

智能化 VOCs 在线监测在炼化企业中的应用

殷悦

中国石化塔河炼化有限责任公司 842000

【摘要】随着工业化进程加速,挥发性有机物(VOCs)排放对大气环境质量的影响日益显著。传统监测方法存在采样周期长、实时性差、精度不足等问题,难以满足现代环境监管需求。在炼化企业智能化VOCs在线监测系统通过融合物联网、大数据、人工智能等技术,实现了对VOCs排放的实时、精准、动态监控,成为提升空气质量监管效率的关键技术。本文通过实际数据比对分析,表明该系统在提升空气质量监管效率方面成效显著,能有效实时监测VOCs排放,为精准管控工业排放提供关键技术支撑,助力环保事业发展。

【关键词】VOCs; 在线监测; 智能化; 数据比对; 环境治理

Application of Intelligent VOCs Online Monitoring in Refining and Chemical Enterprises

Yin Yue

Sinopec Tahe Refining&Chemical Co., Ltd. 842000

【Abstract】With the acceleration of industrialization, the impact of volatile organic compounds (VOCs) emissions on atmospheric environmental quality is becoming increasingly significant. Traditional monitoring methods have problems such as long sampling periods, poor real-time performance, and insufficient accuracy, which make it difficult to meet the needs of modern environmental supervision. The intelligent VOCs online monitoring system in refining and chemical enterprises integrates technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence to achieve real-time, accurate, and dynamic monitoring of VOCs emissions, becoming a key technology for improving air quality supervision efficiency. This article shows through actual data comparison and analysis that the system has achieved significant results in improving the efficiency of air quality supervision. It can effectively monitor VOCs emissions in real time, provide key technical support for precise control of industrial emissions, and help the development of environmental protection.

【Key words】VOCs; Online monitoring; Intelligitization; Data comparison; environmental governance

引言

挥发性有机物(VOCs)作为大气光化学污染的重要前体物,不仅对人体健康构成威胁,还能通过光化学反应生成臭氧和二次颗粒物,加剧空气污染。传统VOCs监测主要依赖人工采样与实验室分析,存在数据滞后、盲区多、成本高等弊端,难以满足实时监管需求。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,智能化VOC在线监测系统应运而生,通过实时数据采集、高精度分析、智能预警等功能,显著提升了环境监管的效率与精准度,对改善空气质量具有重要意义。

1 智能化 VOCs 在线监测系统原理

智能化VOCs在线监测系统基于多技术融合,通过采样、预处理、检测分析、数据处理与传输、报警与联动等环节,实现对环境中的挥发性有机物(VOCs)的实时、精确监测。

2 系统构成

2.1 采样系统

采样系统负责从现场采集被测气体,其设计需确保能够准确、稳定地获取代表性气体样本。针对不同应用场景,采样方式可分为泵吸式与扩散式。泵吸式采样通过内置泵体主动抽取气体,适用于高浓度或远距离采样;扩散式采样则依赖气体自然扩散,适用于低浓度或近距离监测。

2.2 检测分析单元

气体检测单元是系统的核心模块,采用先进的传感器与检测技术对被测气体进行精确分析。

2.2.1 光离子化检测器(PID):适用于苯系物、烯烃等低浓度VOCs的快速检测,响应时间短,但无法区分具体组分。

2.2.2 火焰离子化检测器(FID):对碳氢化合物响应灵敏,线性范围宽,但受氧气与水蒸气干扰较大。

2.2.3 光谱技术(FTIR):通过测量气体对特定波长光的吸收特性,实现多组分同时监测,响应速度快,但光学器件维护成本较高。

2.2.4 智能型复合TVOC分析仪:可同时定性定量多种VOCs组分,灵敏度高,但分析周期长,设备成本高。

表 1 核心性能指标对比

指标	PID 传感器 ppm	FID 传感器 ppm	红外光谱 (FTIR), ppm	智能型复合 TVOC 分析仪 PTM600-S, ppm
检测范围	0 ~ 10, 000	0 ~ 100% LEL	多组分同时分析	0 ~ 100%LEL 0 ~ 5%Vol 0 ~ 10000
分辨率	0 ~ 10 高精度	0.1% LEL	痕量级物质	0.1 0~1000
准确度	± 2% FS	± 3% FS	± 5% FS	± 2%FS (可选 1%高精度传感器)
响应时间	≤ 3 秒	≤ 5 秒	≤ 10 秒	≤ 20 秒
检测原理	光离子化 (紫外光电离)	氢火焰离子化	傅里叶变换红外吸收	电化学、红外、催化燃烧、PID 等多原理复合
使用场景	低浓度 VOC 快速检测	高灵敏度有机物检测	复杂废气成分分析	工业安全、环保合规、职业健康防护等全场景

表 2 抗干扰能力与稳定性

指标	PID 传感器	FID 传感器	FTIR 系统	PTM600-S 分析仪
环境适应性	温度: -20°C~60°C	温度: -10°C~50°C	温度: 0°C~40°C	温度: -20°C~50°C
	湿度: 0 ~ 90%	湿度: <85%	湿度: <70%	湿度: 10 ~ 95%
抗颗粒物干扰	内置除水除尘过滤装置	需前置过滤器	需前置除尘装置	模块化设计, 气路卡扣式连接, 10 级流量可调
零点漂移	≤ ± 2% FS/24h	≤ ± 3% FS/24h	≤ ± 5% FS/24h	自动校准功能, 零点漂移 ≤ ± 1% FS/24h
传感器寿命	2 ~ 3 年 (PID)	2 ~ 3 年 (催化燃烧)	5 ~ 10 年	电化学 2 ~ 3 年, 红外 5 ~ 10 年, PID 2 ~ 3 年

表 3 智能化功能对比

功能	PID/FID 传统设备	PTM600-S 智能分析仪	AI 驱动可穿戴传感器 (MISSA)
数据传输	RS485/GPRS (单通道)	4G/LORA/MESH/NB-IOT (多通道)	蓝牙/WiFi (便携式)
报警方式	声光报警	声光+视觉+震动+语音	智能手机 APP 推送
数据分析	基础浓度曲线	最大值/最小值/加权平均值统计	混合主成分分析 (PCA) + 机器学习
自修复能力	无	无	可靠自修复能力 (HDIM 材料)

2.3 数据处理与传输系统

数据采集与处理子系统负责将监测数据收集并传输至终端设备, 供用户进行查看和分析。该子系统通常包括数据采集模块、数据处理模块与数据存储模块。数据采集模块通过高精度 AD 转换器将传感器信号转换为数字信号; 数据处理模块利用深度学习算法对原始数据进行去噪、增强与特征提取; 数据存储模块则将处理后的数据存储至本地或云端, 支持历史数据查询与趋势分析。

2.4 辅助监测系统

辅助监测系统包括报警系统、校准系统、故障诊断系统等, 用于确保监测系统的稳定运行与数据的准确性。报警系统可根据预设阈值实时判断 VOCs 浓度是否超标, 并通过短信、邮件、APP 推送等方式通知相关人员; 校准系统支持自动校准与手动校准, 确保传感器长期稳定性; 故障诊断系统则通过内置传感器与算法, 实时监测设备运行状态, 提前预警潜在故障。

3 智能化 VOCs 在线监测系统的核心功能

智能化 VOC 在线监测系统通过融合物联网、大数据、人工智能等技术, 实现了对 VOCs 排放的实时、精准、动态监控。

3.1 实时监测与预警

系统通过物联网技术实时采集、处理与分析数据, 及时发现生产过程中的异常情况, 并自动发出预警。例如, 某石化企业生产监测项目发现, 由于密封不良导致 VOCs 泄漏, 系统立即触发报警, 并通知维修人员前往处理, 避免了环境污染事故的发生。实时监测与预警功能显著提高了企业的应急响应速度, 降低了环境风险。

3.2 高精度与高灵敏度检测

基于先进的检测技术, 智能化 VOCs 在线监测系统能够精确测量空气中的 VOCs 浓度, 降低检测限和干扰因素, 提高分析的灵敏度和选择性。例如, 某石化企业储罐区监测项目采用 GC-MS 技术, 结合富集装置, 实现了对非甲烷总烃 (NMHC) 及特征污染物的精准检测, 检测限低至 0.1ppm, 为企业提供了更加准确、可靠的监测数据。

3.3 远程监控与数据分析

通过物联网技术, 监测数据可以实时传输到云端, 实现远程监控和数据分析。环保部门和企业可通过云端平台查看监测数据、生成排放趋势图、溯源报告及合规性评估, 辅助优化治理工艺。

4 全流程监测, 覆盖废弃资源化各环节

4.1 智能化监测系统在二氧化硫、氮氧化物、非甲烷总烃减排中的应用

在废弃资源化治理中，智能化 VOCs 在线监测系统通过实时感知、智能分析与闭环控制，为工艺优化、排放管控和资源回收提供关键技术支持，其核心应用体现在全流程监测、数据驱动决策、安全风险防控三大维度。应用无组织

排放监控和有组织排放口监控。比如有组织排放口监控在烟囱或排气筒安装高精度 FID 检测器，连续监测非甲烷总烃（NMHC）浓度、二氧化硫、氮氧化物数据直传环保平台，可实时监测企业排放口的气体浓度，确保达标排放。同时评估减排措施的效果，为进一步调整减排策略提供科学依据。

表 4 烟气在线监测数据比对

时间	氮氧化物 mg/m ³	二氧化硫 mg/m ³	非甲烷总烃 mg/m ³	备注
2025 年 1 月	99.33	10.33	76.50	在线分析
	97.66	9.22	76.08	实验室手动分析
2025 年 2 月	102.31	9.30	71.25	在线分析
	100.54	9.05	68.92	实验室手动分析
2025 年 3 月	97.65	10.56	54.82	在线分析
	96.99	9.72	53.08	实验室手动分析
2025 年 4 月	87.30	10.75	80.66	在线分析
	86.32	11.11	78.16	实验室手动分析
2025 年 5 月	85.32	9.04	82.71	在线分析
	88.30	9.21	79.55	实验室手动分析
2025 年 6 月	96.33	12.11	64.66	在线分析
	95.21	12.00	62.41	实验室手动分析

由表 4 比对结果来看，氮氧化物数据比对结果的差值在 0.0 ~ 1.70，二氧化硫误差 0.0 ~ 1.11，非甲烷总烃在 0 ~ 2.33，两种分析结果误差均在允许范围内。

4.2 智能化 VOCs 在线监测系统与 LDAR 泄漏检测技术的应用

LDAR 检测技术是一种通过检测化工企业设备密封点的泄漏并修复以减少挥发性有机物（VOCs）无组织排放的

技术。智能化 VOCs 在线监测系统与 LDAR 技术相结合，可提高泄漏检测的效率和准确性。通过实时监测设备周围的 VOCs 浓度，快速定位泄漏点，为修复工作提供精准指导。例如，在化工企业中，应用智能化 LDAR 管理系统，实现了泄漏检测数据的自动采集、传输和分析，提高了工作效率，降低了人工检测的误差，取得了显著的 VOCs 减排效果。

表 5 LDAR 数据比对

时间	样品	抽查数据 ppm	标气校准值 500ppm	备注
2025 年 1 月	样品 1	8.2	502	在线分析
	样品 1	8.1	502	实验室手动分析
2025 年 2 月	样品 2	3.0	501	在线分析
	样品 2	3.1	500	实验室手动分析
2025 年 3 月	样品 3	10.2	499	在线分析
	样品 3	10.0	498	实验室手动分析
2025 年 4 月	样品 4	117	500	在线分析
	样品 4	115	501	实验室手动分析
2025 年 5 月	样品 5	167	498	在线分析
	样品 5	164	498	实验室手动分析
2025 年 6 月	样品 6	2.3	501	在线分析
	样品 6	2.4	502	实验室手动分析

由表 5 验证结果来看，数据结果的差值在 0.0 ~ 3.0ppm 之间，误差均在允许范围内。标气校准值 500ppm 的结果验证在 2ppm 结果准确。

4.3 智能化 VOCs 在油气回收系统甲烷控制技术及应用

在能源活动方面，严格执行污染物排放标准，加强油气系统甲烷控制技术产业化及推广应用，提高利用效率和监测水平。智能化 VOCs 在线监测系统应用于石油炼制、输送等环节，实时监测总烃、甲烷等，同时为甲烷的控制和回收利用提供数据支持。

表6 油气回收在线监测数据比对

时间	总烃 mg/m ³	甲烷 mg/m ³	非甲烷总烃 mg/m ³	备注
2025年1月	1987.80	1.17	1489.97	在线分析
	1845.10	1.02	1383.06	实验室手动分析
2025年2月	1299.00	0.06	974.25	在线分析
	11795.22	0.09	896.35	实验室手动分析
2025年3月	50.83	0.33	37.88	在线分析
	47.66	0.22	35.58	实验室手动分析
2025年4月	661.00	0.06	495.71	在线分析
	656.12	0.08	492.03	实验室手动分析
2025年5月	49.94	1.07	36.65	在线分析
	47.84	1.00	35.13	实验室手动分析
2025年6月	76.89	1.54	56.51	在线分析
	74.33	1.22	54.83	实验室手动分析

由表6验证结果来看,总烃、甲烷、非甲烷总烃分析数据结果误差均在允许范围内,结果准确。

4.4 智能化 VOC 在线监测系统在厂界环境大气中的应用

传统的采样系统是实验室人员从现场采集被测气体,必

须保证能够准确、稳定地获取代表性气体样本。泵吸式采样通过内置泵体主动抽取气体,适用于低浓度或近距离监测。

智能化 VOC 在线监测系统通过实时数据采集、高精度分析、智能预警等功能,显著提升了环境监管的效率与精准度。

表7 厂界 VOC 环境大气监测数据比对

时间	总烃 mg/m ³	甲烷 mg/m ³	非甲烷总烃 mg/m ³	苯 ug/m ³	甲苯 ug/m ³	备注
2025年1月	1.907	1.541	0.274	2.549	1.366	在线分析
	1.588	1.235	0.264	2.310	1.330	手动分析
2025年2月	1.900	1.530	0.278	3.585	1.929	在线分析
	1.710	1.344	0.274	3.550	1.877	手动分析
2025年3月	1.386	1.106	0.210	0.875	0.765	在线分析
	1.160	0.890	0.202	0.865	0.754	手动分析
2025年4月	1.671	1.337	0.249	4.045	5.071	在线分析
	1.554	1.230	0.243	4.011	5.102	手动分析
2025年5月	1.667	1.446	0.166	3.776	1.057	在线分析
	1.640	1.420	0.165	3.800	1.120	手动分析

由表7验证结果来看,总烃、甲烷、非甲烷总烃、苯、甲苯分析数据结果误差均在允许范围内,结果准确。

化硫和氮氧化物减排技术、污水池无动力治理技术、LDAR 泄漏监测与修复技术以及气体分离膜的研发及应用等相关技术,与智能化 VOCs 在线监测系统相互配合,共同提升了空气质量监管效率。

5 结论

5.1 智能化 VOCs 在线监测系统凭借其先进的原理和显著的特点,在废气资源化治理等多个领域发挥着关键作用。在甲烷和 VOCs 协同治理、炼化企业 VOCs 综合管控、储罐 VOCs 安全高效综合利用治理等方面,该系统通过实时、准确的监测,为治理技术的优化和调整提供了有力支持,有效提高了治理效果,降低了 VOCs 排放。

5.2 非 CO₂ 温室气体排放控制与资源化利用技术、二氧

5.3 经过在线监测和实验室对比数据分析,智能化 VOCs 在线监测系统实现自动监测,时间短,准确度和重复性均满足标准要求,在实际工作中此方法已经应用于炼化企业,并取得良好效果,数据准确、及时有效。

5.4 随着技术的不断进步和创新应用的深入,智能化 VOCs 在线监测系统及相关技术将不断完善和发展,为改善空气质量、保护生态环境发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]张晓丽 武志恒 曹鹏鹏《智能化 VOCs 在线监测:提升空气质量监管效率的关键技术》2024-11-05
 [2]孙也 白志飞 周占军 隋广春 薛宇浩 吕玲玲《在线 VOC 监测系统有什么功能特点》2025-07-10