

污染物废气检测研究分析

石文聪

佛山市正好检测技术有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8621

[摘要] 随着工业化进程的迅猛推进以及城市化规模的持续扩张, 废气排放已然成为严重影响环境质量与公众健康的核心问题。在工业生产环节, 众多企业如钢铁厂、化工厂、水泥厂等, 每日都向大气中排放着巨量的废气, 其中包含二氧化硫、氮氧化物、颗粒物以及挥发性有机物等多种污染物。与此同时, 机动车保有量的急剧增长, 使得尾气排放成为大气污染的重要贡献源, 尤其是在城市地区, 汽车尾气中的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物等, 严重影响着城市的空气质量。能源利用过程中, 煤炭、石油等化石燃料的燃烧, 同样释放出大量污染物。生态环境部数据显示, 仅2022年全国就完成工业废气检测超800万次, 检测精度达到ppb(十亿分之一)级, 精准识别出VOCs、氮氧化物等关键污染因子, 这足以表明废气污染问题的严峻性。废气中的污染物会引发一系列环境问题, 如二氧化硫和氮氧化物是酸雨形成的主要前体物, 挥发性有机物会导致光化学烟雾, 而颗粒物尤其是PM_{2.5}, 更是严重威胁人体呼吸系统健康, 导致呼吸道疾病、心血管等疾病发病率上升。在此背景下, 废气检测作为环境监测体系的重要组成部分, 通过对各类废气排放进行系统化分析, 为污染治理、环境评估及政策制定提供科学依据, 其重要性愈发凸显。

[关键词] 生态环境监测; 固定污染源; 废气监测

[中图分类号] X830; TP79

Research and analysis on pollutant exhaust gas detection

Shi Wencong

Foshan Zhengzheng Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid advancement of industrialization and the continuous expansion of urbanization, exhaust emissions have become a core issue that seriously affects environmental quality and public health. In the industrial production process, many enterprises such as steel plants, chemical plants, cement plants, etc. emit huge amounts of exhaust gas into the atmosphere every day, including various pollutants such as sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter, and volatile organic compounds. At the same time, the rapid increase in the number of motor vehicles has made exhaust emissions an important contributor to air pollution, especially in urban areas where carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, and other pollutants in car exhaust seriously affect urban air quality. In the process of energy utilization, the combustion of fossil fuels such as coal and oil also releases a large number of pollutants. According to data from the Ministry of Ecology and Environment, in 2022 alone, more than 8 million industrial waste gas tests were completed nationwide, with detection accuracy reaching ppb (parts per billion) level, accurately identifying key pollution factors such as VOCs and nitrogen oxides. This is enough to demonstrate the seriousness of the problem of waste gas pollution. The pollutants in the exhaust gas will cause a series of environmental problems, such as sulfur dioxide and nitrogen oxides are the main precursors of acid rain, volatile organic compounds will lead to photochemical smog, and particulate matter, especially PM_{2.5}, is a serious threat to human respiratory system health, leading to increased incidence of respiratory diseases, cardiovascular diseases and other incidence rate. In this context, exhaust gas detection, as an important component of the environmental monitoring system, provides scientific basis for pollution control, environmental assessment, and policy formulation through systematic analysis of various types of exhaust gas emissions. Its importance has become increasingly prominent.

[Key words] ecological environment monitoring; Fixed sources of pollution; Exhaust gas monitoring

1 引言

随着工业化进程的加速和城市化规模的扩大, 污染物废气排放已成为影响环境质量和公众健康的关键问题。近年来, 我国大气污染治理虽取得显著成效, 但PM_{2.5}、臭氧、挥发性有机物(VOCs)等复合型污染问题依然突出, 特别是在重点行业如钢铁、化工、建材等领域, 废气排放成分复杂、浓度波动大, 给精准监测带来巨大挑战。2018年发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》明确提出要完善污染源监测网络, 这既反映了政策层面对废气检测技术升级的迫切需求, 也揭示了当前监测体系的不足, 传统手工采样与实验室分析存在时效性差、覆盖面有限等缺陷, 难以满足实时监管需求^[1]。固定污染源废气监测是环境管理的重要技术手段, 其数据质量直接关系到污染排放

评估、政策制定及企业环保合规性判断。随着我国生态文明建设的深入推进和《大气污染防治行动计划》等法规的强化实施, 对监测数据的准确性、代表性和可比性提出了更高要求。工业源作为大气污染物的主要贡献者, 其废气成分复杂(如SO₂、NO_x、颗粒物及VOCs等), 且排放工况受生产流程、设备运行状态等多因素影响, 导致监测过程易受采样点位代表性、仪器校准偏差、工况波动等干扰。基于此, 研究针对如何在全过程质量控制措施下优化固定污染源废气监测展开了研究, 为后续技术的优化提供支持依据。

2 生态环境监测数据质量要求

生态环境监测是对自然生态系统关键指标进行定量测量和观测的一种活动, 可以根据生态环境监测的数据评估生态

环境的质量, 监控环境的变化趋势, 生态环境监测基础体系如下图1所示:

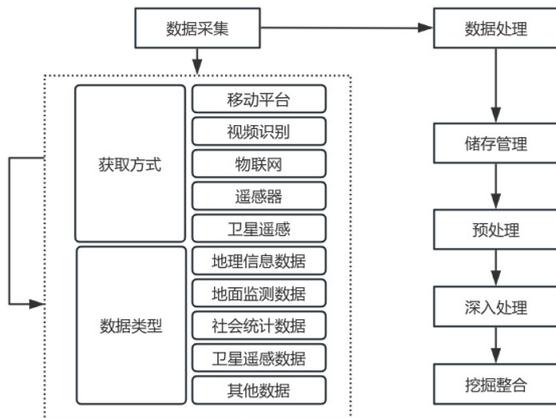


图1 生态环境监测技术体系

为了确保监测数据的准确性与可靠性, 因此生态环境的监测数据需要有一定的质量要求, 具体而言, 生态环境监测数据的质量要求包括以下几点:

1、采样过程要严谨科学。在实际操作中, 需严格遵循国家或行业制定的标准化采样规范, 比如针对废气采样, 要根据污染物的形态选择适配的采样设备, 像采集挥发性有机物需使用带有吸附剂的采样管, 采集颗粒物则需配备符合流量要求的颗粒物采样器。同时, 要精准控制采样时间、采样流量和采样频次, 避免因操作偏差导致数据失真。

2、监测数据分析要选择科学的办法。目前, 常用的监测数据分析方法包括化学分析法、仪器分析法等, 例如对于废气中的二氧化硫, 可采用定电位电解法进行现场快速分析, 该方法操作简便、响应迅速, 适合现场实时监测; 而对于挥发性有机物等复杂污染物, 则需采用气相色谱-质谱联用法进行实验室分析, 该方法具有分离效率高、检测灵敏度高、定性定量准确等优点, 能够精准识别和测定多种挥发性有机物的浓度。在选择分析方法时, 需综合考虑污染物的性质、浓度范围、监测目的以及实验室条件等因素, 同时严格按照选定方法的操作规程进行实验, 包括试剂配制、仪器校准、样品前处理等步骤, 避免因方法选择不当或操作不规范导致分析结果出现偏差。

3、监测数据质量要有质量控制与评估。质量控制措施包括空白试验、平行试验、加标回收率试验以及标准物质校准等, 例如在实验室分析过程中, 每批次样品需进行空白试验, 以扣除试剂和实验环境对分析结果的影响; 同时进行平行试验, 即对同一样品进行多次平行分析, 通过计算平行样相对偏差来检验分析结果的精密度, 若相对偏差超过规定范围, 则需重新分析。质量评估则是在监测数据生成后, 对数据的准确性、精密度、完整性和代表性进行综合评价, 例如通过对比不同监测时段、不同监测点位的数据, 分析数据的变化趋势是否合理, 判断是否存在异常数据, 若发现异常数据, 需及时追溯原因, 包括采样过程、分析过程等环节, 若确认是由于操作失误导致的异常数据, 需予以剔除并重新补充监测数据, 确保最终提供的监测数据能够满足环境管理和决策的需求。

在生态环境的监测中, 要根据生态环境监测技术的体系以及相关的质量要求, 做好相关数据的检测和质量控制, 从而进一步优化生态环境监测数据质量^[2]。

3 固定污染源废气现场监测与采样

3.1 采样设备

固定污染源废气采样设备需满足《固定污染源废气监测技术规范》(HJ/T397)等标准要求, 根据监测因子特性选择适配设备, 主要包括以下类别:

(一) 颗粒物采样装置

组成结构: 由采样管、颗粒物捕集器、流量计量系统、抽

气泵及恒温控制系统构成。采样管需具备加热功能(温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$), 防止烟气中水分凝结导致颗粒物损失; 捕集器通常采用玻璃纤维滤筒或石英滤筒, 滤筒需经高温灼烧(400 $^{\circ}\text{C}$, 2h)去除有机杂质, 空白值符合标准要求。

技术参数: 抽气泵负压 $\geq 20\text{kPa}$, 流量计量误差 $\leq 2\%$; 等速采样仪需具备自动跟踪烟气流速功能, 等速采样精度误差 $\leq 5\%$ 。常用设备如崂应 3012H 型自动烟尘采样器, 可实现颗粒物与气态污染物同步采样, 内置 GPS 定位与数据自动记录功能。

(二) 气态污染物采样装置

吸收瓶采样系统: 适用于 SO_2 、 NO_x 等酸性气体, 由多孔玻板吸收瓶、恒温水浴(控温 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)、转子流量计(精度 2.5 级)及隔膜泵组成。吸收液需现配现用, 如 SO_2 监测采用甲醛缓冲吸收液, 保存时间 $\leq 24\text{h}$ 。

固体吸附剂采样管: 用于 VOCs 等有机物监测, 常用活性炭管、Tenax-TA 管, 需在采样前进行活化处理(活性炭管 350 $^{\circ}\text{C}$ 通氮气 30min)。配套热解吸仪使用, 解析效率需 $\geq 85\%$ 。

在线监测设备: 如烟气连续监测系统(CEMS), 由气体分析仪(红外/紫外原理)、粉尘仪(β 射线/激光)、数据采集仪组成, 需每季度进行比对监测, 误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。

3.2 采样前调查

(一) 污染源基本信息

企业概况: 记录企业名称、行业类别、生产规模及主要产品, 明确生产工艺流程图, 标识废气产生环节(如锅炉燃烧、喷漆房、化学反应釜等)。

排放口参数: 现场测量排气筒高度(精确至 0.1m)、直径(圆形测周长换算, 矩形测长宽), 记录管道材质(金属/混凝土)及是否存在弯头、变径等干扰流场的结构。

(二) 污染物特性调查

污染物种类: 根据生产工艺判断主要污染物, 如燃煤锅炉排放颗粒物、 SO_2 、 NO_x ; 化工企业可能涉及 HCl 、VOCs 等特征污染物。

排放规律: 调查生产周期(连续/间歇)、污染物浓度波动时段, 如化工企业反应釜投料阶段废气浓度骤升, 需针对性制定采样时段。

(三) 现场环境勘查

安全条件: 检查排气筒平台护栏(高度 $\geq 1.2\text{m}$)、爬梯牢固性, 确认受限空间作业需配备通风设备及气体检测仪(测 O_2 、有毒气体浓度)。

采样条件: 判断烟气流速是否稳定(流速 $< 5\text{m/s}$ 时需延长采样时间), 记录现场温度、大气压(精确至 0.1kPa), 评估是否存在冷凝水、腐蚀性气体对设备的影响。

3.3 采样前准备

(一) 设备校验

流量校准: 使用皂膜流量计校准采样器流量, 在采样流量点(如 5L/min)重复 3 次, 相对偏差 $\leq 5\%$ 。颗粒物采样仪需进行等速采样精度校准, 采用标准孔板流量计验证。

气密性检查: 关闭采样管进气口, 启动抽气泵, 使系统压力达到 -30kPa, 关闭泵后 1min 内压力下降 $\leq 5\text{kPa}$ 为合格。

(二) 耗材准备

滤筒/吸收瓶: 滤筒编号后称重(精确至 0.1mg), 吸收瓶按标准配置吸收液(如 50mL 吸收液对应采样体积 20L), 贴好标签注明采样点、日期。

辅助材料: 准备硅胶管(耐温 $\geq 150^{\circ}\text{C}$)、密封胶带、采样记录表格、温湿度计、卷尺等, 特殊污染物监测需携带专用试剂(如 NO_x 采样用的氧化瓶)。

(三) 方案制定

采样点位布设: 圆形管道按等面积环法划分采样断面, 确定 3-5 个采样点; 矩形管道按网格法布点, 每个小格边长 $\leq 1\text{m}$ 。

采样频次与时间: 按标准要求, 颗粒物采样不少于 3 个

平行样, 每个样品采样时间 $\geq 15\text{min}$; 气态污染物采用连续 1 小时采样或等时间间隔采集 4 个样品, 总时长 $\geq 45\text{min}$ 。

3.4 操作步骤

(一) 颗粒物采样

安装设备: 将预处理后的滤筒装入采样管, 连接加热采样管 (设定 120°C)、干燥器及采样器, 确保连接紧密。

等速采样:

测量烟气参数: 用皮托管测定各采样点动压、静压及烟温, 计算烟气流速 ($v=1.414 \times \sqrt{(2 \times \text{动压} / \text{烟气密度})}$)。

设定采样流量: 根据流速与采样嘴直径 (d) 计算等速流量 ($Q=\pi d^2/4 \times v \times 60$), 启动采样器自动跟踪。

采样过程: 每个点位采样结束后, 记录累积采样体积、时间, 更换滤筒时避免手部接触滤筒表面, 放入专用密封盒。

(二) 气态污染物采样

吸收瓶采样: 将吸收瓶连接至采样系统, 设置恒温水浴温度 (如 SO_2 采样控温 $23\text{--}29^\circ\text{C}$), 调节流量至设定值, 同步记录采样时间、温度、压力。

吸附管采样: 打开吸附管两端密封帽, 连接采样器, 确保气流方向与吸附剂填充方向一致, 采样结束后立即密封, 低温 ($<4^\circ\text{C}$) 保存并记录采样体积 (标况换算: $V_0=V \times (P/101.3) \times (273/(273+t))$)。

(三) 质量控制措施

空白样采集: 每批次采样带 2 个空白滤筒 (不接触烟气)、2 个空白吸收瓶 (加吸收液后密封), 与样品同条件运输、分析。

平行样控制: 平行样品测定相对偏差 $\leq 20\%$, 否则重新采样。

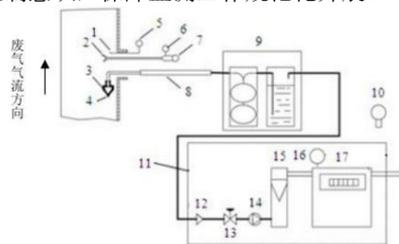
数据记录: 实时记录采样流量、温度、压力等参数, 不得事后补记, 异常情况 (如设备故障) 需详细备注。

(四) 采样后处理

设备清洗: 采样结束后用蒸馏水冲洗吸收瓶、采样管, 腐蚀性气体采样后需用稀碱液中和处理。

样品保存: 颗粒物滤筒在 105°C 烘干 2h 后称重, 气态样品按标准要求冷藏 (如 VOCs 样品 $\leq 4^\circ\text{C}$ 保存, 3 天内分析), 运输过程避免阳光直射。

通过严格执行上述采样流程, 可确保固定污染源废气监测数据的准确性与代表性, 为环境管理决策提供可靠技术支持。实际操作中需结合具体污染物特性与现场条件灵活调整, 持续强化质量控制意识, 保障监测工作规范化开展。



1-温度探头; 2-皮托管; 3-采样头; 4-采样嘴; 5-温度测量; 6-静压测量; 7-压差测量;

8-支撑管; 9-冷却和干燥系统; 10-大气压力计; 11-吸气单元和气体计量系统; 12-截止阀; 13-调节阀;

14-泵; 15-流量计; 16-温度、压力测量; 17-干式体积流量计

图2 烟道内过滤采样装置示意图

4 固定污染源废气颗粒物测定办法——以低浓度颗粒物测定为例

随着环保要求的日益严格, 固定污染源废气中低浓度颗粒物的监测愈发重要。低浓度颗粒物的准确测定对于评估污染源排放状况、控制大气污染具有关键意义。本文以重量法为例, 详细介绍固定污染源废气低浓度颗粒物的测定办法。

4.1 测定原理

采用烟道内过滤的方法, 使用包含过滤介质的低浓度采样头, 将颗粒物采样管由采样孔插入烟道中, 利用等速采样原理

抽取一定量的含颗粒物的废气。烟道内过滤采样装置示意图见下图2。

4.2 仪器与设备

在实际操作中, 需严格遵循国家或行业制定的标准化采样规范, 比如针对废气采样, 要根据污染物的形态 (气态、颗粒态) 选择适配的采样设备, 像采集挥发性有机物需使用带有吸附剂的采样管, 采集颗粒物则需配备符合流量要求的颗粒物采样器。

同时, 要精准控制采样时间、采样流量和采样频次, 避免因操作偏差导致数据失真, 例如在固定污染源废气采样中, 需保证采样时间不少于 1 小时, 且采样流量稳定在规定范围内, 若采样过程中出现流量波动或设备故障, 需及时记录并重新采样, 确保采集的样品具有代表性, 能够真实反映监测对象的污染状况。

4.3 测量测定

目前, 常用的监测数据分析方法包括化学分析法、仪器分析法等, 例如对于废气中的二氧化硫, 可采用定电位电解法进行现场快速分析, 该方法操作简便、响应迅速, 适合现场实时监测; 而对于挥发性有机物等复杂污染物, 则需采用气相色谱质谱联用法进行实验室分析, 该方法具有分离效率高、检测灵敏度高、定性定量准确等优点, 能够精准识别和测定多种挥发性有机物的浓度。在选择分析方法时, 需综合考虑污染物的性质、浓度范围、监测目的以及实验室条件等因素, 同时严格按照选定方法的操作规程进行实验, 包括试剂配制、仪器校准、样品前处理等步骤, 避免因方法选择不当或操作不规范导致分析结果出现偏差。

质量控制措施包括空白试验、平行试验、加标回收率试验以及标准物质校准等, 例如在实验室分析过程中, 每批次样品需进行空白试验, 以扣除试剂和实验环境对分析结果的影响; 同时进行平行试验, 即对同一样品进行多次平行分析, 通过计算平行样相对偏差来检验分析结果的精密性, 若相对偏差超过规定范围, 则需重新分析。质量评估则是在监测数据生成后, 对数据的准确性、精密性、完整性和代表性进行综合评价, 例如通过对不同监测时段、不同监测点位的数据, 分析数据的变化趋势是否合理, 判断是否存在异常数据, 若发现异常数据, 需及时追溯原因, 包括采样过程、分析过程等环节, 若确认是由于操作失误导致的异常数据, 需予以剔除并重新补充监测数据, 确保最终提供的监测数据能够满足环境管理和决策的需求。

5 总结

综上所述, 为了提升固定污染源的废气监测质量, 除了要做好监测前的准备工作, 还需在监测过程中强化全流程质量控制, 比如采用自动化采样设备减少人为误差, 结合实时在线监测系统实现数据动态追踪, 同时严格遵循监测方法标准, 对样品保存、运输及分析环节进行规范化管理。此外, 加强监测人员专业培训, 提升其对复杂工况的应对能力和数据审核水平, 建立完善的质量追溯体系, 确保每一组监测数据都可查、可验、可追溯, 通过技术手段与管理机制的双重保障, 全面提升固定污染源废气监测的精准性与可靠性, 为大气污染防治提供坚实的数据支撑。

【参考文献】

[1]宋菁, 曹阳, 张舒鑫, 等. 第三方生态环境监测机构现状调查与对策研究——以黄石为例[J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2022 (7): 4.

[2]刘瑞. 第三方参与生态环境损害赔偿磋商: 问题检视与法制完善[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2023, 36 (3): 86-93.

[3]郭卫红, 蒋红博, 李明, 等. 环境监测机构的现状和发展探讨——以山东省县区级环境监测机构为例[J]. 皮革制作与环保科技, 2024 (002): 5.

作者简介: 石文聪 (1987.09.18-), 男, 汉族, 广东省兴宁县人, 大学本科, 研究方向: 生态环境监测专业领域。