

# 挥发性有机物检测技术在环境监测中的应用分析

刘海亚

江阴秋毫检测有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i10.2296

**[摘要]** 挥发性有机物(Volatile Organic Compounds,简称VOCs)作为大气污染物的重要组成部分,其检测与控制对环境保护和公共卫生具有重要意义。本文旨在深入探讨挥发性有机物检测技术在环境监测中的应用,涵盖气相色谱法、高效液相色谱法、吸附管采样-热脱附法以及气相色谱-质谱联用法等多种技术。通过详细阐述这些技术的原理、特点及其在环境监测中的实际应用,本文旨在为挥发性有机物检测技术的研究与应用提供理论参考和实践指导。

**[关键词]** 挥发性有机物; 环境检测; 气相色谱法; 高效液相色谱法; 气相色谱-质谱联用法; 吸附管采样-热脱附法

中图分类号: TN247 文献标识码: A

## Analysis of the Application of Volatile Organic Compounds Detection Techniques in Environmental Monitoring

Haiya Liu

Jiangyin Qiuhan Testing Co., Ltd.

**[Abstract]** Volatile Organic Compounds (VOCs), as a significant component of atmospheric pollutants, play a crucial role in environmental protection and public health. This paper delves into the application of VOCs detection techniques in environmental monitoring, encompassing various technologies such as Gas Chromatography (GC), High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Adsorption Tube Sampling-Thermal Desorption (ATS-TD), and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). By elaborating on the principles, characteristics, and practical applications of these techniques in environmental monitoring, this paper aims to provide theoretical references and practical guidance for the research and application of VOCs detection technologies.

**[Key words]** Volatile Organic Compounds; environmental monitoring; Gas Chromatography; High-Performance Liquid Chromatography; Gas Chromatography-Mass Spectrometry; Adsorption Tube Sampling-Thermal Desorption

## 引言

随着工业化和城市化的加速发展,挥发性有机物(VOCs)已成为大气环境中不容忽视的污染源。VOCs不仅影响空气质量,还可能对人体健康造成潜在威胁。因此,准确、高效地监测VOCs成为环境保护工作的核心。挥发性有机物检测技术作为环境监测的重要手段,其发展和应用对于评估环境污染状况、制定有效的环境保护措施具有重要意义。

## 1 挥发性有机物概述

### 1.1 挥发性有机物的定义

挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)是指在常温常压下容易挥发到空气中的有机化合物。这类化合物种类繁多,主要来源于工业生产、生活废弃物处理、机动车尾气排放等。VOCs具有浓度低、活性强等特点,对大气环境造成严重污染。

### 1.2 挥发性有机物的危害

#### 1.2.1 对人体健康的潜在威胁

挥发性有机物(VOCs)对人类健康的负面影响主要体现在其毒性作用上,长期或高浓度暴露于含有特定VOCs的环境中,可能导致一系列急性和慢性健康问题。一些常见的VOCs,如苯、甲苯、二甲苯等,已被证实具有致癌性,能够引起白血病等多种恶性肿瘤;而甲醛则是一种强烈的刺激性气体,不仅会对眼睛、皮肤和呼吸系统产生即时的刺激效应,长期吸入还可能增加患鼻咽癌的风险。此外,某些VOCs还具有神经毒性,长期接触可引发头痛、头晕、记忆力减退等症状,严重时甚至会导致神经系统永久性损伤。

#### 1.2.2 形成光化学烟雾加剧城市空气污染

挥发性有机物作为光化学烟雾形成的关键前体物之一,其在大气中的存在和扩散对城市空气质量构成了严峻挑战。在阳光照射下,VOCs能与空气中的氮氧化物( $\text{NO}_x$ )发生复杂的化学反应,生成臭氧( $\text{O}_3$ )、过氧乙酰硝酸酯(PAN)等二次污染物,这些物质不仅本身具有较强的毒性,还会进一步加剧空气污染的程度。

尤其是在夏季高温晴朗的日子里,光化学反应速率加快,光化学烟雾现象更加明显,严重时可导致城市上空出现浓厚的棕色烟雾,极大地降低了能见度,影响交通出行安全。

### 1. 2.3 加剧温室效应与全球气候变化

除了直接对人体健康和城市空气质量造成影响之外,挥发性有机物的排放还间接促进了温室效应的增强,加剧了全球气候变化的趋势。虽然大多数VOCs的直接温室效应较弱,但它们在大气中参与的化学反应却能够生成具有较强温室效应的化合物,如甲烷( $\text{CH}_4$ )和一氧化碳(CO)。特别是甲烷,其温室效应强度远超二氧化碳,是全球变暖的重要贡献者之一。此外,VOCs与 $\text{NO}_x$ 反应生成的臭氧也是一种重要的温室气体,不仅在地表附近对人类健康构成威胁,其在平流层中的累积还会破坏臭氧层,导致紫外线辐射增强,对生态系统和人类社会产生深远影响。

### 1. 3 挥发性有机物检测的意义

#### 1. 3. 1 保障公共健康与安全

挥发性有机物检测在维护公众健康与安全方面发挥着至关重要的作用,通过对空气中存在的各种挥发性有机化合物进行精确的定性和定量分析,可以及时发现可能对人体健康构成威胁的有害物质,尤其是那些具有致癌性、致畸性和生殖毒性等特性的化合物。这种监测不仅有助于评估暴露人群的潜在风险,还能为制定相应的预防措施提供科学依据,从而有效降低因环境污染导致的疾病发生率,提升居民的生活质量和健康水平。

#### 1. 3. 2 促进环境保护政策的制定与实施

挥发性有机物检测为环境管理部门提供了重要的决策支持,通过持续监测不同区域、不同时段内的VOCs浓度及其变化趋势,可以全面了解环境污染现状,识别主要污染源,评估现有环保措施的效果。基于这些数据,政府及相关机构能够更加精准地制定和调整环境保护政策,采取针对性的治理措施,比如限制特定行业排放标准、推广使用低VOCs含量的原材料等,进而推动环境质量的整体改善。

#### 1. 3. 3 支持科学研究与技术创新

在科学研究领域,挥发性有机物检测不仅是理解大气化学反应机理、探索全球气候变化影响的关键手段之一,也为新材料开发、清洁能源利用等领域的技术创新提供了宝贵的数据支持。通过对VOCs生成、迁移、转化过程的研究,科研人员能够深入揭示污染物的行为特征,开发出更为有效的去除技术和净化设备,同时,这些研究成果也有助于指导产业界优化生产工艺流程,减少VOCs排放,实现可持续发展目标。

#### 1. 3. 4 提升环境管理效能与公众参与度

通过定期发布VOCs检测报告,向社会各界公开环境质量信息,可以增强政府部门的透明度,提高环境管理工作的公信力和社会认可度。此外,当公众能够获取到准确可靠的环境监测数据时,他们将更有可能参与到环境保护活动中来,形成良好的社会监督机制。

## 2 挥发性有机物检测技术在环境检测中的应用

### 2. 1 气相色谱法

气相色谱法(Gas Chromatography, GC),作为一种高效的分离技术,在挥发性有机化合物(VOCs)的检测与分析领域占据着不可替代的地位,其核心在于利用样品组分在固定相与流动相之间不同的分配系数,实现复杂混合物的有效分离。此过程通常需要经过样品预处理、进样、色谱柱分离以及检测器检测等多个步骤,其中色谱柱的选择与操作条件的优化对分离效果有着至关重要的影响。在环境监测领域,气相色谱法因其高灵敏度、良好的重现性和广泛的适用范围而被广泛采用,尤其是在对空气中微量乃至痕量VOCs的检测方面,例如苯系物、甲醛及氯仿等,不仅能够满足室内空气质量评估的需求,同时也为工业废气排放监控提供了强有力的技术支撑。此外,该方法还广泛应用于毒理学研究、食品安全控制、药物成分分析以及制药工艺优化等多个领域,展现了其在科学和技术应用方面的巨大潜力与价值。

### 2. 2 高效液相色谱法

高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)作为一种先进的分离分析技术,在挥发性有机物检测中同样扮演着重要角色,其主要特点是能够在高压条件下利用液体流动相将样品组分在固定相上实现快速且高效的分离。HPLC系统由泵、进样器、色谱柱、检测器及数据处理单元组成,通过精确控制流动相流速、温度等参数,可以有效提高分离效率与检测灵敏度。在环境监测领域,HPLC技术不仅能够用于分析水体和土壤中VOCs的含量,还能够针对特定污染物进行定性定量分析,为环境污染状况评估、污染源追踪及环境修复策略制定提供了科学依据。同时,HPLC技术的发展促进了新型检测器的研发与应用,如紫外可见光检测器、荧光检测器和质谱检测器等,进一步增强了该技术在复杂样品分析中的适应性和准确性。

### 2. 3 吸附管采样-热脱附法

吸附管采样-热脱附法作为一种高效、便捷的VOCs采样与预处理技术,在环境监测中得到了广泛应用,该方法首先利用填充有特定吸附材料的采样管捕集空气中的VOCs,随后通过热脱附仪将采样管加热至一定温度,促使VOCs从吸附剂表面解吸并转移到气相色谱仪中进行后续分析。此过程中,吸附材料的选择、采样条件的设定以及热脱附条件的优化均是保证样品完整性和分析结果准确性的关键因素。吸附管采样-热脱附法不仅适用于大气环境中VOCs的长期监测,也适合于室内空气质量调查,尤其对于那些浓度较低但对人体健康影响较大的有机污染物而言,该方法展现出了较高的灵敏度和可靠性,为环境科学领域的研究与实践提供了有效的技术支持。

### 2. 4 气相色谱-质谱联用法

气相色谱-质谱联用法(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)将气相色谱的高效分离能力与质谱的强大定性定量功能有机结合,形成了一种综合性能优越的分析手段,特别适用于复杂样品中多种VOCs的同时检测。GC-MS系统通过气相色谱部分完成对目标化合物的分离,再经由接口装置将分离后的化合物引入质谱仪中进行分子碎片化分析,最终根据质荷比信息确定化

合物的具体结构与含量。这一过程不仅要求仪器具备高分辨率、高灵敏度和高稳定性,还需要操作者掌握复杂的实验设计与数据分析技巧。在环境监测领域,GC-MS技术因其卓越的检测限、宽广的动态范围和强大的多组分分析能力,成为了评估大气、水体、土壤等环境介质中VOCs污染程度不可或缺的工具,对于推动环境质量改善和生态保护政策的制定具有重要意义。

### 3 挥发性有机物检测技术在环境检测中应用的注意事项

#### 3.1 严格规程以减少检测误差

在挥发性有机物检测的全过程中,从采样、样品前处理到最终的分析检测,每个环节都应当遵循严格的操作规程,以确保整个检测流程的标准化、规范化,从而最大限度地减少检测误差,保证检测结果的准确性和可靠性。在采样阶段,鉴于VOCs极易受到外界环境因素的影响,如温度、湿度、风速等,因此选择合适的采样时间和地点至关重要,同时应采用经过验证的采样装置与技术,确保所采集的样品能够真实反映目标区域的实际情况。样品收集完成后,其储存与运输过程中的管理同样不容忽视,应采取有效的防挥发、防泄漏措施,避免样品在非理想条件下发生变化,影响后续分析的准确性。进入实验室后,样品前处理步骤需严格按照既定方法执行,包括但不限于溶剂萃取、固相微萃取等,确保待测组分得到充分提取而不引入杂质。最后,在分析检测环节,技术人员应根据VOCs的物理化学性质,合理选择分析方法与仪器,如气相色谱-质谱联用技术,确保分析过程的高灵敏度和高选择性,同时注意仪器的日常维护与定期校正,以维持其最佳工作状态,减少因设备老化或故障带来的检测误差。

#### 3.2 精选方法以提升检测精度

挥发性有机物检测精度的高低直接关系到环境监测结果的可信度,因此,正确选择检测方法显得尤为重要。面对不同来源、不同性质的环境样品,检测人员需综合考量VOCs的类型、浓度分布以及具体的分析需求,从现有的多种检测技术中挑选最适配的方法或方法组合。例如,在分析低浓度VOCs时,考虑到此类化合物在环境中的存在形式较为微量,可能需要借助气相色谱-质谱联用技术,利用其高灵敏度和高分辨率的优势,实现对痕量组分的精确定量。此外,对于某些特殊场合下VOCs的现场快速筛查,则可考虑使用便携式气相色谱仪,尽管其灵敏度略逊于实验室级设备,但能够满足即时响应的要求。无论采用哪种检测方法,都应注重方法的重复性和再现性测试,通过平行实验或加标回收试验等方式,验证方法的稳定性和可靠性,确保每次检测都能够获得一致的结果,从而提高整体检测精度。

#### 3.3 强化校准以确保仪器性能

仪器性能的稳定性和准确性是挥发性有机物检测质量的根本保障,因此,定期对检测仪器进行全面校准是不可或缺的质量

控制措施。校准工作不仅要覆盖仪器的基本性能指标,如灵敏度、分辨率、线性范围等,还需针对不同型号、不同用途的仪器制定个性化的校准方案,确保每台设备都能在其预期的工作范围内保持良好的运行状态。在校准过程中,应使用经过认证的标准物质作为参考,通过比较仪器读数与标准值之间的差异,评估仪器的测量偏差,及时调整或修正。此外,校准频率的确定也是一个值得重视的问题,一般而言,频繁使用的仪器或在极端环境下工作的仪器,其校准周期应适当缩短,以确保其始终处于最佳性能状态。通过持续的校准与维护,可以有效延长仪器使用寿命,降低故障率,同时提高检测结果的准确性和一致性。

#### 3.4 建立健全质量管理体系

为了全面提升挥发性有机物检测的质量管理水平,构建一个系统化、规范化的质量管理体系显得尤为必要。这一体系应当贯穿从样品采集、前处理、分析检测到最终报告编制的全过程,通过制定详细的操作规程、质量手册及程序文件,明确规定各环节的具体操作步骤、质量控制标准及责任分配,确保每一位工作人员都能严格按照既定流程开展工作。在实际操作中,应设立专门的质量监督岗位,负责对检测过程进行定期或不定期的审查与评估,及时发现并纠正存在的问题,确保所有检测活动均符合相关法律法规及行业标准的要求。此外,建立一套完善的检测结果追溯机制也是质量管理体系的重要组成部分,一旦发现检测数据异常,可通过追溯机制快速定位问题源头,采取必要的纠正措施,避免类似错误再次发生。

### 4 结束语

挥发性有机物检测技术在环境检测中的应用具有广泛而重要的意义。通过科学的方法和技术手段对空气中的VOCs进行定性和定量分析,有助于评估其浓度水平、识别具体的化合物种类,并监测其变化趋势。这为制定有效的环境保护措施、保障人体健康提供了重要依据。在未来的环境检测工作中,我们应继续加强挥发性有机物检测技术的研发和应用,不断提高检测的准确性和效率,为环境保护事业做出更大贡献。

### 参考文献

- [1] 李传鹏.挥发性有机物检测技术在环境检测中的应用分析[J].化纤与纺织技术,2024,53(06):53-55.
- [2] 欧阳文瑜,刘舒芹,黄雅萱.基于固相微萃取检测美甲产品中挥发性有机物[J].分析测试学报,2024,43(09):1450-1457.
- [3] 朱兴伟,杨杰,杨钊,等.双柱双进样气相色谱测定排除性检测5种挥发性有机物方法研究[J].劳动保护,2024,(07):71-73.

### 作者简介:

刘海亚(1981--),女,汉族,江苏江阴人,本科,工程师,大气监测。