

环境空气中挥发性有机物 (VOCs) 监测技术比较研究

姜 杰

浙江云广检测技术有限公司 浙江 嘉兴 314300

【摘要】：环境空气中挥发性有机物 (VOCs) 的精准监测是防控大气复合污染、保障生态环境与人体健康的核心前提，不同监测技术在原理、适用场景及应用效能上存在显著差异，科学开展各类技术的比较分析具有重要现实意义。通过梳理当前主流 VOCs 监测技术的核心特征，聚焦技术适配性、运行成本及应用局限等关键维度进行系统对比，明确各类技术的优势与不足，为不同场景下 VOCs 监测技术的合理选型、优化配置提供可靠参考，助力提升环境空气 VOCs 监测的科学性与高效性。

【关键词】：挥发性有机物；VOCs；监测技术；技术比较；环境空气监测

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.087

引言

挥发性有机物 (VOCs) 是环境空气中一类重要的污染物，常温下易挥发，可来源于工业排放、汽车尾气、室内装修等多种场景，不仅会刺激人体呼吸道、诱发多种健康隐患，还会参与臭氧和细颗粒物形成，加剧大气复合污染。精准捕捉环境空气中 VOCs 的浓度变化，是开展污染溯源、制定防控措施的基础。各类 VOCs 监测技术依托不同的检测原理，在应用场景、运行要求等方面各具特点，其监测效能直接影响污染防控决策的科学性。梳理主流监测技术的核心特性，通过系统比较明确各类技术的适配场景与应用短板，能够为监测工作的优化提供支撑，衔接后续技术对比分析与应用优化的核心内容。

1 环境空气中 VOCs 监测核心需求及技术分类

环境空气中 VOCs 监测核心需求聚焦精准性、时效性和适配性，不同场景要求各异。因 VOCs 组分复杂、浓度波动大且部分具强毒性、强挥发性，监测需实现多组分有效识别，真实反映实际浓度。工业园区侧重高浓度 VOCs 实时预警，城市主干道关注机动车尾气 VOCs 动态捕捉，居民区注重低浓度精准检测，同时需兼顾操作便捷与成本可控，为技术比较奠定基础^[1]。当前 VOCs 监测技术按检测原理和应用场景分为三类：实验室手工监测依托离线分析实现精准检测，在线自动监测通过固定站点完成长期连续监测，便携式技术凭借便携性适用于应急排查。分类以检测原理为核心、应用场景为补充、监测效能为辅助，确保分类科学，为后续技术比较提供清晰依据。

2 主流 VOCs 监测技术的核心特性解析

2.1 实验室手工监测技术的核心特性

实验室手工监测技术的核心特性体现在检测精度高、组分识别全面，同时存在监测周期长、操作流程复杂的特点。该类技术需先通过专业采样设备采集环境空气样品，经过样品预处理、分离提纯等一系列流程后，利用专业分析设备对 VOCs 组分及浓度进行检测。其核心优势在于能够精准识别空气中多种微量 VOCs 组分，有效规避现场复杂环境的干扰，适用于对监测精度要求较高的场景，如污染溯源分析、监测数据校准等。

但该类技术对操作人员的专业能力要求较高，采样、预处理及分析过程均需严格遵循规范，否则易影响监测结果的准确性。同时，监测周期较长，无法实现 VOCs 浓度的实时监测，难以满足应急污染事件的快速处置需求，且长期监测的运行成本较高，受实验室设备条件限制较大。

2.2 在线自动监测技术的核心特性

在线自动监测技术以连续实时监测为核心优势，能够实现对环境空气中 VOCs 浓度的动态捕捉，核心特性体现在时效性强、自动化程度高。该类技术通过固定监测站点部署，无需人工频繁干预，可实现 24 小时连续运行，实时采集空气中的 VOCs 样品并完成检测、数据传输等流程，能够快速反馈 VOCs 浓度变化趋势，为污染预警和防控决策提供及时支撑^[2]。其检测过程依托自动化设备完成，人为干扰因素较少，监测数据的连续性较强，适用于城市尺度、工业园区等大规模长期监测场景。但该类技术的设备投入成本较高，设备安装、调试及后期维护难度较大，对运行环境有一定要求，且在复杂环境中易受干扰，部分技术难以实现对微量 VOCs 组分的精准识别，存在一定的检测局限。

2.3 便携式快速监测技术的核心特性

便携式快速监测技术的核心特性是便携性强、响应速度快，能够实现现场快速检测，适配多种应急场景。该类技术设备体积小、重量轻，可灵活携带至不同监测点位，无需复杂的安装调试流程，操作人员经过简单培训即可完成操作，能够在短时间内反馈 VOCs 浓度检测结果，适用于应急污染事件排查、污染溯源、移动监测等场景。其核心优势在于能够快速捕捉污染源头，及时掌握 VOCs 浓度的实时变化，为应急处置提供快速支撑。但该类技术的检测精度相对较低，难以实现对多种 VOCs 组分的精准识别，大多只能检测 VOCs 总浓度或少数特征组分，且设备的续航能力有限，长期连续监测的稳定性不足，受环境温度、湿度等因素影响较大，不适用于对监测精度要求较高的长期监测场景。

3 各类 VOCs 监测技术的应用局限及问题剖析

3.1 实验室手工监测技术的应用局限

实验室手工监测技术的应用局限主要集中在监测效率、场景适配和成本控制三个方面,限制了其在大规模、快速监测场景中的应用。该类技术的监测周期较长,从样品采集、预处理到最终分析得出结果,通常需要较长时间,无法及时反馈环境中 VOCs 的实时浓度变化,难以满足应急污染事件快速处置的需求,也无法实现对 VOCs 浓度动态变化的连续跟踪^[3]。在场景适配方面,该技术受实验室设备和操作条件限制,无法应用于偏远地区、移动监测等场景,且采样过程中易出现样品损耗、污染等问题,影响监测结果的准确性。同时,该技术的运行成本较高,专业分析设备的购置、维护,以及样品处理、人员培训等均需投入大量人力、物力和财力,长期规模化应用的可行性较低,难以满足大范围 VOCs 监测的需求。

3.2 在线自动监测技术的应用局限

在线自动监测技术的应用局限主要体现在设备成本、维护难度和抗干扰能力三个方面,制约了其推广应用的范围。该类技术的设备投入成本较高,一套完整的在线监测系统包括采样装置、检测设备、数据传输设备等,购置费用不菲,同时设备安装、调试需要专业技术人员操作,进一步增加了前期投入。在后期维护方面,在线监测设备需要定期校准、检修,更换耗材,维护流程复杂、成本较高,且部分设备对运行环境要求严格,在高温、高湿、多粉尘等复杂环境中易出现故障,影响监测数据的连续性和准确性。该类技术的抗干扰能力有限,环境空气中的其他污染物、温度湿度变化等均可能干扰检测结果,导致监测数据出现偏差,部分技术难以适配复杂污染场景的监测需求。

3.3 便携式快速监测技术的应用局限

便携式快速监测技术的应用局限核心在于检测精度和监测范围,使其难以满足高精度、多组分监测的需求。该类技术为追求便携性和快速响应,简化了检测流程和设备结构,导致检测精度相对较低,无法实现对微量 VOCs 组分的精准识别,大多只能检测 VOCs 总浓度,难以满足污染溯源、精准防控等对组分分析要求较高的场景。在监测范围方面,该技术的检测量程有限,对于高浓度或低浓度 VOCs 的检测效果不佳,且设备续航能力有限,无法实现长期连续监测,只能适用于短期、移动性的监测任务。同时,该技术受环境因素影响较大,温度、湿度、气压等变化均会影响检测结果的准确性,且设备的稳定性不足,长期使用易出现性能衰减,需要频繁校准,进一步限制了其应用场景的拓展。

4 VOCs 监测技术优化路径及适配策略

4.1 实验室手工监测技术的优化路径

实验室手工监测技术的优化重点的是缩短监测周期、简化

操作流程,同时保持其高精度的核心优势。可通过优化样品采集和预处理技术,采用高效、快速的预处理方法,减少样品处理时间,提高监测效率,缩短监测周期,使其能够在一定程度上满足准实时监测的需求。加强专业设备的升级改造,引入高效的分析设备,简化操作流程,降低对操作人员专业能力的要求,减少人为操作带来的误差,提升监测结果的稳定性和准确性^[4]。同时,优化成本控制,通过批量采购耗材、共享实验室设备等方式,降低设备维护和运行成本,拓展其规模化应用的可行性。可建立样品采集、预处理、分析的标准化流程,规范操作行为,确保不同实验室、不同操作人员的监测结果具有可比性,提升技术的应用价值。

4.2 在线自动监测技术的优化路径

在线自动监测技术的优化核心是降低设备成本、简化维护流程、提升抗干扰能力,推动其广泛应用。加大技术研发投入,优化设备结构设计,采用低成本、高性能的核心部件,降低设备购置成本,同时简化设备安装和调试流程,降低前期投入门槛。完善设备维护体系,优化维护流程,开发智能化维护功能,减少人工维护工作量,降低维护成本,提升设备运行的稳定性和可靠性。增强设备的抗干扰能力,通过优化检测原理、增加干扰过滤装置等方式,有效规避环境因素和其他污染物的干扰,提升监测数据的准确性。可推动不同在线监测技术的融合应用,实现优势互补,同时建立监测数据校准体系,定期对监测数据进行校准,确保数据的真实性和可比性。

4.3 不同场景下 VOCs 监测技术适配策略

结合不同监测场景的需求,制定针对性的 VOCs 监测技术适配策略,实现监测资源的合理配置,提升监测效能。对于城市尺度长期监测、污染趋势分析等场景,优先选用在线自动监测技术,依托固定监测站点实现 24 小时连续监测,实时捕捉 VOCs 浓度变化趋势,为污染预警和防控决策提供支撑,同时搭配实验室手工监测技术,定期对监测数据进行校准,确保数据准确性。对于工业园区、污染源周边等高精度监测场景,采用实验室手工监测技术与在线自动监测技术结合的方式,既实现实时监测预警,又通过实验室精准分析实现污染溯源。对于应急污染事件、移动监测、偏远地区监测等场景,优先选用便携式快速监测技术,实现快速检测和污染排查,同时根据需求搭配其他技术,提升监测的全面性和准确性,确保不同场景下监测工作的科学性和高效性。

5 VOCs 监测技术应用效能提升及实践保障

5.1 强化监测技术研发支撑效能提升

强化监测技术研发是提升 VOCs 监测效能的核心支撑,需聚焦各类技术的短板,加大研发投入,推动技术创新升级。针对实验室手工监测技术效率低的问题,研发高效样品预处理技术和快速分析设备,缩短监测周期;针对在线自动监测技术成

本高、抗干扰弱的问题,优化设备结构,研发低成本、高稳定性的核心部件,提升抗干扰能力;针对便携式快速监测技术精度低的问题,改进检测原理,提升设备的检测精度和组分识别能力^[5]。同时,推动多技术融合研发,结合不同技术的优势,开发复合型监测技术,实现精准性、时效性和便携性的兼顾。加强产学研融合,推动科研成果转化,将实验室研发的先进技术应用于实际监测工作,提升监测技术的实际应用效能,为VOCs监测工作提供技术支撑。

5.2 完善监测技术应用规范保障

完善的应用规范是保障VOCs监测技术有序应用、提升监测效能的重要基础,需建立健全各类监测技术的应用标准和规范体系。针对不同类型的监测技术,制定详细的操作规范,明确样品采集、预处理、检测、数据传输等各个环节的操作要求,规范操作行为,减少人为误差,确保监测结果的准确性和可比性。建立监测数据质量控制体系,明确数据校准、审核、存储等要求,定期对监测设备进行校准和检修,对监测数据进行审核,确保数据的真实性和可靠性。制定技术选型规范,结合不同场景的监测需求,明确各类技术的适配范围和选型标准,指导监测单位合理选型,避免资源浪费,提升监测资源的利用效率。同时,加强对操作人员的培训,提升其专业能力,确保其能够严格按照规范操作设备,充分发挥监测技术的效能。

5.3 构建多元协同监测体系强化保障

构建多元协同监测体系,整合各类监测技术的优势,强化

监测工作的系统性和全面性,为监测效能提升提供保障。整合实验室手工监测、在线自动监测和便携式快速监测技术,形成“长期监测+精准分析+应急响应”的协同监测模式,实现不同场景、不同需求下的全方位监测。加强区域间监测技术协同,建立跨区域监测数据共享机制,实现监测资源互通,提升大范围VOCs污染监测的整体效能。推动监测技术与污染防治工作协同,将监测数据与污染溯源、防控措施制定相结合,充分发挥监测数据的支撑作用,提升污染防治的针对性和有效性。加强政策支持和资金投入,保障监测技术研发、设备购置、维护及人员培训等工作的有序开展,为多元协同监测体系的构建和运行提供坚实保障,推动VOCs监测工作高质量发展。

6 结语

本文围绕环境空气中挥发性有机物(VOCs)监测技术比较展开系统研究,梳理了主流监测技术的分类及核心特性,剖析了各类技术的应用局限,提出了针对性的优化路径、适配策略及实践保障措施。通过不同技术的全面对比,明确了各类监测技术的优势与适用场景,为监测技术的合理选型和优化应用提供了可靠支撑。VOCs监测技术的优化与应用,对提升环境空气质量监测精度、推动大气复合污染防治具有重要意义。后续需持续强化技术研发,完善应用规范,构建多元协同监测体系,不断提升监测效能,为生态环境质量改善和人体健康保障提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 王雪飞,周玉,单体兴.便携式检测仪测定环境空气和废气中挥发性有机物应用进展[J].山东化工,2026,55(02):124-128.
- [2] 欧阳少忠.环境空气中挥发性有机物监测技术的精细化方法与实践研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(23):82-83+98.
- [3] 邱思朗.环境空气中挥发性有机物监测技术分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):53-55.
- [4] 张福杰.环境空气中挥发性有机物(VOCs)的监测及治理方法分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(15):82-84.
- [5] 任向,钱永康,王伟华.环境空气中挥发性有机物(VOCs)的监测与管理分析[J].资源节约与环保,2025,(04):67-70+101.