

土壤重金属监测质量控制与质量保证技术研究

陈璇璇

湖北省生态环境厅荆州生态环境监测中心 湖北 荆州 434000

摘要: 本文聚焦土壤重金属监测质量控制与质量保证技术。阐述了核心理论基础,包括概念界定、监测误差与质量指标;接着从样品采集、制备与前处理、分析测试、数据处理与评价等环节,研究全流程质量控制技术;构建包含内部、外部措施及与风险评估结合的质量保证技术体系;最后提出未来智能化设备研发、大数据与AI应用、全球统一标准制定等方向,为土壤重金属监测提供全面参考。

关键词: 土壤重金属监测;质量控制;质量保证

引言: 土壤重金属污染问题日益严峻,对生态环境和人体健康构成严重威胁。准确可靠的土壤重金属监测数据是污染防治、风险评估及治理决策的关键依据。然而,监测过程易受多种因素影响,导致数据出现偏差。因此,开展土壤重金属监测质量控制与质量保证技术研究至关重要。通过建立完善的质量管控体系,可有效提升监测数据质量,为土壤污染治理提供坚实支撑。

1 土壤重金属监测质量控制与保证核心理论基础

1.1 核心概念界定

土壤重金属监测质量控制(QC)与质量保证(QA)是保障监测数据准确性、可靠性与可比性的核心体系,是土壤污染防治、风险评估及治理决策的重要前提。质量控制侧重监测全流程的过程管控,通过标准化操作、误差校准、平行验证等手段,减少人为与系统误差,确保各环节符合技术规范;质量保证则聚焦结果验证与体系完善,通过内部审核、外部比对、质量评估等方式,为监测数据的有效性提供支撑^[1]。二者相辅相成,形成“过程管控-结果验证-体系优化”的闭环机制。核心界定需明确监测对象(土壤中铅、镉、汞等重金属)、适用场景(农田、工业场地、矿区等),同时统一术语定义,避免因概念模糊导致监测流程混乱,为后续技术实施与体系构建奠定统一的理论认知基础。

1.2 监测误差与质量指标

土壤重金属监测误差是指监测结果与真实值的偏离程度,按来源可分为系统误差、随机误差与过失误差,其控制水平直接决定监测数据质量。系统误差源于仪器精度不足、试剂纯度不够、方法固有缺陷等,具有可重复性与方向性,可通过仪器校准、试剂空白试验、方法验证等手段校正;随机误差由环境波动、操作细微差异等偶然因素引发,无固定规律,需通过平行样测定、增加监测频次等方式降低影响;过失误差为人为操作失误

导致,需通过严格人员培训、流程核查杜绝。核心质量指标包括准确度、精密度、完整性、代表性与可比性。准确度反映数据与真实值的契合度,通过加标回收率验证;精密度体现多次测定结果的一致性,用相对标准偏差表示;完整性确保监测数据无缺失、无遗漏;代表性要求样品能反映区域土壤重金属整体状况;可比性保障不同时空、不同机构的监测结果可相互参照,为跨区域污染治理提供数据支撑。

2 土壤重金属监测全流程质量控制技术研究

2.1 样品采集环节质量控制技术

样品采集是土壤重金属监测的首要环节,其质量直接决定后续监测结果的有效性,需通过科学布点、规范采样、全程防护实现质量控制。布点环节采用网格布点法、对角线布点法等,结合监测区域地形、土壤类型、污染来源合理设置采样点,同时增加对照点与加密点,确保样品代表性,避免因布点不均导致数据偏差。采样时严格遵循“多点混合、分层采集”原则,表层土壤采样深度控制在0-20cm,深层土壤按需求分层采集,每处采样点采集3-5个子样品混合为一个样品,重量不低于1kg。采样工具需选用不锈钢、特氟龙材质,避免工具金属对样品造成二次污染,采样前用蒸馏水清洗并晾干。样品封装采用洁净聚乙烯袋,标注采样时间、地点、深度、编号等信息,全程避光、低温保存,运输过程中防止破损与交叉污染。同时做好采样记录,留存采样点位图,同步采集周边环境信息,确保采样过程可追溯,从源头规避误差。

2.2 样品制备与前处理环节质量控制技术

样品制备与前处理是去除干扰、富集目标重金属的关键环节,需通过标准化操作减少组分损失与污染。样品制备阶段,先去除样品中的石块、植物残体等杂质,置于洁净通风处自然风干,避免暴晒导致重金属挥发。风干

后用玛瑙研钵研磨,通过20目、100目标准筛筛分,筛选均匀样品储存于洁净容器中,标注相关信息。前处理环节需根据土壤类型与重金属特性选择合适方法,常用微波消解法、电热板消解法等,同时设置空白样品、平行样品与加标样品,用于验证前处理效果^[2]。前处理所用试剂均为优级纯,容器经硝酸浸泡、蒸馏水冲洗、烘干后使用,杜绝试剂与容器带来的污染。消解过程严格控制温度、时间、试剂用量等参数,确保样品完全消解,同时避免过度消解导致重金属损失。前处理完成后,及时对样品进行分析测试,若需存放需密封低温保存,防止组分变化,全程做好操作记录,保障过程可追溯。

2.3 分析测试环节质量控制技术

分析测试环节是精准测定土壤重金属含量的核心,需依托精密仪器与规范操作实现质量控制。测试前对仪器进行全面校准与调试,包括原子吸收分光光度计、电感耦合等离子体质谱仪等,校准后进行空白试验,空白值需符合技术标准,若超出范围需排查试剂、仪器等问题。测试过程中严格按照标准方法操作,控制测试环境温度、湿度、气压等参数,避免环境因素影响测试结果。每批样品需插入平行样、加标样,平行样相对标准偏差需 $\leq 10\%$,加标回收率需在80%~120%之间,确保测试精度与准确度。若平行样、加标样结果异常,需重新测试并排查原因,同时对仪器进行再次校准。测试完成后及时记录数据,包括仪器参数、测试结果、异常情况等,确保数据可追溯,同时对测试数据进行初步审核,剔除无效数据。

2.4 数据处理与评价环节质量控制技术

数据处理与评价环节需通过科学方法整理数据、规避偏差,确保评价结果客观准确。数据处理前先对原始数据进行审核,剔除过失误差数据,对异常数据采用格拉布斯法、狄克逊法等进行检验,确认是否保留或修正。对有效数据进行统计分析,包括平均值、标准差、相对标准偏差等计算,同时对平行样数据、加标回收数据进行汇总,验证数据可靠性。数据修约需遵循“四舍六入五考虑”原则,保留与方法检出限匹配的有效数字,避免人为修约导致偏差。数据评价环节需结合国家土壤环境质量标准,根据监测区域用途(农田、居住用地、工业用地等)选择对应评价标准,采用单因子指数法、内梅罗综合指数法等进行污染评价。评价过程中需核对数据来源、测试方法、评价标准的一致性,若存在差异需说明原因,同时结合采样点位信息、区域污染背景,避免单纯依据数据下结论,确保评价结果贴合实际,为污染防治决策提供科学依据。

3 土壤重金属监测质量保证技术体系

3.1 内部质量保证措施

内部质量保证措施是监测机构自主构建的质量管控体系,贯穿监测全流程,核心是通过制度建设、人员管理、流程审核实现自我约束与优化。制度层面需制定完善的质量管理手册、作业指导书,明确各环节操作规范、质量要求、责任分工,确保监测工作有章可循。人员管理方面,定期开展专业培训,涵盖采样、前处理、分析测试、数据处理等内容,培训后进行考核,考核合格后方可上岗,同时建立人员技术档案,记录培训、考核、工作业绩等信息,提升人员专业素养。流程审核采用三级审核制度,一级审核由操作人员自查,核对原始记录、测试结果的完整性与准确性;二级审核由部门负责人复核,排查流程合规性、数据合理性;三级审核由质量负责人终审,出具质量审核报告,对发现的问题提出整改措施并跟踪落实。

3.2 外部质量保证措施

外部质量保证措施是依托第三方机构或行业主管部门的监督核查,验证监测机构数据质量与体系有效性,弥补内部管控的局限性。核心方式包括实验室能力验证、外部比对试验、监督抽查等。能力验证由权威机构发放盲样,监测机构按标准方法测试并提交结果,权威机构对结果进行统计分析,评价机构测试能力;外部比对试验可由多家监测机构对同一批样品进行测试,比对结果差异,排查系统误差与操作偏差,提升行业整体监测水平^[3]。行业主管部门定期开展监督抽查,随机抽取监测样品、原始记录、质量报告等,核查监测流程合规性、数据真实性,对违规行为进行通报整改。同时建立实验室认可制度,通过权威机构对监测机构的人员、仪器、方法、体系等进行全面评估,认可合格后方可开展监测工作。外部质量保证措施形成倒逼机制,推动监测机构规范操作,确保监测数据的公信力。

3.3 质量保证与风险评估结合

将质量保证与风险评估相结合,是土壤重金属监测质量管控的进阶方向,核心是通过风险识别、评估与防控,提前规避监测全流程的质量隐患,提升体系的前瞻性与针对性。风险识别需覆盖各环节,包括采样布点不合理、样品污染、仪器故障、人员操作失误等潜在风险,建立风险清单。风险评估采用定性定量相结合的方法,分析各类风险发生的概率、影响程度,划分风险等级,明确高风险环节的管控重点。针对高风险环节制定防控措施,如采样环节增加点位核查、样品运输采用全程冷链、仪器定期维护校准、人员强化实操培训等,提前规

避风险。同时建立风险预警机制,对监测过程中的异常情况实时监测,及时发出预警并采取应急处置措施,降低风险影响。

4 未来方向

4.1 智能化采样设备与便携式检测仪器的研发

智能化与便携化是土壤重金属监测设备的核心发展方向,旨在突破传统设备操作繁琐、效率低下、依赖实验室的局限,实现现场快速、精准监测。智能化采样设备研发需融合GPS定位、自动化控制、物联网技术,实现采样点位精准定位、自动分层采样、样品重量与信息自动记录,减少人为操作误差,同时可实时传输采样数据至后台系统,实现采样过程可视化、可追溯。针对复杂地形(矿区、山地),研发小型化、机动性强的智能采样设备,提升采样适应性。便携式检测仪器需聚焦快速检测技术优化,如拉曼光谱法、荧光光谱法等,简化前处理流程,实现样品现场快速消解与检测,检测时间缩短至几分钟至几小时,同时提升仪器精度与稳定性,确保检测结果与实验室标准方法一致性。推动设备小型化、轻量化、低功耗设计,搭配电池供电与无线传输功能,满足野外现场监测需求,为应急污染监测、大范围普查提供高效工具。

4.2 大数据与AI在QC/QA中的应用

大数据与人工智能(AI)技术为土壤重金属监测QC/QA体系赋能,推动质量管控向智能化、精准化升级。大数据技术可整合监测全流程数据,包括采样信息、前处理参数、仪器数据、环境条件、评价结果等,构建海量数据库,通过数据挖掘分析各环节误差来源、变化规律,识别质量管控薄弱点,为流程优化提供数据支撑。AI技术可应用于误差预测与校正,通过机器学习算法构建误差预测模型,基于历史数据预测监测过程中可能出现的误差,提前采取防控措施;同时可实现数据自动审核,智能识别异常数据、无效数据,替代人工审核,提升审核效率与准确性。AI可结合物联网技术实现仪器设备智能运维,实时监测仪器运行状态,预测故障风险,自动提醒维护校准;通过图像识别技术辅助样品制备与前处理,规范操作流

程。二者结合可构建“数据采集-分析-预警-优化”的智能QC/QA体系,大幅提升质量管控效率与科学性。

4.3 全球统一化土壤监测QC/QA标准的制定

随着土壤污染问题全球化,制定全球统一化的土壤重金属监测QC/QA标准,是实现跨区域、跨国界监测数据可比、成果互认的重要前提,也是全球土壤污染协同治理的基础^[4]。当前不同国家、地区的监测标准存在差异,包括采样方法、前处理技术、质量指标、评价体系等,导致监测数据无法有效对接。未来需依托国际组织牵头,整合各国现有标准与技术经验,结合不同区域土壤特性、污染类型,制定统一的术语定义、操作规范、质量指标、验证方法等,明确监测全流程的质量要求。同时建立标准动态优化机制,结合技术发展与污染治理需求,定期更新标准内容。推动各国参与标准制定与实施,开展国际合作与技术交流,促进标准在全球范围内推广应用。统一化标准可减少跨国监测的技术壁垒,实现全球土壤重金属污染状况的精准研判与协同防控,为全球生态环境治理提供统一的数据支撑与技术保障。

结束语

土壤重金属监测质量控制与质量保证技术对于精准掌握土壤污染状况、科学开展治理工作意义重大。本文从理论到实践,全面探讨了相关技术体系与未来发展方向。未来,随着智能化设备、大数据与AI技术的不断发展,以及全球统一标准的逐步制定,土壤重金属监测将更加精准、高效、科学,为全球土壤生态环境保护 and 可持续发展提供更有力的保障。

参考文献

- [1]张娟,叶翠,张潇天.论土壤中重金属污染监测的现状 & 发展[J].科技视界,2020(21):152-153.
- [2]陈伟峰.关于土壤重金属监测过程分析及其质量控制探讨[J].皮革制作与环保科技,2022,(18):71-73.
- [3]张崇君.土壤环境重金属监测质量控制探讨[J].皮革制作与环保科技,2021,(13):33-34+38.
- [4]李扬璇.土壤重金属监测过程与质量控制分析[J].皮革制作与环保科技,2022(22):164-165+174.