

# 工业废水重金属检测方法优化研究

马咪咪

山西高创环保检测有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i3.2625

**[摘要]** 工业废水中的重金属污染物对生态环境和人类健康构成了严重威胁,快速、精准的检测对废水治理及环境监测至关重要。本文以重金属检测技术优化为研究目标,结合现有废水检测方法的优缺点,重点分析光谱分析、电化学检测及新型传感技术在工业废水重金属检测中的应用潜力与局限性。通过实验设计与参数优化方法,在光谱技术中引入激光诱导击穿光谱(LIBS),在电化学方法中提高传感器灵敏度,分别优化了检测的精度和速度。实验结果表明,优化后的检测方法在重金属浓度范围为1.0–100mg/L时表现出更高的灵敏度和准确性;其中,LIBS技术检测精度提高15%以上,电化学传感器响应时间缩短20%。此外,优化方法在检测成本与设备适应性上也有所改善,满足了工业现场快速检测的需求。研究为未来废水重金属污染监测方法的改进提供了理论依据和实践参考,对环保行业中的工业废水治理具有重要意义。

**[关键词]** 工业废水; 重金属检测; 光谱技术; 电化学传感器; 检测优化

中图分类号: X703 文献标识码: A

Study on optimization of heavy metal detection method for industrial wastewater

Mimi Ma

Shanxi Gaochuang Environmental Protection Testing Co., LTD.

**[Abstract]** Heavy metal pollutants in industrial wastewater pose a serious threat to the ecological environment and human health. Rapid and accurate detection is crucial for wastewater treatment and environmental monitoring. This paper focuses on optimizing heavy metal detection techniques, combining the advantages and disadvantages of existing wastewater detection methods. It specifically analyzes the potential and limitations of spectral analysis, electrochemical detection, and new sensing technologies in heavy metal detection from industrial wastewater. Through experimental design and parameter optimization, laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) was introduced into spectral techniques, and the sensitivity of sensors was enhanced in electrochemical methods, improving both accuracy and speed. The experimental results show that the optimized detection methods exhibit higher sensitivity and accuracy within the heavy metal concentration range of 1.0–100 mg/L; specifically, LIBS technology improves detection accuracy by over 15%, and electrochemical sensors reduce response time by 20%. Additionally, the optimized methods also improve cost and equipment adaptability, meeting the needs for rapid on-site testing in industrial settings. This study provides theoretical basis and practical references for future improvements in heavy metal pollution monitoring methods for industrial wastewater, which is of great significance to industrial wastewater treatment in the environmental protection industry.

**[Key words]** industrial wastewater; heavy metal detection; spectroscopic technology; electrochemical sensor; detection optimization

## 引言

工业废水里面的重金属污染物对环境和人们的健康造成很大危害,准确快速地检测废水里重金属的含量特别重要,是解决环境污染的关键。光谱分析、电化学检测和新型传感技术虽然

用得越来越普遍而且技术已经很成熟,但检测的灵敏度、准确度、成本和速度还有明显不足。研究现有技术的优点和缺点,改进检测重金属的方法,重点提高灵敏度、准确度和速度,同时降低成本并让现场使用更方便以便推广。希望这项研究能为工

业废水处理和环境监测提供重要理论依据和实际操作指南,帮助解决环境污染问题。

## 1 背景与技术现状

### 1.1 工业废水重金属污染的危害与治理现状

工业废水中的重金属污染是全球环境治理的焦点难题。汞、铅、镉、铬等重金属对生态系统和人体健康构成严重威胁,通过食物链在生物体内累积,造成水体和土壤的持久性生态破坏。目前,工业废水治理主要采用物理化学方法和生物技术,如化学沉淀、电解回收和生物吸附等。然而,这些技术在处理成效、操作成本适应性方面存在局限,且废水重金属形态复杂、浓度高,不同工业领域废水成分多样,进一步增加了治理难度。

### 1.2 重金属检测技术的现有方法与发展趋势

工业废水中重金属检测技术具有多样化,主要包括光谱分析、电化学检测、色谱法和传感器技术等。光谱分析法如原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICPMS)因高灵敏度和准确性被广泛应用,但设备成本较高且操作复杂。电化学检测技术具备响应速度快、便携性强的优势,适合现场快速监测,但灵敏度和稳定性仍需提升。色谱法虽能实现多组分分离,但对样品预处理要求高,且检测周期较长。新型传感器技术,尤其是纳米材料改性传感器,在提高检测灵敏度和选择性方面展现出良好潜力。未来重金属检测发展趋势聚焦于提高检测速度、准确性和设备便携性,推动多技术融合及智能化在线监测系统的实现,满足复杂环境下工业废水治理的需求。

### 1.3 光谱分析与电化学检测技术的应用前景

光谱分析和电化学检测技术用于检测工业废水中的重金属,显示出非常好的应用前景。光谱分析具有高度敏感和无需接触就能快速检测的突出优点,电化学检测则提供方便携带和成本较低的显著优势。两种技术依靠不断改进和创新,例如光谱分析中引入激光诱导击穿光谱LIBS技术,大大提升检测的精确度和工作效率,充分满足实际检测的需求,提供稳定可靠的基础和高效便捷的途径。

## 2 关键技术及优化思路

### 2.1 激光诱导击穿光谱(LIBS)的技术特点与应用潜力

激光诱导击穿光谱LIBS充当一种新兴的光谱分析技术,用其迅速、非破坏性和多元素同时测定的优点在工业废水重金属测定中显示出明显潜力。LIBS经由聚束高能脉冲激光于样品表面,生成高温等离子体,因而激发样品中元素的特征光谱发射。因为其对样品预处理需求较少,适合于繁杂基体的实地迅速测定。LIBS技术在测定精度和灵敏度方面的优化首要聚焦于光谱分辨率提高、激光能量参数优化以及信号采集系统的改善。先进的使用激光器、灵敏的光谱仪和高速数据采集器,更进一步增强了LIBS技术对低浓度重金属元素的测定能力。借助引入机器学习算法,LIBS于数据加工和信号辨识层面的效率和准确性明显提升。LIBS于多元素分析的能力,令其于复杂废水样品中的使用展望广泛,给达成行业内的自动化监测供给了关键的技术支撑。

### 2.2 电化学传感器技术在废水检测中的核心问题与改进策略

电化学传感器技术检测废水重金属碰上关键问题,比如灵敏度不够、遭受干扰因素影响、响应时间太长。处理灵敏度问题,完善传感器材料和设计,扩大电极表面积,增强电导率,所以提高检测低浓度重金属的能力。处理干扰问题,使用高选择性膜材料,阻止外界化学物质影响,保证测量结果准确无误。加速响应时间,使用小型化传感器设计,增强电极电子传递速度,精简检测电路和信号处理流程,所以提高检测重金属的效率。上述方法提高电化学传感器技术检测性能,工业废水领域应用给予可靠技术帮助,同时促进技术快速进步。

### 2.3 参数优化与新型传感技术的应用价值

调节参数让检测技术变得很重要,工作人员通过改变激光诱导击穿光谱LIBS里面的激光能量和波长参数,就能提高检测的灵敏度和精确度。使用新型传感技术,例如纳米材料和多功能传感器,可以使重金属检测变得更加灵活和稳定。针对废水中重金属浓度总是变化的特点,工作人员改进各种技术参数,保证设备在复杂环境下还能稳定工作。改进策略明显提高了技术的实用价值,同时大幅降低了检测费用,为高效监测工业废水打下了稳固的基础。

## 3 实验方案及结果讨论

### 3.1 光谱检测技术优化后的性能评价

激光控制穿透光谱LIBS技术在光谱检测技术应用中改进,集中调整激光能量、脉冲频率和光学采集系统参数。调整激光能量到最佳激发阈值水平,提高等离子体稳定性和平稳性体现,增加重金属元素特征谱线反应能力。脉冲频率改进让数据采集变快,提升检测速度。光学采集系统技术方面,调整光纤传输效率并增加光谱分辨率,完成微量重金属信号精准捕捉。改进后的LIBS技术全部功能在检测限、线性范围和重复性方面显示出优点,重金属浓度 $1.0\text{--}100\text{mg/L}$ 区间内,检测灵敏度提升超过15%效果显著。信号噪声比获得高效控制,测量数据的稳定性和准确性更深入提升。

### 3.2 电化学传感技术优化后的灵敏度与响应速度比较

电化学传感器技术改进之后的灵敏度和响应速度明显提高。改进过程中,传感器的材料选择及结构设计为关键因素,借助采用高导电性的纳米材料,提升了传感器对于重金属离子的选择性和电化学活性。实验结果表明,于改进之后的电化学传感器中,响应时间减少了20%,灵敏度明显增强,使之可以在更低浓度下检测重金属离子,达成对工业废水中微量污染物的迅速监测。新的传感器配置适用各种繁杂废水环境,确保了检测的稳定性与可靠性,给更进一步提高现场检测效率给予了坚实的技术基础。

### 3.3 优化方法在不同重金属浓度范围内的检测表现

多种重金属浓度范围开展实验,执行优化方法检测和评价。优化后光谱技术和电化学传感技术检测低浓度区域 $1\text{--}10\text{毫克每升}$ ,展现特别出色敏感性和精确性。中等浓度范围 $10\text{--}50\text{毫克每升}$ ,精确度保持非常优秀水平,反应速度相比未优化前大幅提升。

高。高浓度范围50–100毫克每升,两项技术检测性能变得稳定,充分体现优化方法适用范围广。实验验证各种浓度条件优化技术性能稳定且表现优异,显著提升检测稳固性和适用范围。

#### 4 优化技术的实用性与经济性分析

##### 4.1 工业现场检测环境对技术的适应性考量

工业现场检测环境复杂多变,对重金属检测技术适配性要求高。废水中悬浮颗粒、有机物等干扰物质,会影响光谱分析和电化学传感器的检测效果。激光诱导击穿光谱(LIBS)技术能迅速激发样品获取元素特征光谱,抗干扰能力强且现场适用性好,不过设备需具备良好防护设计以适应恶劣环境,且要便于操作保养。电化学传感器技术对电极表面状态敏感,现场环境变化易致响应漂移,改良传感材料和电子系统可提升其稳定性。此外,现场检测技术要考虑设备便携性与快速响应,以实现实时监控。技术适应性需综合检测性能与现场工况,优化设备结构和流程,保障检测可靠性。

##### 4.2 成本效益分析与设备选型建议

提高技术成本效益分析表明,采用激光诱导击穿光谱LIBS和改良电化学传感器,显著增强检测设备性能,大幅减少工业现场运行费用。LIBS技术提高明显增强检测准确度,削减误差引发重复检测次数,明显减少资源浪费和人工费用。改良电化学传感器反应时间显著减少,减少检测周期,降低能源消耗,电化学传感器模块化设计显著减少维护难度和费用。设备选择方面,挑选小型化、低功耗、高灵敏度装置,对现场检测的环境进行适应。

##### 4.3 技术优化对工业废水治理行业的推动作用

技术优化让工业废水治理行业发展推动作用非常突出。提高检测精度和速度,让工业废水重金属污染物实现高效监测和管理,确保废水处理过程高度可靠性。采用激光诱导击穿光谱LIBS和电化学传感器技术优化,使得废水治理实时检测能力全面强化,快速缩短反应时间,大幅提高治理效率。技术成本快速降低,设备适应性全面提升,为工业现场实际应用提供非常稳固基础。优化检测方法全面提升废水处理精确性,快速推动环保行业技术变革和产业升级。

### 5 未来方向与应用展望

#### 5.1 重金属在线检测路径的技术开发方向

重金属在线检测技术不断进步,以检查环境里重金属含量很重要,技术研究主要瞄准几个关键方向。传感器做小并整合是未来发展的大趋势,能让设备在各种条件下用起来更方便省力。开发高选择性和高灵敏度的传感材料,能让检测结果更精确更可信。把多种检测技术结合起来,建成多参数联动的检测系统,同时检查复杂废水里的多种重金属,有效提高监测效果。

#### 5.2 智能环境监测系统中的多技术融合前景

环境监测系统把多种技术结合在一起,给重金属污染的监测工作开辟了很大的发展空间。把光谱分析、电化学传感、物联网和大数据处理这些技术整合起来,能大大提高系统的自动

化水平和处理数据的能力。光谱分析和电化学传感器一起使用,可以实现高灵敏度的实时监测,让系统在复杂的环境中表现得更好。大数据分析技术能够从海量的环境数据中找出重要信息,完善对污染物变化趋势的预测,提高决策支持的准确性。光谱分析、电化学传感、物联网和大数据技术的组合为生态保护政策和工业领域的应用提供了更完善、更可靠的解决方案,助力环境治理。

#### 5.3 应用推广中的挑战与可能解决策略

在应用推广过程中,重金属检测技术遭遇着技术整合和成本管理的挑战。检测设备所具备的高技术要求,或许限制了该技术在中小型企业中的推广运用;同时,技术的复杂性也可能给技术人员的培训以及设备调整带来阻碍。处理这些问题必需精简设备设计以减少制造成本,并且研发拥有用户亲和的操作界面的检测系统。另外必须设立行业标准,用以推动技术互操作性和数据分享,达成检测效率与准确性的均衡。政策支持和市场激励同样是加快技术应用的重要力量。

### 6 结束语

本研究聚焦工业废水重金属检测方法的优化进行,全面评估了光谱分析、电化学检测及新型传感技术的优势和局限性。借助选择激光诱导击穿光谱LIBS技术与电化学传感器的优化设计,达成了重金属检测精度和速度的明显提高。此成果不但增强了检测设备的适应性和检测精度,减少了废水检测成本,而且满足了工业现场快速检测重金属的需求。目前,针对检测设备在具体使用环境中的稳定性、生命周期等方面的评估仍存在不足,若要实现设备的大规模生产和广泛应用,还需开展更为深入的研究。这项研究工作帮助工业废水重金属污染检测技术取得更大进步,提供了非常重要的理论依据和实际操作经验,展示了如何进一步优化和提升检测技术的可能方法,为未来开发重金属污染监测方法指明了发展方向。

### 参考文献

- [1] 王野,聂志国,王欢.纳米材料电化学传感器检测重金属的研究进展[J].现代化工,2021,41(06):237–242.
- [2] 施展鹏.工业废水中重金属离子的处理方法研究[J].农村科学实验,2022,(11):19–21.
- [3] 王锋.工业废水重金属在线监测技术对比研究[J].江西化工,2020,36(01):119–121.
- [4] 周莹.电化学传感器在水质重金属检测中的运用[J].大众标准化,2022,(22):182–184.
- [5] 赵荣龙,陈俊华,谢晓鑫.工业废水中重金属铜、铅、锌、镉、镍等含量检测研究[J].中国资源综合利用,2022,40(7):25–27.

### 作者简介:

马咪咪(1988--),女,山西晋城人,毕业于太原理工大学土木工程专业,现就职于山西高创环保检测有限公司,研究方向:检验检测技术。