

# Research on the monitoring methods and control countermeasures of volatile organic compounds in the atmosphere

Yang Yang Yi Huang\*

Jingzhou Ecological Environment Monitoring Center of Hubei Provincial Department of Ecological Environment, Jingzhou, Hubei, 434000, China

## Abstract

Volatile organic compounds in the atmosphere, as an important precursor of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) and other secondary pollutants, play a major role in the formation of air pollution phenomena such as haze and photochemical smog. Given the low concentration of volatile organic compounds in the atmosphere and the complex composition, the adoption of scientific monitoring methods and improving the ability of monitoring, is the key to ensure the accurate and reliable monitoring data. This paper expounds the main monitoring methods of volatile organic compounds in the atmosphere, and puts forward countermeasures for the current problems existing in VOCs control, in order to provide reference for the monitoring of volatile organic compounds in the atmosphere and pollution control.

## Keywords

volatile organic compounds; VOCs monitoring; control countermeasures; air pollution

## 大气中挥发性有机物监测方法及防治对策研究

杨阳 黄毅\*

湖北省生态环境厅荆州生态环境监测中心, 中国·湖北 荆州 434000

## 摘 要

大气中的挥发性有机物, 作为细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 与臭氧 (O<sub>3</sub>) 等二次污染物的重要前驱体, 对雾霾、光化学烟雾等大气污染现象的形成起了主要作用。鉴于大气中的挥发性有机物浓度较低并且成分复杂, 因此, 采用了科学的监测方法并提升监测的能力, 是确保监测数据准确可靠的关键。本文中阐述了大气中挥发性有机物的主要监测方法, 并针对当前VOCs防治存在的问题提出了对策, 以为大气中挥发性有机物的监测和污染防治提供参考。

## 关键词

挥发性有机物; VOCs监测; 防治对策; 大气污染

## 1 引言

大气挥发性有机物又称为 VOCs, 是熔点低于室温, 沸点在 50℃ -260℃之间, 室温下饱和蒸气压超过 133.32Pa 的易挥发性化合物, 主要包括烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃、卤代烃, 以及含氧、氮、硫的有机物等。它们是臭氧与细颗粒物形成的前体, 其浓度过高会导致雾霾天气的出现。此外, 这些有机物与大气中的特定物质结合后, 会引发进一步的光化学反应, 生成光化学烟雾, 对人类的健康构成威胁<sup>[1]</sup>。

【作者简介】杨阳 (1985-), 女, 中国湖北荆州人, 本科, 工程师, 从事环境监测研究。

【通讯作者】黄毅 (1985-), 男, 中国湖北谷城人, 本科, 工程师, 从事环境监测研究。

近年来, 国务院先后发布了《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》以及《空气质量持续改善行动计划》等文件, 对 VOCs 治理提出了具体要求, 大力推进 VOCs 减排。因此, 提升大气中挥发性有机物的监测能力, 对光化学污染的防控及空气质量的持续提升尤为重要。

## 2 挥发性有机物的特征

大气中挥发性有机物来源广泛, 且化学结构多样, 尽管甲烷在大气中含量最高, 但其化学性质稳定, 不易参与光化学反应, 常被视为惰性成分。一般来说, 我们所研究的大气挥发性有机物主要是指非甲烷碳氢化合物。大气挥发性有机物主要分为天然源以及人为源两大类。在实际采样过程中, 不同采样方法测定出的挥发性有机物成分也有所差异。此外, 气象条件、排放源类型等因素也会使大气中挥发性有机物的地域分布呈现差异性。有关数据显示, 人类活动少的

城郊等区域,其大气中挥发性有机物浓度水平普遍低于城市等人类活动较多的区域。就化学反应活性而言,大气中的挥发性有机物成分复杂,涵盖排放源直接排放的一次污染物,以及这些一次污染物经由大气光化学反应后衍生的醛类等含氧有机化合物<sup>[2]</sup>。

### 3 大气中挥发性有机物的采样方法

我国当前标准方法规定的大气挥发性有机物采样技术包括吸附采样、罐采样以及气袋采样等几种方式。此外,还有研究人员探索了固相微萃取采样法,并取得了显著成效<sup>[3]</sup>。不同的采样方法适用于不同的场景和条件,在实际应用中需根据待测 VOCs 的浓度、采样点的环境条件以及实验室分析要求等因素选择合适的采样方法。

#### 3.1 吸附采样法

吸附采样技术利用内置吸附剂的采样管来采集大气中的挥发性有机物,要求吸附剂对目标化合物有良好的吸附能力、充足的吸附容量及高效的吸附速率,同时,吸附剂还需具备化学稳定性及便于脱附的特性。常用的碳基吸附剂含 Tenax TA、Tenax GR、Carbopack B、Carbopack C 及 Carboxen 1000 等,它们既可独立作为采样介质,也可搭配使用来拓宽 VOCs 的采集范围。

#### 3.2 罐采样法

罐采样法是一种常用的 VOCs 采样方法。它使用清洁好的采样罐作为采样容器。在采样前,需要根据预期需要选择瞬时采样或恒流采样方式<sup>[4]</sup>。如果选择恒流采样,还需要根据罐的体积和采样时长进行计算。在采样过程中需要采集运输空白样本。

#### 3.3 容器采集法

容器采集法主要针对一些浓度较高的 VOCs 污染物。常用的收集容器包括塑料袋、罐子、玻璃注射器等。但需要注意的是,塑料袋作为收集容器容易造成污染物的渗透,导致样本丢失。而注射器则可能导致少量样品粘附在内壁,影响样本量。因此,在选择容器时需综合考虑其密封性和吸附性。

#### 3.4 固相微萃取法 (SPME)

固相微萃取法是一项较新的采样方法,它集采样、萃取、浓缩和进样于一体,操作简单方便且无需有机溶剂。SPME 装置由萃取头和手柄两部分组成,关键在于萃取头。萃取头上涂有聚合物涂层,用于吸附 VOCs。在采样时,将萃取头直接插入待测环境中,待吸附平衡后将萃取头收回手柄中并送至实验室进行分析。

### 4 大气中挥发性有机物的分析方法

大气中挥发性有机物常用的分析方法有:气相色谱法、气相色谱-质谱联用法、高效液相色谱法和傅里叶红外仪法等。

#### 4.1 气相色谱法 (GC)

样品通过色谱柱进行分离,利用检测器对分离后的 VOCs 组分进行检测。该方法适用于多种 VOCs 的定性和定量分析,具有高效能、高选择性、高灵敏度等特点。HJ 584-2010 标准采用氢火焰离子化检测器 (FID) 来测定苯系物<sup>[5]</sup>,HJ 645—2013 则运用电子捕获检测器 (ECD) 对挥发性卤代烃进行测定<sup>[6]</sup>。

#### 4.2 气相色谱-质谱联用法 (GC-MS)

结合气相色谱和质谱技术,先利用气相色谱将样品中的 VOCs 分离,然后通过质谱仪对分离后的组分进行定性和定量分析。GC-MS 法能够准确测定 TVOCs 中各种组分的种类和浓度,且检测灵敏度高,数据可靠。

#### 4.3 高效液相色谱法 (HPLC)

环境空气挥发性有机物的高效液相色谱法 (HPLC) 是一种重要的分析方法,其特点为分离效率高、灵敏度高、适用范围广,且样品结构在分析后可保持完整。样品溶液经高压泵驱动进入色谱柱,借助固定相与流动相间的分配差异实现有效分离,随后经由检测器完成成分的定性定量测定。分析时需要注意样品前处理、色谱柱选择、检测器选择。

#### 4.4 傅里叶变换红外光谱法 (FTIR)

该方法基于气体分子对特定波段红外辐射的吸收特性。当红外光通过含有 VOCs 的气体时,这些气体分子会吸收与其振动频率相匹配的红外光,导致红外光谱中相应波段的强度减弱。通过测量和分析这些吸收光谱,可以实现对 VOCs 的定性和定量分析。该方法具有多组分同时检测、高灵敏度与准确性、非破坏性检测以及应用范围广泛等特点。

### 5 当前大气中挥发性有机物污染防治存在的主要问题

#### 5.1 源头控制薄弱

VOCs 排放的主要源头在于有机溶剂等含 VOCs 原辅材料的使用。低 VOCs 含量原辅材料的替代还有待提高,特别是在工业涂料领域,水性、粉末等低 VOCs 涂料的采用比例远低于欧美等发达国家。

#### 5.2 无组织排放问题突出

VOCs 因其强挥发性和广泛的行业涉及性,导致产排污环节众多,无组织排放现象普遍。众多企业未针对 VOCs 无组织排放采取有效管控措施,储罐、装卸、敞开液面、工艺过程逸散等问题频发。

#### 5.3 污染治理设施效能低下

治污设施建设品质参差不齐,广泛采用的技术效能偏低,导致治理成效不佳。尽管有企业采用高效治理技术,但因设计不合理或系统不兼容等原因,未能充分发挥效能。

#### 5.4 运行管理不规范

加强 VOCs 治理应着重于过程管理的全面性和精细化。然而,许多企业存在管理制度不完善、操作规范缺失以及人

员能力欠缺等问题。

## 5.5 监测监控不到位

企业自行监测质量普遍较低,主要体现在监测点位设置缺乏合理性、采样方法不合规以及监测时段的选择代表性不足。在监管层面,现场快速检测等手段应用不足,走航监测与网格化监测等先进技术的实施也不够充分。

# 6 大气中挥发性有机物的防治对策

## 6.1 积极完善政策法规

大气中挥发性有机物治理的过程中,政策法规起到顶层引领的作用。尽管当前政府对于挥发性有机物防治出台了相关的标准,但完善的政策法规更需要强有力的执法力度,应该建立有效的监测体系对重点行业、重点企业、重点区域实时监测,一旦发现违规排放行为,必须严厉处罚。此外,政府应该充分借助人民群众的力量,鼓励公众参与监督。各级政府也可以通过经济手段激励企业减少挥发性有机物的排放,例如对采取措施降低挥发性有机物排放的企业给予奖励。

## 6.2 优化产业结构,加强源头控制

源头控制是有效防治大气中挥发性有机物的关键手段<sup>[7]</sup>。政府应该积极推动产业结构优化,限制高能耗、高污染的企业发展,鼓励环保型企业成长。优化产业布局,源头上降低污染物可以起到事半功倍的效果。此外,政府还要加强对新项目的审批及管理,严格控制企业挥发性有机物的排放,鼓励企业采用先进工艺提高资源利用率。企业在生产过程中应尽量选择挥发性有机物含量低的材料,积极采用环保型原材料及产品,从而减少挥发性有机物的产生。

## 6.3 注重过程管理与清洁生产

企业建立健全挥发性有机物管理制度是落实污染防治的重要方式。以明确的管理制度厘清不同部门、不同岗位的管理职责,确保各项防治措施能够真正落实到一线生产环节。为防止挥发性有机物无组织排放,企业应定期进行设备维护和管理,及时排查挥发性有机物泄露点。另外,清洁生产技术的采用也能有效降低污染物的排放。可以采用负压操作、密闭式操作等先进的清洁生产技术来减少挥发性有机物的排放,提高清洁生产水平。企业管理层以及相关政府管理部门,也要定期开展评估工作,加强对企业的培训指导。

## 6.4 严格把控末端治理

末端治理是进行挥发性有机物防治的最后一道防线。企业应该根据自身的生产工艺选择合适的末端治理技术,例如吸附法、冷凝法等,不同末端治理技术各有优缺点,可以根据实际情况趋利避害。对于政府来说,需要建立完善的挥发性有机物总量控制和排污权交易等制度,在排放量上限制

相关企业减少污染排放,在排放权的交易转让上,促进资源的优化配置和高效利用。

## 6.5 提升监管能力

加强 VOCs 监测能力建设,完善监测网络,提高监测数据的真实性、准确性和可靠性。加大对企业的检查频次和力度,利用便捷式检测设备等手段及时发现和处置偷排偷放问题。强化基层执法队伍建设,加大对执法人员的培训力度,提升其专业素养及执法水平。

# 7 结论

大气中挥发性有机物(VOCs)作为重要的大气污染物,对空气质量和人体健康构成威胁,采取有效的监测方法和防治对策至关重要。在采样方法上,吸附采样法、罐采样、容器采集法以及固相微萃取法等多种采样技术各有优劣,应根据实际场景和条件选择合适的采样方法。在分析方法上,气相色谱法、气相色谱-谱联用法、高效液相色谱法和傅里叶红外仪法等 VOCs 的定性和定量分析中发挥重要作用,应结合分析需求和实验室条件选择合适的方法。在防治对策上,当前大气中挥发性有机物污染防治存在的主要问题包括源头控制不力、无组织排放问题明显、污染治理设施简易低效、运行管理缺乏规范性以及监测监控不到位等。为解决这些问题,应积极完善政策法规,优化产业结构并加强源头控制,注重过程管理与清洁生产,严格把控末端治理,并加强组织领导与监管能力。

综上所述,通过综合运用多种监测方法和防治对策可以更有效地监测和控制大气中的挥发性有机物,从而改善空气质量,保障人民群众身体健康,推动经济高质量发展。

## 参考文献

- [1] 谢沛羲.城市大气中挥发性有机物监测技术分析[J].中国资源综合利用,2022,40(7):156-158.
- [2] 黄小蕾,李洁,周素文.我国大气中挥发性有机物监测与控制现状分析[J].资源节约与环保,2021,(06):47-48.
- [3] 何丽,谭丽.大气中挥发性有机物监测技术方法研究[J].绿色科技,2023,25(02):214-219+241.
- [4] 生态环境部.环境空气 65种挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法:HJ759-2023[S].北京:生态环境部,2023
- [5] 环境保护部.环境空气 苯系物的测定 活性炭吸附/二硫化碳解吸-气相色谱法:HJ584-2010[S].北京:环境保护部,2010
- [6] 环境保护部.环境空气 挥发性卤代烃的测定 活性炭吸附-二硫化碳解吸/气相色谱法:HJ645-2013[S].北京:环境保护部,2013
- [7] 苏庆梅,邢伯蕾,梁桂廷.我国大气中挥发性有机物监测与控制现状分析[J].节能,2019,38(08):89-90.