夏季聚焦烷烃管控,对电子制造、印刷包装行业推广低 VOCs 含量原辅材料替代,强化密闭收集;冬季聚焦芳香烃削减,对辖区内的工业锅炉及供暖设施开展深度排查,严控涉芳香烃产生的燃烧过程。3) 建立“气象-污染”动态响应机制。鉴于冬季气象条件对浓度波动的放大效应,建议在秋冬季引入混合层高度和风速风向的动态预报,当预测到出现极端静稳天气时,提前启动涉 VOCs 排放企业的应急减排预案,防止重度污染事件发生。

#### 参考文献

- [1] 华青. 基于走航监测技术的新吴区 VOCs 污染特征分析[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(8): 1053-1061.

- 
- [2] 沈钰馨. 黄海海域冬季大气边界层臭氧时空分布特征及其来源研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2023.
- [3] 巫楚, 李政, 沈劲, 等. 基于走航观测的河源市 VOCs 背景特征分析[J/OL]. 环境工程技术学报, 2026, 1-17. <https://link.cnki.net/urlid/11.5972.X.20260228.1419.010>, 2026-04-15.
- [4] 林钰清, 郭隼虹, 区梓峰, 等. 基于 YF-TOF-1500 的 VOCs 走航监测方法及溯源案例[J]. 现代信息科技, 2025, 9(10): 125-131.