

臭氧污染高发时段 VOCs 组分监测结果探讨

渠底茶

绵阳市安州生态环境监测站 四川 绵阳 622651

【摘要】：本研究基于区域大气臭氧污染高发时段的 VOCs 监测数据，分析了 VOCs 的组分特征及其对臭氧浓度的影响。监测结果表明，在高发时段，VOCs 的主要成分为烃类、醛类和酮类化合物，其中以烃类物质为主。数据分析发现，VOCs 浓度的增加与臭氧浓度呈现较强的相关性，尤其是在温度较高和太阳辐射强烈的条件下。研究还发现，某些特定 VOCs 如苯和甲醛在臭氧生成过程中起到了重要作用。本文的研究为理解臭氧污染高发时段的源头特征提供了数据支持，并为污染控制提供了科学依据。

【关键词】：臭氧污染；VOCs 组分；监测；烃类；数据分析

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.069

引言

近年来，臭氧污染在全球范围内逐渐成为影响空气质量的重要问题，尤其在大气温度升高和污染物排放增加的条件下，臭氧浓度容易剧烈波动。挥发性有机化合物（VOCs）作为臭氧生成的前体物质，其成分特征和浓度变化直接影响臭氧污染的形成过程。我国多数内陆城市受气候条件和工业排放特点影响，成为臭氧污染高发区域。在此背景下，研究臭氧污染高发时段 VOCs 组分的变化规律和对臭氧生成的影响，具有重要的现实意义。通过对区域监测数据的分析，可以为深入理解臭氧污染的成因及其治理策略提供科学依据。

1 臭氧污染高发时段 VOCs 成分特征分析

在臭氧污染高发时段，挥发性有机化合物（VOCs）的成分特征变化对于污染物的积累和臭氧生成起着至关重要的作用。通过对区域大气 VOCs 的长期监测数据进行分析，发现臭氧污染高发期间，VOCs 的组成表现出明显的季节性和时段性变化。在高温、强阳光辐射等条件下，烃类化合物、醛类物质和酮类化合物是主要的污染成分^[1]。烃类化合物尤其是以烯烃和芳烃为主，它们在光化学反应中具有较高的反应活性，是臭氧生成的重要前体物质。醛类，如甲醛和乙醛，虽然浓度较低，但在高发时段内与烃类物质共同作用，显著加剧了臭氧的生成。酮类化合物，如丙酮，也表现出一定的变化趋势，它们的存在使得臭氧生成反应更加复杂。

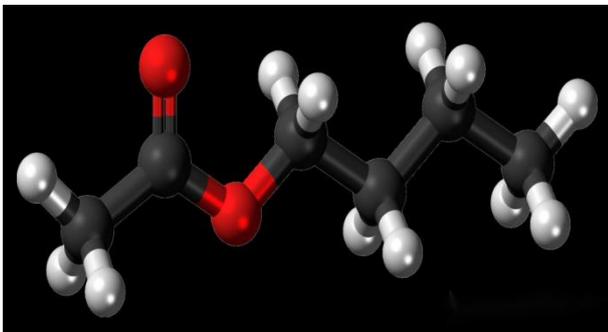


图1 VOCs 分子图

不同来源的 VOCs 成分差异也影响了臭氧污染的时段性特

征。在工业区域，尤其是汽车排放密集的地段，烃类物质的浓度通常较高，而在居民区和农业区，甲醛、乙醛等醛类化合物的浓度则较为突出。监测数据显示，汽车尾气是烃类物质的主要来源之一，尤其是苯、甲苯、二甲苯等芳香烃化合物，随着交通流量的增加，这些物质的浓度在高发时段迅速升高。而在农业区，由于农药使用和生物质燃烧等活动，醛类和酮类的浓度则有所上升。不同来源的 VOCs 对臭氧的影响路径不同，工业源排放的烃类化合物在光化学反应中容易与氮氧化物（NO_x）发生反应，生成臭氧；而农业区的醛类化合物则由于其在阳光照射下的光解作用，参与到臭氧的生成过程，形成了更加复杂的臭氧污染成因。

结合实际情况，臭氧污染高发时段多集中在夏季和秋季，此阶段 VOCs 浓度整体偏高，且温度和太阳辐射强度对 VOCs 成分的变化有显著影响。较高的气温促进了化学反应的加速，强烈的紫外线辐射增强了 VOCs 的光解作用，从而加剧了臭氧的形成。通过对 VOCs 成分的细致分析，能够准确识别臭氧污染的关键时间段和高发源区域，为后续的污染源控制和治理措施提供数据支持。同时，了解不同 VOCs 成分在高发时段的变化规律，为制定更加精确的污染治理方案提供了科学依据，能够有效降低臭氧污染的危害，提高城市空气质量。

2 高发时段 VOCs 与臭氧浓度关系探讨

在臭氧污染高发时段，VOCs 浓度与臭氧浓度之间存在着显著的相关性，这种关系在不同的时段和气象条件下表现出不同的特点。根据区域大气监测数据，VOCs 浓度的上升通常伴随着臭氧浓度的升高，尤其在气温升高和光照强烈的情况下，这种相关性更为突出^[2]。烃类物质，特别是芳香烃和烯烃，在光化学反应中与氮氧化物（NO_x）反应，催化臭氧的生成。随着 VOCs 的浓度增加，臭氧的生成速率也随之加快，形成了典型的臭氧污染高发时段。监测数据表明，在夏季和秋季，VOCs 和臭氧浓度的峰值几乎是同步出现的，尤其是在白天高温时段，烃类和醛类物质的浓度显著增加，而臭氧浓度在同一时段内也迅速攀升。

VOCs 与臭氧浓度的关系不仅受 VOCs 浓度的影响，还受

到其他环境因素的调节。温度、湿度、风速等气象条件在一定程度上影响 VOCs 的扩散和臭氧的形成过程。高温条件下，VOCs 的光化学反应加剧，臭氧浓度上升更为明显；而湿度较高时，VOCs 的转化速率较低，臭氧生成的过程则相对缓慢。此外，风速也对 VOCs 与臭氧浓度之间的关系起到一定的调节作用。在低风速条件下，VOCs 易于在大气中滞留，增强了光化学反应的发生，从而促进了臭氧浓度的提高。而在风速较高的情况下，VOCs 的扩散速度加快，减少了局部地区的臭氧污染。通过对这些因素的综合分析，能够更加准确地判断 VOCs 和臭氧浓度之间的关系，并为优化污染预警系统和治理策略提供依据。

不同来源的 VOCs 对臭氧浓度的影响存在差异。机动车尾气和工业排放是区域大气主要的 VOCs 来源，其中烃类物质在臭氧生成过程中起到了关键作用。随着交通流量的增加，机动车排放的 VOCs 中烯烃和芳香烃类化合物的浓度迅速上升，促使臭氧浓度快速攀升。工业区排放的 VOCs 中也包含大量的挥发性有机物，尤其是在夏季和秋季，工业区 VOCs 的浓度增高，导致局部地区臭氧浓度迅速升高。相比之下，农业活动中排放的 VOCs 主要以醛类和酮类为主，它们的臭氧生成潜力较小，但在特定条件下也能对臭氧浓度产生一定影响。通过精确分析不同来源 VOCs 的贡献，能够更加清晰地识别污染的主要来源，并为污染控制和减排措施的制定提供针对性的数据支持。

3 温度与辐射对 VOCs 排放的影响

温度和辐射强度在影响 VOCs 排放方面起着重要作用，尤其是在臭氧污染高发时段。这些因素通过改变大气中的挥发性有机化合物的蒸发速率、光解反应及其与其他大气污染物的反应机制，显著影响 VOCs 的浓度及其对臭氧生成的贡献。监测数据显示，随着气温的升高，地面温度的升高导致土壤和植物中挥发性有机化合物的蒸发量增加，使得空气中的 VOCs 浓度逐步升高^[3]。温度上升促进了 VOCs 的挥发，尤其是在夏季和秋季，随着气温的升高，尤其在日间最高温时段，VOCs 的排放达到峰值。而在夜间气温降低时，VOCs 的挥发量显著减少，从而降低了其在大气中的浓度。温度的变化不仅影响 VOCs 的排放，还直接影响了它们与氮氧化物的反应速率，从而对臭氧的生成产生间接影响。

光照强度，特别是紫外线辐射的强弱，对 VOCs 的排放和转化也起着至关重要的作用。强烈的紫外线辐射能够加速 VOCs 的光化学反应，导致 VOCs 的部分物质，如烯烃和芳香烃类化合物发生光解反应，转化为新的活性化合物，从而加剧臭氧的生成过程。在强烈辐射的影响下，VOCs 与氮氧化物的反应更加剧烈，光化学污染的形成过程加速。辐射的强度与大气中的 VOCs 浓度呈正相关，尤其是在晴朗的天气中，阳光辐射的加强会显著提高 VOCs 的光解速率，进一步推动臭氧生成反应的加速。相对而言，阴天或多云天气由于辐射强度较低，

VOCs 的光解反应和臭氧的生成过程则较为缓慢。

温度与辐射的相互作用不仅影响 VOCs 的排放和转化过程，还影响这些化学反应在一天之中的波动模式。在白天气温升高且紫外线辐射强烈的时段，VOCs 的浓度普遍较高，且臭氧生成速率明显加快。相比之下，晚间温度下降和辐射强度减弱使得 VOCs 的排放量减少，臭氧生成速率显著降低。这种昼夜差异对于臭氧浓度的波动起到了决定性作用，特别是在大气污染较为严重的夏季和秋季，气温和光照强度的变化显著影响了 VOCs 的排放模式，并进一步推动了臭氧污染的形成。在这种背景下，了解温度和辐射对 VOCs 排放的影响机制，为预测臭氧污染的发生时段和强度提供了重要的气象基础，有助于更准确地制定污染预警和控制策略。

4 VOCs 排放源解析与区域污染特征

区域大气 VOCs 主要源于交通、工业、农业等领域，其排放特征决定了臭氧污染的时空分布规律，可为区县站污染源溯源分析提供理论支撑。其中，机动车排放是交通领域 VOCs 的核心来源，伴随城市化推进与汽车保有量增长，城区及周边机动车 VOCs 排放浓度显著攀升。汽车尾气中的芳香烃（如苯、甲苯、二甲苯）和烯烃类化合物，是臭氧生成的关键前体物质^[4]。监测显示，交通密集路段 VOCs 浓度易达峰值，高温强辐射天气下尤为突出，城市中心因车流量大，光化学污染更严重。这类污染物加剧了区域臭氧污染频次与强度，早晚高峰时段 VOCs 与臭氧浓度的相关性更为显著。

工业活动也是区域 VOCs 排放的主要源头之一，尤其是在化工、涂料和溶剂使用较为集中的行业。工业排放的 VOCs 成分较为复杂，除了烃类物质外，还包含醛类、酮类等多种挥发性有机化合物。化工企业和涂料厂等生产过程中挥发的有机溶剂对空气质量的影响较大，这些溶剂中的有机物质在空气中参与光化学反应后，不仅会形成臭氧，还可能与其他有害物质的生成。随着工业化的推进，工业区的 VOCs 排放量也在不断上升，尤其在夏季和秋季，随着温度和辐射强度的增高，VOCs 的排放量和臭氧生成速率会大幅增加。工业排放的 VOCs 对城市空气质量的贡献，特别是臭氧和颗粒物的形成，已经成为区域治理空气质量的重要挑战，也是区县站开展工业源污染管控分析的核心要点。

农业活动，尤其是农药的使用和生物质燃烧，也是区域 VOCs 排放的来源之一。农药中的某些成分，特别是氯代烃类和其他有机化合物，会在施用过程中挥发到大气中。与工业和交通排放的 VOCs 相比，农业源排放的 VOCs 浓度通常较低，但在特定条件下，这些成分在臭氧生成中的作用也不可忽视。例如，农田中施用的有机化肥或生物质燃烧过程中释放的 VOCs 会加剧臭氧的生成，尤其是在风速较低的情况下，这些污染物的滞留效应更为明显。虽然农业 VOCs 的贡献相较于交通和工业排放较少，但其在某些特定气象条件下的影响仍不容

忽视。通过监测农业活动中的 VOCs 排放源,能够进一步细化排放控制策略,降低农业源对臭氧污染的贡献,为区县站全面覆盖污染源分析提供补充。

5 优化臭氧污染控制的 VOCs 管理策略

优化臭氧污染控制的 VOCs 管理策略,首先需要关注 VOCs 的源头管理和减排技术,该策略可结合区县站空气质量监测实际情况落地应用。交通排放是 VOCs 的主要来源之一,因此加强对机动车排放的管控具有重要意义。通过推动低排放车辆的普及,如电动汽车和混合动力汽车,能够有效减少机动车尾气中有害 VOCs 的排放。对于老旧车辆的淘汰和排放标准的提高,也能在一定程度上减少烃类化合物的释放。加强燃油品质的监管,尤其是控制低硫、低挥发性有机物的燃油使用,也是降低机动车排放 VOCs 的有效手段^[5]。工业排放也是 VOCs 的重要来源,针对工业源的控制策略应包括对高污染企业进行严格的排放监管,实施先进的污染治理设施,推动企业采用清洁生产工艺。

提升 VOCs 排放监测能力和数据分析水平,对优化臭氧污染控制策略至关重要,也是强化区县站空气质量分析能力的核心举措。建立健全的 VOCs 监测网络,实时监测交通、工业、农业等多个领域的 VOCs 排放数据,能够为污染防治提供科学依据。通过数据分析,可以揭示 VOCs 排放的时空分布规律和污染物浓度变化趋势,为制定更为精准的控制措施提供参考。利用空气质量监测数据,结合气象预报信息,预测高发时段和高污染区域,提前采取应急减排措施,降低臭氧污染的发生概

率。对 VOCs 的成分进行详细分析,识别出臭氧生成潜力较大的前体物质,可以针对性地进行管控,有效减少臭氧的生成。

在强化源头管理的基础上,还需要优化 VOCs 排放控制的政策和法规,为区县站开展监管工作提供制度支撑。推动地方政府制定更加严格的 VOCs 排放标准,并加强执行力度,确保各行业和各源的 VOCs 排放符合环境保护要求。加强对高排放企业的督查和处罚,提高违法成本,从而促使企业更加重视污染治理工作。此外,政府应通过政策引导,推动绿色技术和环保设备的研发和应用,激励企业采用低 VOCs 排放的生产工艺和环保设备。通过政策的支持和市场激励机制,逐步降低 VOCs 排放水平,为实现臭氧污染的有效控制奠定基础。加强公众的环保意识,鼓励市民减少汽车使用、采用绿色出行方式,有助于减少交通源 VOCs 的排放,进一步优化空气质量。

6 结语

优化 VOCs 管理策略是解决区域臭氧污染问题的关键。源头控制、强化监测与数据分析、以及完善政策法规三者相辅相成,能够有效减少 VOCs 排放,从而降低臭氧污染的发生频率和强度。加强对交通、工业和农业等主要排放源的管控,推动清洁生产和低排放技术应用,将为区域空气质量的改善提供有力保障。文章梳理的 VOCs 组分特征、影响因素及管控策略,可直接为区县站开展空气质量分析提供理论基础和实践参考,助力区县站精准高效开展臭氧污染防控工作。只有通过全方位的治理措施,才能实现臭氧污染的有效控制,保护公众健康与生态环境。

参考文献:

- [1] 欧阳莘瑜.工业园区 VOCs 组分特征与溯源分析研究[J].清洗世界,2025,41(11):87-89.
- [2] 贾李娟,管乐,高晶鑫,等.基于吸附性能探究 VOCs 光催化效率的影响因素[J/OL].山西大学学报(自然科学版),1-12[2026-01-08].
- [3] 王之春.高效吸附剂在工业废水 VOCs 去除中的应用研究[J].清洗世界,2025,41(12):127-129.
- [4] 张盟,王磊.生态环境监测中臭氧污染特征与治理对策研究[C]//河北省环境科学学会,北京环境科学学会,天津市环境科学学会.京津冀生态环境科技产业金融协同发展大会论文汇编.河北省沧州生态环境监测中心;沧州市生态环境监控中心,;2025:27-33.
- [5] 罗欢,郝艳芬.大气臭氧污染过程及其时空变化特征研究[J].环境科学与管理,2023,48(12):91-95.