

ICP-OES 技术在地下水重金属检测中的应用与研究

赵超 张乾

北京市地质环境监测所 城市地下水安全防控技术创新基地

DOI:10.12238/eep.v7i12.2368

[摘要] ICP-OES技术在地下水重金属检测中因其高灵敏度和多元素分析能力而备受青睐。该技术通过优化样品前处理、调整仪器参数、应用内标法和数据处理策略,有效提高了检测的准确性和稳定性。面对地下水复杂基质的挑战,ICP-OES技术展现出处理复杂样品的能力,同时,其在实际监测中的优化策略进一步增强了其在环境监测领域的应用潜力。展望未来,随着技术的不断进步和与其他技术的集成,ICP-OES技术有望在地下水资源的保护和合理利用中发挥更加关键的作用,为环境监测和人类健康提供强有力的技术支持。

[关键词] 地下水; 重金属; ICP-OES; 灵敏度; 准确性

中图分类号: TU94+3.1 **文献标识码:** A

Application and research of ICP-OES technology in detection of heavy metals in groundwater

Chao Zhao Qian Zhang

Beijing geological environment monitoring office city underground water safety prevention and control technology innovation base

[Abstract] ICP-OES technology is popular in the detection of heavy metals in groundwater because of its high sensitivity and multi-element analysis ability. By optimizing sample pretreatment, adjusting instrument parameters, applying internal standard method and data processing strategy, this technology effectively improves the accuracy and stability of detection. Facing the challenge of complex groundwater matrix, ICP-OES technology shows the ability to handle complex samples, and at the same time, its optimization strategy in actual monitoring further enhances its application potential in the field of environmental monitoring. Looking forward to the future, with the continuous progress of technology and integration with other technologies, ICP-OES technology is expected to play a more critical role in the protection and rational utilization of groundwater resources and provide strong technical support for environmental monitoring and human health.

[Key words] groundwater; Heavy metals; ICP-OES; Sensitivity; accuracy

引言

重金属污染是地下水质量监测中的关键指标,开发高效、准确的检测技术至关重要。电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-OES)技术因其卓越的分析性能,在重金属检测领域显示出巨大潜力。该技术不仅能够提供高灵敏度的检测结果,还能实现多元素的快速分析,这对于及时评估和控制地下水污染具有重要意义。然而,地下水样品的复杂性对ICP-OES技术的准确性和稳定性提出了挑战。本文将探讨ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用,分析其优势与挑战,并提出相应的优化策略,以期对地下水资源的保护和监测提供科学依据。随着技术的不断进步,ICP-OES技术在环境监测中的应用前景将更加广阔。

1 ICP-OES技术原理与地下水检测应用

电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-OES)技术是一种基于等离子体发射光谱分析的高效分析方法,其核心原理是利用感应耦合产生高温等离子体,将样品原子化并激发至高能态,随后通过检测其发射光谱来确定样品中元素的种类和含量。该技术以其高灵敏度、宽动态范围和多元素同时分析的能力,在地下水检测领域显示出巨大的应用潜力。地下水检测中,ICP-OES技术主要应用于重金属元素的定量分析。重金属元素如铅、镉、汞等对人体健康和生态环境具有潜在的危害性,准确测定这些元素的含量对于评估地下水质量至关重要。ICP-OES技术通过将地下水样品转化为气溶胶形式引入等离子体中,利用等离子体的高温环境迅速将样品原子化并激发,产生特征光谱线。通过光谱仪对这些光谱线进行分析,可以精确测定样品中各元素的浓度^[1]。

其检测灵敏度高,能够检测到低至ppb甚至ppt级别的重金属元素,满足环境监测中对低浓度污染物的检测需求。ICP-OES具有宽动态线性范围,能够同时分析高浓度和低浓度的元素,无需进行复杂的样品预处理。ICP-OES技术能够实现多元素同时分析,大大提高了分析效率,降低了检测成本。然而,ICP-OES技术在地下水检测中也存在一定的局限性。样品的基质效应可能会影响检测结果的准确性,特别是在复杂基质的地下水样品中。

ICP-OES设备成本相对较高,对实验室条件和操作人员的技能要求也较高,这限制了其在一些资源有限地区的应用。为了克服这些局限性,研究人员不断探索优化ICP-OES技术的方法。通过改进样品前处理技术,可以有效减少基质效应对检测结果的影响。通过使用内标法或标准加入法,可以提高检测结果的准确性和可重复性。随着技术的进步,ICP-OES设备的自动化程度不断提高,操作更加简便,有助于降低操作难度和成本。

2 ICP-OES技术与传统检测方法的对比分析

在地下水重金属检测领域,ICP-OES技术与传统检测方法相比,展现出了其独特的优势和特点。传统检测方法,如原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)等,虽然在特定领域内有着广泛的应用,但在灵敏度、分析范围、成本效益等方面与ICP-OES存在明显差异。ICP-OES技术相较于原子吸收光谱(AAS),在灵敏度上具有明显的优势。AAS技术主要依赖于原子化过程中产生的基态原子对特定波长光的吸收,其检测限通常在ppb级别,而ICP-OES技术则能够达到更低的检测限,甚至达到ppt级别。ICP-OES技术能够同时检测多种元素,而AAS则需要为每种元素单独配置光源和检测系统,这在一定程度上限制了其多元素分析的能力。

与电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)相比,ICP-OES在成本和操作复杂度上具有优势。ICP-MS技术以其极高的灵敏度和精确度在痕量元素分析中占据重要地位,但其设备成本和维护费用相对较高,且对操作人员的技能要求也较高。ICP-OES虽然在灵敏度和精确度上略逊于ICP-MS,但其成本效益更高,更适合于大规模的常规监测和筛查。ICP-OES技术在样品前处理方面也显示出其便捷性。相较于其他需要复杂样品制备过程的方法,ICP-OES对样品的前处理要求相对较低,这大大简化了分析流程,缩短了分析时间。

在检测速度方面,ICP-OES技术同样表现出色^[2]。由于其能够进行多元素同时分析,因此在处理大量样品时,ICP-OES能够显著提高分析效率。这一点在需要快速响应的环境污染事件中尤为重要,能够为决策者提供及时的数据支持。然而,ICP-OES技术在某些方面也存在局限性。其对样品基质的敏感性可能导致光谱干扰,影响检测结果的准确性。ICP-OES技术在检测超痕量元素时,可能无法达到ICP-MS的灵敏度水平。

3 ICP-OES技术检测地下水重金属的灵敏度与准确性评估

ICP-OES技术在检测地下水中的重金属时,其灵敏度与准确性是评估其性能的关键指标。地下水环境因其复杂多变的化学

成分,对检测技术提出了更高的要求。ICP-OES技术在这一领域的应用,既展现了其独特的优势,也面临着一定的挑战。ICP-OES技术的优势之一是其高灵敏度,这使得它能够检测到地下水中极低浓度的重金属元素,如铅、镉、汞等。这种高灵敏度对于早期污染的发现和预防至关重要,因为即使是微量的重金属也能对人体健康和生态系统造成长期影响。ICP-OES的多元素分析能力允许同时检测多种重金属,这不仅提高了分析效率,也减少了样品处理和分析和时间和成本。

ICP-OES在处理复杂基质样品时也面临挑战^[3]。地下水中的高盐分、有机物和其他无机物质可能会干扰ICP-OES的检测,导致基质效应。这种效应可能会影响光谱信号的强度,从而影响检测结果的准确性。为了克服这一挑战,研究人员采取了多种策略,包括样品稀释、基体匹配和使用内标法等。样品稀释可以减少基质效应,但可能会降低检测灵敏度。基体匹配则通过添加与样品基质相似的标准物质来校正基质效应。内标法则通过添加已知浓度的内标物质来校正样品中可能存在的基质效应。ICP-OES技术的准确性评估通常涉及与参考方法或标准物质的比较。

通过参与实验室间比对测试,可以进一步验证ICP-OES技术的准确性和可靠性。这些测试不仅有助于评估ICP-OES的性能,也有助于提高实验室的分析质量。在实际应用中,ICP-OES技术的灵敏度与准确性评估还需要考虑样品采集和前处理的准确性。样品采集过程中的污染或不当处理可能会影响检测结果。因此,严格的样品采集和前处理程序对于确保ICP-OES检测结果的准确性至关重要。实验室环境和设备维护也对检测结果有重要影响。定期的设备校准和维护可以确保ICP-OES系统的性能稳定,从而提高检测结果的准确性。

4 ICP-OES技术在实际监测中的优化策略

ICP-OES技术在实际监测地下水重金属含量时,其优化策略对于提高检测效率和准确性至关重要。针对地下水复杂基质的特性,采取一系列优化措施是确保ICP-OES技术有效应用的关键。地下水样品通常含有高浓度的盐分、有机物和其他干扰物质,这些物质可能影响ICP-OES的检测性能。通过采用适当的样品前处理技术,如样品稀释、酸化、消解或使用固相萃取等,可以显著减少这些干扰物质的影响。样品稀释可以降低样品中高盐分的浓度,减少盐效应,但同时也可能降低目标元素的浓度,因此需要仔细平衡稀释比例。酸化处理则通过降低样品的pH值,减少样品中悬浮颗粒物的干扰。消解处理能够将样品中的有机物质转化为无机形式,从而减少有机物对ICP-OES检测的干扰。

通过优化等离子体功率、观测高度、样品引入系统等参数,可以提高检测的灵敏度和稳定性。调整等离子体功率可以影响原子化和激发效率,进而影响信号强度。观测高度的调整则可以优化光谱信号的接收,减少背景噪声。样品引入系统的优化,如使用高效雾化器,可以提高样品的传输效率,减少样品损失,从而提高检测的准确性。内标法的应用也是ICP-OES技术优化的重

要方面。通过添加已知浓度的内标元素,可以对样品中可能存在的基质效应进行校正。这种方法可以有效地补偿由于样品基质变化引起的信号波动,提高检测结果的准确性和可重复性。

通过使用一系列已知浓度的标准样品,可以构建出目标元素的光谱强度与浓度之间的关系模型。这种方法不仅为未知样品的定量分析提供了可靠的参考,而且通过校准曲线的斜率和截距,可以对仪器的灵敏度和检测限进行评估^[4]。主成分分析(PCA)通过降维技术提取光谱数据中的主要变异信息,有助于识别和去除无关的背景干扰,从而提高分析的特异性。偏最小二乘回归(PLS)则通过建立光谱数据与样品浓度之间的回归模型,实现对目标元素的准确定量。这些技术的应用,使得ICP-OES在面对复杂样品基质时,仍能保持较高的分析准确性。

5 ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用前景

ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用前景广阔,随着环境监测需求的日益增长和技术的不断进步,其在未来的应用将更加广泛和深入。地下水作为重要的饮用水源和生态系统的重要组成部分,其质量监测对于保障人类健康和生态环境安全至关重要。ICP-OES技术凭借其高灵敏度、多元素分析能力和成本效益等优势,将成为地下水重金属检测的重要工具。随着环境法规的日益严格和公众环保意识的提高,地下水重金属污染的监测和治理需求将持续增长。ICP-OES技术能够提供快速、准确的检测结果,有助于及时发现和评估地下水污染状况,为污染治理和风险评估提供科学依据。随着城市化进程的加快,地下水资源的开发利用和保护面临更多挑战,ICP-OES技术在地下水资源管理和保护中的应用将更加重要。

技术进步将推动ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用。随着仪器性能的提高和检测方法的优化,ICP-OES技术将能够更有效地处理复杂基质样品,提高检测的准确性和稳定性。自动化和智能化技术的应用将简化样品前处理和数据分析流程,提高检测效率。随着新型材料和纳米技术的发展,ICP-OES技术的灵敏度和选择性有望进一步提高,使其在地下水重金属检测中的表现更加出色。ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用前景还体现在其与其他技术的集成和协同。例如,ICP-OES可以与质谱技术(如ICP-MS)结合,形成联用系统,实现更高精度和更

宽检测范围的分析。这种集成技术不仅能够提供更全面的元素分析信息,还能够提高检测的特异性和选择性^[5]。

ICP-OES技术与现场检测设备的结合,为地下水重金属污染的实时监测提供了一种创新的解决方案。这种集成系统能够在污染发生时迅速响应,通过传感器技术实时收集数据,并通过ICP-OES进行快速分析,从而实现地下水质量的连续监控。这种实时监测系统对于早期发现污染事件、评估污染程度以及采取及时的应对措施至关重要。随着大数据和人工智能技术的飞速发展,ICP-OES技术的应用正变得更加智能化和精准化。大数据分析能够处理和分析海量的监测数据,揭示地下水重金属污染的时空分布规律,为污染源的追踪和风险评估提供科学依据。

6 结语

ICP-OES技术以其卓越的灵敏度和多元素分析能力,在地下水重金属检测领域展现出显著优势。面对复杂基质的挑战,通过样品前处理技术的改进、仪器参数的优化、内标法的应用以及数据处理方法的创新,ICP-OES技术的应用效果得到了显著提升。随着环境监测需求的增长和技术的不断进步,ICP-OES技术在地下水重金属检测中的应用前景广阔,预计将在资源管理和环境保护中发挥更加关键的作用。

[参考文献]

- [1]陈晨,李晓明.地下水重金属污染检测技术研究进展[J].环境科学学报,2023,43(2):345-353.
- [2]赵刚,张华.感应耦合等离子体质谱在环境监测中的应用[J].分析测试学报,2022,41(5):778-785.
- [3]孙强,王丽.地下水重金属污染现状与治理技术[J].水处理技术,2021,47(3):112-118.
- [4]刘洋,周杰.ICP-OES技术在地下水检测中的应用研究[J].环境化学,2020,39(6):987-994.
- [5]吴波,郑涛.地下水重金属污染监测与风险评估[J].环境科学研究,2024,37(1):45-52.

作者简介:

赵超(1986-),男,满族,北京人,本科,中级工程师,研究方向:地质实验测试、水化学。