

# 火焰原子吸收测定法在生活饮用水铁、锰、铜、锌、铅、镉含量检测中的应用研究

李文志\*

(烟台黄渤海新区(烟台经济技术开发区)疾病预防控制中心, 烟台 264006)

**摘要:** **目的** 准确测定生活饮用水中铁、锰、铜、锌、铅、镉六种金属元素含量, 为水质监测提供科学依据。**方法** 采用火焰原子吸收测定法, 结合富集法处理样品, 优化灯电流、光谱宽带、负高压、燃气流量等参数, 维持测量准确稳定。对 10 份生活饮用水样品进行测定, 计算相对标准偏差(RSD)和加标回收率以评估方法精密度和准确性。**结果** 样品中铁、锰、铜、锌含量均低且稳定, 铅和镉含量远低于国家规定限值。RSD 在可接受范围内, 各元素回收率在 95%-105% 之间, 方法精密度和准确性良好。**结论** 本文改进方法准确、快速、灵敏, 满足水质监测需求。

**关键词:** 饮用水; 焰原子吸收测定法; 重金属检测

## 0 引言

在生活饮用水铁、锰、铜、锌、铅、镉含量检测中, 火焰原子吸收测定法具有较为广泛的应用。生活饮用水中, 重金属元素含量过高会严重危害人体健康, 例如过量的铜和锌, 会造成机体中毒, 过量的铅、镉元素会损害人体内脏等等<sup>[1]</sup>。高灵敏度、简单操作的火焰原子吸收测定法, 成为监测水质的主流方法, 其利用原子吸收分光光度计和金属元素原子化吸收空心阴极灯共振线测定含量, 为监测水质提供准确、高效的手段<sup>[2]</sup>。在实际运用火焰原子吸收测定法时, 需严格遵循规范流程。准备一系列精准实验仪器, 如日本岛津 AA-6880 型原子吸收分光光度计, 搭配对应金属元素的空心阴极灯, 铜元素用铜空心阴极灯, 锌元素用锌空心阴极灯等。准备优级纯的硝酸、盐酸等试剂用于样品消解与溶液配制。使用经严格清洗和烘干处理的聚乙烯塑料瓶, 在不同水源取水点采集生活饮用水样本。采集后迅速将水样运回实验室, 若不能及时检测需冷藏保存。准确称取一定量水样于聚四氟乙烯消解罐中, 加入适量硝酸与盐酸的混酸溶液, 采用微波消解仪进行消解。微波消解仪精确控制微波功率和时间, 让样品在高温高压环境下充分反应, 使其中的金属元素完全溶出。消解完成后, 将溶液转移至容量瓶中, 用超纯水定容。将处理后的样品溶液注入原子吸收分光光度计的雾化器中, 溶液在高温火焰中被原子化, 金属元素的基态原子吸收空心阴极灯发射出的特定波长共振线。仪器内部的单色器将杂散光分离, 检测器测量透过光的强度, 根据朗伯-比尔定律, 与标准曲线对比, 精准计算出样品中各金属元素的含量。本文主要目的是利用火焰原子吸收测定法精确测

定生活饮用水中的铁、锰、铜、锌、铅、镉六种金属元素含量, 并对测定方法进行优化, 以评估水质安全。进行样品含量检测、精密度与加标回收实验, 验证方法的准确性和精密度。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般材料

火焰原子吸收测定法主要使用火焰原子吸收分光光度计, 型号多样。以北京普析通用 TAS-990 为例(见图 1), 其采用空气-乙炔火焰原子化系统。使用时需根据待测元素特性, 选择合适元素灯, 设置灯电流、光谱宽带、负高压、燃气流量、燃烧器高度和位置等工作参数, 以测量准确稳定<sup>[3]</sup>。此外, 火焰原子吸收测定还需元素灯、空压机、乙炔钢瓶及减压阀、气体混合装置、废液收集装置等辅助设备, 支持仪器运行和实验安全进行。

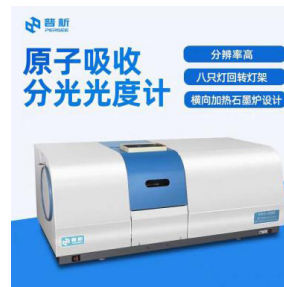


图 1 北京普析通用 TAS-990 火焰原子吸收分光光度计

灯电流是影响原子吸收信号强度的重要因素。在实验中, 为确保测量结果的准确性和稳定性, 需根据待测元素的特性设置合适的工作灯电流和预热灯电流。具体参数设置如表 1。

\* 通信作者: 李文志, 理化检验技术中级, 科员, 研究方向为生活饮用水中有机物综合指标、金属和类金属指标。E-mail: 414036751@qq.com

表 1 灯电流设置

| 元素 | 工作灯电流(mA) | 预热灯电流(mA) |
|----|-----------|-----------|
| 铜  | 3.2       | 2.1       |
| 铁  | 4.3       | 2.1       |
| 锌  | 3.7       | 2.3       |
| 锰  | 2.8       | 2.2       |
| 铅  | 2.6       | 2.4       |
| 镉  | 2.9       | 2         |

合理的灯电流设置不仅能够有效提升原子吸收的信号强度，提高测量的灵敏度，还能有效延长元素灯的使用寿命，降低实验成本。同时，这些参数的精确调控也是实现火焰原子吸收测定法高准确性和高稳定性的关键所在。

### 1.2 优化设置

光谱宽带和负高压是火焰原子吸收测定法中影响光谱分辨率和灵敏度的两个关键参数。在本实验中，根据待测元素的特性，对光谱宽带和负高压进行了优化设置，以保证实验结果的准确性和稳定性。铁元素和锰元素的光谱宽带设为 0.2 nm，铜元素、锌元素、铅元素和镉元素的光谱宽带设为 0.4 nm。设置可在保证光谱分辨率的同时，兼顾不同元素对光谱宽带的特定需求。所有元素的负高压参数保持一致，设定为 300 V，以保证原子吸收光谱的稳定性和清晰度。参数设置有助于延长仪器设备的使用寿命，降低实验成本，为火焰原子吸收测定法的广泛应用提供有力支持<sup>[4]</sup>。

实验中，铜的燃气流量设为 2000 mL/min，铁为 1700 mL/min，锌和锰均为 1000 mL/min，铅为 1500 mL/min，镉同样设为 1000 mL/min。这些设置旨在确保火焰具有适当温度和形状，以提升原子吸收信号的强度。燃烧器高度的调整同样关键。铜、锌和锰的燃烧器高度设为 6 mm，铅和镉则为 5 mm，铁设为稍高的 8 mm。这种差异设置有助于形成更稳定的火焰，使原子蒸汽能够充分激发和电离。

检测波长是元素特征谱线的体现，也是火焰原子吸收测定法中区分元素的关键。本实验为铜、铁、锌、锰、铅、镉等元素精心选择了检测波长，以提升检测的准确性和灵敏度。铜元素的检测波长为 324.7 nm，准确反映其存在和含量；铁元素为 248.3 nm，此波长下吸收信号强烈稳定；锌元素为 213.9 nm，

特征谱线清晰；锰元素为 279.5 nm，有助于准确测定；铅元素为 283.3 nm，吸收信号灵敏度高；镉元素为 228.8 nm，准确反映其存在。这些波长选择均基于元素特征谱线，经深入研究和验证，能提高为火焰原子吸收测定法的广泛应用提供有力支持，使该方法在元素分析领域更可靠准确<sup>[5]</sup>。

### 1.3 方法

样品采集严格遵循 GB/T 5750.2—2023《生活饮用水标准检验方法第 2 部分：水样的采集与保存》，采用清洁聚乙烯塑料瓶作为容器，采样前进行彻底清洗、干燥，并用去离子水冲洗三次去除污染。使用专用采样器采样，避免容器内壁摩擦，减少污染风险。记录采样地点、时间、水温、pH 值及天气条件等信息，为后续分析提供依据。为提高火焰原子吸收测定法的检测灵敏度与准确性，特别是对低浓度元素的测定，研究采用富集法处理样品。具体步骤包括：

**过滤与澄清：**样品经 0.45 μm 微孔滤膜过滤，去除悬浮物与杂质，确保清澈透明。**调节 pH 值：**根据待测元素特性，调节样品 pH 至适宜范围，如铁、锰等金属元素调至酸性(pH 2~3)，促进溶解与富集。**富集与分离：**采用共沉淀技术，加入富集剂(如氢氧化铁、氢氧化锰)，通过共沉淀将待测元素富集于沉淀中。离心或过滤分离沉淀与溶液，得到富集样品。**洗涤与溶解：**用去离子水洗涤沉淀，去除表面杂质。再用稀硝酸溶解沉淀，得到富集溶液。**稀释定容：**将富集溶液稀释至适宜浓度，用去离子水定容至一定体积，以备火焰原子吸收测定。

使用高性能火焰原子吸收光谱仪进行测定。根据待测元素选择相应空心阴极灯作为光源，并设定适当仪器参数(如波长、灯电流、燃气流量)。采用标准曲线法或标准加入法计算样品中待测元素浓度。

在富集与测定过程中，严格实施质量控制，包括使用标准物质校准、设置平行样与空白样监测污染与误差。利用统计软件对测定结果进行数据分析，评估富集法效率、测定方法精度与准确度。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品含量检测

经过火焰原子吸收测定法的检测，得到了 10 份生活饮用水样品中铁、锰、铜、锌、铅、镉的含量数据，结果如表 2 所示。

表 2 检测结果与分析

| 样品编号 | 铁(mg/L) | 锰(mg/L) | 铜(mg/L) | 锌(mg/L) | 铅(μg/L) | 镉(μg/L) |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1    | 0.15    | 0.09    | 0.43    | 0.21    | 2.3     | 0.003   |
| 2    | 0.16    | 0.07    | 0.41    | 0.28    | 1.7     | 0.004   |
| 3    | 0.15    | 0.08    | 0.42    | 0.21    | 2.1     | 0.002   |
| 4    | 0.14    | 0.11    | 0.39    | 0.23    | 1.9     | 0.004   |
| 5    | 0.15    | 0.06    | 0.42    | 0.24    | 2.2     | 0.003   |
| 6    | 0.15    | 0.09    | 0.38    | 0.27    | 1.6     | 0.002   |
| 7    | 0.14    | 0.1     | 0.41    | 0.26    | 2       | 0.004   |
| 8    | 0.15    | 0.07    | 0.43    | 0.22    | 1.8     | 0.003   |
| 9    | 0.15    | 0.12    | 0.39    | 0.23    | 2.4     | 0.002   |
| 10   | 0.16    | 0.08    | 0.43    | 0.25    | 2.1     | 0.003   |

经过火焰原子吸收测定法的精确检测,获得10份生活饮用水样品中铁、锰、铜、锌、铅、镉六种金属元素的含量数据。表中数据显示,各样品铁、锰、铜、锌含量低且稳定,符合安全标准。铅与镉含量以微克每升计,均低于国家限值,表明水样重金属污染处于安全范围。铁、锰、铜、锌为人体必需微量元素,但过量有害;铅与镉为有毒重金属,水中含量需严格控制。火焰原子吸收测定法能准确快速检测水中金属元素含量,为水质监测及公众健康提供保障。

## 2.2 精密度与加标回收实验

为评估测定方法的精密度,对每个样品多次重复测定,计算相对标准偏差(RSD),结果如表3所示。

从表中可以看出,各元素的RSD均在可接受范围内,说明测定方法具有较好的精密度。

为了验证测定方法的准确性,再次进行加标回收实验,即在已知浓度的样品中加入一定量的标准溶液,然后按照相同的测定步骤进行测定,计算加标回收率。各元素回收率在95%~105%之间,表明测定方法具有良好准确性。改进后的方法对于大多数元素的测定值都有所提高,说明改进措施有效。同时,对于铅的测定值虽然略有降低,但其测定结果2.15  $\mu\text{g/L}$ 仍然远低于国家生活饮用水卫生标准中对于铅的限值(通常为10  $\mu\text{g/L}$ 或更低,具体根据各国标准而定),且整体趋势表明改进方法具有更好的稳定性和准确性。

表3 精密度实验结果

| 元素 | RSD(%) |
|----|--------|
| 铁  | 2.1    |
| 锰  | 3.5    |
| 铜  | 1.8    |
| 锌  | 2.4    |
| 铅  | 4.2    |
| 镉  | 5.6    |

## 3 讨论与结论

铁、锰、铜、锌虽为人体必需微量元素,但过量有害;铅和镉则为有毒重金属,水中含量必须严控<sup>[6]</sup>。火焰原子吸收测定法能准确快速检测这些金属元素,为水质监测和公众健康提供保障<sup>[7]</sup>。本研究利用火焰原子吸收测定法精确测定了生活饮用水中的铁、锰、铜、锌、铅、镉六种金属元素,并对测定方法进行了优化。样品含量检测结果显示,10份生活饮用水样品中铁、锰、铜、锌含量均低且稳定,符合安全标准。铅和镉含量虽以微克每升( $\mu\text{g/L}$ )计,但也远低于国家规定限值,表明水样在重金属污染方面安全。

在精密度与加标回收实验中,计算各元素的相对标准偏差(RSD)和加标回收率<sup>[8]</sup>。结果显示,RSD均在可接受范围内,表明测定方法精密度良好。加标回收率实验验证了测定方法的准确性,符合国际准确度要求,表明火焰原子吸收测定法在实验室内测量性能稳定可靠,能满足水质监测需求。

为提升测定准确性和灵敏度,优化富集剂种类和用量、调整pH值范围、改进沉淀分离技术后,大多数元素测定值提高,提高率在2%至5%之间。铅测定值略有降低,但仍远低于国家限值,且整体趋势表明改进方法更稳定准确。富集方法改进中,深入研究了富集剂选择和使用。富集剂是关键因素,通过对比不同富集剂效果,选择最适合的富集剂并优化用量。同时调整样品溶液pH值范围,确保金属元素充分溶解并富集于沉淀中。此外,传统技术存在分离不彻底、沉淀损失等问题。通过改进离心和过滤等分离技术,实现了沉淀与溶液的彻底分离。同时优化洗涤和溶解步骤,确保沉淀中金属元素完全溶解于溶液中。

火焰原子吸收测定法应用过程中,还考虑了其他影响因素,如灯电流设置对原子吸收信号强度有重要影响。实验确定了各元素的最佳工作灯电流和预热灯电流,确保测量结果的准确性和稳定性。光谱宽带和负高压设置也直接影响光谱分辨率和灵敏度。根据待测元素特性合理设置这两个参数,保证实验结果的准确性和稳定性。此外,调整燃气流量、燃烧器高度和位置等参数形成稳定火焰,提高原子吸收信号的稳定性和重现性。

总结而言,本研究利用火焰原子吸收测定法精确测定了生活饮用水中的六种金属元素,并优化了测定方法。实验结果表明该方法准确、快速、灵敏,能满足水质监测需求。富集方法的改进进一步提高了测定准确性和灵敏度,为火焰原子吸收测定法的广泛应用提供了新思路和方法。

## 参考文献

- [1] 麦纪战,张丽玉.火焰原子吸收分光光度法测定铅锌矿中的银含量不确定度评定[J].广东化工,2024,51(18):187-189.
- [2] 陈波,杨俊,张佳佳.碱消解火焰原子吸收分光光度法测定固体废物中六价铬的不确定度评定[J].安徽地质,2024,34(03):265-268.
- [3] 钟韵茹.工作标准溶液不消解对火焰原子吸收分光光度法测定水中铜、锌、铅、镉的影响研究[J].清洗世界,2023,39(12):50-51,55.
- [4] 吴晶,毛慧,朱小梅.全自动石墨消解-连续光源火焰原子吸收测定土壤中的铅[J].山东化工,2021,50(21):92-93.
- [5] 何崇慧,牛承祥,杨红强,等.火焰原子吸收测定裂解汽油二段加氢催化剂中Co,Mo,Ni含量[J].石油化工,2020,49(09):905-909.
- [6] 侯亚茹,陆继龙,范玉超,等.原子吸收光谱法测定岩石中铜、铅和锌的不确定度评定及方法改进[J].光谱学与光谱分析,2022,42(07):2101-2106.
- [7] 姜欣,任莉慧,蒋卓亚.火焰原子吸收分光光度法测定土壤样品中铜、锌、铅、镍、铬的不确定度评定[J].化学分析计量,2023,32(03):94-98.
- [8] 顾晓丹,阮育淑.全自动消解-火焰原子吸收法测定土壤中的铜、锌、铅、镍、铬[J].化工设计通讯,2023,49(05):27-28,94.