

原子吸收光谱仪在地下水中铜、锌检测中的干扰因素及对策

邓富强

江门公用检测科技有限公司, 广东 江门 529000

DOI:10.61369/ME.2025050010

摘 要 : 地下水是重要水资源, 其重金属污染受关注。铜 (Cu) 和锌 (Zn) 是地下水中常见重金属, 原子吸收光谱法 (AAS) 因操作简便、灵敏度高、选择性好, 被广泛用于二者检测。但实际检测中, 地下水基质复杂, 易产生多种干扰, 影响检测结果准确性和可靠性。本文分析了原子吸收光谱仪检测地下水中铜、锌的干扰因素, 包括物理、化学、光谱和背景干扰, 并针对各类干扰提出消除或抑制对策, 如优化仪器参数、用化学改进剂、基体匹配、背景校正技术等, 为提高检测准确性提供参考。

关 键 词 : 原子吸收光谱仪; 地下水; 干扰因素

Interference Factors and Countermeasures in the Detection of Copper and Zinc in Groundwater Using Atomic Absorption Spectrometry

Deng Fuqiang

Jiangmen Public Testing Technology Co., Ltd., Jiangmen, Guangdong 529000

Abstract : Groundwater is an important water resource, and its heavy metal contamination has drawn significant attention. Copper (Cu) and zinc (Zn) are common heavy metals found in groundwater, and Atomic Absorption Spectrometry (AAS) is widely used for their detection due to its simple operation, high sensitivity, and good selectivity. However, in practical detection, the complex matrix of groundwater can easily produce various interferences, affecting the accuracy and reliability of detection results. This paper analyzes the interference factors in the detection of copper and zinc in groundwater using Atomic Absorption Spectrometry, including physical, chemical, spectral, and background interferences. It also proposes countermeasures to eliminate or suppress these interferences, such as optimizing instrument parameters, using chemical modifiers, matrix matching, and background correction techniques, providing references for improving detection accuracy.

Keywords : atomic absorption spectrometer; groundwater; interference factors

引言

地下水是水资源重要组成部分, 在维持生态等方面有关键作用。工业化和城市化加快, 重金属污染对地下水质量威胁增大。铜和锌虽为人体必需微量元素, 但过量摄入有害, 准确检测地下水中铜、锌含量意义重大。原子吸收光谱法基于气态基态原子对特征谱线吸收程度定量分析, 有检出限低等特点, 是水环境监测中重金属检测常用手段。不过, 地下水样品成分复杂, 含大量无机离子等, 检测中基质成分易与目标元素相互作用, 影响原子化过程, 使检测结果出现偏差。所以, 研究该法检测地下水中铜、锌的干扰因素并采取对策, 是确保检测数据准确科学的前提, 对地下水环境质量评价等有重要价值。本文将围绕原子吸收光谱仪检测地下水中铜、锌的主要干扰类型讨论并提出解决措施。

一、原子吸收光谱仪测定地下水铜、锌的干扰因素分析

(一) 化学干扰及其在地下水检测中的表现

化学干扰源于待测元素在溶液或原子化器中与其他组分反

应, 生成难挥发或难解离化合物, 降低原子化效率, 使吸光度下降。地下水中多种共存离子可引发干扰, 如磷酸根、硫酸根、碳酸根离子及某些高浓度阳离子与铜、锌反应, 生成的化合物在高温下不易分解为基态原子, 干扰测定。实验中, 化学干扰常使校准曲线非线性弯曲, 测定灵敏度降低。

（二）物理干扰及其在地下水检测中的表现

物理干扰主要因样品物理性质改变，如粘度、表面张力、密度和雾化效率等，影响进入原子化器的试样量或雾化、传输和原子化效率，导致吸光度波动。地下水检测中，样品基体特性（高盐度、高浊度）、前处理引入的溶剂种类和溶液酸度变化等，会改变样品物理状态，使进入火焰的试样量不稳定或雾化效率不一致。物理干扰表现为吸光度读数不稳定或测定值与标准溶液吸光度值有系统性偏差^[1]。

（三）电离干扰及其在地下水检测中的表现

电离干扰是在高温火焰中，待测元素基态原子吸收能量变成离子，使基态原子数量下降，吸光度降低。需分析铜、锌在常用火焰温度下是否易电离，同时考虑地下水中其他易电离元素（如钾、钠），它们会改变火焰电子浓度，影响铜、锌电离平衡。电离干扰使工作曲线向吸光度轴弯曲。

（四）光谱干扰及其在地下水检测中的表现

光谱干扰指待测元素分析线光谱区域内的其他光谱信号干扰，成因有二：一是共存元素分析线与待测元素分析线重叠；二是非待测元素吸收引起的背景吸收（分子吸收和光散射）。地下水中需考察其他元素分析线与铜、锌特征吸收线是否重叠，原子化阶段生成的分子吸收和固体颗粒光散射会造成背景吸收，使总吸光度偏高。光谱干扰表现为测定灵敏度降低、选择性变差、仪器基线漂移，背景扣除困难或不准确^[2]。

二、针对地下水铜、锌检测干扰的对策探讨

（一）化学干扰的消除对策

针对化学干扰，可采用释放剂消除。加入镧离子（ La^{3+} ）或锶离子（ Sr^{2+} ）等金属离子，与干扰性共存离子如磷酸根离子（ PO_4^{3-} ）形成稳定化合物，“释放”待测的铜、锌离子使其顺利原子化。在地下水铜、锌检测中，当磷酸根离子为主要干扰源时，向标准、空白及样品溶液中定量添加镧盐或锶盐，能补偿负干扰。也可使用保护剂，如乙二胺四乙酸（EDTA）或8-羟基喹啉，与铜、锌离子形成气相稳定络合物，阻止其与干扰组分反应，尤其适用于干扰物浓度高时。还可改变火焰条件，调整燃气与助燃气比例，采用富燃或贫燃火焰分解难解离化合物，减少干扰。标准加入法也是常用策略，将不同量待测元素标准溶液加入等量样品溶液，测吸光度，绘制曲线外推求样品中待测元素原始浓度，能补偿样品基体效应及部分化学干扰^[3]。

（二）物理干扰的消除对策

对于物理干扰，配制匹配的空白和标准溶液很关键。标准和空白溶液主体成分应模拟待测地下水样品基体组成，使样品与标准物理性质一致，抵消进样量和原子化效率变化。对于盐度或浊度高的地下水样品，适当稀释可降低粘度、减少固体颗粒影响，减轻物理干扰。标准加入法也适用于补偿物理干扰，通过增加待测元素浓度观察响应变化，消除基质物理性质差异带来的系统误差。此外，优化雾化条件，检查清洁雾化器，调整燃烧器高度和角度，确保样品溶液高效稳定雾化并引入火焰，维持进样状态一致。

（三）电离干扰的消除对策

消除电离干扰可添加消电离剂，向样品溶液中加入钾（K）、

钠（Na）或铯（Cs）的盐类等易电离元素，增加火焰局部电子浓度，抑制待测铜、锌元素电离，保证测定准确性。在地下水检测中应用时，需考虑消电离剂引入是否带来其他干扰或增加背景吸收，确定合适添加量。调整火焰类型和燃气比，选择空气-丙烷火焰或调空气-乙炔火焰至富燃状态，降低火焰温度，减少待测元素电离程度。

（四）光谱干扰的消除对策

针对光谱干扰，可选择合适分析线，若其他元素吸收线与待测元素分析线重叠，查阅谱线表选用待测元素其他不受干扰的吸收线。例如，检测铜时，除常用的324.7nm谱线外，若存在干扰，可选用327.4nm等谱线；检测锌时，若213.9nm谱线受干扰，可考虑206.2nm谱线。

减小光谱通带宽度，提高单色器分辨率，排除邻近谱线干扰。对于铜、锌的检测，通常将光谱通带宽度设置在0.2–0.5nm，既能保证有足够的光强，又能有效分离邻近的非特征谱线。

使用背景校正技术处理光谱干扰，在火焰原子吸收法中，常用氘灯背景校正技术。该技术利用氘灯发射的连续光谱，通过交替测量氘灯（连续光源）和空心阴极灯（锐线光源）的信号，计算两者的差值来扣除背景吸收值。其优势在于对紫外区的背景校正效果较好，能有效应对地下水中因分子吸收和光散射产生的背景干扰。

需要注意的是，塞曼效应背景校正主要应用于石墨炉原子吸收法，火焰原子吸收法中一般不采用该技术。实际应用中，需根据地下水样品的基体复杂程度、干扰类型及火焰原子吸收法的特点，优先选择氘灯背景校正技术，以确保背景扣除的准确性，提高检测结果的可靠性^[4]。

三、地下水铜、锌检测干扰对策的实践考量

（一）样品前处理对干扰控制的影响

地下水样品的采集过程直接影响后续检测的干扰水平，需严格遵循规范操作，如使用聚乙烯瓶采集样品，避免容器材质对铜、锌离子的吸附。采集时应充分混合水样，确保样品代表性，减少因水样不均导致的干扰误差。保存环节中，酸化处理是控制干扰的关键步骤，通常加入硝酸使样品pH<2，这一操作可有效抑制微生物活动，防止铜、锌离子形成沉淀或被生物吸附。有实验数据表明，未经酸化的地下水样品在室温下保存7天后，铜、锌检测值分别下降12%和8%，而酸化处理后的样品在相同条件下检测值变化均小于2%。

过滤处理能去除水样中的悬浮颗粒物，这些颗粒物可能吸附铜、锌离子，或在原子化过程中产生物理干扰。对于浊度较高的地下水样品，采用0.45μm滤膜过滤可显著降低基体干扰。直接测定法适用于基体简单、干扰物质少的地下水样品，操作简便且能快速获得结果，但在基体复杂（如高盐度、含有机物较多）的情况下，干扰较为明显。萃取富集法则通过有机溶剂将铜、锌离子从水相转移到有机相，实现分离和富集，能有效减少基体中其他离子的干扰。例如，采用吡咯烷二硫代氨基甲酸铵（APDC）-甲基异丁基酮（MIBK）体系萃取地下水样品中的铜、锌，可使共存离子的干扰率降低60%以上，尤其适用于低浓度铜、锌且基体

复杂的水样检测。

选择前处理方法时，需综合考虑样品特性和检测需求。对于高盐度地下水，若采用直接测定法，大量盐分在火焰原子化时会产生电离干扰和物理干扰，此时萃取富集法更具优势；而对于低浊度、低干扰的水样，直接测定法可提高检测效率。

（二）仪器参数优化与日常维护

火焰原子化器参数的优化对减少物理和光谱干扰至关重要。燃气与助燃气比例会影响火焰温度和性质，对于铜、锌检测，通常采用乙炔-空气火焰，当乙炔与空气比例为 1:4 时，火焰处于化学计量状态，能有效减少电离干扰和化学干扰。燃烧器高度的调整可使光源发出的特征光通过原子浓度最高的区域，铜元素的最佳燃烧器高度一般为 7-9mm，锌元素为 5-7mm，此高度下检测灵敏度最高，干扰最小。灯电流过大会导致灯的使用寿命缩短，且可能产生自吸效应，而过小则会使光强不足，信噪比降低，铜灯和锌灯的最佳工作电流通常为 3-5mA。光谱带宽的选择需根据元素特征谱线情况，铜的特征谱线为 324.7nm，锌为 213.9nm，选择 0.2-0.5nm 的光谱带宽可有效避免邻近谱线的光谱干扰。

仪器的日常清洁是保持检测稳定性的基础，燃烧器缝隙若被盐类或颗粒物堵塞，会导致火焰形态异常，影响原子化效率，需每周用专用工具清理一次。空心阴极灯的检查与更换不容忽视，当灯的发光强度明显下降或出现杂散光时，会增加检测干扰，应及时更换，一般铜、锌空心阴极灯的使用寿命在 500 小时左右。雾化器的维护需定期进行，通过调节雾化器流量使雾化效率达到最佳状态，若发现雾化器堵塞，可用稀硝酸浸泡并超声清洗，确保样品均匀雾化，减少因雾化不均导致的干扰。

（三）对策选择的原则与综合应用

在实际检测中，对策的选择需紧密结合地下水样品的具体特性。对于盐度较高的地下水，如某些滨海地区的地下水，其中含有大量钠离子、氯离子等，单独采用仪器参数优化难以完全消除干扰，此时可结合萃取富集法，先将铜、锌离子从高盐基体中分离出来，再进行测定。对于浊度较高的样品，过滤处理是基础步骤，若过滤后仍存在干扰，可进一步优化燃烧器高度和燃气比例。当水样中存在高浓度共存离子，如铁、锰离子时，可通过选择合适的光谱带宽或采用背景校正技术来减少光谱干扰。

同时，检测要求也是对策选择的重要依据。若需快速获得检测结果，且样品基体简单，直接测定法结合仪器参数优化即可满足需求；若对检测精度要求较高，尤其是低浓度铜、锌的检测，需采用萃取富集法，并配合严格的仪器维护，以降低干扰。经验

积累在对策选择中发挥重要作用，长期从事地下水检测的人员可根据水样外观、来源地等信息，初步判断可能存在的干扰类型，从而快速确定初步的对策组合，再通过实验验证进行调整。例如，对于工业污染区的地下水，可预判可能存在复杂有机物干扰，优先采用萃取富集法结合背景校正技术。

（四）方法学验证的重要性

方法学验证是确认所选干扰对策有效性的关键环节。线性范围的测定需配置一系列不同浓度的铜、锌标准溶液，通过原子吸收光谱仪测定吸光度，绘制标准曲线，要求相关系数 $r \geq 0.999$ ，以确保在检测范围内浓度与吸光度呈良好的线性关系。检出限是衡量方法灵敏度的指标，通过对空白样品进行多次测定（一般为 11 次），计算标准偏差，再根据一定置信水平（通常为 99.7%）确定检出限，铜、锌的检出限一般应分别低于 0.01mg/L 和 0.005mg/L。

精密度验证通过对同一均匀样品进行多次重复测定（通常为 6 次），计算相对标准偏差（RSD），要求 $RSD \leq 5\%$ ，以反映方法的重复性。准确度验证可采用标准物质对照法，如使用国家一级地下水标准物质（编号 GBW08607），测定结果与标准值的相对误差应 $\leq 10\%$ ；也可采用加标回收实验，在样品中加入已知量的铜、锌标准溶液，计算回收率，通常要求回收率在 90%-110% 之间。某环境监测站 2022 年对地下水铜、锌检测方法进行验证时，铜的加标回收率为 95%-105%，锌为 92%-108%，均符合要求，表明所选干扰对策有效，方法可靠。只有通过全面的方法学验证，才能确保检测结果准确可靠，为地下水环境评价和污染治理提供科学依据^[5]。

四、结语

原子吸收光谱仪在地下水铜、锌检测中虽面临化学、物理、电离和光谱等多种干扰，但通过针对性的消除对策和实践考量，可有效降低干扰影响，确保检测结果的准确性。在实际应用中，需根据地下水样品的具体特性和检测要求，综合运用各种对策，并重视方法学验证。只有这样，才能为地下水环境评价和污染治理提供可靠的数据支持，为保护地下水资源贡献力量。未来，随着检测技术的不断发展和创新，有望进一步提高原子吸收光谱仪检测地下水铜、锌的准确性和效率，更好地满足环境监测和保护的需求。

参考文献

- [1] 叶翠情，甘颖. 火焰原子吸收光谱法测定铜冶炼烟尘中的锌 [J]. 山西冶金, 2021.
- [2] 徐佳佳. 火焰原子光谱同时测定土壤中铜锌铅镉 [J]. 黑龙江环境通报, 2019, 043(002): 34-36.
- [3] 王虹，魏秉炎，杨金坤. 火焰原子吸收光谱仪测定锰矿中杂质元素方法探讨 [J]. 中国口岸科学技术, 2022(12): 47-51.
- [4] 沈晓艳. 原子吸收光谱仪在生活饮用水中的应用 [J]. 健康忠告, 2022(21): 181-183.
- [5] 黄丹宇，陶美娟. 微波消解—火焰原子吸收光谱法测定锰铁合金中 7 种微量元素 [J]. 分析仪器, 2022(6): 5.