

实验室检测技术在水环境污染监测中的应用

闫向红

宁夏昊标检测服务研究院(有限公司) 宁夏 银川 750000

摘要:水环境污染监测是保障水资源安全的关键环节,实验室检测技术为此提供重要支撑。光谱分析、色谱分析、电化学分析及生物检测等技术凭借各自优势,在水环境污染物定性定量检测中发挥重要作用。然而,检测对象复杂性、技术局限性及效率成本矛盾等问题仍制约其应用。通过研发新型技术、强化人才培养、优化流程等策略,可有效提升检测能力,推动水环境污染监测技术的发展与完善。

关键词:实验室检测技术;水环境污染监测;应用

引言

随着工业化和城市化进程加速,水环境污染问题日益严峻,准确、高效的监测手段成为保障水环境安全的迫切需求。实验室检测技术作为水环境污染监测的重要手段,涵盖光谱、色谱、电化学及生物检测等多种方法,能够对水体中各类污染物进行精准分析。本文系统探讨实验室检测技术在水环境污染监测中的具体应用,深入剖析其面临的挑战,并提出针对性应对策略,以期提升水环境监测水平提供理论参考与实践指导。

1 水环境污染监测概述

水环境污染监测作为保障水资源安全与生态健康的关键技术手段,是运用物理、化学及生物等多学科原理与方法,对水体中污染物的种类、浓度、分布及变化趋势进行系统测定与分析的过程。其核心目标在于通过实时、准确的数据采集,量化评估水体质量状况,为水环境治理与生态修复提供科学依据。监测工作覆盖从地表水体到地下水层的全域范畴,涵盖江河、湖泊、水库、海洋等各类水体形态。在技术层面,综合运用现场采样与实验室分析相结合的方式,借助便携式仪器对水体温度、酸碱度(pH)、溶解氧等基础指标进行原位测量,同步采集水样带回实验室,利用色谱、质谱、光谱等精密分析仪器,对重金属、有机污染物、营养盐等复杂成分进行定性定量分析。随着科技进步,自动监测技术的应用日益广泛,通过在重点水域部署水质监测站,实现高锰酸盐指数、氨氮等关键指标的连续在线监测,结合卫星遥感与无人机巡检,构建起空天地一体化的监测网络,显著提升了监测效率与时空覆盖范围。水环境污染监测的意义不仅体现在对污染现状的即时反馈,更在于通过长期数据积累揭示环境演变规律。通过分析污染物迁移转化机制,建立数学模型模拟污染扩散过程,能够有效预测突发性污染事件的影响范围,为应急处置提供

决策支持。监测数据也是评估水环境治理工程效果的重要标尺,通过对比治理前后水质参数变化,可科学验证治理措施的有效性,进而优化技术方案。在生态系统层面,生物监测技术通过分析水生生物群落结构与多样性,反映水体生态健康状况,弥补了化学监测在生态效应评估中的局限性。这种多维度、多技术手段的协同监测,构成了现代水环境污染防控体系的重要基石,对于维护水生态平衡、保障水资源可持续利用具有不可替代的作用。

2 实验室检测技术在水环境污染监测中的应用

2.1 光谱分析技术

(1) 光谱分析技术基于物质与电磁辐射相互作用时产生的特征光谱进行定性和定量分析,在水环境污染监测中发挥着关键作用。原子吸收光谱(AAS)通过待测元素基态原子对特征辐射的吸收程度,能够精准测定水中微量及痕量金属元素,如铅、镉、汞等,其检测灵敏度可达 $\mu\text{g/L}$ 甚至 ng/L 级别,对重金属污染的早期预警具有重要意义。(2) 紫外-可见分光光度法(UV-Vis)依据物质分子对紫外-可见光的吸收特性,可快速测定水中如高锰酸盐指数、氨氮、硝酸盐氮等常规污染物,通过建立吸光度与污染物浓度的线性关系,实现污染物浓度的准确测定,在水质常规监测中应用广泛。(3) 红外光谱(IR)则能对水中的有机污染物进行结构分析和定性定量检测,不同的有机官能团在红外区域有特定的吸收峰,通过与标准谱图对比,可识别水中酚类、酯类、醇类等有机污染物,为有机污染溯源和治理提供依据^[1]。

2.2 色谱分析技术

(1) 气相色谱(GC)利用物质在气液或气固两相中的分配系数差异实现分离,适用于挥发性和半挥发性有机污染物的分析。在水环境污染监测中,可有效检测水中的卤代烃、苯系物、有机磷农药等,通过与质谱

(MS)联用形成气相色谱-质谱(GC-MS)技术,不仅能提高分离效率,还可凭借质谱强大的定性能力,准确鉴定复杂混合物中的微量污染物。(2)高效液相色谱(HPLC)基于液体流动相和固定相之间的分配、吸附等作用,分离和分析高沸点、热不稳定及大分子有机化合物。在水环境监测中,常用于检测水中的多环芳烃、抗生素、表面活性剂等,其高分离效率和高灵敏度能够实现对复杂水样中痕量有机污染物的有效检测。(3)离子色谱(IC)以离子交换树脂为固定相,电解质溶液为流动相,能够快速分离和测定水中常见的阴、阳离子,如氯离子、硫酸根离子、铵根离子等,通过抑制电导检测等技术,可显著提高检测灵敏度和选择性,为水质化学组成分析和污染来源判断提供数据支持。

2.3 电化学分析技术

(1)电位分析法基于指示电极和参比电极组成的电池电动势与溶液中待测离子活度之间的关系,实现对离子浓度的测定。例如,pH玻璃电极用于测量水体酸碱度,氟离子选择性电极可快速测定水中氟离子浓度,通过建立电位与离子活度的能斯特方程关系,可实现对目标离子的准确分析,在水质常规监测和应急监测中应用便捷。(2)伏安分析法通过测量电解过程中电流与电位的变化曲线,实现对物质的定性和定量分析。溶出伏安法能够富集待测物质,显著提高检测灵敏度,可用于测定水中的重金属离子,如铜、锌、铁等,通过控制电极电位使目标离子在电极上富集,再进行溶出测定,检测限可低至 $\mu\text{g/L}$ 甚至 ng/L 级别。(3)电导分析法基于溶液电导率与离子浓度的关系,可快速测定水中总溶解固体(TDS)和离子总浓度。通过测量溶液的电导值,结合温度补偿等技术,能够实时反映水体中离子含量的变化情况,在工业废水排放监测和天然水体盐度测定等方面具有重要应用^[2]。

2.4 生物检测技术

(1)生物传感器技术融合生物学和传感器技术,利用生物识别元件(如酶、微生物、抗体等)与污染物的特异性结合,通过换能器将生物信号转化为电信号或光信号进行检测。例如,酶生物传感器可用于检测水中的酚类、农药等污染物,基于酶促反应的特异性和高效性,能够实现对污染物的快速、灵敏检测,具有响应速度快、操作简便等优点。(2)发光细菌法利用发光细菌在受到污染物胁迫时发光强度的变化来评价水质毒性。当水体中存在重金属、有机污染物等有毒物质时,会抑制发光细菌的发光强度,通过测定发光强度的变化,可快速评估水体的综合毒性,该方法灵敏度高、检测时间

短,在水质应急监测和生态风险评估中发挥重要作用。

(3)藻类毒性测试通过观察藻类在不同水样中的生长状况,如细胞密度、叶绿素含量等指标,评估水体污染物对藻类的毒性效应。藻类作为水生生态系统中的初级生产者,对污染物较为敏感,不同种类的藻类对污染物的耐受性不同,通过藻类毒性测试能够反映水体污染物对生态系统的潜在危害,为水环境质量评价和生态修复提供依据。

3 实验室检测技术在水环境污染监测应用中面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 检测对象的复杂性

水环境中的污染物种类繁多且性质各异,有机污染物、无机污染物、生物污染物相互交织,形成极为复杂的体系。有机污染物涵盖多环芳烃、农药、内分泌干扰物等,其分子结构多样,部分具有持久性、生物累积性和高毒性特点;无机污染物包括重金属离子、含氮磷化合物等,不同价态和形态的金属离子,其迁移转化规律与毒性效应差异显著。水环境中微生物群落丰富,病毒、细菌、藻类等微生物不仅会对检测设备和试剂产生干扰,其自身代谢活动还可能改变污染物的存在形态和浓度。实际水环境中,污染物并非以单一形式存在,而是多种物质共存,相互之间发生络合、氧化还原等复杂化学反应,这使得污染物的检测难以精准定位和定量分析,给实验室检测带来巨大挑战,需综合考虑多种因素,设计出科学合理的检测方案。

3.1.2 检测技术的局限性

现有的实验室检测技术在面对复杂水环境污染物时存在诸多不足。光谱分析技术虽能快速获取样品的整体信息,但对于痕量污染物和结构相似物质的鉴别能力较弱;色谱分析技术虽可实现多组分分离检测,但样品前处理过程繁琐,耗时长,且对仪器设备的要求较高,难以满足现场快速检测需求。质谱分析技术虽然具有高灵敏度和高分辨率,但设备昂贵,维护成本高,对操作人员的技术水平要求严苛,普及难度大。传统检测技术在检测某些新兴污染物时,缺乏相应的标准方法和参照物质,导致检测结果的准确性和可靠性难以保证。不同检测技术之间的数据兼容性较差,难以实现多技术联用,限制了对复杂污染物体系的全面分析^[3]。

3.1.3 检测效率与成本的矛盾

在水环境污染监测中,提高检测效率与控制成本往往难以兼顾。第一,为获取准确可靠的检测结果,需要采用高精度仪器和复杂的检测方法,这必然导致检测周

期延长、成本增加。例如,使用高分辨质谱仪检测痕量污染物,仪器运行成本高昂,且每次检测都需耗费大量试剂和耗材;第二,缩短检测周期、提高检测效率的方法,如简化检测流程、使用快速检测试剂盒,又可能降低检测结果的准确性和可靠性。大量样品的连续检测对实验室的设备、人员和管理都提出了更高要求,进一步增加了运营成本。在实际监测工作中,有限的资金和时间资源使得实验室难以在保证检测效率的同时,维持检测结果的高质量,如何平衡两者之间的关系成为亟待解决的问题。

3.2 应对策略

3.2.1 研发和应用新型检测技术

为应对检测对象复杂性和现有技术局限性,研发和应用新型检测技术至关重要。纳米材料和生物传感技术的融合为污染物检测提供了新方向,纳米材料独特的物理化学性质可显著提高传感器的灵敏度和选择性,生物识别元件则能实现对特定污染物的精准识别。例如,基于核酸适配体的纳米生物传感器,可快速、灵敏地检测水环境中的重金属离子和有机污染物。微流控芯片技术将样品处理、反应、检测等过程集成在微小芯片上,具有样品和试剂用量少、分析速度快、可实现高通量检测等优势,能够有效解决传统检测技术效率低、成本高的问题。人工智能与检测技术的结合,通过建立数据模型对检测数据进行智能分析和处理,可提高检测结果的准确性和可靠性,同时实现对复杂污染物体系的快速识别和预警。

3.2.2 加强技术培训与人才培养

技术人员的专业水平直接影响实验室检测工作的质量和效率。加强技术培训,定期组织检测人员学习新型检测技术、仪器操作和数据分析方法,使其及时掌握行业前沿知识和技术动态,能够有效提升检测能力。通过开展内部培训、参加学术交流和技术研讨会等方式,促进技术人员之间的经验分享和知识更新。注重人才培养,在高校和科研机构中加强相关专业学科建设,培养具有扎实理论基础和实践能力的复合型检测人才。鼓励高校与企业合作,建立实习基地,让学生在实践中积累

经验,提高解决实际问题的能力。高素质的技术人才队伍不仅能够熟练操作先进检测设备,还能灵活应对检测过程中出现的各种问题,为水环境污染监测工作提供有力的人力支持。

3.2.3 优化检测流程与成本控制

优化检测流程是提高检测效率、降低成本的有效途径。对样品采集、运输、前处理、检测分析和数据处理等环节进行全面梳理和优化,简化不必要的操作步骤,制定标准化的操作流程,可减少人为误差,提高检测效率。采用自动化检测设备和信息化管理系统,实现样品信息的自动采集、传输和分析,降低人工干预,缩短检测周期。在成本控制方面,合理选择检测方法和仪器设备,根据检测需求和样品特点,优先选用性价比高、适用性强的技术和设备。对试剂和耗材进行集中采购和科学管理,减少浪费,降低采购成本。通过建立成本核算和绩效评估机制,对检测工作的各项成本进行监控和分析,及时发现问题并采取措施加以改进,在保证检测质量的前提下,实现检测效率和成本的最佳平衡^[4]。

结语

综上所述,实验室检测技术在水环境污染监测中占据重要地位,光谱、色谱、电化学及生物检测等技术各有所长,共同助力水环境监测工作。在实际应用中,仍面临检测对象复杂、技术局限及成本效率矛盾等挑战。未来,需持续研发新型检测技术,加强人才队伍建设,优化检测流程,进一步提升检测技术的准确性、高效性与经济性,为水环境质量改善和水资源可持续利用提供坚实保障。

参考文献

- [1]钱鸿飞.实验室检测技术在水环境污染监测中的应用[J].黑龙江环境通报,2024,37(12):62-64.
- [2]庄辉.水环境污染问题防治中应用生物监测技术的实践探索[J].皮革制作与环保科技,2021,2(23):59-61.
- [3]苏顺奇.水环境污染监测工作中生物监测技术的应用[J].资源节约与环保,2020(3):42,44.
- [4]陈彦辉.水质检测中实验室检测质量控制分析[J].生态与资源,2024(8):74-76.