

# 区域污染场地污染风险空间分异特征及生态环境影响评估

文川勇 刘萍\* 邹家素

重庆市生态环境监测中心

DOI:10.32629/eep.v8i10.2905

**[摘要]** 区域污染场地的污染风险空间分异特征及生态环境影响评估是当前环境科学领域的研究热点。本文通过分析区域污染场地的污染物来源、迁移转化规律及受体敏感性差异,系统探讨了污染风险的空间分异机制,包括工业类型、地形地貌、水文条件等关键驱动因素。研究结合实地采样、模型模拟与GIS空间分析技术,揭示了不同区域污染风险的等级分布特征,并从生态系统结构破坏、生物多样性降低、土壤-地下水系统功能退化等方面评估了其生态环境影响。结果表明,污染风险高值区主要集中于工业密集区及历史污染场地,且呈现沿水系扩散的空间关联性;生态敏感区(如水源涵养区、自然保护区)的潜在风险需重点关注。最后,本文提出基于风险分异特征的差异化管控策略,为区域污染场地的精准治理与生态修复提供科学依据。

**[关键词]** 污染场地; 风险分异; 空间特征; 生态影响; 评估方法

中图分类号: X131 文献标识码: A

## Spatial differentiation characteristics of pollution risks in regional contaminated sites and assessment of ecological environment impacts

Chuanyong Wen Ping Liu\* Jiasu Zou

Chongqing Municipal Environmental Monitoring Center

**[Abstract]** The spatial differentiation characteristics of pollution risks in regional contaminated sites and the assessment of their ecological and environmental impacts are current research hotspots in environmental science. This paper systematically explores the spatial differentiation mechanism of pollution risks by analyzing the sources of pollutants, the laws of migration and transformation, and the differences in receptor sensitivity in regional contaminated sites. The study combines field sampling, model simulation, and GIS spatial analysis techniques to reveal the distribution characteristics of pollution risk levels in different regions and assess their ecological and environmental impacts from aspects such as the destruction of ecosystem structure, the reduction of biodiversity, and the degradation of soil and groundwater system functions. The results show that high-risk areas are mainly concentrated in industrial-intensive areas and historical contaminated sites, and show spatial correlation along water systems; potential risks in ecologically sensitive areas (such as water conservation areas and nature reserves) need to be given special attention. Finally, this paper proposes differentiated control strategies based on the characteristics of risk differentiation, providing a scientific basis for the precise governance and ecological restoration of regional contaminated sites.

**[Key words]** Contaminated sites; Risk differentiation; Spatial characteristics; Ecological impact; Assessment methods

### 引言

随着工业化和城市化进程的持续推进与加速,区域尺度内的污染场地问题正日益凸显,这一现象对生态环境的整体安全以及人类的身体健康构成了严重的威胁。值得注意的是,污染场地所带来的环境风险并非呈现均匀或随机分布的状态,其空间分异特征往往受到多种自然条件要素(如土壤类型、水文地质、

气候特点等)与人类活动因素(包括历史工业布局、废弃物排放、土地利用方式等)的共同作用与复杂影响。科学识别并明确这种空间分异的具体规律,是后续制定差异化、精细化管控策略的重要基础与根本前提。在此背景下,系统开展区域污染场地污染风险的空间分异特征识别及其对生态环境影响的综合评估研究,不仅有助于深化对污染形成机制与迁移规律的认识,对推进“精

准治污、科学治污”的实践具有重大的理论指导意义和现实应用价值。

### 1 污染风险空间分异的驱动机制

(1) 污染源类型与分布: 污染源的类型及其空间分布是构成区域环境风险格局的关键因素。当前, 区域内的主要污染来源包括工业污染源、农业面源污染以及历史遗留污染场地三大类别。工业污染源涉及多个高排放行业, 如化工、冶金、电镀加工等, 这些企业通常集中分布于工业园区或城市近郊, 排放大量有害物质, 对周边土壤、水体及大气造成持续性压力。农业面源污染则主要源于种植业中化肥、农药的过度使用, 以及畜禽养殖产生的废弃物, 通过地表径流和渗漏进入环境, 其影响范围较广且具有扩散性。此外, 历史上形成的工业废弃地、矿区及垃圾填埋场等遗留污染场地, 因治理滞后或责任主体缺失, 不断释放积存污染物, 加剧了区域性复合污染问题。值得注意的是, 不同工业部门由于其原料、工艺及产污环节的差异, 所排放的特征污染物也具有显著区别。例如, 化工行业常排放挥发性有机物(VOCs)和持久性有机污染物, 冶金电镀类企业则更多涉及重金属(如铅、铬、镉等)的排放。这种行业特性使得污染物的空间分布呈现明显的聚集特征, 即某些区域因同类企业集中而形成污染风险热点区, 例如电镀企业聚集区可能出现重金属富集, 化工园区周边则VOCs浓度偏高。这种行业聚集进一步导致环境污染在空间上呈现异质性, 加大了区域环境风险管理的复杂性与难度。

(2) 自然地理因素: 地形地貌条件对污染物的迁移路径与扩散方式具有显著影响, 具体而言, 地势平坦的平原区域由于缺乏明显的地形阻隔, 污染物容易在水平方向上发生广泛扩散, 并受风力等气象条件的作用进一步扩大影响范围; 而在山地丘陵区, 复杂的地形起伏和较大的地表坡度往往会阻碍污染物的自由迁移, 导致其在局部区域产生堆积现象, 尤其在山谷或背风坡等特殊地貌部位更易形成污染富集。另一方面, 水文条件, 包括地下水的流动方向、流速以及地表水系的分布格局, 也在很大程度上决定了污染物的扩散范围与迁移路径; 特别是对于水溶性污染物而言, 其随水迁移的特性使得水文因素成为控制其空间分异和分布规律的关键要素, 例如地下水埋藏较浅或河网密集的区域, 污染物更易通过水体介质实现远距离转移, 从而对更大范围的生态环境构成潜在威胁。

(3) 生态系统受体的敏感性存在显著差异, 主要体现在两个方面: 一是生态系统类型对污染物的响应阈值具有较大差别, 例如森林、湿地和农田等不同生态系统的结构和功能差异导致其承受污染的能力各异。湿地生态系统由于具有较高的生物量和活跃的物质循环过程, 对重金属等污染物的敏感度尤为突出, 其环境缓冲能力相对较弱, 污染物易在系统中积累并造成长期影响; 二是人类活动强度的差异进一步加剧了生态风险的空间分布不均, 例如人口密度高、土地利用类型以城市建成区为主的区域, 由于工业排放、交通污染及废弃物处理压力较大, 导致污染物暴露风险显著高于以农业或自然景观为主的农村地区, 这种差异反映了人类社会经济活动对生态环境的干扰程度及其带

来的潜在威胁。

### 2 污染风险空间分异特征研究方法

(1) 数据采集与监测: 通过系统布点采样, 获取土壤、地下水、大气中的污染物浓度数据, 结合遥感技术反演区域植被覆盖度、土地利用等辅助信息, 构建多源数据库。系统采用科学规范的采样方法, 覆盖污染源周边及敏感区域, 定期采集环境样品并开展实验室分析, 确保数据准确可靠。同时, 借助高分辨率遥感影像和地理信息系统技术, 对区域内的植被覆盖状况、土地利用类型及其动态变化进行精确识别与定量评估。所有采集的监测数据与遥感反演结果经过严格的质量控制与标准化处理, 最终整合进入统一的多源环境数据库, 为后续的环境质量评价与污染治理提供全面的数据支撑。

(2) 空间分析技术: 在环境风险评估过程中, 空间分析技术发挥着关键作用。首先, 借助地理信息系统(GIS)平台, 利用空间插值方法(如克里金插值、反距离加权法等)对离散的污染物浓度监测数据进行空间化处理, 生成连续的污染物浓度空间分布图, 直观展示污染物在区域内的扩散趋势与浓度梯度变化。基于该分布图, 能够有效识别污染物浓度显著偏高的高风险聚集区域。其次, 通过引入热点分析技术(例如Getis-Ord  $G_i^*$ 统计方法), 进一步量化污染风险在空间上的关联性与聚集程度, 识别具有统计显著性的高值簇与低值簇, 从而揭示出“热点区”(即高风险集中区)与“冷点区”(即低风险区)的空间分布格局与结构特征, 为环境治理决策提供精准的空间依据。

(3) 风险评估模型: 该模型严格遵循“污染源-暴露途径-受体”这一系统化框架进行构建。在具体评估方法上, 可选择层次分析法(AHP)或模糊综合评价法, 依据不同场景需求进行灵活应用。通过整合污染物的毒性系数与人群暴露参数, 模型能够科学计算出综合风险值, 并依据预设标准将风险划分为低、中、高三个等级。最终, 利用地理信息系统(GIS)技术, 实现风险等级的空间可视化表达, 为环境管理提供直观、精准的决策支持。

### 3 生态环境影响评估

(1) 对土壤-地下水系统的深远影响: 重金属在土壤中的持续累积会显著降低土壤的酸碱缓冲能力, 导致土壤酸化问题日益严重, 进而削弱土壤的天然肥力, 影响农作物生长; 同时, 重金属还会破坏土壤的团粒结构, 降低其通气性和保水性, 加剧土壤退化。另一方面, 地下水系统中的污染物, 尤其是重金属离子, 容易随水分下渗并通过土壤孔隙迁移, 污染深层含水层, 这不仅直接威胁到饮用水源的生态安全, 还可能对人体健康构成长期隐患。此外, 地下水污染具有隐蔽性强、扩散范围广、修复技术复杂等特点, 导致治理成本高昂、耗时漫长, 进一步增加了生态环境恢复的难度。

(2) 对生物多样性的影响: 污染物通过食物链逐级富集, 不断累积在生物体内, 对动植物的生理机能造成严重干扰, 导致其生长迟缓、代谢异常、繁殖能力显著下降, 长期作用下可能引发区域性的物种数量锐减甚至灭绝。以重金属污染为例, 镉、铅等有害元素不仅直接毒害高等动植物, 还会显著抑制土壤中微生

物的群落活性,削弱关键土壤酶的催化功能,进而破坏生态系统中养分循环、能量流动等核心过程,最终造成生态系统稳定性下降与生物多样性丧失。

(3)对生态系统服务功能的影响:环境污染对生态系统的各项服务功能产生了显著的负面影响,导致调节功能(如气候调节、水土保持、水源涵养等)、供给功能(如农产品生产、水资源供应)以及支持功能(如生物栖息地维持、养分循环)出现明显退化。这些功能的减弱不仅降低了生态系统的整体稳定性,还削弱了其自我修复与持续发展的能力,进而对区域生态系统的长期健康与可持续性构成了严重威胁。

#### 4 结论、策略建议与展望

(1)主要结论:区域污染场地的污染风险在空间分布上呈现出显著的分异特征,具体表现为不同区域之间的污染程度、污染类型和潜在生态危害存在明显差异。这些空间分异特征的核心驱动因素主要包括工业污染源的分布格局、区域水文地质条件的变化以及生态环境受体的敏感性差异。工业污染源的集中分布直接导致了污染物的高浓度聚集,水文条件如地下水流向和渗透性影响了污染物的迁移与扩散,而受体敏感性则决定了生态系统可能受到的危害程度。值得注意的是,高风险区域与生态敏感区(如水源保护区、生物多样性热点区等)在空间上存在较高的重叠性,这种重叠进一步凸显了环境风险的严峻性和管控的紧迫性。因此,有必要优先对这些重叠区域开展系统性的管控与修复工作,以最大限度降低污染对生态环境和公共健康的潜在威胁。

(2)管控策略建议:采取分区分类管控措施,依据污染程度与空间分布特征将区域划分为高、中、低风险等级。针对高风险区域,实施严格的污染源管控措施,包括对重点污染企业进行限产或停产,强化污染物排放标准,同时开展系统性的场地修复工程,确保污染得到有效遏制。对中低风险区域,主要采取风险预警与长期监测手段,建立常态化监测网络,实时掌握环境质量变化趋势,为风险防控提供数据支撑。在生态修复方面,需结合不同区域的风险分异特征,科学选择修复技术路径,对于适宜区域推行原位修复技术,例如采用生物修复手段利用微生物或植物降解污染物,或应用化学固定方法降低污染物迁移性;对于污染严重或修复难度较大的区域,可考虑采用异位修复技术,将污

染土壤或水体转移至专用设施进行处理。修复过程中应优先保护生态敏感区域,如水源区、自然保护区和生物多样性热点区,确保生态系统功能不受到进一步损害。政策保障方面,建议建立区域污染风险动态评估与更新机制,定期开展环境风险评估,及时调整管控策略;同时完善“污染者付费”制度,明确责任主体,加大对违法排污行为的处罚力度;此外,还需推动多部门协同治理机制,加强环保、工业、国土、水利等部门的联动与合作,形成信息共享与执法合力,全面提升区域环境污染防治水平。

(3)研究展望:未来需要进一步加强多尺度(从微观到区域层面)的风险耦合机制研究,深入分析不同尺度下风险要素之间的交互作用与影响路径。在此过程中,应充分利用机器学习等先进模型方法,有效整合多源数据,提升对复杂环境风险的系统模拟与预测精度。同时,需重点关注气候变化背景下污染风险的时空动态演变规律,系统识别其在不同区域和不同时期的分布特征及变化趋势。研究成果将为区域生态环境风险的早期预警、综合治理以及长效防控提供更为全面和坚实的科学依据,助力实现生态环境安全的可持续发展目标。

#### 【参考文献】

[1]环境保护部.污染场地风险评估技术导则(HJ 25.3-2014)[S].北京:中国环境科学出版社,2014.

[2]Zhang L, et al. Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical industrial city, China[J]. Environmental Pollution, 2020, 267: 115562.

[3]王焰新.区域地下水污染风险评估理论与方法进展[J].地球科学进展, 2018, 33(5): 465-476.

[4]陈征,王夏娇.我国场地土壤污染风险管控与修复技术应用差异性分析[J].中国资源综合利用, 2025, 43(01): 113-116.

[5]卢立芬.场地土壤-地下水污染风险管控区级划定与数据库构建[D].辽宁工程技术大学, 2023.

#### 作者简介:

文川勇(1993--),男,四川渠县人,工程师,主要从事土壤、地下水环境监测与污染防控技术研究。

#### \*通讯作者:

刘萍(1978--),女,汉族,江苏苏州人,正高级工程师,研究方向:土壤和地下水环境科学与治理研究。