

# 固定污染源挥发性有机物在线监测应用探讨

吴艳聪, 陈森阳, 庄马展

厦门市环境科学研究院, 福建 厦门

收稿日期: 2022年1月13日; 录用日期: 2022年2月14日; 发布日期: 2022年2月21日

---

## 摘要

简述了固定污染源VOCs废气在线监测技术方法、应用原理、技术规范, 分析不同技术的优缺点, 结合数据比对、运维情况、数据执法监管应用等方面调查, 指出当前VOCs在线监测应用存在的问题, 并提出对策建议。

## 关键词

固定污染源, VOCs, 在线监测

---

# Discussion on the Application of Automated Monitoring Volatile Organic Compounds from Stationary Sources

Yancong Wu, Senyang Chen, Mazhan Zhuang

Xiamen Environmental Science Research Institute, Xiamen Fujian

Received: Jan. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Feb. 14<sup>th</sup>, 2022; published: Feb. 21<sup>st</sup>, 2022

---

## Abstract

This paper discusses the technical methods, application principles and technical specifications of automated monitoring of VOCs from stationary pollution sources, analyzes the advantages and disadvantages of different technologies. Based on the investigation of data comparison, operation maintenance and data law enforcement, it points out the problems existing in the current application and puts forward countermeasures and suggestions.

## Keywords

### Stationary Sources, VOCs, Automated Monitoring

Copyright © 2022 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. 前言

挥发性有机化合物(volatile organic compounds, 简称 VOCs)是指参与大气光化学反应的有机化合物[1], 一般包括非甲烷烃类(烷烃、炔烃、芳香烃)、含氧有机物(醛、酮、醇、醚)、含氯有机物、含氮有机物、含硫有机物等[2]。它挥发到环境空气中并参与光化学反应, 可生成臭氧(O<sub>3</sub>)、二次有机气溶胶(SOA)等有害物质[3] [4] [5]。“十三五”期间, 我国大气污染防治取得良好成效, SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>等各项污染物浓度明显下降, 但 O<sub>3</sub> 浓度不降反升。VOCs 作为臭氧的前体物, 是当前影响空气质量的重要因子[6], 加强 VOCs 污染管控势在必行。

据调查研究, 城市中 VOCs 污染主要来自于固定污染源, 即工业企业废气排放, 其占比超过 50% [7] [8] [9]。依靠传统的手工监测, 不仅周期长, 而且采样及运输过程容易造成样品损失[10], 不能满足实时性监管要求。对重点工业企业安装在线监控, 实现监测数据实时传输并与生态环境主管部门联网, 是监管企业废气达标排放, 改善环境空气质量的有效手段之一。

由于国外 VOCs 污染治理较早, 在工业企业 VOCs 在线监测方面积累了较多的技术经验, 应用相对成熟。其中, 美国开发了较多的监测仪器, 同时美国 EPA 颁布一系列的在线监测仪器标准规范, 涉及的监测仪器技术类型主要有 GC-FID、GC-ECD、GC-ELCD、NDIR 等。此外, 欧盟主要采用的是 GC-FID [11]。相对而言, 我国工业企业 VOCs 在线监测尚处于起步阶段, 国家与地区正在努力完善在线监测技术与规范, 2017 年印发的《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》提出“加快制定固定污染源在线监测系统的技术要求和检测方法”, 历经几年的探索, 当前市面上常用的是 GC-FID 和 PID 等技术类型。

## 2. VOCs 在线监测技术

### 2.1. 检测技术简介

当前, 市面上常用 VOCs 在线监测技术主要有气相色谱-氢火焰离子化检测法(简称 GC-FID)和光离子化检测法(简称 PID)。

气相色谱-氢火焰离子化检测法: 是指被检测的 VOCs 气体先经过气相色谱柱(GC), 在色谱柱内经过连续吸附和解吸附的循环往复过程实现气体中不同组分的分离, 分离后的组分流经以氢气和空气燃烧成的火焰(FID), 在高温下形成带电粒子, 产生组分浓度与带电粒子浓度成正比的电信号, 从而实现 VOCs 气体浓度的检测[12] [13]。

光离子化检测法: 是指使用具有特定电离能的真空紫外灯产生紫外光照射 VOCs, 当 VOCs 组分分子电离能小于紫外光的电离电位时, VOCs 组分分子就会被电离成带正电的离子和带负电的电子, 然后再对带电粒子施加电场, 在电场作用下, 离子和电子向极板撞击, 从而在两个电极之间产生与组分浓度成正比的微弱电流信号[14] [15]。

## 2.2. 检测技术对比分析

根据检测原理,GC-FID 在线监测设备采用高温氢火焰,对绝大多数有机物有响应,但系统较为复杂,监测过程需要氢气、洁净空气或氮气等辅助气体,需要配套建设恒温恒湿站房和专业人员运维,采购成本和运维成本相对较高[16]。

PID 在线监测设备无需载气,但受限于真空紫外灯的电离能量强度,部分有机气体无法检测。如一般配置的紫外灯管电离能为 10.6 eV,而乙酸、丙烯腈的电离电位分别为 10.66 eV、10.91 eV,因较难被击碎成带电粒子而无法检测。两种在线监测设备优缺点对比如表 1。

**Table 1.** Comparison of VOCs online monitoring instruments

**表 1.** VOCs 在线监测仪器对比

分析技术	技术特点	价格
气相色谱-氢火焰离子化检测 (GC-FID)	对碳氢有机物响应十分灵敏,检出范围广,稳定性强。但废气中的氧气、水分以及含氮氧或卤素的有机物会对色谱柱的固定相带来干扰,从而降低分析检测灵敏度和缩短色谱柱寿命。	20~30 万/套
光离子化检测(PID)	检测单元体积小,无需辅助气体。能检测的 VOCs 种类与使用的紫外灯能量、VOCs 组分化学键能直接相关,一些短链烷烃响应极低甚至无法测到。	2~5 万/套

## 2.3. 在线设备技术规范

2015 年以来,上海、天津相继出台基于 GC-FID 技术的固定污染源挥发性有机物连续监测技术规范。

2018 年 12 月 29 日,生态环境部发布的《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法》(HJ1013-2018),在国家层面上正式确立了 GC-FID 技术在 VOCs 在线监测的应用[17]。生态环境部及各省市发布的技术规范内容汇总如表 2。

**Table 2.** GC-FID method technical specification standard for VOCs online monitoring

**表 2.** VOCs 在线监测 GC-FID 法技术规范标准

地区	标准名称	标准内容
上海市	固定污染源非甲烷总烃在线监测系统安装及联网技术要求(试行)	规定了非甲烷总烃在线监测系统(非甲烷总烃 CEMS)的系统组成、站房要求、安装要求和联网要求
天津市	天津市固定污染源挥发性有机物连续监测系统安装联网技术要求(试行)	规定了固定污染源废气挥发性有机物连续监测系统的组成、主要技术指标、安装要求和联网要求。
国家标准	HJ1013-2018 固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法	规定了固定污染源废气中非甲烷总烃连续监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法。

而基于 PID 法,当前仅有广东省于 2016 年发布的《固定污染源挥发性有机物排放连续自动监测系统光离子化检测器(PID)法技术要求》(DB44/T1947-2016),属于地方上应用的技术规范[18]。

## 3. 在线设备应用情况

以南方某市为例,据统计,某市重点 VOCs 企业约 103 家。从 2019 年开始试点推行重点企业安装 VOCs 在线监控,截止 2020 年,安装 GC-FID 类型的企业 25 家,总计在线监控设备 48 套。

### 3.1. 设备验收情况

由于从 2018 年起,生态环境管理部门不再组织对以企业为主要出资方的自动监控设备安装联网工作

进行验收。因此，当前企业是验收工作的组织者，部分企业由于专业能力的欠缺，验收工作未能如期完成。某市 25 家企业，能在规定期限内完成自主验收仅 14 家。

### 3.2. 数据传输有效率情况

根据《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及监测方法》，远程有效数据传输率必须达到 90% 以上[17]。我们从联网平台随机抽取 37 套设备考察 1 个月的数据传输情况，其中数据远程传输率 90% 以上有 32 套，其余 5 套不符合要求。

### 3.3. 在线监测数据比对

随机抽取 3 家企业，合计 5 套在线监控设备，通过与实验室监测数据的比对，考察数据的准确度。其中，在线监测数据以采样同时段的浓度平均值计，结果如表 3。

**Table 3.** Comparison of laboratory monitoring and online monitoring  
**表 3.** 实验室监测与在线监测比对情况

企业名称	监测点位	实验室监测结果	在线监测结果	绝对误差的绝对值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
		非甲烷总烃浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	非甲烷总烃浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	
企业 1	废气排气筒	6.62	15.34	8.72
企业 2	喷漆排气筒 1	1.60	6.40	4.8
	喷漆排气筒 2	1.17	4.00	2.83
企业 3	二车间排气筒	8.29	13.60	5.31
	三车间排气筒	3.46	8.75	5.29

从表 3 结果可知，5 套在线监控设备在线数据准确度符合《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及监测方法》关于非甲烷总烃浓度  $< 50 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，NMHC-CEMS 与参比方法测量结果平均值绝对误差的绝对值  $\leq 20 \text{ mg}/\text{m}^3$  的规定要求[7]。

### 3.4. 设备运维情况

根据《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法》要求：① 具有自动校准功能的 NMHC-CEMS 每 24 h 至少自动校准一次仪器零点和量程，同时测试并记录零点漂移和量程漂移；② 无自动校准功能的 NMHC-CEMS 每 7 d 至少校准一次仪器零点和量程，同时测试并记录零点漂移和量程漂移；③ 至少 3 个月做一次校验，校验用参比方法和 NMHC-CEMS 同时段数据进行比对[17]。

现场调查发现，大多数企业安装的在线监控设备具有自动校准功能，能按规范要求开展零点和量程校准，但是极少企业按要求每 3 个月进行一次校验。另外，据统计一套 GC-FID 在线监控年运维费用约 6~8 万元。

### 3.5. 在线数据执法应用

从联网平台查询到，2020 全年挥发性有机物浓度在线监控小时超标数据 5061 条，涉及企业 12 家，但却没有因此直接被处罚的一个案件。究其原因是当前企业挥发性有机物在线监控数据尚不能直接应用于执法监管，需要结合开展现场调查，现场监测采样确认超标后才能立案查处。

根据《环境行政处罚办法》第三十六条规定，“环境保护主管部门可以利用在线监控或者其他技术

监控手段收集违法行为证据;经环境保护主管部门认定的有效性数据,可以作为认定违法事实的证据。”在线监控数据作为处罚证据直接采用有着严格的规定。如没有通过强制计量检定的自动监测设备产生的数据、没有通过有效性审核的自动监控数据、异常自动监控数据均不能作为执法依据。

## 4. 结论与建议

### 4.1. 结论

当前,基于 GC-FID 方法的挥发性有机物在线监控标准规范较多,是应用的主流技术类型,但其安装运维成本高,对于企业而言是不小的经济负担。企业自主验收缺乏规范引导,验收项目不完全,设备运维未能严格按照规范执行。法律法规衔接不畅,在线监测数据目前只能起到预警提示作用,超标数据不能直接处罚,执法方面应用不及预期。

### 4.2. 建议

2019 年生态环境部印发《重点行业挥发性有机物综合治理方案》明确要求重点排污单位安装在线监测设施,并与生态环境部门联网。建议各地生态环境部门参照《上海市固定污染源非甲烷总烃在线监测系统验收及运行技术要求》指导企业开展 VOCs 在线监测系统建设工作,同时制定财政资金补助方案,鼓励企业主动安装。

在执法监管应用方面,建议地方生态环境部门联合市场监督管理部门出台在线监控管理办法,将未按相关技术规范和标准安装在线监测设备、安装在线监测设备不符合计量器具管理要求规定、在线监测设备超过规定期限未组织验收或验收不通过的、未按要求开展比对监测或比对监测结果不符合技术规范要求等情形纳入违法行为认定范围,打通执法应用障碍,切实发挥在线监控智慧监管的功能。

## 参考文献

- [1] 江梅, 邹兰, 李晓倩, 车飞, 赵国华, 李刚, 张国宁. 我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨[J]. 环境科学, 2015(9): 3522-3532.
- [2] 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 财政部, 交通运输部, 国家质量监督检验检疫总局, 国家能源局. “十三五”挥发性有机物污染防治工作方案:环大气[2017]号[EB/OL]. [https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201709/t20170919\\_421835.htm](https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201709/t20170919_421835.htm), 2020-02-18.
- [3] 郑玫, 闫才青, 李小滢, 等. 二次有机气溶胶估算方法研究进展[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 555-564.
- [4] 郝吉明, 程真, 王书肖. 我国大气环境污染现状及防治措施研究[J]. 环境保护, 2012, 40(9): 17-20.
- [5] 王倩, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 424-433.
- [6] 生态环境部. 2020 年挥发性有机物治理攻坚方案: 环大气[2020]33 号[EB/OL]. [http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk03/202006/t20200624\\_785827.html](http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk03/202006/t20200624_785827.html), 2020-06-24.
- [7] 席劲璞, 武俊良, 胡洪营, 等. 工业 VOCs 排放源废气排放特征调查与分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(11): 1158-1162.
- [8] 周裕敏, 郝郑平, 王海林. 北京地区城乡结合部大气挥发性有机物污染及来源分析[J]. 环境科学, 2011, 32(12): 3560-3565.
- [9] 陈颖. 我国工业源 VOCs 行业排放特征及未来趋势研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2011: 56-58.
- [10] 庄马展, 傅彦斌, 王颖, 陈森阳, 金月正, 吴冬阳. 基于现场监测分析的厦门市 VOCs 治理绩效评估研究[J]. 海峡科学, 2020(12): 20-24.
- [11] 江苏省生态环境厅. 固定污染源废气挥发性有机物在线监测技术规范编制说明[S]. 南京: 江苏省环境科学研究院, 2019. [http://sthjt.jiangsu.gov.cn/art/2019/12/17/art\\_2470\\_8847357.html](http://sthjt.jiangsu.gov.cn/art/2019/12/17/art_2470_8847357.html)
- [12] 王帅. 气相色谱法在大气中 VOCs 在线监测领域的应用[J]. 广东化工, 2020, 47(8): 160-162.

- [13] 刘锦泽. 固定污染源 VOCs 在线监测系统技术特征及发展需求研究[J]. 环境与发展, 2019, 31(2): 192+194.
- [14] 杨永青, 吕权息. 光离子化技术应用于挥发性有机物检测的技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2016(12): 4-5.
- [15] 李海. 基于光离子化技术的 VOCs 检测研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆邮电大学, 2020.
- [16] 郑秀亮, 叶伟莹. 中小企业 VOCs 在线监测设备如何选择[J]. 环境, 2020(9): 62-64.
- [17] 生态环境部. 固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法[S]. 北京: 生态环境部, 2019.
- [18] 广东省生态环境厅. 固定污染源挥发性有机物排放连续自动监测系统光离子化检测器(PID)法技术要求[S]. 广州: 广东省生态环境厅, 2016.