土壤重金属光谱检测方法

蔡通通 胡聚星 刘南

中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心 吉林 长春 130000

摘要: 土壤重金属污染已成为环境领域亟待解决的重大问题,它不仅破坏土壤生态,还严重影响农作物生长和人类健康。为了精准掌握土壤中重金属的含量,光谱检测技术应运而生并迅速发展。本文将对当前主流的土壤重金属光谱检测技术进行全面综述,详细介绍这些技术的基本原理、操作步骤、实际应用案例,同时分析它们的优缺点及未来的改进方向。此外,本文还将探讨新型光谱检测技术的发展前景,为土壤重金属污染治理提供科技支撑。

关键词: 土壤; 重金属; 光谱检测; 方法

引言

土壤重金属污染问题日益凸显,对农业生产和人类健康构成了严重威胁。为精准测定土壤中重金属含量,光谱检测技术逐渐成为研究热点。本文将对当前主流的土壤重金属光谱检测技术进行全面梳理,阐述其基本原理与操作步骤,通过具体应用实例展示其实际效果。同时,分析各技术的优缺点,提出改进方向。此外,本文还将展望新型光谱检测技术的发展趋势,为土壤重金属污染的监测与治理提供新的思路和方法。

1 土壤重金属污染概述

土壤重金属污染,作为当今环境领域的一大问题,日益受到人们的关注。土壤,作为地球生态系统的重要组成部分,其健康状况直接影响着人类的生存与发展。然而,由于人类活动的不断加剧,土壤中的重金属含量逐渐超标,形成了所谓的土壤重金属污染。重金属,如铅、镉、汞、铬等,具有显著的生物毒性,且不易被土壤微生物分解。当这些重金属元素通过工业排放、农业活动、城市生活等多种途径进入土壤后,它们会在土壤中积累并长期存在,对土壤生态环境造成严重破坏。工业排放是土壤重金属污染的主要来源之一,采矿、冶炼、化工等工业生产过程中产生的废水、废气和废渣中往往含有大量重金属元素。若这些废弃物未经妥善处理直接排放或堆放,极易对周边土壤造成污染。农业活动中过量使用含有重金属的农药、化肥,以及利用未经处理的污水进行灌溉,也是导致土壤重金属含量超标的重要原因。土壤重金属污染不仅影响土壤的肥力和结构,还对农作物生长造成严重影响。重金属元素在土壤中积累后,会抑制农作物的正常生长,导致作物产量下降、品质变差。更为严重的是,重金属元素还可能通过食物链进入人体,长期积累可引发多种慢性疾病,对人体健康构成极大威胁。因此,加强土壤重金属污染的防治工

作刻不容缓。我们需要从源头控制重金属的排放,加强工业废弃物的处理和农业活动的监管,同时采用科学的土壤修复技术,恢复受污染土壤的生态功能。只有这样,我们才能保护好我们的土地,守护好我们的家园^[1]。

2 土壤重金属光谱检测方法

2.1 原子吸收光谱法(AAS)

(1) 原子吸收光谱法(AAS)利用物质中特定元素对特定波长光的吸收性质进行分析。其原理为:光源发出特定波长光,穿过含待测元素的原子蒸气时,基态原子吸收此波长光并跃迁至激发态,据此可进行分析测定。吸收光的强度与待测元素在蒸气中的浓度成正比,通过测量吸收光的强度,可以计算出待测元素的含量。在土壤重金属检测中,AAS的操作步骤通常包括:首先,将土壤样品进行消解处理,将重金属元素转化为可溶态;然后,将消解后的溶液引入原子化器中,形成原子蒸气;接着,利用光源发射特定波长的光通过原子蒸气,测量吸收光的强度;最后,根据吸收光的强度计算出土壤中重金属元素的含量。(2) AAS在土壤重金属检测中具有广泛的应用。例如,研究人员利用AAS对某工业区周边的土壤进行了重金属检测,结果显示该地区土壤中铅、镉等重金属元素含量明显超标,为后续的污染治理提供了科学依据。此外,AAS还被用于监测农田土壤中的重金属污染情况,帮助农民了解土壤质量,指导农业生产。AAS在土壤重金属检测中的效果显著,具有灵敏度高、准确度高、重现性好等优点。然而,AAS也存在一些局限性,如只能进行单元素分析、样品前处理复杂等。(3) AAS的优点在于其灵敏度高、准确度高、重现性好,适用于土壤重金属的常规检测。然而,AAS也存在一些缺点,如只能进行单元素分析,导致检测效率较低;样品前处理复杂,需要消耗大量的时间和试剂。为了改进AAS在土壤重金属检测中的应用,可以

从以下几个方面进行努力：一是开发多元素同时分析的AAS技术，提高检测效率；二是优化样品前处理过程，减少试剂消耗和时间成本；三是将AAS与其他分析技术相结合，如与色谱技术联用，实现更复杂的样品分析^[2]。

2.2 原子荧光光谱法 (AFS)

(1) 原子荧光光谱法 (AFS) 是一种基于物质中特定元素在辐射能激发下产生的荧光发射特性进行分析的方法。其基本原理是，当物质中的原子吸收特定波长的光后，会跃迁到激发态，当物质从激发态跃迁回基态时，会释放出特定波长的荧光，其强度与待测元素浓度呈正相关性，通过测定荧光强度可推算出元素含量。在土壤重金属检测中，AFS的操作步骤通常包括：首先，将土壤样品进行消解处理，将重金属元素转化为可溶态；然后，将消解后的溶液引入荧光池中，利用光源发射特定波长的光激发待测元素；接着，测量待测元素发射的荧光强度；最后，根据荧光强度计算出土壤中重金属元素的含量。(2) AFS在土壤重金属检测中也具有广泛的应用。例如，研究人员利用AFS对某矿区周边的土壤进行了重金属检测，结果显示该地区土壤中砷、汞等重金属元素含量较高，为后续的污染治理提供了重要依据。此外，AFS还被用于监测农田土壤中的重金属污染情况，帮助农民了解土壤质量，指导农业生产。AFS在土壤重金属检测中的效果显著，具有灵敏度高、选择性好、线性范围宽等优点。然而，AFS也存在一些局限性，如仪器成本较高、操作复杂等。(3) AFS的优点在于其灵敏度高、选择性好、线性范围宽，适用于土壤重金属的痕量分析。然而，AFS也存在一些缺点，如仪器成本较高，限制了其在一些基层检测单位的应用；操作复杂，需要专业的技术人员进行操作和维护。为了改进AFS在土壤重金属检测中的应用，可以从以下几个方面进行努力：一是降低仪器成本，提高仪器的普及率；二是简化操作步骤，降低对技术人员的要求；三是将AFS与其他分析技术相结合，如与色谱技术联用，实现更复杂的样品分析^[3]。

2.3 电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)

(1) 电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 是一种基于电感耦合等离子体 (ICP) 作为离子源，结合质谱仪进行元素分析的方法。其基本原理是，将样品引入ICP中，样品在高温下被电离成离子，然后离子通过质谱仪的离子光学系统被分离和检测。通过测量离子的质荷比和强度，可以确定样品中元素的种类和含量。在土壤重金属检测中，ICP-MS的操作步骤通常包括：首先，将土壤样品进行消解处理，将重金属元素转化为可溶态；然后，将消解后的溶液引入ICP中，样品在高温下被电离成离

子；接着，离子通过质谱仪的离子光学系统被分离和检测；最后，根据离子的质荷比和强度计算出土壤中重金属元素的含量。(2) ICP-MS在土壤重金属检测中具有极高的灵敏度和准确度，能够同时检测多种重金属元素，适用于痕量重金属的分析。例如，研究人员利用ICP-MS对某污染地区的土壤进行了重金属检测，结果显示该地区土壤中多种重金属元素含量均超标，为后续的污染治理提供了详细的数据支持。ICP-MS在土壤重金属检测中的效果显著，具有灵敏度高、准确度高、多元素同时检测等优点。然而，ICP-MS也存在一些局限性，如仪器成本高昂、操作复杂、对样品前处理要求较高等。(3) ICP-MS的优点在于其灵敏度高、准确度高、多元素同时检测，适用于土壤重金属的痕量分析。然而，ICP-MS也存在一些缺点，如仪器成本高昂，限制了其在一些基层检测单位的应用；操作复杂，需要专业的技术人员进行操作和维护；对样品前处理要求较高，需要消耗大量的时间和试剂。为了改进ICP-MS在土壤重金属检测中的应用，可以从以下几个方面进行努力：一是降低仪器成本，提高仪器的普及率；二是简化操作步骤和样品前处理过程，降低对技术人员的要求和时间成本；三是开发更高效的离子源和质谱仪，提高检测效率和灵敏度。

2.4 X射线荧光光谱法 (XRF)

(1) X射线荧光光谱法 (XRF) 是一种基于物质中原子受到X射线激发后发射出特征X射线的现象进行分析的方法。其基本原理是，当X射线照射到物质上时，物质中的原子会吸收X射线的能量，导致内层电子跃迁到外层，随后外层电子回落到内层时，会发射出特征X射线。特征X射线的能量与元素原子序数存在特定关系，通过检测其能量值及强度大小，即可准确判定样品中所含元素的种类及其相应含量。在土壤重金属检测中，XRF的操作步骤通常包括：首先，将土壤样品进行预处理，如研磨、压片等；然后，利用X射线源发射X射线照射样品；接着，测量样品发射的特征X射线的能量和强度；最后，根据特征X射线的能量和强度计算出土壤中重金属元素的含量。(2) XRF在土壤重金属检测中具有广泛的应用，特别适用于现场快速筛查和大规模样品分析。例如，研究人员利用便携式XRF仪器对某污染地区的土壤进行了快速筛查，结果显示该地区土壤中多种重金属元素含量较高，为后续的详细检测提供了线索。此外，XRF还被用于监测农田土壤中的重金属污染情况，帮助农民了解土壤质量，指导农业生产。XRF在土壤重金属检测中的效果显著，具有操作简便、快速、无损、多元素同时检测等优点。然而，XRF也存在一些局限性，如检测灵敏度

相对较低、对轻元素检测效果不佳等。(3) XRF的优点在于其操作简便、快速、无损、多元素同时检测,适用于现场快速筛查和大规模样品分析。然而,XRF也存在一些缺点,如检测灵敏度相对较低,限制了其在痕量重金属分析中的应用;对轻元素检测效果不佳,需要与其他分析技术相结合以提高检测准确性。为了改进XRF在土壤重金属检测中的应用,可以从以下几个方面进行努力:一是提高仪器的检测灵敏度,降低检测限;二是开发更高效的X射线源和探测器,提高检测效率和准确性;三是将XRF与其他分析技术相结合,如与AAS或ICP-MS联用,实现更全面的样品分析^[4]。

2.5 其他光谱检测方法

(1) 激光诱导击穿光谱法(LIBS)是一种高效的光谱检测技术。它利用高功率激光脉冲聚焦到样品表面,瞬间加热并产生等离子体,等离子体在冷却时发射出特征光谱。通过测量这些光谱的波长和强度,我们可以准确确定样品中的元素种类和含量。在土壤重金属检测中,LIBS展现出快速、在线、无需样品预处理的显著优势,特别适用于现场实时监测。当然,LIBS也存在一些不足,如检测灵敏度有待提升,且易受样品基质影响。为了优化其应用效果,我们可以通过调整激光参数、升级光谱采集系统等方式进行改进。(2) 除了LIBS,还有许多新型光谱检测方法正在蓬勃发展。其中,太赫兹光谱检测技术作为一种前沿技术,备受瞩目。太赫兹光谱具有独特的频谱范围,能够揭示物质在太赫兹波段的特性,为土壤重金属检测等领域提供了新的视角和手段。随着技术的不断进步,这些新型光谱检测方法有望在土

壤重金属检测中发挥越来越重要的作用^[5]。

结语

土壤重金属污染问题迫切需要我们采取有效措施加以解决,而光谱检测方法以其准确、快速的特点,成为了检测土壤重金属的重要手段。本文综述了多种光谱检测技术的原理、应用实例及各自的优缺点,每种方法都有其独特之处,但同时也存在一定的局限性。随着科技的不断进步,新型光谱检测方法如太赫兹光谱等正日益受到关注。展望未来,我们应持续探索更加高效、准确的检测方法,为土壤重金属污染的治理提供坚实的技术支持和保障。

参考文献

- [1] 蒋喜艳,张述习,尹西翔,张少鹏,李汀,王利红.土壤-作物系统重金属污染及防治研究进展[J].生态毒理学报,2021,16(06):150-160.
- [2] 王宇,龚航,谢趾东,汤运凯,杜杨帆.浅谈高寒高海拔矿区周边土壤重金属污染及其综合防治[J].皮革制作与环保科技,2022,3(04):134-136.
- [3] 惠越,庞雯霏,胡梦云,沈佳乐.土壤重金属污染分析方法及防治对策探析[J].浙江化工,2022,53(04):43-49.
- [4] 朱柳琴,卢鹏,沈军,刘徽,闫芳,王宇,宋玉龙.长江沿岸带黄石段土壤重金属元素分布特征及环境质量评价[J].资源环境与工程,2022,36(02):218-224.
- [5] 赵梓霖,王璋强,王锐,黄侯轩,郑家桐,石航源,肖荣波,卢桂宁,黄飞.电子垃圾拆解区不同用地类型土壤重金属空间分布特征与风险评价[J].环境工程学报,2022,16(04):1294-1302.