

化学分析技术在大气监测的应用探析

赵本柱 杨丽洁 林梅红

江苏省扬州环境监测中心 江苏扬州 225000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18662

[摘要] 本文对化学分析技术在大气监测中的应用体系进行系统阐述, 先是分类介绍光谱、色谱、质谱以及电化学这四大核心技术的原理和特性, 其中涵盖紫外-可见分光光度法、气相色谱-质谱联用等关键技术, 接着分析该技术在常规环境质量监测、污染源解析、应急响应等场景的应用逻辑, 最后对比不同技术之间的性能差异并提出基于监测目标优先级选择策略, 各类技术需结合场景需求适配应用, 为大气监测技术的优化与选择提供系统性参考。

[关键词] 化学分析技术; 大气监测; 光谱分析

大气污染给生态环境和人类健康带来的影响正日益凸显, 精准且高效的监测技术是污染防控工作的核心支撑力量, 传统监测方法存在时效性不足以及覆盖范围有限等方面局限, 难以满足大气污染精细化管理工作的实际需求, 化学分析技术依靠高灵敏度和高选择性等诸多显著优势, 已经成为大气环境监测工作中的关键手段。

1 化学分析技术在大气监测中的核心技术分类

1.1 光谱分析技术

1.1.1 紫外-可见分光光度法

紫外-可见分光光度法依靠物质对紫外或可见光选择性吸收特性实现分析, 不同物质因分子结构差异会对特定波长的光产生特征吸收, 吸收程度和物质浓度之间存在着定量关联。在大气监测中该技术能够识别气体污染物存在并确定相对含量, 此方法操作简便而且仪器成本相对较低适合常规污染物快速筛查, 然而它对复杂基质中的痕量组分分析能力比较有限, 容易受到共存物质干扰需要结合预处理步骤减少背景影响, 以此来提升分析的准确性。

1.1.2 红外光谱法

红外光谱法依靠物质分子对红外光吸收特性来分析组分, 分子中的官能团会在特定红外波长范围产生吸收峰, 通过解析吸收峰的位置以及强度能够识别物质结构与种类。这项技术可以同时分析多种气体污染物, 对有机化合物和极性分子的检测存在优势, 分析速度比较快而且无需复杂样品预处理, 能够实现实时或者近实时监测, 不过对低浓度组分的灵敏度相对来说比较低, 需要消除水蒸气等常见大气组分的干扰, 通常结合光学滤波或背景扣除技术提高结果可靠性。

1.1.3 激光诱导击穿光谱

激光诱导击穿光谱技术会把高能量激光脉冲聚焦在样品表面, 让样品在瞬间汽化之后形成高温等离子体, 等离子体中的原子和离子在弛豫过程中发射出特征光谱, 检测特征光谱的波长以及强度能够确定样品元素组成。这种技术适用于

分析大气中固体颗粒物或气溶胶中的金属元素, 它可以快速获得多元素信息并且无需进行样品前处理, 不过这项技术对气体污染物的直接分析能力比较有限, 还容易受到激光能量稳定性和等离子体冷却过程的影响, 所以需要严格控制实验条件来保证结果的可靠性。

1.2 色谱分析技术

1.2.1 气相色谱

气相色谱技术(图1)依靠不同物质在固定相和流动相之间分配系数存在差异来实现分离, 样品由载气带入色谱柱之后各组分在两相之间反复进行分配, 分配系数大的组分在色谱柱中停留时间会比较长, 分配系数小的组分停留时间则相对较短进而实现分离。分离之后的组分依次进入检测器并产生信号用于定性和定量分析, 该技术常用于大气中挥发性有机化合物的相关分析, 能够有效分离复杂混合物中的多种不同组分且分离效率高、选择性好。不过对于高沸点或者热不稳定的化合物其分析能力存在一定限度, 需要结合吸附-热脱附等样品预处理技术来富集痕量组分。

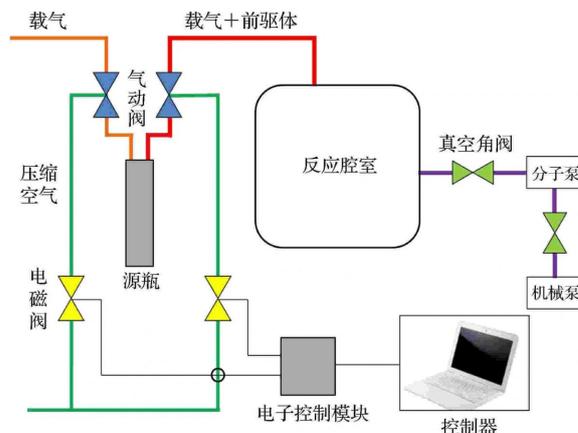


图1 气相色谱仪工作原理

1.2.2 高效液相色谱

高效液相色谱技术是让液体流动相带着样品通过色谱

柱, 依靠各组分在固定相和流动相之间相互作用差异来实现分离。和气相色谱不一样的是, 它的流动相是液体, 适合于分析高沸点、热不稳定或者极性较强的化合物^[1]。通过对流动相组成和流速进行调节, 能够改变组分在色谱柱中的保留行为从而实现分离, 经常用于大气颗粒物中半挥发性有机化合物或水溶性离子的分析, 适用范围广泛且分离效率比较高。不过它的分析速度相对来说比较慢, 流动相的选择和处理对分析结果影响较大, 需要严格控制流动相的纯度和稳定性。

1.3 质谱分析技术

1.3.1 气相色谱-质谱联用

气相色谱-质谱联用技术把气相色谱分离能力和质谱定性能力相结合, 样品先经过气相色谱分离成单个组分, 接着依次进入质谱仪被离子化处理, 产生的离子依据质荷比差异进行分离和检测。通过分析离子质荷比和相对丰度能确定组分分子结构和种类, 该技术经常用于复杂有机污染物的分析工作, 能够同时实现对样品的分离和鉴定操作, 具备灵敏度高以及选择性强等显著特点, 不过仪器操作比较复杂需要专业人员维护, 并且对样品的纯度和预处理要求相对较高, 目的是避免对质谱仪造成污染情况。

1.3.2 飞行时间质谱

飞行时间质谱技术是通过测量离子在飞行管中的飞行时间来确定质荷比的, 离子在加速电场中会获得相同的动能, 质量比较轻的离子飞行速度会更快一些, 到达检测器的时间也就更短, 质量比较重的离子飞行速度则会慢一些, 通过记录离子飞行时间就能够计算出质荷比。这项技术适合用于快速分析挥发性有机化合物以及颗粒物中的元素组成, 它的分析速度较快并且质量范围较宽, 不过该技术的分辨率相对来说比较低, 对仪器的真空度要求是比较高的, 需要严格控制实验环境以此来减少背景干扰。

1.3.3 电感耦合等离子体质谱

电感耦合等离子体质谱技术把电感耦合等离子体当作离子源, 将样品中的元素离子化之后通过质谱仪来分析质荷比, 样品被引入到等离子体中, 在高温条件下实现原子化和离子化, 所产生的离子经过质量分析器分离后由检测器进行检测, 通过分析离子信号强度能够确定元素种类和含量^[2]。这项技术经常用于分析大气颗粒物中的金属元素, 能够同时检测多种元素, 具备极高的灵敏度以及很强的多元素分析能力, 不过仪器成本比较高, 对样品的基质耐受性比较差, 需要进行严格的样品预处理来消除基质效应。

2 化学分析技术在大气监测中的应用场景

2.1 常规环境质量监测

2.1.1 国控站点

国控站点属于大气环境质量监测的重要组成部分, 其用途是长期连续监测区域大气环境质量, 在应用化学分析技术方面侧重于全面性和准确性, 通过集成多种技术手段达成对多种污染物的同步监测, 监测项目涵盖常规污染物以及特征污染物, 能够反映区域大气的整体状况^[3]。监测数据不仅用于环境质量方面的评价, 还可为污染防治政策的制定提供依据, 为保证监测数据的可靠性, 国控站点配备高精度的分析仪器, 建立起严格的质量控制体系, 定期对仪器进行校准和维护以确保结果准确可比。

2.1.2 移动监测车

移动监测车属于灵活的大气监测手段, 可按照需求在不同区域开展监测, 以此弥补固定站点覆盖范围不足的问题, 应用化学分析技术时比较侧重便携性和实时性, 通过搭载小型化、集成化分析仪器实现对污染物的快速检测。监测项目涵盖常规污染物以及突发污染事件中的特征污染物, 能够及时掌握污染动态情况, 它响应速度快且机动性强, 适用于区域污染普查、污染源周边监测和应急监测等多种场景, 为保证数据有效性, 移动监测车需要定期进行性能验证, 确保仪器在移动环境下具备稳定性和准确性^[4]。

2.2 污染源解析与溯源

2.2.1 受体模型结合化学分析

受体模型结合化学分析这种方式是污染源解析常用方法, 它通过分析受体点的污染物具体组成情况, 再结合化学分析技术来确定污染物的来源, 把受体点污染物组成相关数据输入到模型中, 利用数学方法分析各个污染源对受体点污染物的贡献程度, 化学分析技术可提供准确的污染物组成方面信息, 涵盖元素组成以及有机化合物种类等内容, 为模型的运行提供基础数据^[5]。此方法不需要详细的污染源排放清单, 能够快速确定主要的污染源, 不过它对数据质量的要求比较高, 需要保证化学分析结果准确并且具有代表性, 通常会结合多种技术来获取全面的组成信息以此提高解析的可靠性。

2.2.2 同位素标记技术

同位素标记技术是利用污染物中稳定同位素的组成差异来追溯污染源, 不同来源的污染物会因生成过程或者环境条件不一样, 稳定同位素比值存在着差异, 借助化学分析技术去测定这个比值, 再结合同位素数据库就能够推断出污染物的来源, 此技术特异性很强能够区分不同来源的污染物。在复杂污染源解析方面具有一定优势, 不过它对分析仪器的精度要求比较高, 需要专门的同位素分析设备, 并且分析过程较为复杂需要专业人员来操作, 同时还要严格控制样品采集和预处理过程, 防止同位素分馏效应影响结果的准确性^[6]。

2.3 应急监测与突发事件响应

2.3.1 便携式 GC-MS

便携式气相色谱 - 质谱联用技术对应急监测作用非常重要, 能够快速识别和定量突发污染事件中的污染物, 它结合了气相色谱的分离能力以及质谱的定性能力, 通过快速分离和鉴定来确定污染物种类和相对含量, 此技术适用于有机污染物分析, 可在短时间内提供污染物信息为应急决策提供依据。该技术具有便携性好、分析速度快等优点, 但和实验室大型仪器相比灵敏度和分辨率相对较低, 需要在现场条件下优化实验参数以保证分析结果可靠, 并且仪器设计易于操作和维护, 能够在恶劣环境下正常工作。

2.3.2 电化学传感器阵列

电化学传感器阵列是由多个不同类型电化学传感器组成的, 能够同时检测多种污染物情况, 不同传感器对于不同污染物所产生的响应信号存在差异, 通过分析阵列中各传感器的信号变化就可以识别污染物种类和浓度, 它适用于气体污染物的实时监测工作, 能够快速响应浓度变化并且发出预警信号^[7]。这项技术具有体积小、响应速度快以及成本较低等特点, 不过选择性相对比较差, 容易受到交叉干扰的影响, 通常会结合模式识别算法来处理传感器阵列信号, 以此消除

干扰信号所带来的影响, 在应急监测中它经常用于初步筛查工作, 从而为后续详细分析提供相应方向。

3 不同化学分析技术的性能对比与选择策略

不同化学分析技术用于大气监测时性能差异很显著, 需要结合监测需求的核心目标来选择适配技术, 光谱分析技术操作相对来说比较简便, 能够快速获取污染物的定性方面信息, 不过对复杂基质中痕量组分区分能力有限, 容易受到共存物质的干扰影响, 色谱技术分离能力表现得比较强, 能够对混合污染物进行有效的拆分处理, 但分析流程相对而言会比较繁琐, 难以实现对大气情况的实时监测, 质谱技术灵敏度和特异性都很突出, 能够精准识别低浓度污染物的分子结构, 然而仪器操作十分复杂且维护成本比较高^[8]。

选择策略的核心逻辑要围绕监测场景优先级来展开, 如果需要实时掌握污染动态就优先考虑响应快且操作简便技术, 如果聚焦痕量污染物精准定量就需侧重高灵敏度和特异性技术, 如果面对复杂基质中的多组分分析就需选择分离能力强的技术, 如果用于现场应急监测则要兼顾便携性和快速性这些特点, 同时还需综合评估技术适用范围跟实际监测条件匹配度, 避免因技术局限性影响监测结果可靠性, 确保所选技术能够高效支撑监测目标实现。

表1 不同化学分析技术的性能对比与选择策略

技术类型	灵敏度	选择性	分析速度	适用污染物	局限性
光谱分析 (UV-Vis)	mg/m ³ ~μg/m ³	中等	快 (分钟级)	SO ₂ 、NO _x 、O ₃	易受共存组分干扰
色谱-质谱联用 (GC-MS)	ng/m ³ ~pg/m ³	高	中等 (小时级)	VOCs、半挥发性有机物	样品前处理复杂, 设备成本高
电化学传感器	μg/m ³ ~ng/m ³	低	极快 (秒级)	CO、O ₃ 、H ₂ S	寿命短, 易受温度、湿度影响
质子转移反应质谱 (PTR-MS)	ppt 级	中等	实时 (<1 秒)	VOCs、氨	对非极性化合物响应差
高分辨质谱 (HRMS)	pg/m ³ ~fg/m ³	极高	慢 (小时级)	新型污染物、痕量有毒物质	数据处理复杂, 仪器维护成本高

结论

本文对化学分析技术在大气监测中的应用体系进行全面梳理, 明确光谱、色谱、质谱以及电化学技术存在的特性差异, 光谱技术操作简便不过抗干扰能力有限, 色谱技术分离能力强然而流程比较繁琐, 质谱技术灵敏度高但维护成本相对较高, 各类技术需要结合场景需求来适配应用, 常规监测要兼顾全面性与准确性, 污染源解析需侧重特异性与数据可靠性, 应急响应需优先考虑便携性与快速性。

[参考文献]

- [1]高莉. 化学分析技术在大气监测的应用[J]. 化工管理, 2023, (03): 54-56.
- [2]刘博雅, 徐祥钟. 化学分析技术在大气监测中的应用[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3 (18): 68-70.
- [3]徐伟红. 化学分析技术在大气监测中的应用研究[J].

皮革制作与环保科技, 2022, 3 (05): 90-92.

[4]宁天珍. 化学分析技术在大气监测中的应用[J]. 化工管理, 2021, (36): 70-71.

[5]陈祖扬. 化学分析技术在大气监测的应用探析[J]. 轻工科技, 2019, 35 (04): 105-106.

[6]马维维. 化学分析技术在大气监测的应用[J]. 科技风, 2018, (36): 146.

[7]刘美丽. 大气环境监测中化学发光分析方法的应用与展望[J]. 科技资讯, 2011, (34): 131.

[8]王洋, 范世华. 化学发光分析方法在大气环境监测中的应用与进展[J]. 分析科学学报, 2005, (02): 205-209.

作者简介: 赵本柱, 197909 生, 男, 民族: 汉族, 学历: 本科, 职称: 高级工程师, 研究方向: 环境监测。