

土壤与地下水监测数据在环境保护中的应用

马和益

黔西南生态环境监测中心

DOI:10.12238/eep.v8i4.2653

[摘要] 土壤与地下水是生态环境的关键,其监测数据是环境保护工作的重要依据。本文基于环境监测领域,分析土壤与地下水监测数据在环境保护中的多元应用。通过多源数据融合分析技术、时空变异特征挖掘方法等,表明数据在环境质量评估、污染溯源与预警、污染防治及生态修复决策中的核心价值。结合先进监测技术与模型构建,阐述数据如何为环境保护、污染防控提供科学支撑。

[关键词] 土壤监测; 地下水监测; 环境保护

中图分类号: Q938.1+3 **文献标识码:** A

Application of Soil and Groundwater Monitoring Data in Environmental Protection

Heyi Ma

Qianxinan Ecological Environment Monitoring Center

[Abstract] Soil and groundwater are crucial components of the ecological environment, and their monitoring data serve as an important basis for environmental protection work. Based on the field of environmental monitoring, this paper analyzes the multiple applications of soil and groundwater monitoring data in environmental protection. Through multi-source data fusion analysis technology, spatial-temporal variation characteristic mining methods, etc., it demonstrates the core value of such data in environmental quality assessment, pollution source tracing and early warning, pollution prevention and control, as well as ecological restoration decision-making. Combined with advanced monitoring technologies and model construction, this paper expounds how the data can provide scientific support for environmental protection and pollution prevention and control.

[Key words] soil monitoring; groundwater monitoring; environmental protection

引言

土壤及地下水是陆地生态系统中重要的构成部分,其环境质量情况,对生态的平衡状态及人类的健康会产生直接影响。随着工业化、城镇化的发展进程的加快,土壤和地下水所面临的污染问题愈发突出。环境监测被视为环境保护的关键,其收集到的土壤与地下水监测数据中,包含着大量的环境相关信息。基于先进的技术办法,对这些数据展开分析,可精确知晓环境目前的状况,提前判断污染发展的趋向,从而为环境保护相关决策提供参考。

1 监测数据在环境保护的环境质量精准评估中应用

1.1 多源数据融合分析技术

1.1.1 数据采集与预处理策略

土壤与地下水监测的数据来源多样,包括实地采样实验室分析数据、在线传感器实时监测数据、卫星遥感反演数据以及地理信息数据等。实地采样数据,具备高精度的特性,可针对土壤与地下水中各类污染物的浓度以及理化性质展开分析,但其空间覆盖范围存在局限性。在线传感器可实时获取数据,例如下

水水位、水温、电导率等,可捕捉环境动态改变情况,然而数据的准确性可能受到传感器自身性能以及外部环境干扰的影响。卫星遥感数据可提供大面积的宏观监测信息,例如植被覆盖状况、土壤湿度等与土壤和地下水环境有所关联的间接数据。

为实现多源数据的融合,应实施严格的数据预处理。基于数据清洗算法,将错误数值、异常数值以及重复的数据予以剔除。运用数据标准化的方式,将不同数据源的数据格式以及量纲进行统一,例如将不同传感器收集的土壤水分数据归一化至0-1区间,保证数据在同一尺度下进行融合分析操作。

1.1.2 融合算法与模型应用

在多源数据融合的过程中,主成分分析(PCA)可有效降低数据维度,提取关键信息。以某区域土壤监测数据为例,将土壤酸碱度、有机质含量以及多种重金属的含量等变量数据输入到PCA模型中,借助计算特征值及特征向量,选出贡献率较高的主成分。这些主成分可综合体现出土壤质量的关键特性,便于后续分析。聚类分析则按照数据的相似程度,对土壤以及地下水的监测

点开展分类。例如在分析某流域地下水化学特性时,使用K-均值聚类算法,依照地下水离子的组成情况,将监测点划分成不同类别,每类代表具有相似水质特性的区域,有助于发现不同水质区域的分布规律,以及潜藏的污染源。

贝叶斯融合模型可结合来自不同数据源的带有不确定性的信息,从而获取更为精准的融合成果。例如在整合土壤污染物实验室的分析数据与遥感反演数据时,需考虑到遥感反演存在的误差,因此利用贝叶斯公式对不同数据源的概率分布进行更新,可得到更为可靠的评估结果,为环境质量分级提供科学依据。

1.2 时空变异特征挖掘

1.2.1 基于GIS的空间分析

地理信息系统(GIS)的空间分析功能可为挖掘土壤与地下水监测数据的空间变异特征提供支持。采用GIS的空间插值功能,基于已知监测点所获取的土壤污染物浓度数据,对尚未开展监测的区域进行估算,进一步生成具备连续性特点的土壤污染空间分布地图。在针对某矿区周边土壤重金属污染状况展开研究的过程中,通过运用IDW插值来绘制土壤里铅、汞等重金属的浓度分布地图,可直观展现污染程度较高区域以及较低区域在空间方面的分布情形,并清晰显示出污染从矿区向周边地区扩散的态势,进而为合理划定污染防控的具体范围提供参考。

GIS还可进行叠置分析,将土壤类型相关地图、土地利用类型相关地图与土壤污染分布地图相叠加,进而对不同的土壤类型以及土地利用模式下,土壤污染程度所呈现出的差异展开分析。经研究发现,在工业用地的附近区域,其土壤质地为砂质土的地区,土壤重金属污染的问题表现更为严重。

1.2.2 时间序列分析与预测

时间序列分析可展现出土壤以及地下水的的历史质量随着时间推移而产生的变化规律。基于自回归移动平均模型 (ARIMA) 来分析历经多年的地下水水位监测数据,可精确预估未来时期内地下水水位的变动走向。以某个干旱地区为例,运用ARIMA模型展开分析后发现,随着农业灌溉用水量的增多,地下水水位出现逐年下降的态势,预估在未来的几年里会下降到警戒水位以下。该情况为水资源管理部门预先设定节水和补水的措施发出了预警信号。

针对土壤污染物浓度的时间序列数据,可运用季节性分解方法,将数据拆解成趋势项、季节项以及随机项。例如对某农业区域土壤中农药残留浓度的变化进行分析时,察觉到趋势项呈现出逐年降低的状况,该情形与当地推行的减少高毒农药使用的政策有关;而季节项则表明,在农作物进行种植和收获的季节,农药残留浓度存在明显的起伏波动,进而可为合理规划农药使用的时间以及监测的频率提供参考。

2 监测数据在环境保护的污染源与预警体系构建中应用

2.1 污染指纹识别技术

2.1.1 化学组成与同位素分析应用

在分析有机污染物的来源时,气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS)

可精准测量污染物的化学构造以及组成部分。例如某石油遭受污染的场地,借助GC-MS对土壤和地下水中石油烃类污染物的碳链长度分布状况、同分异构体所占比例等特性展开分析,与已知石油产品的化学指纹数据库进行对比,进而确定污染是源于特定种类的原油发生泄漏。

稳定同位素分析技术在污染溯源中也发挥重要作用。以氮同位素分析为例,不同来源的含氮污染物都具备不同的氮同位素比值。通过对土壤与地下水中硝酸盐的氮同位素构成情况加以分析,并结合当地污染源的同位素特性相关数据,可判断硝酸盐污染主要是来自于农业化肥的施用,还是生活污水的排放。

2.1.2 污染源解析模型构建

构建污染源解析模型可精确分析复杂环境当中的多污染源,例如正定矩阵因子分解模型 (PMF) 受体模型,通过对土壤以及地下水监测数据里污染物的浓度展开因子分解,可分辨出不同污染源类别,并可定量算出每个污染源对污染总量所占据的比例。在针对某城市周边土壤多环芳烃 (PAHs) 污染开展的研究过程中,借助PMF模型对土壤里16种优先控制的PAHs浓度数据进行分析,识别出交通源、燃煤源、生物质燃烧源等主要污染源,并且明确交通源对PAHs污染最大。

地理信息数据与污染源解析模型相融合,可直观地展现出污染源的空间分布以及污染状况。将PMF模型计算得出的结果与GIS技术相结合,绘制出不同污染源针对土壤与地下水污染贡献的空间分布图,可呈现出各个污染源在相应区域的影响范围与程度,从而协助管理者快速定位重点污染区域以及关键污染源,提升污染治理的效率。

2.2 智能预警模型构建

2.2.1 大数据驱动下的模型训练

基于大数据技术,搭建土壤与地下水污染智能预警模型,需采集大量来源多样的数据。除土壤与地下水相关的监测数据外,还需包含气象数据、地形地貌数据、土地利用数据以及周边污染源信息等。通过这些数据,为模型的训练提供信息,对土壤与地下水污染的变化态势作出预测。

运用机器学习算法,例如随机森林算法,对收集到的数据展开训练。以预测某化工园区周边地下水污染为例,将园区内企业多年的生产排放数据、周边地下水水质的监测数据、气象数据等当作输入的变量,将地下水污染物浓度有没有超出警戒值作为输出变量,进而对随机森林模型进行训练。经由大量数据的学习过程,模型可捕捉输入变量与地下水污染间的关系。若有新监测数据输入时,模型可迅速预测出地下水的污染状态,进而为及时施行防控手段提供依据。

2.2.2 实时监测与预警系统运行

构建针对土壤与地下水的实时监测与预警体系,实现对污染状况的动态追踪及快速预警。基于物联网技术,在土壤与地下水的监测位点布置大量传感器,实时收集土壤的湿度、酸碱度、污染物浓度等各类数据,并运用无线传输技术,实时将数据上传到数据中心。

在预警系统中,设定多个不同层次的污染预警界限值。若实时监测所获得的数据触及相应界限值,系统将自动采用短信、邮件等形式,向相关部门和人员发送预警消息。例如某个水源地保护区,规定地下水中重金属铅的预警界限值设定为 0.01mg/L 。若监测数据表明铅的浓度达 0.008mg/L ,系统将发出黄色预警,提醒相关部门要加强关注;而当铅浓度超出 0.01mg/L ,则发出红色预警,随即启动相应的应急处置方案,进而保障饮用水的安全,降低污染出现的风险。

3 监测技术在环境保护的污染防治与生态修复决策支持中应用

3.1 污染防控方案优化

3.1.1 数值模拟技术应用

数值模拟技术在污染防控方案优化中起着关键作用。通过构建地下水流与溶质运移相结合模型,例如MODFLOW-MT3DMS模型,对各种不同污染防控办法下,污染物在土壤以及地下水中的扩散情形进行模拟。在某石油污染场地的治理中,运用该模型来模拟不同抽水-回灌方案给污染物去除成效所造成的影响。设定多个抽水-回灌井布局方案,模拟石油污染物在地下水中的移动路线及浓度变化。模拟结果显示,若将抽水-回灌井设置在污染羽状体的上游以及下游的关键地方,且对合适的抽水和回灌流量加以把控,可有效阻拦并清除地下水中的石油污染物。

将数值模拟的结果与地理信息数据相结合,以可视化的方式进行呈现。在GIS平台中,将模拟获取到的不同时间、不同地点的污染物浓度分布,以三维立体图形或者动态变化图形的方式展现,将污染扩散的趋向以及防控措施的效果直观地呈现出来,从而做出更为科学的污染防控决策。

3.1.2 优化算法与成本效益分析

运用优化算法对污染防控方案进行优化。以遗传算法为例,将抽水-回灌方案里的井位坐标、抽水流量、回灌流量等参数当作遗传算法的决策变量,以污染物去除率最大、治理成本最小为目标函数,通过模拟污染物运移的过程,评估不同参数组合情况下方案所产生的效果,经过多代的遗传进化过程,从而找寻到最理想的污染防控方案参数组合。

在整个优化进程当中,需开展成本效益分析。全面考量工程建设成本、运行成本以及环境效益等方面,计算不同方案各自的成本效益比。例如,对两种不同土壤污染修复方案进行比较,一种采用原位化学氧化修复技术,一种采用生物修复技术。借助成本效益分析可发现,生物修复技术前期投入资金相对较少,但其修复周期比较长,整体的成本效益比在与合理控制药剂使用量情况下的原位化学氧化修复技术相比时要更低。

3.2 生态修复效果评估

3.2.1 多指标综合评估方法

在土壤生态修复效果评估中,除关注土壤中污染物浓度下降的情况,还应对土壤微生物群落结构的变动情况进行分析。借由高通量测序技术,测定土壤中微生物的种类及数量,进而计算出微生物多样性指数。以某重金属污染土壤生态修复项目为例,

修复后土壤中的重金属含量显著降低,微生物多样性指数从修复前的1.5提升至2.3,表明土壤的生态功能获得切实有效的恢复。

结合土壤酶活性指标,例如脲酶、过氧化氢酶的活性,对土壤生态修复效果展开评估。土壤酶参与土壤中物质转化与能量代谢过程,其活性高低反映土壤生物化学活性。在上述土壤修复项目中,修复后土壤脲酶活性由 $0.5\text{mgNH}_4^+-\text{N/g}\cdot\text{h}$ 提升至 $0.8\text{mgNH}_4^+-\text{N/g}\cdot\text{h}$,过氧化氢酶活性从 $2.0\text{mL0.1mol/LKMnO}_4/\text{g}\cdot 20\text{min}$ 增长至 $2.5\text{mL0.1mol/LKMnO}_4/\text{g}\cdot 20\text{min}$,表明土壤养分转化能力和氧化还原能力都有所增强,土壤生态功能不断优化。

3.2.2 长期监测与动态评估

构建长效监测体系,定期采集土壤与地下水的样本,对污染物的浓度、生态方面的指标等变动予以监测。在某个湿地生态修复项目中,接连5年针对湿地的土壤与地下水实施监测,分析水质里溶解氧、化学需氧量、氨氮等指标,及土壤中有机质的含量、植被的覆盖程度等生态指标的变化。

采用数据可视化技术,绘制在修复进程中各类指标随着时间推移的变化曲线,以直观的方式呈现生态修复成效伴随时间所产生的动态改变。例如借助时间变化曲线可发现,湿地地下水中的化学需氧量在修复前期呈现快速降低的态势,之后便趋于平稳,这显示出前期所采取的修复举措,在降低有机物污染方面成效极为显著,而后期则需要进一步对修复措施进行优化,以此来维系水质的稳定状态。基于动态评估结果,及时对生态修复的策略作出调整,进而确保生态的修复。

4 结语

土壤和地下水监测数据是环境保护的关键。基于多源数据融合分析、时空变异特征挖掘等技术手段,在环境质量评估、污染源头追溯与预警、污染治理及生态修复的决策制定中发挥着重要作用,为环境保护工作提供科学支撑。在未来发展中,随着监测技术的创新性发展以及数据处理能力的提高,其将为环境保护工作带来更多支持,打造和谐共处的生态环境。

[参考文献]

- [1]沈芳,常春英,吴俭,等.土壤污染重点监管单位环境管理制度优化研究[J].环境科学与管理,2025,50(05):5-10.
- [2]王森森,黄明祥,吴香源,等.基于生态环境大模型的土壤-地下水污染监测监管与风险预警体系建设初探[J/OL].环境工程学报,1-15[2025-07-07].
- [3]詹明晔,孙言秋,周涛,等.填埋场周边土壤重金属时空分布及污染评价[J].西南大学学报(自然科学版),2025,47(04):11.
- [4]吴玲.地表水与地下水交互作用下简易垃圾填埋场地下水污染特征及监测方法[D].吉林大学,2022.
- [5]陈神剑.基于Monte Carlo模拟的土壤重金属生态风险评价与健康风险评价研究[D].合肥工业大学,2020.

作者简介:

马和益(1999--),男,水族,云南曲靖人,本科,初级,研究方向:环保监测。