

土壤重金属污染便携式快速环境监测方法探析

张冲

泰州市兴化生态环境监测站, 中国·江苏 兴化 225700

摘要: 土壤重金属污染问题越来越严峻, 需相关人员给予高度重视, 通过多样化的监测方法, 提高监测结果的可靠性。传统的实验室监测法在实际应用中, 准确性较高, 但容易受多种因素的影响, 仍存在操作复杂、周期长、成本高等问题, 难以满足土壤重金属污染现场快速、实时监测的需求。基于此, 本文对土壤重金属污染进行简单概述, 深入探析各类便携式快速环境监测方法的原理及特点。同时, 结合实际案例, 提出具体应用策略, 希望为相关人员提供有效参考。

关键词: 土壤重金属污染; 便携式; 快速监测; 环境监测方法

Analysis of Portable and Rapid Environmental Monitoring Methods for Soil Heavy Metal Pollution

Zhang Chong

Xinghua Ecological Environment Monitoring Station, Taizhou, China Jiangsu Xinghua 225700

Abstract: The problem of soil heavy metal pollution is becoming increasingly severe, and relevant personnel need to give it high attention. Through diversified monitoring methods, the reliability of monitoring results can be improved. The traditional laboratory monitoring method has high accuracy in practical applications, but it is easily affected by various factors and still has problems such as complex operation, long cycle, and high cost, which are difficult to meet the needs of rapid and real-time on-site monitoring of soil heavy metal pollution. Based on this, this paper provides a brief overview of soil heavy metal pollution, deeply analyzes the principles and characteristics of various portable rapid environmental monitoring methods. At the same time, combined with actual cases, specific application strategies are proposed, hoping to provide effective references for relevant personnel.

Keywords: Soil heavy metal pollution; Portable; Rapid monitoring; Environmental monitoring method

0 引言

在新时代背景下, 工业化与城市化进程加快, 日益突出了土壤重金属污染问题。铅、汞、砷等多种重金属长期堆积在土壤内, 对土壤的生态功能带来不良影响, 降低了土壤肥力, 改变微生物群落结构。同时, 这些重金属可能通过食物链传递, 直接危害人体健康。所以, 对土壤重金属污染便捷式快速环境监测方法进行探析十分必要。

1 土壤重金属污染概述

通常情况下, 土壤受到的重金属污染源包括铅、汞、铜等多种污染。现阶段, 我国城市化进程加快建设步伐, 增加对土地资源的应用, 同时不断增长重金属污染的土地面积。大部分受重金属污染的土地缺乏及时的修复, 对土壤质量产生严重影响, 对自然生态环境和社会发展具有较大危害性。重金属污染土壤主要形式是汞污染, 直接降低了我国粮食总产量。人们对土壤污染情况进行详细分析和

探究, 主要原因包含工业废气, 被直接排放之后, 沉降到地表, 逐渐向土壤内部渗透, 在土壤中长期停留, 导致出现工业污染的问题。工业废水, 主要是部分地区缺乏水资源, 对工业废水进行利用, 通过灌溉的方式, 造成其中的重金属污染土壤的问题。矿区固体废弃物污染, 部分地区人们在开矿的实际工作中出现一定的工业污染, 进入土壤中, 引起重金属污染现象。

土壤所受的重金属污染是物理、化学及生物性质的改变因素。各种重金属本身就能阻碍土壤微生物的增殖及其代谢行为, 使微生物群落不能正常工作, 所依赖的物质循环或能量转化也因而受损。如镉或汞等金属, 会使脲酶、磷酸酶一类的酶失去活性, 阻碍氮、磷等营养物质在土壤中的转化与释放。此外, 重金属又可干扰植物根部的生理状态, 造成吸收水分、养料的困难, 最终使植物长势差、单位面积产量降低。土壤所含的重金属可以沿食物链集中起

来，最后到达人体。即当污染土壤上长出农作物之后，其中的重金属被植物吸收，人吃了这类植物又会得到重金属，若其累积量足够大就可能危害身体健康。铅是神经、造血及消化系统的一种毒物，对儿童来说可使智力成长受阻、成年时易患贫血症。镉主要损害肾脏或骨骼，如造成骨质疏松。汞对神经系统、免疫机制都是威胁，能造成记忆衰退、睡眠困难、精神异常，如抑郁、躁狂等症状。

2 土壤重金属污染便携式快速环境监测方法的具体应用

2.1 电化学分析法

在电极表面，重金属离子会发生一定的氧化还原反应，进而产生电信号。而电化学分析法基于这些电信号与重金属离子浓度之间的定量关系，更加准确地测定重金属具体含量。对于土壤重金属污染而言，电化学分析方法具有显著的应用优势，主要涵盖了阳极溶出伏安法、方波伏安法等方法，在实际应用中，呈现出灵敏度高、检测速度快、仪器便携等优点。该方法在土壤重金属污染现场监测中应用，能够在短时间内，同时更加快速地测定多种重金属。同时，该方法对样品前处理没有过于严格的要求，可直接分析土壤浸出液等，有效防止因复杂的样品处理过程导致监测误差与污染。但是，该方法在应用中也存在一定的缺陷，容易受到其他离子的影响，这就需要通过选择性电极、适当预处理样品等方法，确保测定结果的准确性。

例如，在工业园区周边开展土壤重金属污染监测活动，基于实际情况与需求，决定选用阳极溶出伏安法，引入便捷式电化学分析仪，检测土壤内是否存在镉、铅等重金属以及其具体含量。在监测中，选择多个监测点，采取相应的土壤样品。对这些土壤样品进行简单的酸消解处理，并严格按照相关要求，制备成土壤浸出液，并将便捷式电化学分析仪的工作电极浸入其中。之后，合理设置富集时间、扫描电位范围，规范开展检测工作，获得更加准确、完整的测定数据（如表 1 所示）。

表1 基于阳极溶出伏安法的便捷式电化学分析仪的部分检测数据

采样点位	镉浓度（mg/kg）	铅浓度（mg/kg）
点1	0.25	25
点2	0.32	30
点3	0.18	22
点4	0.28	27
点5	0.35	32

根据检测数据，通过与该区域土壤环境质量标准进行对比分析，进而快速、准确地判断土壤内镉与铅含量是否

超标，为后续土壤重金属污染治理提供有效参考。

2.2 光谱分析法

在特定条件下，重金属元素的原子或者离子能够吸收、发射特定波长的光。而光谱分析法通过对这些光的强度、波长进行准确测量，进而确定重金属的种类及具体含量。比如，原子吸收光谱法、原子发射光谱法、X 射线荧光光谱法等，均是十分常见的光谱分析法，在土壤重金属污染监测中具有良好的适用性，呈现出灵敏度与准确度高的优点，确保多种重金属元素测定的有效性^[1]。比如，X 射线荧光光谱法在重金属污染监测中，不需要对样品进行化学处理，可直接分析固体样品，操作简单、快速，在现场原位监测中应用效果极佳。以矿区土壤重金属污染监测为例，借助便携式 X 射线荧光光谱仪，重点检测土壤内铬、镍、铜的具体含量。在具体操作中，选择矿区的合适位置，设定多个采样点位，并针对性采集土壤样品。之后，将该仪器放置在土壤样品的表面，即可快速进行测量，并获得准确的检测数据（如图 1 所示）。

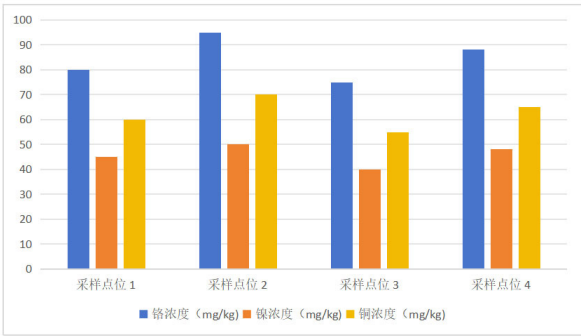


图1 便携式X射线荧光光谱仪检测结果

由图 1 可初步了解矿区土壤内这些重金属的污染分布情况，进而为后续的详细调查、污染治理等工作顺利开展提供准确的基础数据。

2.3 生物传感器法

生物传感器在重金属离子检测中具有良好的优势，可借助酶、抗体等多种生物识别元件与重金属离子之间的特异性相互作用，将生物信号有效转化为可检测的电信号、光信号等物理信号，进而获得准确的检测结果。生物传感器在应用中，具有检测快速、高灵敏度、操作简单等优点，并且可实现微型化，便于携带，能够在土壤重金属污染现场快速检测特定重金属离子^[2]。

例如，对于农业灌溉区，采用生物传感器法对土壤中汞污染进行监测。在具体监测中，选用基于酶抑制原理的便携式生物传感器，并将乙酰胆碱酯酶当作生物识别元件。同时，在灌溉区的多个位置，选择合适的土壤样品，并制

备成土壤浸出液。在乙酰胆碱酯酶与土壤浸出液内的汞离子相结合时，对酶的活性起到良好的抑制作用。在酶催化底物反应过程中，产生电信号变化。通过对电信号变化的检测，确定农业灌溉区土壤中汞离子的浓度，充分体现出该灌溉区土壤汞污染程度，便于相关工作人员结合检测结果，采取多种治理方法，保障农产品质量安全。

2.4 激光诱导击穿光谱法

以高能量脉冲激光对土壤样品进行局部、瞬时的聚焦照射，使所照区域内的微小部分迅速升温，进而形成高温等离子体。等离子体中各原子及离子，在退激发阶段会释放对应波长的光谱特征信号^[9]。按元素种类划分，原子或离子所发光谱是不同的，由此可借光谱信息判断土壤成分及其所含元素的量。例如，铬元素在等离子体退激发中会发出波长约 425. 43nm 的特征光谱线，用仪器测定这种谱线的强度，并与已知浓度的参考样品进行对比，进而对铬作定量分析。激光诱导击穿光谱法具有即时性、无损性的优点，不需要对样品进行复杂前处理或取样，可直接对土壤原位检测，适合多元素同时分析。但是，检测结果易受温度、湿度、大气状态等环境因素的干扰，进而对检测条件有一定要求。在铬元素所在土壤的检测试验中，将大气压定为 95kPa、100kPa、105kPa 和 110kPa，详细分析同一批铬含量（50mg/kg）的土壤样本，记录铬光谱特征线强度（如表 2 所示）。

表2 激光诱导击穿光谱法检测结果

大气压力（kpa）	铬元素特征光谱线强度（a·u·）
95	200±15
100	250±20
105	230±18
110	210±16

根据检测结果进行分析大气压力与铬元素特征光谱强度之间的关系。湿度变化引起铬光谱线强度先是轻微上升、之后又较明显地下降。当气压为 100kPa 时，强度达到近似最大值。这就充分表明了湿度对 LIBS 方法的检测效果影响较大，进而在实际使用中需进行合理控制或修正。

2.5 便携式拉曼光谱法

利用激光照射土壤样品，所含分子会以散射形式对激光作出反应。通常，散射光的频率等于入射光的频率，不过有少数散射光频率是改变的，这类变化与分子振动或转动能级相关，称作拉曼散射^[9]。每种重金属化合物都对应于特定的拉曼光谱特征，进而可利用拉曼光谱的频率、强度等信息，判断土壤中是否含有某种重金属及其含量。以硫化铅为例，其拉曼峰位置及强度有独特表现，可用作识

别或定量依据。便携式拉曼光谱方法为无损检测手段，不破坏样品、周期少、进行原状分析，并且对所遇的重金属有特异性，识别准确性较高。但是，拉曼信号本身较弱，仪器要达到足够灵敏度有一定难度。在实际操作中，应准备多个含碳酸铅的土壤样本，其中碳酸铅浓度按 10mg/kg、20mg/kg、30mg/kg、40mg/kg、50mg/kg 分别设定。将所列样本送至便携式拉曼光谱仪检测，可得碳酸铅在 1078cm⁻¹ 的特征峰强度数值（如表 3 所示）。

表3 便携式拉曼光谱法检测结果

碳酸铅浓度（mg/kg）	特征拉曼峰强度（a·u·）
10	50±5
20	80±6
30	120±8
40	160±10
50	200±12

从表 3 检测结果看，碳酸铅浓度上升一般使特征峰变强，但低浓度下强度增长慢、误差较大。因此，在低浓度重金属化合物检测工作中，便携式拉曼光谱法应用的灵敏度有待提高。

3 结语

土壤中所含重金属的便携式快速环境监测方法对环保来说意义重大。目前有关的分析手段有电化学法、光谱法及生物传感器法等，在实际应用中具有各自的原理及特点。从实例与数据的角度考察可以发现，论文中阐述的方法在实地可迅速得到有关土壤重金属的资料，是污染早期识别、防控乃至治理中很有效的辅助工具。但各种方法本身又都有局限，要因地制宜地考虑监测目的、地点、预算等多项因素后，决定采用单一方式还是组合方式，进而更加快速、精准地检测出土壤中重金属的种类及具有含量。现代科技正使便携式快速监测趋于完善、取得新进展，进而大幅增强了土壤保护的技术可能性。从长远看，相关人员需不断促进土壤重金属污染便携式快速环境监测技术的发展，并大力推广与应用，实现高水平的监测，有效维护生态安全、人民健康。

参考文献：

[1] 龙弈诗.生态环境监测中土壤重金属污染快速检测方法探讨[J].建筑与施工, 2025(17):21-22.

[2] 张红兰.探讨环境监测在土壤重金属污染防治中的作用[J].区域治理, 2025(21):0259-0261.

[3] 谷艳.土壤重金属污染快速检测技术及其在环境监测中的适用性分析[J].黑龙江环境通报, 2025, 38(11):132-134.

[4] 黄志华. 土壤重金属污染监测方法精度提升路径研究[J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 自然科学, 2026(1): 099-102.

[5] 陈垚, 沈文凝, 薛姣等. 土壤重金属污染的原位快

速监测技术及其应用研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(17):54-56.

作者简介: 张冲 (1997.10-), 男, 汉族, 江苏省兴化市, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环境监测。