环境水体中重金属离子的快速理化检测方法研究

刘明灯 庞宁宁 翁子杰 侯周磊
浙江中通检测科技有限公司 浙江 宁波 315200

摘要: 本文聚焦环境水体中重金属离子的快速理化检测方法。先阐述重金属离子来源,包括工业排放、农业活动等;接着说明其对水生生物、人体健康和生态系统的危害;然后分析现有检测方法优缺点;最后介绍快速理化检测方法的研究与开发,从创新思路、实验材料与方法、结果分析等方面展开,旨在为环境水体中重金属离子检测提供更高效、便捷的方法。

关键词: 环境水体; 重金属离子; 快速理化检测方法

引言: 环境水体中重金属离子污染问题日益严峻,其来源广泛,涵盖工业、农业、生活污水及自然因素等多个方面。重金属离子具有稳定性强、不易降解等特点,会对水生生物、人体健康和生态系统造成严重危害。因此,准确、快速地检测环境水体中重金属离子的含量至关重要。目前虽有多种检测方法,但各有局限。基于此,开展快速理化检测方法的研究与开发具有重要的现实意义。

1 环境水体中重金属离子的来源

重金属离子是指相对原子质量较大、密度大于 4.5g/cm^3 的金属元素在溶液中以离子形态存在的物质,如汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)等。

1.1 工业排放

工业生产是环境水体中重金属离子的主要来源之一。在采矿、冶金、电镀、化工、制革等行业中,重金属被大量使用。例如,采矿过程中,矿石中的重金属会随着废水和废渣进入水体;冶金工业中,金属冶炼过程会产生含有重金属的废气和废水,废气中的重金属经雨水冲刷也会进入水体;电镀行业使用大量含重金属的电镀液,其排放的废水中重金属离子浓度往往很高。此外,一些化工企业在生产过程中使用重金属作为催化剂或原料,产生的废水若未经有效处理直接排放,也会对人体造成严重污染。

1.2 农业活动

农业活动中重金属离子的输入也不容忽视。农药和化肥的使用是农业面源污染中重金属的重要来源。一些农药中含有汞、砷等重金属成分,长期使用会导致土壤和水体中重金属积累^[1]。化肥中也可能含有微量的重金属杂质,如磷肥中常含有镉。畜禽养殖产生的粪便若未经妥善处理直接施用于农田,粪便中的重金属(如铜、

锌等,常作为饲料添加剂添加到畜禽饲料中)会随着雨水冲刷进入水体。同时污水灌溉也是农业水体重金属污染的一个途径,未经处理或处理不达标的城市生活污水和工业废水用于农田灌溉,会使重金属在土壤和水体中富集。

1.3 生活污水

生活污水中也含有一定量的重金属离子。随着人们生活水平的提高,各种含重金属的产品在日常生活中广泛应用,如含汞的电池、含铅的颜料、含镉的电子产品等。这些产品在废弃后,其中的重金属可能通过雨水冲刷、垃圾填埋等方式进入生活污水系统。洗涤剂、化妆品等日常用品中也可能含有微量的重金属,随着生活污水的排放进入水体。虽然生活污水中重金属离子的浓度相对较低,但由于生活污水排放量大,其对环境水体的累积影响不可忽视。

1.4 自然因素

自然因素也会导致环境水体中存在一定量的重金属离子。岩石风化是自然过程中重金属进入水体的主要方式之一。岩石中含有各种重金属元素,在风化作用下,重金属会逐渐释放到土壤和水体中。火山喷发、森林火灾等自然事件也会释放出大量的重金属物质,这些物质通过大气沉降等方式进入水体。不过,自然因素导致的重金属离子含量通常相对较低,且在自然生态系统中处于相对平衡的状态,但在人类活动的影响下,这种平衡可能会被打破,导致重金属离子在水体中的浓度升高。

2 环境水体中重金属离子的危害

重金属离子在环境水体中具有稳定性强、不易降解等特点,会通过食物链的传递和富集,对水生生物、人体健康和生态系统造成严重的危害。

2.1 对水生生物的毒性影响

重金属离子对水生生物具有直接的毒性作用。不同

种类的重金属对水生生物的毒性机制和敏感程度有所不同。例如,汞对水生生物的神经系统具有强烈的毒性作用,会影响鱼类的行为和繁殖能力;镉会损害水生生物的肾脏和肝脏等器官,导致生物体内酶活性降低,影响其正常的生理功能;铅会干扰水生生物的钙代谢,影响骨骼的发育和生长^[2]。高浓度的重金属离子会导致水生生物急性中毒死亡,而低浓度的重金属离子长期暴露也会对水生生物的生长、繁殖和发育产生慢性影响,降低水生生物的种群数量和生物多样性。

2.2 对人体健康的潜在威胁

环境水体中的重金属离子会通过饮水、食物链等途径进入人体,对人体健康造成潜在威胁。汞中毒会损害人体的神经系统、消化系统和免疫系统,严重时可导致死亡;镉中毒会引起肾脏损害、骨骼病变(如痛痛病)等;铅中毒会影响儿童的智力发育和神经系统功能,导致学习能力下降、行为异常等。另外,一些重金属还具有致癌、致畸、致突变的作用,长期接触会增加患癌症等疾病的风险。

2.3 生态系统的长期影响

重金属离子在环境水体中的积累会对整个生态系统产生长期的负面影响。重金属会改变水体的理化性质,影响水生生物的生存环境。例如,重金属离子可能会与水体中的有机物、无机物结合,形成沉淀物,降低水体的透明度和溶解氧含量,影响水生植物的光合作用和呼吸作用。同时重金属在食物链中的富集会破坏生态系统的平衡,导致某些物种的数量减少或灭绝,进而影响整个生态系统的结构和功能。重金属污染还会影响土壤质量,降低土壤的肥力和生物活性,对陆地生态系统造成间接影响。

3 环境水体中现有重金属离子检测方法分析

为了准确监测环境水体中重金属离子的含量,保障生态环境和人体健康,目前已经发展了多种重金属离子检测方法。

3.1 分光光度法

分光光度法是基于物质对光的吸收特性而建立的一种分析方法。其原理是重金属离子与特定的显色剂发生化学反应,生成有颜色的络合物,该络合物对特定波长的光具有吸收作用,通过测量吸光度的大小来确定重金属离子的含量^[3]。分光光度法具有操作简便、设备成本低、灵敏度较高等优点,适用于多种重金属离子的检测。然而该方法也存在一些局限性,如显色剂的选择性有限,可能会受到其他共存物质的干扰;对于一些低浓度的重金属离子检测灵敏度不够;且显色反应的条件

(如pH值、温度、反应时间等)需要严格控制,否则会影响检测结果的准确性。

3.2 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

ICP-MS是一种高灵敏度、高选择性的重金属离子检测方法。其原理是将样品引入电感耦合等离子体中,使样品中的元素原子化并电离成离子,然后通过质谱仪对离子进行分离和检测。ICP-MS具有检测限低、线性范围宽、可同时测定多种元素等优点,能够快速、准确地检测环境水体中痕量的重金属离子。但该方法也存在一些不足之处,如仪器设备昂贵,运行成本高;对样品的预处理要求较高,需要去除样品中的基体干扰物质;且仪器操作和维护需要专业的技术人员。

3.3 原子吸收光谱法(AAS)

AAS是根据气态的基态原子外层电子对紫外光和可见光范围的相对应原子共振辐射线的吸收强度来定量被测元素含量为基础的分析方法。根据原子化的方式不同,可分为火焰原子吸收光谱法和石墨炉原子吸收光谱法。火焰原子吸收光谱法操作简单、分析速度快、成本较低,适用于常量和中量重金属离子的检测;石墨炉原子吸收光谱法灵敏度更高,可检测痕量的重金属离子,但分析速度相对较慢,且仪器成本较高。AAS的优点是选择性好、抗干扰能力强,但也存在一些缺点,如不能同时测定多种元素,对于一些复杂基体的样品,需要进行复杂的预处理以消除干扰。

3.4 其他检测方法简介

除了上述方法外,还有一些其他重金属离子检测方法,如X射线荧光光谱法(XRF)、阳极溶出伏安法(ASV)等。XRF是利用X射线激发样品中的原子,使其发射出特征X射线,通过测量特征X射线的能量和强度来确定元素的种类和含量。该方法具有快速、无损、可同时测定多种元素等优点,但灵敏度相对较低,适用于固体样品和表面分析。ASV是一种电化学分析方法,通过控制电极电位,使重金属离子在电极上还原并溶出,根据溶出电流的大小来确定重金属离子的含量。该方法具有灵敏度高、设备简单、成本低等优点,但电极的选择性和稳定性对检测结果影响较大^[4]。

4 快速理化检测方法的研究与开发

随着环境监测需求的不断增加,对重金属离子快速、准确、便捷的检测方法的研究与开发越来越受到关注。

4.1 创新思路与方法设计

快速理化检测方法的创新思路主要围绕提高检测速度、降低检测成本、简化操作流程和提高检测灵敏度等

方面展开。例如,结合纳米技术,利用纳米材料独特的物理化学性质,如高比表面积、良好的吸附性能和催化活性等,开发基于纳米材料的重金属离子检测传感器。纳米传感器可以实现对重金属离子的快速识别和检测,且具有灵敏度高、选择性好等优点,还可以利用微流控技术,将样品处理、反应和检测等步骤集成在一个微小的芯片上,实现重金属离子的快速、自动化检测。微流控芯片具有样品用量少、分析速度快、可实现多参数同时检测等优势。

4.2 实验材料与方

在实验材料方面,选择合适的纳米材料(如金纳米颗粒、碳纳米管、量子点等)作为传感器的敏感材料,这些纳米材料可以通过化学合成方法制备,并对其表面进行修饰,以提高其对重金属离子的选择性和灵敏度。同时选择合适的基底材料(如玻璃、硅片、聚合物薄膜等)来固定纳米材料,制备传感器芯片。在实验方法上,首先对纳米材料进行表征,如使用透射电子显微镜(TEM)、扫描电子显微镜(SEM)、X射线衍射仪(XRD)等仪器分析纳米材料的形貌、结构和组成。然后,将纳米材料修饰到基底材料上,制备传感器芯片,并对其进行性能测试。在检测过程中,将含有重金属离子的水样与传感器芯片接触,通过测量传感器芯片的电学、光学等信号变化来确定重金属离子的含量。例如,基于金纳米颗粒的比色传感器,可以通过测量溶液颜色的变化(吸光度)来定量重金属离子的浓度;基于量子点的荧光传感器,可以通过测量荧光强度的变化来检测重金属离子。

4.3 实验结果与分析

通过对实验数据的深入分析,我们对基于纳米材料和微流控技术的快速理化检测方法的性能进行了全面评估。主要评价指标涵盖了检测限、线性范围、灵敏度、选择性、准确度和精密度等多个关键方面。实验结果显示,该检测方法展现出了卓越的性能。在灵敏度方面,它能够精准捕捉到环境水体中低浓度的重金属离子,例如,一些基于金纳米颗粒的比色传感器对汞离子的检测

限可达到ppb级别,这一灵敏度足以满足对环境水体中重金属离子痕量检测的需求。同时其线性范围良好,能够适应不同浓度重金属离子的检测。另外,该方法还具备操作简便、检测速度快的显著优势。在实际应用中,它能够在短时间内完成对多个样品的检测,大大提高了检测效率^[5]。然而该方法并非十全十美,仍存在一些亟待解决的问题。纳米材料的稳定性和重复性有待提高,这可能会影响检测结果的稳定性和可靠性;传感器的使用寿命较短,增加了使用成本。针对这些问题,后续研究需要进一步优化纳米材料的制备和修饰方法,以提高纳米材料的稳定性和重复性,同时改进传感器的设计和制造工艺,延长其使用寿命,从而提升整个快速理化检测方法的性能和稳定性。

结束语

环境水体中重金属离子的快速理化检测方法研究取得了一定进展。通过创新思路,结合纳米技术和微流控技术等开发的新型检测方法,展现出较高的灵敏度和选择性,操作简便且检测速度快。然而这些方法在纳米材料稳定性和传感器使用寿命等方面仍存在不足。未来需进一步优化纳米材料制备和修饰方法,提高传感器性能和稳定性,以满足日益增长的环境监测需求,为保护生态环境和人体健康提供更可靠的技术支持。

参考文献

- [1]张宇航,张校亮,谭慷,等.基于智能手机二维码检测技术的水中重金属离子的快速筛查[J].分析科学学报,2020,36(2):171-176.
- [2]任书芳,吕蕊,王仲来,等.MOFs基电化学传感器及其重金属离子检测应用研究进展[J].化学试剂,2023,45(10):101-109.
- [3]李晓春.重金属污染土壤修复技术的可行性研究与实践[J].黑龙江环境通报,2025,38(01):131-133.
- [4]李丽丽.重金属检测技术在水环境检测中的应用[J].山西化工,2023,43(07):102-103+106.DOI:10.16525
- [5]王秋利,韩勇.矿区重金属污染快速检测及生物修复方法研究[J].能源与环保,2023,45(07):65-70.DOI:10.19389