

原子吸收分光光度法测定工业废水中铅镉元素的化学分析条件研究

魏瑞红

河南中环高科检测技术服务有限公司

DOI:10.32629/jpm.v7i8.9017

[摘要] 原子吸收分光光度法应用于工业废水中铅镉离子测定, 化学分析条件的优化是保障结果准确性的基础。仪器参数、试剂纯度和预处理流程共同决定方法的灵敏度与选择性。通过系统调整火焰类型、灰化温度及基体改进剂组成, 可有效应对复杂废水基体带来的干扰。该方法的成熟应用为环境监测提供了可靠分析手段。

[关键词] 原子吸收分光光度法; 测定工业废水中铅镉离子; 化学分析条件

Study on the Chemical Analysis Conditions for Determining Lead and Cadmium Concentrations in Industrial Wastewater Using Atomic Absorption Spectrophotometry

Wei Ruihong

Henan Zhonghuan High-Tech Testing Technology Service Co., Ltd.

[Abstract] The application of atomic absorption spectrophotometry for the determination of lead and cadmium ions in industrial wastewater relies on the optimization of chemical analysis conditions as the foundation for ensuring measurement accuracy. Instrumental parameters, reagent purity, and sample pretreatment procedures collectively determine the sensitivity and selectivity of the method. By systematically adjusting the flame type, ashing temperature, and composition of the matrix modifier, interferences arising from complex wastewater matrices can be effectively mitigated. The mature application of this method provides a reliable analytical tool for environmental monitoring.

[Key words] Atomic absorption spectrophotometry; Determination of lead and cadmium ions in industrial wastewater; Chemical analysis conditions

引言

工业废水成分复杂, 铅镉离子化学分析条件的选择直接影响测定结果的有效性。原子吸收分光光度法的操作环节包括原子化方式、酸度控制和背景校正, 这些条件需根据样品特性进行针对性设定。优化过程涉及对共存元素干扰的识别与消除, 以及标准溶液与样品基体的匹配。该研究为规范化检测流程提供了依据。

1 原子吸收分光光度法测定工业废水中铅镉离子的概述

1.1 原子吸收分光光度法基本原理

原子吸收分光光度法基于基态原子对特定波长辐射的吸收现象。当光源发出特征谱线的光通过含有待测元素原子蒸气的火焰或石墨炉时, 基态原子吸收该波长的能量, 导致透射光强度减弱。吸收程度与原子蒸气中基态原子的数量成正比, 遵

循朗伯-比尔定律。该方法通过测量吸光度值, 结合标准曲线或标准加入法, 定量计算样品中待测元素的浓度。原子吸收分光光度计主要由光源、原子化器、单色器和检测器组成。空心阴极灯发射锐线光谱, 提供待测元素的特征共振线。原子化器将溶液中的待测元素转化为自由原子, 常用火焰原子化法和石墨炉原子化法。单色器分离出特征谱线, 检测器将光信号转换为电信号。该方法具有选择性好、灵敏度高、操作简便的特点, 适用于金属元素的微量分析。在工业废水检测中, 通过调节原子化条件可有效分析铅镉离子。

1.2 铅镉离子在工业废水中的危害

铅和镉是工业废水中常见的重金属污染物, 具有显著的生态毒性和健康风险。铅离子进入水体后, 可通过食物链积累, 对水生生物造成神经毒性、生殖毒性及发育毒性。长期接触铅会导致人体神经系统损伤、肾功能异常及血液系统病变, 尤其

对儿童智力发育产生不可逆影响。镉离子具有更强的累积性和持久性，主要危害肾脏和骨骼系统，引发肾小管功能障碍、骨质疏松及痛痛病。镉离子会干扰酶活性，破坏细胞抗氧化防御机制，增加癌症风险。工业废水中的铅镉来源包括电镀、电池制造、冶金、颜料生产等行业。这些离子在自然环境中难以降解，易在沉积物中富集，并通过食物链放大效应威胁人类健康。因此，对工业废水中铅镉离子进行准确测定，是环境监测和污染控制的重要环节，有助于评估水体安全风险并制定治理措施。

2 原子吸收分光光度法测定工业废水中铅镉离子的化学分析实验条件

2.1 仪器设备与试剂选择

原子吸收分光光度计是测定铅镉离子的核心设备，需配备铅和镉空心阴极灯，以提供各自特征共振线。火焰原子化器采用空气-乙炔火焰，适用于较高浓度样品的快速分析；石墨炉原子化器适用于痕量分析，可提高灵敏度。仪器应具备背景校正功能，如氘灯或塞曼效应校正，以消除非原子吸收干扰。样品处理设备包括消解装置、电热板、微波消解仪或恒温干燥箱，用于破坏有机物并溶解金属。玻璃器皿需用硝酸溶液浸泡清洗，避免交叉污染。试剂选择方面，铅和镉标准溶液应使用高纯金属或光谱纯盐类配制，基体为硝酸或盐酸介质。硝酸为常用消解酸，具强氧化性且引入干扰少。高纯水用于稀释和冲洗，电导率需低于规定值。基体改进剂如磷酸二氢铵或硝酸钼，可减少石墨炉测定中的基体干扰。所有试剂需检验空白值，确保不引入待测元素。

2.2 样品预处理方法

工业废水样品预处理是准确测定铅镉离子的关键步骤。由于废水成分复杂，含有悬浮物、有机物及络合物，需通过消解将金属离子转化为可溶态。常用消解方法包括湿法消解和微波消解。湿法消解采用硝酸-高氯酸或硝酸-硫酸混合酸，在电热板上加热至溶液澄清，有机物被氧化分解。微波消解利用密闭容器和微波加热，快速高效，能减少挥发损失和污染。消解完成后，需将溶液转移至容量瓶中，用高纯水定容。对于含悬浮物较多的样品，应先过滤或离心分离，取上清液消解。若样品中铅镉离子以络合物形式存在，需加入氧化剂破坏络合结构。消解温度和时间需严格控制，避免元素损失。消解后溶液应呈清亮透明，若有白色沉淀需重新处理。样品预处理过程中，应同步制备空白溶液，以校正试剂和器皿引入的污染。预处理后的样品需尽快测定，若需保存，应加入硝酸调节 pH 至酸性，并置于聚乙烯瓶中冷藏。

2.3 仪器工作条件优化

仪器工作条件直接影响铅镉离子测定的灵敏度和稳定性。火焰原子化法需优化燃气与助燃气流量比，空气-乙炔火焰中乙炔流量决定火焰温度，过高或过低均影响原子化效率。燃烧

器高度需调节，使样品通过火焰中原子密度最高的区域。吸光度信号峰应在最佳火焰条件下达到最大且稳定。石墨炉原子化法需设定干燥、灰化、原子化及净化各阶段温度和时间。干燥阶段需缓慢升温，防止样品飞溅；灰化阶段温度应足够高以去除基体，但低于待测元素挥发温度；原子化阶段温度应使元素快速蒸发为原子，同时避免背景吸收。氩气作为保护气，流量需稳定。进样量宜适中，过多导致信号饱和，过少降低灵敏度。背景校正方式需根据基体复杂性选择，氘灯校正适用于简单基体，塞曼校正适用于复杂基体。仪器预热时间需充足，确保光源和检测器稳定。标准曲线绘制时，应使用与样品基体匹配的溶液，以减少基质效应。

2.4 检测波长的确定

铅和镉的检测波长需根据原子吸收光谱特征选择，以获得最佳灵敏度和选择性。铅的原子吸收主共振线位于 283.3 纳米附近，该波长对应基态原子激发态跃迁，吸收强度高且干扰少。镉的原子吸收主共振线位于 228.8 纳米，该波长灵敏度高，适用于痕量分析。实际测定中，应优先选择主共振线，若存在光谱干扰，可选用次灵敏线，但需降低灵敏度。波长选择需通过扫描光谱确认，确保无其他元素谱线重叠。空心阴极灯需预热稳定，发射谱线准确。单色器狭缝宽度影响光谱带宽，狭缝过宽可能引入邻近谱线干扰，过窄导致信号减弱。通常使用较窄狭缝以提高分辨率。检测波长确定后，需进行波长校准，使用标准溶液验证吸光度最大值位置。对于基体复杂的工业废水，应检查是否存在背景吸收对波长的影响，必要时采用背景校正技术。波长波动会影响测定结果，因此仪器需定期校准，确保波长准确。

2.5 干扰因素及消除方法

原子吸收分光光度法测定铅镉离子时，主要干扰包括光谱干扰、化学干扰、物理干扰和基体干扰。光谱干扰来自共存元素谱线重叠或背景吸收，可通过选择分析线、扣背景或使用塞曼效应校正消除。化学干扰指待测元素与基体成分形成难挥发化合物，降低原子化效率。例如，铅与磷酸盐生成难解离化合物，加入基体改进剂如磷酸二氢铵可促进原子化。物理干扰由样品溶液物理性质变化引起，如黏度、表面张力影响进样量，可通过标准加入法或基体匹配法校正。基体干扰指样品中大量共存元素或盐类改变原子化条件，可稀释样品或使用石墨炉管涂层改善。记忆效应可能来自前次测定残留，需延长原子化时间或清洗程序。对于复杂废水，预处理时需充分消解，去除有机物和悬浮物。标准曲线和样品应使用相同酸度，避免酸效应。必要时采用内标法或标准加入法，以消除基体干扰。

3 原子吸收分光光度法测定工业废水中铅镉离子结果分析与讨论

3.1 测定结果精度分析

测定结果的精度通过重复性实验和中间精密度评估。在相

同条件下对同一批样品进行多次测定，计算相对标准偏差，反映方法的精密性。原子吸收分光光度法测定铅镉离子时，精密性受仪器稳定性、样品均匀性、操作一致性等因素影响。火焰法因进样连续，精密性通常较高；石墨炉法因进样量小，精密性可能略低，但通过优化灰化和原子化条件可改善。分析过程中，需控制标准曲线线性范围，避免浓度过高导致非线性。精密性分析还包括日内和日间重复性，考察方法随时间变化的稳定性。对于低浓度样品，噪声影响增大，精密性可能下降，可通过增加测定次数或改善信噪比来提升。精密性结果可反映方法是否适用于日常监测，若相对标准偏差超出规定范围，需检查仪器状态或人员操作。通过精密性分析，可判断方法是否存在系统误差，并为后续质量控制提供依据。

3.2 回收率实验结果

回收率实验用于验证原子吸收分光光度法测定铅镉离子的准确性。向已知基体的样品中加入标准溶液，测定加标后总浓度，计算回收率。回收率接近百分之百，表明方法准确可靠，无显著损失或污染。实验时，加标浓度应覆盖样品浓度的不同水平，包括低、中、高三个浓度，以评估方法在不同基质条件下的适用性。工业废水基体复杂，有机物和共存离子可能影响回收率，需通过预处理消除干扰。若回收率偏低，可能源于消解不彻底、元素挥发或吸附损失；若偏高，可能由基体增强效应或污染引入。通过回收率结果，可判断预处理方法是否充分，并优化消解条件。回收率实验还可用于检查标准曲线是否准确，以及是否存在基体抑制或增强效应。对于铅镉离子，常用硝酸介质，回收率一般在规定范围内。实验结果需同时报告加标回收率的平均值和波动范围，以全面评估方法准确性。

3.3 不同实验条件对比

原子吸收分光光度法测定铅镉离子时，不同实验条件对结果有显著影响。对比实验可选取火焰原子化法与石墨炉原子化法，火焰法操作简便、分析速度快，适用于较高浓度样品；石墨炉法灵敏度高，适合痕量分析，但操作复杂、耗时较长。对比两种方法对同一批样品的测定结果，可评估其适用性。对比不同基体改进剂的效果，如磷酸二氢铵、硝酸钡或硝酸镁，观察对铅镉信号增强或干扰消除的作用。消解方法对比包括湿法消解和微波消解，微波消解在密闭条件下进行，减少元素损失，获得更高回收率。仪器工作条件对比包括不同灰化温度、原子化温度及时间，寻找最佳信噪比。背景校正方式对比，如氘灯校正与塞曼校正，在复杂基体中塞曼校正效果更优。通过系统对比，可确定最优实验条件组合，提高测定效率和准确性。对比结果需基于平行实验数据，避免偶然误差。

3.4 实际样品测定结果

将原子吸收分光光度法应用于实际工业废水样品测定，可获得铅镉离子浓度。样品采集需遵循规范，使用聚乙烯瓶，加酸固定后冷藏运输。测定前，样品需经预处理，包括消解、过

滤、定容等步骤。测定结果以浓度值表示，反映该废水样品中铅镉污染水平。实际样品基体复杂，可能存在共存元素干扰，需结合背景校正和标准加入法验证。测定结果应与废水排放标准对比，判断是否超标。对于不同行业废水，如电镀、冶金、化工等，铅镉含量差异较大，测定结果可为污染源识别提供依据。同时，需对测定结果进行不确定度评估，包括重复性、回收率、标准曲线拟合等分量。实际样品测定结果应结合平行样和空白样数据，确保可靠性。通过多点采样和时序监测，可分析铅镉排放的时空规律，支持环境管理决策。

3.5 研究成果的应用前景

原子吸收分光光度法测定工业废水中铅镉离子的研究成果具有广阔应用前景。在环境监测领域，该方法可推广至地表水、地下水及土壤中重金属分析，为污染普查和生态风险评估提供技术支持。在工业废水处理中，该方法可用于工艺优化，通过实时监测进出水铅镉浓度，评估处理效率。在科研领域，该方法可结合其他分析技术，如电感耦合等离子体质谱，进行交叉验证和方法开发。该方法可应用于食品、药品、化妆品等行业中重金属限量检测，保障公共安全。随着环保法规趋严，对铅镉等重金属的监控要求越来越高，原子吸收分光光度法以其稳定性、经济性和可操作性，在基层实验室和现场快速检测中具有优势。未来可通过自动化、小型化改进，提升其便携性和高通量分析能力，满足不同场景需求。研究成果还可为制定行业标准和质量控制规范提供参考，推动环境分析化学发展。

结束语

原子吸收分光光度法应用于工业废水中铅镉离子测定，化学分析条件的优化是保障结果准确性的基础。仪器参数、试剂纯度和预处理流程共同决定方法的灵敏度与选择性。通过系统调整火焰类型、灰化温度及基体改进剂组成，可有效应对复杂废水基体带来的干扰。

[参考文献]

- [1]邱明芳.原子吸收分光光度法测工业废水中重金属的含量方法研究[J].世界有色金属,2021,(12):227-228.
- [2]刘金秀.原子吸收分光光度法测定工业废水中痕量镉的实验探究[J].当代化工研究,2016,(12):59-60.
- [3]黄冰玲,张丽平.原子吸收分光光度法测工业废水中重金属的含量[J].山东化工,2010,39(11):51-53.
- [4]姜秀艳.用原子吸收分光光度法测定工业废水中的铅[J].包钢科技,1999,(2):32-33.
- [5]余岚,张映宿.原子吸收分光光度法测定工业废水样品中的总铬[J].国土资源,1998,(2):75-79.
- [6]吴湘江,王建魁,王蔚知.新型原子吸收分光光度法测定工业废水中的铜[J].湖南化工,1997,(2):57-58.
- [7]谭林青,李清霞.原子吸收分光光度法测定工业硅中钙[J].山东冶金,1996,(1):47-48.