

# 水气土中重金属的环境检测与风险评估

张璐<sup>1</sup> 周彦凯<sup>1</sup> 施琴芝<sup>1</sup> 方明月<sup>2</sup>

1. 浙江信捷检测技术有限公司 浙江 宁波 315200

2. 宁波天一绿色生态科技有限公司 浙江 宁波 315200

**摘要:** 随着工业化、城市化进程的加速,重金属污染已成为全球性的环境问题,对水体、大气和土壤造成了严重危害,进而威胁到生态安全和人类健康。本文旨在系统探讨水、气、土中重金属的环境检测方法、污染现状及风险评估体系,为科学防控重金属污染提供理论依据和技术支持。

**关键词:** 水气土; 重金属; 检测; 风险评估

## 引言

重金属是指密度大于 $4.5\text{g/cm}^3$ 的金属元素,具有毒性、累积性和持久性。其污染来源广泛,包括自然源(如火山喷发、岩石风化)和人为源(如工业排放、农业活动、交通运输等)。重金属在环境中的迁移转化复杂,难以降解,易通过食物链累积,对人类健康和生态系统构成长期威胁。因此,开展水、气、土中重金属的环境检测与风险评估研究具有重要意义。

## 1 重金属污染现状分析

### 1.1 水体重金属污染

水体重金属污染源主要包括工业废水排放、农业面源污染和城市生活污水等。工业废水中常含有铅、镉、汞等重金属元素,未经处理或处理不彻底便直接排放到水体中,造成严重污染。农业活动中,农药和化肥的使用也会导致重金属元素随雨水径流进入水体。城市生活污水中也含有一定量的重金属,主要来源于家庭排水和雨水冲刷城市地表所带来的污染物。不同区域的水体重金属污染状况存在差异,但总体上呈现上升趋势。这主要是由于工业化、城市化进程的加速以及农业生产方式的转变导致的。重金属在水体中的存在形态复杂,包括溶解态、胶体态和颗粒态等,这使得它们在水体中的迁移和转化过程变得十分复杂。这些重金属元素对水生生物具有毒性效应,会破坏其生理机能并影响其繁殖和生存。

### 1.2 大气重金属污染

大气重金属主要污染源包括工业排放、交通运输和建筑扬尘等。工业生产过程中的金属冶炼、燃煤和燃油等过程,会释放大量含有重金属的废气,如铅、镉、铬等,这些废气在大气中形成重金属颗粒物。交通运输也是大气重金属污染的重要来源,车辆尾气排放和轮胎、刹车磨损产生的重金属颗粒物都会污染大气。此外,建筑扬尘中也含有一定量的重金属元素,在建筑材

料的生产使用过程中被释放到大气中。重金属颗粒物在大气中的悬浮时间长、传输距离远,这使得它们能够广泛分布并长期存在于大气环境中。

### 1.3 土壤重金属污染

土壤重金属其污染源广泛且多样。工业活动是土壤重金属污染的主要来源之一,工业生产过程中产生的废气、废水和废渣中含有大量重金属元素,这些重金属元素会通过沉降、渗透等方式进入土壤。农业施肥也是导致土壤重金属污染的重要原因,过量使用含有重金属的化肥和农药会直接导致土壤重金属含量增加。此外,交通运输和垃圾填埋等行为也会导致土壤重金属污染,车辆尾气排放和轮胎磨损产生的重金属颗粒物会沉降在土壤中,而垃圾填埋场中的重金属也会通过渗滤作用进入土壤。土壤重金属污染具有累积性、持久性和不可降解性等特点,这使得其对土壤生态系统结构和功能造成长期影响。

## 2 重金属的环境检测方法

### 2.1 水体中重金属的检测

水体中重金属的检测是环境监测的重要组成部分,通常采用一系列高精度分析技术,其中原子吸收光谱法(AAS)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)是最常用的两种方法。原子吸收光谱法(AAS)是一种基于气态原子对特定波长光的吸收来进行定量分析的方法。该方法具有灵敏度高、选择性好、干扰少等优点,特别适用于水体中痕量重金属的检测。AAS能够准确测定水体中铅、镉、汞等重金属元素的含量,为水体污染评估提供重要数据。电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)则是一种将样品转化为气态离子,并通过质谱仪进行分离和检测的方法。该方法具有极高的灵敏度和分辨率,能够同时测定多种重金属元素,且受干扰较少。ICP-MS在水体重金属检测中具有广泛应用,能够准确提供水体中重

金属的种类和含量信息<sup>[1]</sup>。除了上述两种方法外,水体中重金属的检测还需结合现场采样、样品保存与预处理等步骤。现场采样时,需选择具有代表性的采样点,并确保采样过程不受污染。样品保存时,需使用洁净的容器,并避免样品与容器壁接触,以减少污染的可能性。预处理步骤包括样品的过滤、酸化、稀释等,以确保样品适合后续的分析检测。

## 2.2 大气中重金属的检测

大气中重金属的检测是评估大气污染程度及来源的重要手段,主要涉及颗粒物(如PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>)中重金属的测定。为了准确捕捉大气中的重金属污染物,科学家们研发了多种高效、精确的检测方法。其中,滤膜采样结合X射线荧光光谱法(XRF)是一种常用的大气重金属检测方法。该方法通过滤膜采集大气中的颗粒物,然后利用X射线荧光光谱仪对滤膜上的颗粒物进行分析,从而确定其中重金属的种类和含量。XRF具有快速、准确、非破坏性等优点,适用于大气中多种重金属元素的同时测定。除了XRF,电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)也是大气重金属检测中常用的一种方法。与XRF相比,ICP-MS具有更高的灵敏度和分辨率,能够准确测定大气中痕量重金属的含量。该方法通过将大气颗粒物转化为气态离子,并利用质谱仪进行分离和检测,实现了对大气中重金属的高精度测定。近年来,激光诱导击穿光谱技术(LIBS)等新兴方法也逐渐应用于大气重金属的快速检测。LIBS利用激光诱导样品产生等离子体,并通过分析等离子体的光谱特性来确定样品中重金属的种类和含量。该方法具有快速、实时、无需样品预处理等优点,为大气重金属的现场监测提供了新的思路和手段。

## 2.3 土壤中重金属的检测

土壤中重金属的检测是环境监测的重要领域,旨在评估土壤污染程度并揭示重金属的来源与迁移转化规律。当前,土壤中重金属的检测方法多样,其中化学提取法、原子吸收光谱法(AAS)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)是较为常用的几种方法。化学提取法,如Tessier五步提取法,是一种通过不同提取剂将土壤中的重金属按形态分离的方法。该方法能够区分土壤中重金属的不同形态,如可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态和残渣态,有助于深入理解重金属的生物有效性和迁移转化规律。通过化学提取法,研究人员可以更加准确地评估土壤重金属对生态环境和人体健康的风险<sup>[2]</sup>。原子吸收光谱法(AAS)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)则直接测定土壤样品中重金属的总量。AAS利用气态原子对特定波长光的吸收进行

定量分析,具有灵敏度高、选择性好等优点,适用于土壤中多种重金属元素的测定。而ICP-MS则将土壤样品转化为气态离子,并通过质谱仪进行分离和检测,具有极高的灵敏度和分辨率,能够同时测定多种重金属元素。

## 3 重金属污染风险评估

### 3.1 风险评估方法

#### 3.1.1 单一指标评价法

单一指标评价法是通过选取某一特定重金属元素作为评估指标,基于其浓度与相应标准值的比较,来评价污染程度的方法。这种方法简单直观,易于操作,但仅能反映单一重金属的污染状况,无法全面评估多种重金属的联合效应。单项污染指数法就是一种典型的单一指标评价法,它通过计算土壤中重金属含量与评价标准值的比值(单项指数 $P_i$ ),来判定土壤的污染程度。例如, $P_i \leq 1$ 表示无污染, $P_i$ 值越大表示污染越严重。

#### 3.1.2 多指标评价法

多指标评价法综合考虑多种重金属元素的污染状况,通过构建综合污染指数或采用加权求和等方式,来全面评估土壤或水体的重金属污染程度。这种方法能够反映多种重金属的联合效应,但计算过程相对复杂<sup>[3]</sup>。综合污染指数法是一种常用的多指标评价法,它通过计算多种重金属单项污染指数的平均值或加权平均值,来得到综合污染指数,从而全面评估土壤的重金属污染状况。

#### 3.1.3 生态风险模型法

生态风险模型法通过构建数学模型来模拟重金属在生态环境中的迁移、转化和归宿过程,以及这些过程对生态系统结构和功能的影响,从而评估重金属污染的生态风险。这种方法能够定量评估重金属污染的生态效应,但需要大量的基础数据和复杂的模型构建。潜在生态风险指数法是一种常用的生态风险模型法,它通过计算重金属的毒性系数和污染系数的乘积,来得到潜在生态风险指数,从而评估重金属污染的生态风险。该方法不仅考虑了重金属的浓度,还考虑了其毒性效应,因此评估结果更加全面。

#### 3.1.4 综合风险评估法

综合风险评估法是一种将单一指标评价法、多指标评价法和生态风险模型法等多种方法相结合的风险评估方法。它根据评估目的和实际需求,灵活选择适用的评估方法,综合考虑重金属污染对人体健康和生态环境的危害程度,从而得到更加全面、准确的风险评估结果。在实际应用中,综合风险评估法可能包括先通过单一指标评价法筛选出主要污染物,再通过多指标评价法构建综合污染指数来全面评估污染状况,最后利用生态风险模型法来模拟和

预测重金属污染的生态效应和风险趋势。

### 3.2 风险评估流程

#### 3.2.1 污染源识别

污染源识别是风险评估的第一步，旨在明确重金属污染的来源和分布特征。通过调查和分析，确定哪些工业活动、农业施肥、交通运输或自然过程等是重金属污染的主要贡献者，以及这些污染源在空间上的分布情况。具体步骤包括：一是资料收集：收集相关区域的工业布局、农业生产方式、交通流量、自然地理条件等资料。二是现场勘查：通过现场踏勘、无人机航拍等方式，观察污染源的位置、规模、运行状况等。三是污染源分类：根据污染源的性质和类型，将其划分为点源污染（如工业排放口）、面源污染（如农业施肥）或非点源污染（如大气沉降）等。

#### 3.2.2 暴露评估

暴露评估旨在评估重金属在不同介质（如空气、水、土壤）中的暴露途径和暴露量。通过了解人群或生态系统与重金属污染物的接触方式和程度，为后续的毒性评估和风险表征提供基础数据。具体步骤包括：（1）暴露途径分析：确定重金属通过哪些途径进入人体或生态系统，如吸入、摄入、皮肤接触等。（2）暴露量估算：利用环境监测数据和暴露模型，估算人群或生态系统的重金属暴露量。这需要考虑污染物的浓度、暴露频率、暴露时间等因素。（3）敏感人群识别：识别对重金属污染更为敏感的人群或生态系统组分，如儿童、孕妇、老年人或特定生态位物种。

#### 3.2.3 毒性评估

毒性评估旨在分析重金属的毒理学效应和剂量-反应关系。通过了解重金属对人体健康和生态系统的毒性作用机制、毒性阈值等信息，为风险表征提供科学依据。具体步骤包括：（1）毒理学研究：查阅相关文献和资料，了解重金属的毒理学特性，如致癌性、致突变性、急性毒性、慢性毒性等。（2）剂量-反应关系分析：通过动物实验或流行病学调查等手段，建立重金属暴露剂量与其毒性效应之间的定量关系。（3）毒性数据收集：收

集国内外关于重金属毒性的权威数据和研究成果，为风险评估提供支撑。

#### 3.2.4 风险表征

风险表征是在污染源识别、暴露评估和毒性评估的基础上，综合评估重金属污染的风险水平，并以适当的方式表达出来。这有助于决策者了解重金属污染的严重程度和潜在危害，从而制定有效的防控措施<sup>[4]</sup>。具体步骤为：（1）风险评估模型应用：选择合适的风险评估模型（如美国EPA的风险评价模型），将暴露量、毒性效应等数据输入模型进行计算。（2）风险水平确定：根据模型输出结果确定重金属污染的风险水平，包括致癌风险、非致癌风险等。（3）风险地图绘制：利用GIS技术绘制风险地图，直观展示不同区域的重金属污染风险分布情况。（4）防控措施建议：根据风险评估结果提出相应的防控措施建议，如加强污染源监管、改善环境质量、提高公众健康意识等。

### 结语

水、气、土中重金属的环境检测与风险评估是环境科学领域的重要研究课题。本文系统介绍了重金属的环境检测方法、污染现状及风险评估体系，为科学防控重金属污染提供了理论支持和技术指导。未来研究应进一步探索重金属在环境中的迁移转化机制、开发更加高效准确的检测技术和风险评估方法，并加强跨学科合作与数据共享，共同应对重金属污染挑战。

### 参考文献

- [1]王青.重金属检测技术在水环境检测中的应用[J].清洗世界,2024,40(01):105-107.
- [2]张立.环境检测中矿山土壤重金属污染控制研究[J].世界有色金属,2023,(07):184-186.
- [3]段海静,任翀,申浩欣,等.基于多种评估方法的垃圾中转站周边土壤重金属污染及生态风险[J/OL].环境化学,1-13[2024-07-23].
- [4]柳峰,乔晓克,郎珊珊,等.太行山北段某矿区耕地土壤重金属污染评价、来源解析及生态风险评估[J/OL].桂林理工大学学报,1-15[2024-07-23].