

基于化学分析方法在环境检测中的应用分析

郭萍萍

南京化学试剂股份有限公司，江苏南京

摘要：随着工业化和城市化进程的加速，环境污染问题日益严峻，环境检测成为保障生态环境质量和人类健康的重要手段。化学分析方法作为环境检测的核心技术之一，其应用广泛且不断深入。本文综述了常用的化学分析技术，包括光谱分析法、色谱分析法、质谱分析法等，并探讨了这些技术在水质检测、大气污染物检测以及土壤与固废分析中的应用案例。同时，文章还分析了当前化学分析方法在环境检测中面临的挑战，如样本前处理技术的复杂性、分析方法的灵敏度与选择性不足以及多组分同步检测技术的局限性，并提出了相应的改进方向。通过本研究，旨在为环境检测领域的研究人员和从业者提供有益的参考，推动化学分析方法在环境检测中的进一步发展与应用。

关键词：环境检测；化学分析方法；光谱分析法；色谱分析法；质谱分析法

Analysis Based on the Application of Chemical Analysis Methods in Environmental Detection

Pingping Guo

Nanjing Chemical Reagent Co., LTD, Nanjing, Jiangsu

Abstract: With the acceleration of industrialization and urbanization, the problem of environmental pollution is increasingly serious, and environmental testing has become an important means to ensure ecological environmental quality and human health. As one of the core technologies of environmental detection, the chemical analysis method is widely used and continuously deepened. This paper summarizes the common chemical analysis techniques, including spectroscopy, chromatography, mass spectrum analysis, and discusses the application cases of these techniques in water quality detection, air pollutant detection and soil and solid waste analysis. At the same time, the paper also analyzes the challenges faced by current chemical analysis methods in environmental detection, such as the complexity of sample pre-processing technology, the lack of sensitivity and selectivity of analytical methods, and the limitations of multi-component synchronous detection technology, and puts forward corresponding improvement directions. Through this study, it aims to provide a useful reference for researchers and practitioners in the field of environmental testing, and to promote the further development and application of chemical analysis methods in environmental testing.

Keywords: Environmental detection; Chemical analysis method; Spectral analysis; Chromatographic analysis; Mass spectrometry analysis

1 引言

随着环境问题的日益突出，对化学分析方法在环境检测中的准确性和效率提出了更高要求。光谱分析法，凭借其高灵敏度和非破坏性检测的特点，在水质重金属离子、有机物污染检测中发挥了重要作用。色谱分析法，特别是高效液相色谱和气相色谱，因其分离效率高、选择性好，被广泛应用于大气污染物中的挥发性有机物、多环芳烃等有害物质的检测。质谱分析法，则以其高分辨率和强大的定性能力，在复杂环境样品中的未知污染物识别和多组分定量分析方面展现出独特优势。

本文不仅总结了这些技术的理论基础和应用现状，还通过实际案例分析，展示了化学分析方法在解决具体环境问题中的有效性。同时，针对当前存在的挑战，如样本前处理技术的繁琐和耗时、分析方法对痕量污染物检测的灵敏度限制，以及多组分同步检测技术的瓶颈，本文提出了技术创新和设备升级的策略，以期提高检测效率、降低成本，并增强环境检测的全面性和准确性。

2 常用化学分析技术

2.1 光谱分析法

光谱分析法作为化学分析技术的重要分支，通过研究物质吸收、发射或散射光的特性来确定其组成和含量。例如，原子吸收光谱法(AAS)常用于检测环境样品中的金属元素，其检出限可低至ppb级别，为环境监测提供了高灵敏度的手段[1]。此外，紫外-可见分光光度法在测定水体中的有机污染物如苯系物时，凭借其简便快速的特点，被广泛应用在水质检测中。

光发射光谱法(EAS)则在大气污染物检测中展现出优势，它能够直接分析气态样品，无需复杂的样品转化步骤。例如，通过分析大气中的氮氧化物和硫氧化物的特定发射光谱，可以实时监测大气污染状况，为环境治理提供实时数据支持。

而在土壤与固废分析中，激光诱导击穿光谱法(LIBS)因其对复杂基质的耐受性而受到青睐。LIBS技术可以快速分析大量样品，无需大量的前处理，大大提高了分析效率。

2.2 色谱分析法

色谱分析法作为化学分析技术中的重要分支，

广泛应用于环境检测中，尤其在识别和定量复杂混合物中的各种污染物方面表现出色。例如，气相色谱(GC)常用于检测空气和水体中的挥发性有机物，如苯系物和氯代烃，其检出限可低至纳克每升级别，确保了环境监测的准确性。此外，液相色谱(LC)则适用于不挥发或热不稳定的化合物，如多环芳烃和重金属离子的分析，其分离效率高，可有效避免样品间的相互干扰。

在土壤与固废分析中，色谱-质谱联用技术(GC-MS/LC-MS)进一步提升了检测的灵敏度和定性能力。通过建立详细的化合物数据库，即使在低至皮克级别的浓度下，也能准确识别出数百种化学物质，这对于评估场地污染程度和制定修复策略至关重要[2]。

为了应对日益严格的环境监测要求，色谱分析法也在不断进行技术革新。如开发微流体和毛细管色谱技术，以减少样本量和分析时间，同时提高分离效率。此外，多维色谱和在线样本预处理系统的应用，使得高通量和自动化分析成为可能，大大提升了环境监测的效率和能力。

2.3 质谱分析法

质谱分析法作为化学分析技术中的重要一环，通过离子化待测物质并根据它们的质荷比进行分离和检测，能提供高灵敏度和高分辨率的分析结果。在环境检测中，质谱分析法尤其适用于检测痕量污染物，如重金属、持久性有机污染物(POPs)以及挥发性有机物(VOCs)。例如，使用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术，科学家们成功地在地下水样本中检测出浓度低至纳克每升的全氟辛酸，这种污染物对人体健康和环境具有潜在威胁。

此外，液相色谱-质谱联用(LC-MS)在分析水体中的内分泌干扰物，如多环芳烃(PAHs)和内分泌活性的农药残留方面也展现出强大能力。在一项研究中，通过LC-MS/MS方法，研究人员能够同时定性和定量分析50多种不同的污染物，提高了环境监测的效率。

在大气污染物检测中，飞行时间质谱(TOF-MS)技术因其快速的响应时间和对大气颗粒物中复杂有机物的解析能力而受到青睐。例如，TOF-MS被用于实时监测城市雾霾中的二次

有机气溶胶（SOAs），有助于理解空气污染的
形成和转化过程。

尽管质谱分析法在环境检测中表现出色，但其在样本前处理、分析方法的复杂性以及对高纯度标准物质的依赖等方面仍有待改进。未来的研究应着重于开发更快速、更简单的前处理技术，如微流体技术的集成，以及探索新型离子化源和多维分离策略，以进一步提升质谱分析的性能和应用范围。

2.4 其他分析技术

在环境检测中，其他分析技术包括电化学分析、分子荧光光谱法以及电感耦合等离子体质谱法等，这些方法在补充和完善传统化学分析技术方面发挥了重要作用。例如，电化学分析法利用物质在电极表面的氧化还原反应来测定其浓度，对于重金属离子和一些有机污染物的检测具有高灵敏度和选择性。在一项研究中，通过电化学传感器成功地检测到了水体中浓度低至纳克每升的铅离子，展示了其在环境监测中的潜力。

分子荧光光谱法则利用特定污染物分子在激发态和基态之间跃迁时发射的荧光强度来定量分析，这种方法对环境中的有机污染物如多环芳烃（PAHs）和生物毒素具有高灵敏度。例如，通过优化的荧光光谱分析，科学家能够在不破坏样本完整性的情况下，检测到大气颗粒物中极低浓度的PAHs。

电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）是另一种高通量、高灵敏度的分析技术，能够同时测定多种元素和同位素，对于环境中的微量元素和痕量金属分析非常有效。在土壤污染调查中，ICP-MS被用来确定土壤中重金属如镉、铅和汞的含量，帮助环境科学家识别污染源和评估生态风险[3]。

3 应用案例分析

3.1 水质检测中的应用

在环境检测领域，化学分析方法对于确保水质安全起着至关重要的作用。水质检测中的应用涵盖了多种化学分析技术，如光谱分析法、色谱分析法和质谱分析法等。例如，光谱分析法利用物质对光的吸收、散射或发射特性，可以快速识别水中重金属离子和有机污染物的种类，其检出限可低至ppb

级别。

色谱分析法，如气相色谱-质谱联用（GC-MS）和液相色谱-质谱联用（LC-MS），则擅长于分析水中的挥发性有机物和半挥发性有机物，如农药残留和工业污染物。这些方法在分析复杂水样时，能够实现高灵敏度的定性和定量分析，分离效能强大，可检测出浓度在纳克每升（ng/L）级别的污染物。

质谱分析法，如电感耦合等离子体质谱（ICP-MS），在检测水中的痕量金属和金属氧化物方面表现出色，其检出限可低于0.01 ng/L，对于监测地下水和工业废水中的重金属污染具有极高的价值。

在实际应用中，比如2015年长江流域某地发生重金属污染事件，通过ICP-MS技术的快速筛查，成功地识别出了水体中异常升高的铅和镉浓度，为后续的污染治理提供了科学依据。此外，随着分析模型的不断优化，如利用机器学习算法提升数据处理能力，可以更准确地预测水质变化趋势，为水源保护和污染预警提供强有力的技术支持[4,5]。

3.2 大气污染物检测

大气污染物检测是环境监测的重要组成部分，旨在准确测定空气中的有害物质，如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物以及挥发性有机物等。光谱分析法，如傅里叶变换红外光谱（FTIR）和紫外可见光谱（UV-Vis），在大气污染物监测中广泛应用，通过分析污染物的特征吸收光谱来确定其种类和浓度。

色谱分析法，如气相色谱-质谱联用（GC-MS），能够对大气中的复杂混合物进行分离和鉴定。例如，这种方法曾成功地用于识别和量化城市空气中的数百种VOCs，为污染源解析提供了数据支持。

质谱分析法，如大气压力化学电离质谱（APCI-MS），具有高灵敏度和选择性，特别适合检测痕量的大气污染物。在一项研究中，APCI-MS被用于实时监测工业排放中的有毒金属氧化物，显著提高了监测的准确性和响应速度。

随着技术的进步，多组分同步检测技术如在线色谱-质谱系统（online GC-MS）正在发展中，它能够一次性分析多种大气污染物，大大提高了监测效

率。例如，这种系统在雾霾期间可以实时追踪大气中多种气态和颗粒物污染物的变化，为预警和污染控制策略的制定提供了强有力的数据支持。

然而，样本前处理步骤仍然是提高分析效率和准确性的瓶颈。为了减少采样和预处理过程引入的误差，研究者正在开发更快速、更绿色的前处理技术，如微波辅助萃取和固相微萃取，以实现大气污染物的快速、无损检测。

未来，通过整合多种分析技术，建立更精确的模型，如机器学习辅助的污染物识别和来源解析模型，将进一步提升大气污染物检测的能力，为构建更清洁、更健康的环境提供科学依据。

3.3 土壤与固废分析

土壤与固废分析是环境检测中的重要组成部分，旨在揭示其中的化学成分和潜在的环境风险。质谱分析法在这一领域中展现出强大的潜力，如通过使用电感耦合等离子体质谱（ICP-MS），可以精确测定土壤中的重金属如铅、镉和汞，其检出限可低至ppb级别，有助于评估土壤污染程度。

此外，结合化学衍生化和固相微萃取技术的色谱分析，可以有效地分析固废中的有机污染物，如多环芳烃（PAHs）和持久性有机污染物（POPs），这些物质可能对土壤生态系统造成长期影响。通过建立多元统计模型，如主成分分析（PCA）或偏最小二乘回归（PLSR），可以解析复杂样品中的多种污染物，帮助研究人员识别污染源和环境行为模式。

在实际应用中，例如在清理工业场地或农业土壤修复项目中，这些分析技术的结合使用对于制定针对性的治理策略至关重要。例如，2015年，中国某化工厂废弃场地的土壤修复项目中，通过综合运用多种分析方法，成功识别并定量了数十种污染物，为后续的土壤修复工程提供了科学依据。

因此，持续改进分析技术的灵敏度和选择性，以及发展能够处理复杂混合物的同步检测方法，对于提升土壤与固废分析的效率和准确性，保障环境安全具有不可忽视的重要性。

4 挑战与改进方向

4.1 样本前处理技术的优化

在化学分析方法在环境检测中的应用中，样

本前处理技术的优化起着至关重要的作用。传统的样本前处理步骤，如萃取、离心和过滤，可能导致样本损失、污染以及分析结果的不准确性。例如，在水质检测中，有机污染物的萃取效率直接影响后续光谱或色谱分析的准确性。因此，研究人员正在探索新的前处理技术，如微波辅助萃取和固相微萃取，以提高效率和减少对环境的二次影响。此外，集成化和自动化技术的发展也促进了样本前处理的优化。通过自动化系统，可以精确控制温度、压力和时间参数，减少人为误差，同时显著加快处理速度，如在大气污染物检测中，使用自动化采样和前处理设备，可以确保样本在分析前保持稳定状态。

4.2 分析方法的灵敏度与选择性提升

化学分析方法的灵敏度与选择性是衡量其在环境检测中应用效果的关键指标。例如，光谱分析法中的原子荧光光谱法，通过优化激发光源和检测器参数，已经能够检测出ppb级别的重金属元素，极大地提升了对环境污染物的敏感度。而质谱分析法，如高分辨质谱技术，通过提高分辨率，可以更准确地地区分同位素和同分异构体，提高分析的特异性。

在色谱分析法中，如气相色谱-质谱联用技术，通过优化色谱柱填料和离子源条件，可以实现对挥发性有机物和半挥发性有机物的高效分离与检测，其检出限可低至ppt级别，极大地提升了对大气污染物检测的灵敏度。

此外，为了提高多组分同步检测的能力，多模态分析系统正在不断发展。这些系统整合了光谱、色谱和质谱等多种技术，可以一次性分析环境样本中的多种污染物，大大提高了分析效率和准确性，对于复杂环境样本的全面评估具有重要意义。

4.3 多组分同步检测技术的发展

随着环境复杂性的增加，多组分同步检测技术在环境检测中的重要性日益凸显。传统的化学分析方法往往只能针对单一或少数目标污染物进行检测，这在面对环境中的混合污染物时效率较低。近年来，多组分同步检测技术通过集成化和高通量分析手段，实现了对多种化学成分的同时测定，极大地提高了分析速度和准确性。

例如, 先进的色谱-质谱联用技术可以同时检测水体、大气或土壤中的数百种有机和无机污染物。在一项研究中, 科学家们利用这种技术成功地在一份环境样本中鉴定了400多种挥发性和半挥发性有机物, 大大提升了环境监测的全面性。

此外, 基于光谱学的阵列传感器和微阵列芯片等新技术也展现出强大的多组分检测能力。这些系统利用多参数信号处理和模式识别算法, 即使在复杂背景中也能识别和量化多种化学物质, 为环境监测提供了新的解决方案。

未来, 多组分同步检测技术将进一步向微型化、便携式和实时在线监测方向发展。结合物联网和云计算技术, 可以构建起实时的环境监控网络, 实现对全球环境质量的高效监控。

5 结语

随着环境污染问题的日益严峻, 化学分析技术在环境监测中的作用变得越来越重要。光谱分析、色谱分析、质谱分析以及多组分同步检测技术的持续发展, 为环境监测带来了更精确、更高效的技术

支持。尽管如此, 我们仍需面对环境监测中的一些挑战, 包括样本预处理的复杂性以及分析方法的灵敏度和选择性需要进一步提高。展望未来, 化学分析技术的持续创新和优化是必要的, 我们需要不断改进样本预处理技术, 增强分析方法的性能, 并积极寻找多组分同步检测技术的新应用领域。只有通过不断的研究和实践, 我们才能更好地应对环境污染问题, 保护我们赖以生存的地球。

参考文献

- [1] 张春雷. 环境检测中化学分析方法的运用[J]. 皮革制作与环保科技, 2023(23):76-77.
- [2] 路红华. 化学分析方法在环境检测中的应用研究[J]. 化纤与纺织技术, 2021(3):79-80.
- [3] 陈琪, 刘书光. 化学分析方法在环境检测中的应用[J]. 化工设计通讯, 2020(4):231, 235.
- [4] 张玲玲. 化学分析方法在环境检测中的应用[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(7):188-189.
- [5] 徐祥钟, 刘博雅. 论化学分析方法在环境检测中的应用[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(19):48-50.

