

原子吸收分光光度计的重金属检测优化

唐万祥¹ 王维²

1. 通山县公共检验检测中心 湖北省咸宁市通山县 437600

2. 咸宁市实验小学 湖北省咸宁市 437000

摘要: 原子吸收分光光度计作为重金属检测的关键设备,其检测效能关乎环境监测、食品安全等多个领域的精准度与可靠性。本研究深入探讨原子吸收分光光度计的检测理论基础和重要性,剖析当前检测过程中存在的问题,创新性地提出涵盖仪器参数优化、样品前处理改进、数据处理创新等多维度的优化策略,旨在显著提升原子吸收分光光度计的重金属检测能力,为相关领域提供更为精准、高效的检测技术支持。

关键词: 原子吸收分光光度计; 重金属检测; 优化策略

在现代社会,重金属污染问题日益严峻,其对生态环境、人类健康构成了巨大威胁。从工业废水废气排放到土壤污染,从食品安全隐患到电子产品废弃物处理,重金属的检测与管控成为保障生态平衡、维护公众健康的关键环节。原子吸收分光光度计凭借其高灵敏度、选择性好等优势,在重金属检测领域占据核心地位。然而,随着检测需求的不断提高,对检测精度、速度以及复杂样品分析能力的要求愈发严苛,现有的原子吸收分光光度计检测技术暴露出诸多不足。因此,深入研究并优化其检测技术,不仅是提升检测效能的必然选择,更是应对当前重金属污染挑战、推动相关行业高质量发展的迫切需求。

一、原子吸收分光光度计检测理论基础

原子吸收分光光度计基于原子的吸收特性进行重金属检测,这一过程蕴含着深刻的原子物理学原理。当处于基态的原子吸收特定频率的光子后,外层电子会跃迁到较高能级,形成激发态原子。而特定频率的光辐射来源于空心阴极灯等光源,其发射出的特征谱线与待测重金属元素的能级跃迁相对应。在原子化器中,样品经历干燥、灰化和原子化等阶段。以火焰原子化器为例,高温火焰提供能量使样品中的重金属化合物解离为气态基态原子,这涉及到复杂的热化学反应过程,包括化学键的断裂与重组。石墨炉原子化器则通过电热升温实现原子化,其升温程序需精准控制,以确保原子化效率与稳定性。单色器利用光栅或棱镜等光学元件,将光源发射的复合光分离出特定波长的光,这一过程基于光的色散原理,对波长分辨率要求极高。检测器通常采用光电

倍增管或固态检测器,将光信号转化为电信号并进行放大处理,其工作原理基于光电效应,检测灵敏度受多种因素影响,如光电转换效率、噪声水平等。整个检测过程融合了原子物理学、光学、电子学以及热化学等多学科知识,为重金属检测构建了坚实的理论框架与技术支持体系。

二、原子吸收分光光度计在重金属检测中的重要性凸显

(一) 环境监测领域的关键支撑

在环境监测中,原子吸收分光光度计对重金属检测的重要性无可替代。重金属在土壤、水体和大气中积累,会对生态系统造成长期且难以逆转的破坏。通过原子吸收分光光度计,可精准检测土壤中铅、汞、镉等重金属含量,评估土壤污染程度,为土壤修复和农业生产规划提供科学依据。在水体监测方面,能及时发现工业废水、生活污水排放中的重金属超标问题,保障水资源安全。例如,在某河流流域的监测中,运用原子吸收分光光度计检测出镉元素超标,相关部门据此溯源排查污染源,采取有效治理措施,避免了镉污染对水生生物和周边居民健康的危害。它如同环境的“卫士”,时刻守护着生态平衡。

(二) 食品安全保障的有力武器

食品安全关乎公众健康,原子吸收分光光度计在重金属检测方面发挥着至关重要的作用。食品中重金属残留可能来自土壤、水源污染,以及加工过程中的污染。如大米中镉超标、茶叶中铅含量过高,都可能对人体造成严重损害。原子吸收分光光度计能够准确检测食品中的重金属含量,严格把控食品安全质量关。在食品生产企业的质量检测环节,通

过对原材料、半成品和成品的重金属检测，确保产品符合国家标准。一旦发现重金属超标，可及时采取措施，召回产品，防止有害食品流入市场，保障消费者的身体健康。它是食品安全防线中不可或缺的关键技术。

三、原子吸收分光光度计重金属检测现存问题

（一）仪器参数设置不合理

部分操作人员对原子吸收分光光度计的参数理解不够深入，在实际检测中，光源电流、狭缝宽度、原子化温度等关键参数设置未能达到最佳状态。光源电流不仅影响空心阴极灯发射特征谱线的强度，还关系到其稳定性。电流过低，光强不足，导致检测灵敏度降低；电流过高，灯的寿命缩短且自吸现象加剧，同样影响检测精度。狭缝宽度的选择是一个微妙的平衡。过窄的狭缝虽能有效减少杂散光，但光能量损失严重，使检测信号变弱；过宽的狭缝则会引入过多杂散光，干扰待测信号，降低检测的准确性。原子化温度对原子化效率起着决定性作用。对于火焰原子化，温度过低，样品无法充分原子化，原子浓度偏低，造成检测结果偏低；温度过高，原子激发态比例增加，基态原子数减少，也会影响检测灵敏度。石墨炉原子化过程中，升温速率、保持时间等参数设置不当，易导致样品飞溅、元素挥发损失或原子化不完全，进而影响原子浓度测量的准确性，最终影响检测结果的可靠性。

（二）样品前处理方法不完善

样品前处理是重金属检测的重要环节，但当前部分前处理方法存在缺陷。传统的酸消解方法，如硝酸-高氯酸消解体系，虽能有效分解大多数样品，但操作过程中需严格控制温度与时间。温度过高、消解时间过长，易使汞、镉等挥发性重金属元素挥发逸出，造成检测结果偏低；同时，酸的纯度、用量控制不当，可能引入新的杂质，干扰检测。在处理复杂样品，如土壤、生物样品时，基体成分复杂多样，含有大量的有机物、无机盐等。现有的分离与富集方法，如传统的液-液萃取，存在萃取效率低、选择性差等问题，难以有效去除基体干扰。且该方法使用大量有机溶剂，不仅污染环境，还可能对操作人员健康造成危害。

（三）数据处理方法落后

在原子吸收分光光度计检测数据处理方面，许多实验室仍采用简单的数据平均、线性回归等方法。检测过程中，仪器噪声、基线漂移等问题普遍存在。仪器噪声来源多样，

包括电子噪声、光源噪声以及原子化过程中的热噪声等，传统的数据平均方法难以有效消除这些噪声的影响，导致数据波动较大。基线漂移可能由仪器预热不充分、环境温度变化等因素引起，线性回归方法无法对其进行准确校正，从而影响检测结果的准确性。对于复杂样品的多元素检测数据，传统方法无法充分挖掘元素之间的相互关系与潜在规律。

四、原子吸收分光光度计重金属检测优化策略

（一）精准参数调控，激发仪器潜能

深入研究仪器各参数对检测结果的影响机制，建立基于实验数据与理论模型的参数优化体系。运用响应面法，以光源电流、狭缝宽度、原子化温度等为自变量，以检测灵敏度、精密度等为响应值，通过设计一系列实验组合，构建数学模型，全面评估各参数及其交互作用对检测结果的影响。遗传算法则模拟生物进化过程，将参数组合编码为染色体，通过选择、交叉、变异等操作，在参数空间中搜索最优解。具体实施时，首先进行预实验确定参数的大致范围，然后利用优化算法进行全局优化。在实际检测中，根据样品特性，如样品基体复杂程度、待测元素含量范围等，以及检测要求，如检测精度、检测速度等，调用优化后的参数进行检测。例如，对于高含量重金属样品，可适当降低光源电流以减少自吸影响；对于基体复杂样品，优化狭缝宽度以提高抗干扰能力。通过这种精准参数调控，可使原子化效率提高 20%~30%，显著提升检测灵敏度，同时将检测精密度提高 15%~20%，充分发挥仪器的检测性能^[1]。

（二）创新前处理，净化样品基质

研发新型样品前处理技术，减少重金属元素损失与杂质引入。微波消解利用微波的热效应与非热效应，使样品在密闭容器中快速升温消解。微波的高频振荡促使样品分子快速振动，产生内加热，消解速度快且均匀，能有效减少元素挥发损失。超声辅助消解则借助超声波的空化作用、机械效应和热效应，加速样品与消解试剂的反应，提高消解效率。在消解过程中，通过精确控制微波功率、消解时间或超声频率、时间等参数，实现高效、安全消解。针对复杂样品的基体干扰问题，开发高效的分离与富集技术。固相萃取采用新型吸附材料，如分子印迹聚合物，其对目标重金属元素具有高度选择性。分子印迹聚合物通过模板分子与功能单体的自组装，形成与目标分子互补的识别位点，能特异性吸附目标重金属，有效去除基体干扰。液相微萃取则利用微滴有机溶

剂对目标物的萃取作用,结合中空纤维膜的保护与富集功能,实现高效萃取。以固相萃取技术为例,可将基体干扰降低 50% 以上,大幅提升检测准确性,同时减少有机溶剂使用量,符合绿色分析化学理念^[2]。

(三) 智能数据挖掘,提升检测价值

引入人工智能、机器学习等先进数据处理技术,对检测数据进行深度挖掘与分析。利用神经网络算法建立数据预测模型,该模型通过大量历史数据的学习,自动提取数据特征,对检测过程中的噪声、漂移等进行实时校正。例如,采用多层感知器神经网络,将原始检测数据作为输入层,经过隐含层的特征提取与非线性变换,输出校正后的数据。主成分分析可将多元素检测数据进行降维处理,提取主要成分,揭示元素之间的潜在关系。聚类分析则根据元素含量特征,将样品进行分类,有助于发现样品的来源特征与污染规律。在实际应用中,首先对原始数据进行预处理,去除异常值、填补缺失值,然后将处理后的数据输入神经网络模型进行校正,再利用主成分分析和聚类分析进行深度分析。通过机器学习算法处理数据,可将数据处理误差降低至原来的 1/3,极大提高数据可靠性,同时为样品成分分析、污染源追踪等提供更全面、深入的信息,提升检测结果的应用价值^[3]。

(四) 联用技术融合,拓展检测维度

将原子吸收分光光度计与其他分析技术联用,拓展检测维度。与高效液相色谱联用,利用色谱的分离能力,可实现对复杂样品中重金属形态的分析。不同形态的重金属,如三价铬与六价铬,其毒性与环境行为差异显著。通过联用技术,可先将样品中的不同形态重金属分离,再利用原子吸收分光光度计进行定量检测,有助于更准确评估重金属的危害。与电感耦合等离子体质谱联用,电感耦合等离子体将样品充分离子化,质谱则具有高分辨率、高灵敏度的优势,可提高检测的灵敏度与检测范围,实现对痕量重金属的精确检测。例如,对于环境水样中的痕量汞,联用技术可将检测限降低至原来的 1/10,达到皮克级检测水平,满足日益严格的检测标准对检测技术的要求。在联用技术实施过程中,需优化接口设计,确保样品传输效率与信号兼容性,同时开发配套的数据采集与处理软件,实现多技术协同工作,提升检测性能^[4]。

(五) 质量控制强化,保障检测可靠

建立完善的质量控制体系,从仪器校准、标准物质使用、人员操作规范等方面入手,保障检测结果的可靠性。仪器校

准采用多点校准法,使用多个不同浓度的标准溶液进行校准曲线绘制,确保仪器在整个检测范围内的准确性。定期对仪器进行波长校准、能量校准等,保证仪器光学系统与检测系统的稳定性。标准物质的采购选择具有良好溯源性的供应商,严格规范其存储条件,如低温、避光保存,确保标准物质的准确性与稳定性。在使用过程中,遵循标准操作规程,减少移液、稀释等操作误差。加强对操作人员的培训与考核,培训内容涵盖仪器原理、操作技能、质量控制要点等。考核采用理论考试与实际操作相结合的方式,对考核合格者颁发操作证书,确保操作人员具备熟练的操作技能与良好的质量意识,减少人为误差,确保检测过程的规范性与准确性。通过强化质量控制,可使检测结果的重复性误差控制在极小范围内,如相对标准偏差小于 2%,保障检测结果的可信度^[5]。

结语

原子吸收分光光度计的重金属检测优化,无疑是推动检测技术革新、契合多元领域发展需求的核心动力。“精准参数调控,激发仪器潜能”等一系列创新优化策略的深入践行,不仅有力攻克了现存的仪器参数设置失准、样品前处理欠佳以及数据处理滞后等难题,更全面提升了原子吸收分光光度计在检测灵敏度、准确性和分析深度上的性能表现。这将为环境监测提供更精确的污染数据,助力生态保护决策的科学制定;为食品安全把关,保障公众饮食健康;为材料分析提供可靠依据,推动材料科学的进步。展望未来,持续优化检测技术,能进一步拓展其应用边界,深度融入各行业发展,为相关行业迈向高质量发展之路注入强劲动力,在守护生态环境、保障民生福祉等方面发挥更为关键的作用。

参考文献:

- [1] 刘文水.水中重金属测定中原子吸收分光光度计的应用[J].皮革制作与环保科技,2022,3(01):5-7.
- [2] 杨晓赫,高晗,毕娜,等.原子吸收分光光度计法测定绿豆中重金属(铅)的含量[J].食品安全导刊,2021,(36):106-108.
- [3] 王娜.AA-7020 原子吸收分光光度计法测定蚯蚓饵料污泥中重金属含量[J].科技视界,2019,(12):16-17+34.
- [4] 王鹏.原子吸收分光光度计测定重金属含量[J].现代食品,2018,(09):133-135.
- [5] 冯传玲,谢倩,侯晓,等.原子吸收分光光度计测定重金属含量[J].现代食品,2016,(15):101-102.