

原子吸收光谱法在土壤环境监测中的应用研究

雷雨

四川中衡检测技术有限公司 四川 德阳 618000

摘要: 本文聚焦原子吸收光谱法(AAS)在土壤环境监测中的应用。先阐述其基本原理、技术分类及与其他土壤监测技术的对比, 凸显优势。接着探讨土壤样品前处理技术, 包括核心目标、常用方法及效能评价指标。随后介绍AAS在典型重金属监测、不同类型土壤监测中的具体应用, 并给出农业、工业、矿区土壤的监测案例。最后提出质量控制与保证措施, 为AAS在土壤环境监测中的科学应用提供全面参考。

关键词: 原子吸收光谱法(AAS); 土壤环境监测; 重金属污染; 检测方法

引言: 土壤作为生态环境的关键构成, 其质量关乎生态安全与人类健康。当下, 土壤重金属污染问题日益凸显, 精准监测土壤中重金属含量成为环境监测领域的重点任务。原子吸收光谱法(AAS)凭借高灵敏度、高选择性和良好的准确性, 在众多土壤监测技术中脱颖而出。本文将深入探讨其在土壤环境监测中的应用, 剖析前处理技术, 结合实际案例分析, 并提出质控措施与发展趋势。

1 原子吸收光谱法的基本原理与技术分类

1.1 基本原理

原子吸收光谱法基于物质基态原子蒸汽对特定波长的吸收作用实现定量分析。其核心机制为: 光源发射出与目标元素特征波长一致的单色光, 当光穿过含有该元素基态原子的蒸汽时, 部分光被原子吸收, 吸收程度与蒸汽中基态原子浓度遵循朗伯-比尔定律。在土壤监测中, 通过处理土壤样品使目标元素转化为原子蒸汽, 测量特征光的吸收值, 即可计算出土壤中该元素的含量^[1]。基态原子的产生依赖原子化系统, 将土壤样品中的待测元素从固态或液态转化为自由原子, 这一过程直接影响测量准确性。不同元素的原子结构不同, 其特征吸收波长具有唯一性, 这使得原子吸收光谱法具备良好的选择性, 能在复杂土壤基质中精准测定目标元素含量。

1.2 技术分类及核心特点

原子吸收光谱法主要分为火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法和氢化物发生原子吸收光谱法三类。火焰原子吸收光谱法以乙炔-空气等火焰为原子化器, 优势是分析速度快, 稳定性好, 基体干扰较小, 适用于土壤中含量较高的钾、钠、钙、镁等常量及中量元素测定, 但检出限相对较高。石墨炉原子吸收光谱法采用石墨管作为原子化器, 通过程序升温实现样品原子化, 原子化效率高, 检出限低至纳克级, 适合土壤中

铅、镉等痕量重金属检测, 不过分析时间较长, 基体效应较明显。氢化物发生原子吸收光谱法针对砷、锑、硒等易形成氢化物的元素, 通过化学反应生成氢化物后导入原子化系统, 有效分离基体, 提高检测灵敏度和选择性, 是这类元素土壤监测的优选方法。

1.3 AAS与其他土壤监测技术的对比

在铅锌矿区周边土壤监测工作中, 原子吸收光谱法发挥了关键作用, 得以精准测定铅、锌、镉重金属含量。此次监测以矿区为中心, 向四周辐射延伸5公里范围, 依据距离梯度科学合理设置采样点, 同时采集0-20cm的表层土壤样品, 力求全面反映土壤受污染状况。该区域土壤为酸性红壤, 且含有大量硫化物, 这些因素可能干扰检测结果。为保证检测的准确性, 前处理采用微波消解。鉴于铅、镉含量较高, 采用火焰原子吸收光谱法, 锌也采用火焰原子吸收光谱法进行测定。监测结果着实令人忧心, 距离矿区1公里内的土壤中, 铅含量高达2000mg/kg以上, 锌含量达1500mg/kg以上, 镉含量达5mg/kg以上, 均远远超出土壤环境质量标准。不过, 污染范围会随着与矿区距离的增加而逐渐缩小, 到5公里外, 重金属含量已接近背景值。经分析, 污染主要源于矿区尾矿溶和大气沉降。针对这一状况, 提出对尾矿库进行防渗处理、种植重金属富集植物等修复措施, 并建立长期监测机制, 全力保障周边土壤环境安全。

2 土壤样品前处理技术及对AAS监测的影响

2.1 土壤样品前处理的核心目标

土壤样品前处理的核心目标是实现待测元素的有效提取与纯化, 为原子吸收光谱法检测提供适配样品体系。首先, 需将土壤中固态结合态的待测重金属转化为溶液中可被检测的离子态或分子态, 确保提取完全, 避免因提取不完全导致检测结果偏低。其次, 要去除土壤基质中的干扰物质, 土壤中的有机质、黏土矿物、碳酸

盐等会产生基体效应,影响原子化效率和特征光吸收,前处理需通过氧化、沉淀、萃取等手段降低这类干扰。再者,需将样品溶液调节至适宜的酸度和浓度范围,酸度直接影响原子化过程中元素的形态,浓度需匹配原子吸收光谱法的线性范围,过高或过低都会导致测量误差^[2]。另外,要保证样品溶液的均匀性和稳定性,避免待测元素吸附或沉淀,确保检测过程中信号稳定,同时前处理过程需防止样品交叉污染和待测元素损失,严格控制试剂空白,保障检测结果的准确性和可靠性。

2.2 常用前处理方法及优化

土壤样品常用前处理方法包括湿法消解、干法灰化、微波消解和固相萃取等。湿法消解采用硝酸、盐酸、高氯酸等混合酸加热分解样品,适用于多数重金属提取,优化时需根据土壤类型调整酸的配比和用量,例如酸性土壤可减少盐酸用量,有机质含量高的土壤需增加硝酸用量以彻底氧化有机质,同时控制加热温度和时间,避免高氯酸冒烟过度导致待测元素损失。干法灰化通过高温灼烧去除土壤中的有机质和水分,适用于基体简单的土壤,优化要点是控制灼烧温度,一般在450-550℃,温度过高易导致铅、镉等易挥发元素损失,可加入助灰化剂如硝酸镁减少损失。微波消解利用微波能量加热密闭容器中的样品和酸液,具有消解速度快、试剂用量少、元素损失少等优势,优化时需根据样品量调整微波功率和升温程序,确保消解完全且避免压力过高。固相萃取作为纯化手段,优化时选择适配的萃取柱和洗脱剂,控制洗脱流速,提高干扰物质去除效率。

2.3 前处理方法的效能评价指标

前处理方法的效能评价主要通过提取效率、基体干扰去除率、精密性、准确度和试剂空白等指标开展。提取效率是核心指标,通过测定前处理后样品中待测元素的含量与样品中该元素实际总量的比值计算,理想情况下提取效率应在90%-110%之间,低于85%则表明提取不完全,需调整前处理参数。基体干扰去除率通过对比前处理前后样品的基体干扰信号强度计算,要求干扰信号降低70%以上,确保原子吸收光谱法检测时基体效应降至最低。精密性通过多次平行处理同一样品,计算检测结果的相对标准偏差,一般要求相对标准偏差小于10%,反映前处理方法的重复性。准确度通过测定标准参考物质的回收率评价,回收率应在85%-115%范围内,确保前处理过程无明显元素损失或污染。试剂空白需低于方法检出限,避免试剂引入的杂质影响检测结果。

3 原子吸收光谱法在土壤重金属监测中的具体应用

3.1 典型重金属的AAS监测应用

原子吸收光谱法凭借其高灵敏度与精准度,在土壤典型重金属监测领域应用极为广泛。在实际检测中,需针对不同重金属的独特特性,精心挑选适配的检测方式。铅作为土壤中常见且危害较大的重金属污染物,通常采用石墨炉原子吸收光谱法进行检测。检测时,先将样品进行微波消解处理,随后把处理后的样品注入石墨管,通过程序升温使石墨管温度升至2000℃以上,促使铅原子化^[3]。其特征吸收波长为283.3nm,该方法检出限极低,低至0.1mg/kg,完全能够满足土壤环境质量标准中铅的限值要求,为土壤铅污染的精准监测提供了有力保障。镉的检测同样采用石墨炉法,其特征吸收波长为228.8nm。在检测过程中,通过加入基体改进剂磷酸二氢铵,有效抑制基体干扰,极大提高了检测的准确性,尤其适用于土壤中痕量镉的测定。对于铜和锌,则采用火焰原子吸收光谱法。它们的特征吸收波长分别为324.8nm和213.9nm。样品经湿法消解后,可直接进行测定。该方法分析速度极快,每小时能够检测30个以上样品,非常适合大规模批量农业土壤中铜、锌含量的调查工作。

3.2 不同类型土壤的监测案例分析

3.2.1 农业土壤

某区域农业土壤监测项目中,采用原子吸收光谱法测定镉、铅、铜、锌四种重金属含量。样品采集覆盖该区域不同种植类型的农田,每个采样点按“S”形采集0-20cm表层土壤,混合后缩分至100g。前处理采用微波消解法,称取0.25g土壤样品,加入硝酸-盐酸-氢氟酸混合酸,微波消解程序设置为120℃保持5分钟,160℃保持10分钟,190℃保持20分钟。镉和铅采用石墨炉法检测,加入磷酸二氢铵基体改进剂;铜和锌采用火焰法检测。监测结果显示,该区域农业土壤中铜、锌含量处于背景值范围,部分蔬菜种植区存在镉超标现象,最高含量达0.45mg/kg,超出土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准。结合调查发现,超标区域与长期使用含镉磷肥有关,据此提出更换低镉磷肥、增施有机肥降低镉活性等管控措施。

3.2.2 工业污染场地土壤

废弃电镀厂场地土壤监测中,重点采用原子吸收光谱法测定铬、镍、铜、锌、铅、镉六种重金属。该场地土壤质地为黏土,有机质含量较高,且存在电镀废液渗漏痕迹。样品采集按网格布点法,采集0-20cm、20-60cm、60-100cm三个深度土壤样品。前处理采用湿法消解,称取0.25g土壤样品,加入硝酸-高氯酸-氢氟酸混合酸,加热至冒高氯酸白烟,去除硅和有机质。铬采用富燃火焰原子吸收光谱法,特征吸收波长357.9nm;镍、

铜、锌采用火焰法；铅、镉采用石墨炉法。监测结果表明，场地表层土壤中铬含量最高达1200mg/kg，超出建设用地土壤污染风险管控标准，且污染深度达60cm。结合电镀生产工艺分析，铬污染源于电镀废液渗漏，据此制定土壤异位修复方案，采用化学淋洗法去除铬等重金属，修复后再次监测，各重金属含量均达标。

3.3 质量控制与质量保证措施

在原子吸收光谱法用于土壤重金属监测的过程中，质量控制与质量保证措施全方位、全过程地贯穿始终，以确保监测数据的准确性和可靠性。在样品采集环节，严格遵循科学规范。每个采样点精心设置3个平行样，以此保证样品的代表性和重复性。采集过程中，统一使用不锈钢采样工具，从源头上避免金属污染对样品造成干扰。样品封装选用聚乙烯塑料袋，这种材质化学性质稳定，能有效防止样品与外界发生化学反应。样品前处理环节同样不容忽视。每批样品中加入2个空白样品、10%的平行样和2个标准参考物质。空白样品检测值必须低于方法检出限，以此判断前处理过程是否引入污染。平行样相对标准偏差要求小于10%，保证样品处理的一致性^[4]。标准参考物质回收率控制在85%-115%，验证前处理方法的准确性。仪器操作环节，每日检测前用标准溶液对仪器进行校准，精心绘制标准曲线，其中火焰原子吸收光谱法要求相关系数大于0.999，石墨炉原子吸收光谱法要求相关系数大于0.995，确保仪器处于最佳工作状态。每检测20个样品，插入标准曲线中间点进行核查，核查结果偏差小于10%，及时发现仪器可能出现的漂移。数据处理环节，采用专业数据处理软件，剔除异常值严格符合格拉布斯检验法要求。对检测数据进行平行样一致性检验和标准参考物质回收率检验，保证数据质量。

4 原子吸收光谱法在土壤环境监测中的发展趋势

随着科技不断进步，原子吸收光谱法在土壤环境监

测领域展现出新的发展趋势。一方面，仪器小型化与便携化成为重要方向。研发更轻便、易携带的原子吸收光谱仪，可实现现场快速检测，减少样品运输过程中的干扰与损失，提高监测效率，尤其适用于偏远地区或紧急污染事件的实时监测。另一方面，多元素同时检测技术持续发展。通过优化仪器结构与检测方法，实现一次进样同时测定多种重金属元素，大幅缩短检测时间，降低检测成本，满足大规模土壤普查需求。此外，与其他先进技术融合趋势明显，如与激光诱导击穿光谱技术结合，发挥各自优势，提升检测灵敏度与准确性，为土壤环境监测提供更全面、精准的数据支持，推动土壤环境监测技术迈向新高度。

结束语

原子吸收光谱法凭借自身独特优势，在土壤环境监测领域发挥着关键作用，能精准测定多种重金属元素含量，为土壤污染评估与治理提供有力数据支撑。然而，其应用也面临样品前处理复杂、仪器依赖度较高等挑战。未来，需持续优化前处理技术，提升仪器性能，加强质量控制，推动AAS在土壤环境监测中更广泛、精准地应用，守护土壤环境安全。

参考文献

- [1]胡宁.原子吸收光谱法在土壤环境监测中的应用[J].山西化工, 2023, 43(09):135-136+149.
- [2]米拉古丽·加尔恒.原子吸收光谱法在土壤环境监测中的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2023,4(13):68-70.
- [3]万婧.土壤环境质量监测中有害化学物残留及含量检测与分析[J].皮革制作与环保科技, 2022, 3(22):103-105.
- [4]李书林.持久性有机污染物环境监测现状分析及对策[J].山西化工, 2022, 42(08):186-187.