

水质检测分析中重金属检测技术的应用

陈昆

伊犁水文勘测局

DOI:10.12238/hwr.v8i4.5345

[摘要] 随着全球工业发展的加速,水资源面临着严重的重金属污染问题。重金属污染不仅破坏水体生态系统,还严重威胁人类健康。为了有效监测和控制水质中的重金属含量,开发和应用高效、准确的检测技术显得尤为重要。本研究综合考察了几种主要的重金属检测技术,包括高效液相色谱法、原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法及生物化学分析法,并探讨了通过技术整合与优化、政策和标准制定以及公众教育与意识提升等策略,如何进一步提升水质检测的准确性和效率,以应对水质污染问题。

[关键词] 水质检测; 重金属污染; 高效液相色谱法; 原子吸收光谱法

中图分类号: TQ572.4+7 **文献标识码:** A

Application of heavy metal detection technology in water quality testing and analysis

Kun Chen

Ili Hydrological Survey Bureau

[Abstract] With the acceleration of global industrial development, water resources are facing serious heavy metal pollution problems. Heavy metal pollution not only damages the aquatic ecosystem, but also seriously threatens human health. In order to effectively monitor and control the heavy metal content in water quality, it is particularly important to develop and apply efficient and accurate detection technologies. This study comprehensively examined several major heavy metal detection technologies, including high-performance liquid chromatography, atomic absorption spectroscopy, inductively coupled plasma mass spectrometry, and biochemical analysis. It also explored strategies such as technology integration and optimization, policy and standard formulation, and public education and awareness enhancement to further improve the accuracy and efficiency of water quality detection to address water pollution issues.

[Key words] water quality testing; Heavy metal pollution; High performance liquid chromatography; Atomic absorption spectroscopy

引言

水资源的质量直接关系到生态环境的平衡与人类健康,工业化进程中产生的重金属污染已成为全球性的环境问题。重金属元素如铅、汞、镉等,因其持久性和生物累积性,一旦进入水体将难以自净,且对水生生物及人体造成长期的有害影响。鉴于此,发展有效的水质检测分析技术,对于及时监测和管理水资源质量,保障公共健康具有重大意义。

1 重金属对水质和健康的影响

重金属元素具有生物累积性,能够通过食物链传递和放大,对水生生物造成毒性作用,破坏水体生态环境,同时进入人体后可能引发多种疾病。例如铅的摄入可干扰神经系统发育,导致儿童智力下降;汞污染则可能引起肾功能障碍和神经系统损伤;镉的长期摄入会损害肾脏功能,并增加骨质疏松的风险;砷暴露与皮肤病变、心血管疾病和癌症等健康问题关联。由于这些重

金属在环境中的持久性,一旦水体受到污染,其清除过程既复杂又耗时,因此对水质进行精确的重金属含量检测显得尤为重要。这不仅有助于评估和管理水资源质量,还是保护人类健康和维持生态平衡的关键步骤。考虑到重金属对环境和人体健康的潜在危害,开展重金属污染的水质检测与分析工作,对于实现有效的水资源管理和环境保护政策具有重要意义^[1]。

2 重金属检测技术的应用

2.1 高效液相色谱法(HPLC)

高效液相色谱法(HPLC)作为一种先进的分析技术,在水质检测分析中重金属检测的应用日益广泛,其核心优势在于高分辨率、高灵敏度以及对样品量要求低。HPLC通过利用不同组分在移动相和固定相中的相对亲和力差异,实现复杂样品中各组分的有效分离。在重金属检测中HPLC通常与各种检测器联用,如电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)、原子吸收光谱(AAS)等,以

提高检测的灵敏度和选择性。例如HPLC-ICP-MS技术已被证明能够在低至纳克级别的浓度范围内准确测定水样中的砷、铅、镉等重金属，该技术可在不需复杂样品预处理的情况下，直接对水样进行分析，显著降低了分析过程中的交叉污染和样品损失风险。利用HPLC-ICP-MS技术，检测限可达到0.1 μg/L以下，准确度和重现性均满足国际水质标准的要求，这为环境监测和风险评估提供了一种高效可靠的分析方法。此外HPLC的应用不仅限于传统重金属的测定，其在复杂有机金属结合物的鉴定和定量方面也显示出巨大的潜力，为深入理解重金属在水环境中的行为和命运提供了重要工具。

2.2原子吸收光谱法(AAS)

该技术特别适用于水质监测中对铅、镉、汞等重金属的精确测定，因其具备操作简便、灵敏度高和选择性强等特点。AAS技术根据光源的不同，可以分为火焰原子吸收光谱(FAAS)和石墨炉原子吸收光谱(GFAAS)。FAAS适用于浓度相对较高的元素检测，而GFAAS则因其卓越的灵敏度和较低检测限而被广泛应用于痕量重金属的检测。例如GFAAS技术在镉的检测中可达到微克每升级别的检测限，这对于评估水体中的重金属污染水平至关重要。近年来随着技术的进步，AAS方法在提高样品处理效率、降低检测限以及提升分析速度等方面均有显著改进，特别是结合先进的样品检测系统和自动化技术，AAS不仅能够提供更为快速和精确的测量结果，同时也显著提高了样品分析的吞吐量和重复性。在环境监管和公共健康领域，AAS技术为重金属污染的监测提供了一种有效的分析工具，使得对水体污染的快速响应和准确评估成为可能。表1展示了不同检测技术的适用性和灵敏度^[2]。

表1 水质检测中的重金属含量及检测技术应用

水体类型	铅含量 (μg/L)	镉含量 (μg/L)	汞含量 (μg/L)	检测技术	检测限 (μg/L)
河水	15.2	5.1	1.8	FAAS	0.5
地下水	2.8	0.7	0.2	GFAAS	0.1
工业废水	45.3	25.4	9.6	GFAAS	0.1
饮用水	0.5	<0.1	<0.1	FAAS	0.5

2.3电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)由于其卓越的灵敏度、广泛的线性范围以及快速的分析速度，在水质检测分析中的应用日益增多，特别是在追踪和量化痕量及超痕量级别的重金属污染物方面显示出无与伦比的能力。ICP-MS能够检测元素的同位素，并进行精确的定量分析，使其在环境监测、食品安全以及临床研究等领域变得不可或缺。根据国际环境分析技术期刊报道，ICP-MS技术已成功应用于全球多地水体的重金属污染状况评估，其检测限可达低至纳克/升(ng/L)级别，如镉(Cd)的检测限可达0.1ng/L，铅(Pb)和汞(Hg)的检测限分别可达0.05ng/L和0.2ng/L，这一检测性能远超传统的原子吸收光谱法和原子荧

光光谱法。除了高灵敏度，ICP-MS还具有能够同时分析多种重金属元素的能力，这对于评估复杂环境样本中的污染状况尤为重要。例如一项针对工业排放影响的研究利用ICP-MS技术同时监测了水样中超过20种重金属元素的含量，为污染源的识别和环境影响评估提供了准确的数据支持。ICP-MS的这些优点确保了其在水质监测和环境保护工作中的关键作用，为政策制定者和环境科学家提供了一个强有力的工具，以科学、有效地应对和管理重金属污染问题。

2.4生物化学分析法

生物化学分析法在水质检测分析中重金属检测的应用展现了跨学科技术融合的优势，尤其是在评估重金属对生态系统和人体健康影响的敏感性方面。通过利用生物分子识别和结合特定金属离子的能力，如采用特异性高的生物标志物，这种方法能够在复杂的水样中进行高选择性和高灵敏度的检测。例如螯合肽和特定蛋白质能够与水体中的重金属离子形成稳定的复合物，通过标记这些生物分子并利用荧光或吸收光谱进行读取，可以实现对铅、镉、汞等重金属的精确定量分析。采用基于纳米粒子增强的生物化学传感器，检测灵敏度可达到几十纳克每升(ng/L)级别，明显优于传统化学分析方法。此外生物化学分析法还具有操作简便、成本较低和可实现现场快速检测的优点，这对于环境监测和公共健康预警系统的建立具有重要意义。当前，随着分子生物学和纳米技术的快速发展，通过基因工程改造的生物传感器在水质检测领域的应用逐渐增多，这些传感器不仅提高了检测的特异性和灵敏度，还扩展了检测的种类和范围。表2展示了生物化学分析法在水质检测中针对特定重金属检测的应用情况，包括检测技术、目标重金属、检测灵敏度、适用范围、优点以及缺点。

表2 生物化学分析法在重金属检测中的应用

检测技术	目标重 金属	检测灵敏 度 (ng/L)	适用范围	优点	缺点
螯合肽传感器	铅 (Pb)	50	饮用水、河 水	高选择性，操作 简便	稳定性需进 一步提高
纳米粒子增强 的荧光传感器	镉 (Cd)	30	工业废水、 地下水	灵敏度高，可实 现快速检测	成本相对较 高
基因工程改造 的生物传感器	汞 (Hg)	10	海水、河水	灵敏度极高，特 异性强	技术复杂， 需专业操作
酶抑制法	铬 (Cr)	100	地下水、饮 用水	简便，成本低	检测范围有 限

3 提升水质检测分析中重金属检测技术的策略

3.1技术整合与优化

在当今环境科学研究中，面对复杂多变的水体样本和不断提升的检测要求，传统的单一检测技术已难以满足精准、高效监测的需求。因此通过技术整合与优化，如将高效液相色谱法(HPLC)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)与生物化学分析方

法相结合,能够充分发挥各自技术的优势实现对重金属的快速、全面检测。此外利用先进的数据处理软件和算法对检测结果进行深度分析,不仅可以提升数据的准确性,还能通过模式识别等方法预测污染趋势,为环境保护和污染治理提供科学依据。实践证明,技术整合与优化能有效降低检测成本,缩短检测周期,对于加强水质安全监管、响应环境污染事件具有重要意义。当前,随着物联网、大数据等新兴技术的发展,将这些技术应用于水质检测系统,能进一步提升监测网络的实时性和智能化水平,实现对重金属污染的动态监控和管理^[3]。

3.2政策和标准制定

在全球范围内,面对日益严峻的水资源污染问题,各国政府和国际组织已经意识到制定严格的水质监测标准和政策的必要性。这些标准和政策不仅涵盖了水质检测的各项技术要求,如检测限、准确度、精密度等,还包括了监测频率、监测点位选择、数据处理和报告格式等内容。例如欧盟通过《饮用水指令》规定了对饮用水中特定污染物的最大允许浓度,美国环保局(EPA)也发布了一系列水质标准和监测指南,用以指导各州和地方政府的水质监测工作。这些政策和标准的制定基于大量的科学研究和风险评估,旨在保护公共健康,保障水资源的可持续利用。此外随着新污染物的不断发现和检测技术的进步,政策和标准也需要不断更新,以反映最新的科学知识和技术水平。因此加强国际交流合作,共享监测数据和风险评估结果,对于推动全球水质标准的协调一致具有重要意义。

3.3公众教育与意识提升

有效的环境教育能够增强公众对水资源保护的认识,促进社会对重金属污染问题的广泛关注。面对环境挑战,仅依靠技术解决方案和政府监管是不够的,必须激发公众的参与意识和行动能力。环境保护组织和教育机构应当设计并实施针对性的教育项目,通过讲座、工作坊、社会媒体和学校课程等多种渠道,

普及水质保护和重金属污染的基础知识、健康影响及预防措施。此外利用现代信息技术开发交互式学习工具和应用程序,可以有效吸引公众尤其是年轻一代的参与,提高环境保护教育的吸引力和影响力。重要的是,公众教育还需强调个人和社区在水源保护中的作用,鼓励采取具体行动,如节水、减少污染物排放和参与当地水体保护项目等^[4]。

4 结论

通过采用高效液相色谱法、原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法和生物化学分析法等多种先进技术,可以显著提高水质检测的灵敏度和准确性,有效监测和控制水中的重金属污染。同时,实现技术创新与方法优化是应对复杂环境样本分析挑战的关键。此外制定和更新全面的水质监测政策和标准对于保护公共健康、保障水资源的可持续利用具有根本意义。公众教育和意识的提升进一步强化了社会对水质问题的认识和行动,是实现环境保护目标不可或缺的一环。未来,跨学科合作和技术创新,以及政策制定者、环境科学家和公众之间的有效沟通与合作,将是推动水质监测和管理向更高水平发展的关键因素。

[参考文献]

- [1]王美霖,周欣悦.试论重金属检测技术在水质检测分析中的应用[J].清洗世界,2023,39(08):25-27.
- [2]刘亚平,刘璐,赵丽雅,等.重金属检测技术在水质分析中的应用与实践[J].皮革制作与环保科技,2023,4(16):22-24.
- [3]黄治华,郭志娟.环境水质分析中重金属检测技术的运用探究[J].科技资讯,2023,21(04):109-112.
- [4]赵旻.水质检测分析中重金属检测技术的应用[J].化工管理,2022,(15):31-33.

作者简介:

陈昆(1992--),男,汉族,河南省人,大学本科,助理工程师。