

基于生态环境保护需求的污水处理与土壤污染综合防控策略

安 衡

南京第一建设事务所有限责任公司西藏分公司 西藏 林芝 860000

摘 要：本文聚焦区域水土耦合污染生态问题，系统剖析城乡污水处理短板、水土污染特征及双向耦合污染机理，明确污染物跨介质迁移转化的生态危害。结合生态保护需求，构建分场景污水处理优化、污泥资源化处置及全过程风险管控技术体系，搭建土壤源头防控、差异化修复、水土协同治理模式，配套完善制度、技术、人才保障举措，为区域水土生态修复与环境提质提供科学支撑。

关键词：生态环境保护需求；污水处理；土壤污染；综合防控策略

引言：水土生态是区域生态环境的核心基底，当前城镇化与工业化发展引发的污水无序排放、土壤复合污染问题凸显。水土污染相互渗透、协同恶化，形成隐蔽性、长期性的生态危害，严重威胁饮用水安全、耕地质量与生态系统完整性。为破解水土治理碎片化难题，契合生态环境保护高质量发展需求，本文立足区域污染现状，探究耦合污染机理，系统化构建污水处理与土壤污染综合防控策略，助力区域生态服务功能长效恢复。

1 区域水土污染现状及耦合污染机理分析

1.1 污水处理现状及污染隐患

（1）当前城镇污水处理设施面临管网老化、雨污分流不彻底及进水浓度偏低等困境，部分工业废水预处理未达纳管标准冲击生化系统，农村污水处理设施覆盖率与运维率双重不足，普遍存在“晒太阳”或间歇运行现象，形成污水收集处理体系的系统性短板，制约整体治理效能提升。（2）污水尾水虽经处理，但残留的氮磷、痕量重金属及内分泌干扰物仍超标排入地表水体，破损管网的渗漏则直接输入地下水环境，造成河流底泥重金属富集及浅层地下水硝酸盐、氨氮持续超标，形成地表水-地下水双向交互污染，威胁区域饮用水安全。（3）污泥处置环节多采用简单堆存或不当农用，其中富集的铜、锌及多环芳烃等污染物缓慢释放进入土壤，导致施用区土壤污染物累积浓度逐年攀升，土壤微生物群落结构失衡，生态功能呈退化趋势。

1.2 土壤污染现状与主要污染特征

（1）耕地土壤以镉、砷等重金属及有机氯农药残留为主，呈点位超标与面源扩散并存格局；工业场地以苯系物、石油烃及铬、铅等特征污染物为主，集中

于生产区和废弃物堆场；城郊土壤呈现重金属与微塑料复合污染特征，空间分布与主导风向及水系流向显著相关。（2）重金属在表层土壤累积明显，迁移速率缓慢但持久性强；持久性有机污染物可随水分运移向下层迁移，并沿地下水流动方向形成污染羽扩展，其迁移范围与土壤质地、有机质含量密切相关。（3）降雨淋溶或地下水位波动时，土壤表层富集的重金属和有机物可解吸释放，通过径流或垂直渗漏反向补给地表水与地下水，形成“土壤→水体”二次污染循环，加剧水环境质量恶化^[1]。

1.3 水土污染耦合作用机理与生态响应

（1）水土界面是污染物迁移转化的关键地带，污染物在水流驱动下进入土壤孔隙，通过吸附-解吸、氧化还原及微生物代谢等过程发生形态转化，部分组分在界面处长期富集，形成可二次释放的内源污染库。（2）重金属与有机物复合污染呈现协同毒性效应，导致土壤微生物量减少、酶活性显著下降，植被根系发育受阻，水体中敏感生物种群锐减，水生食物网结构遭受破坏，生态系统完整性受损。（3）水土污染相互反馈、协同恶化，引发生态系统的级联衰退效应，具体表现为地下水水质持续下降与土壤功能退化交织强化，最终导致区域尺度生态服务功能整体丧失，呈现修复周期漫长、隐蔽性强且不可逆程度较高的长效危害特征。

2 基于生态环境保护需求的污水处理优化技术体系

2.1 分场景生态化污水处理技术优化

（1）城镇污水处理厂应推进低碳低耗提质改造，在达一级 A 标准基础上，耦合臭氧催化氧化、活性炭吸附及超滤-反渗透等深度净化组合工艺，重点削减尾水中残

余的内分泌干扰物、抗生素及消毒副产物等微量有毒有害物质,降低出水综合生态毒性,保护受纳水体生物群落结构,实现由常规达标向生态安全导向升级^[2]。(2)针对不同工业行业特征污染因子,精准应用定向截留技术:重金属废水采用硫化沉淀与螯合树脂吸附联用;高浓有机废水采用铁碳微电解与芬顿氧化协同处理;含氰废水引入破氰-生物降解两级净化。在严苛达标排放同时选择性回收有价金属或高热值有机物,切断特征污染物向水土环境的扩散通道,兼顾环境效益与资源循环。(3)农村污水治理摒弃简单套用城市集中模式,优先采用与乡村景观融合的人工湿地、蚯蚓生物滤池及一体化 A/O 生物接触氧化等分散式设施,利用土壤-植物-微生物协同净化与自然能效,适配农户分散居住及水质水量昼夜波动特点,实现氮磷养分就地消纳与生态循环利用,降低对邻近农田灌溉水系及地下水体的面源污染负荷。

2.2 污泥无害化与资源化生态处置技术

(1)需对高温好氧堆肥、中温厌氧消化及热水解预处理等主流稳定化工艺进行系统参数优化与运行调控,通过精细调节碳氮比、温度梯度、氧气供给率与水力停留时间,最大限度降解易腐有机质并彻底灭活病原体,同时促使重金属形态由可交换态向有机结合态与残渣态定向转化,从源头削减污泥固体中残留污染物的生态可利用性与环境释放风险。(2)在推动污泥制园林营养土、烧制轻质陶粒及水泥窑协同处置等资源化路径时,须同步建立涵盖重金属全量、浸出毒性及多环芳烃等指标的生态管控标准体系,严格限定不同利用场景下的施用剂量、频次与适用条件,配套开展长期定位跟踪监测与环境影响评估,切实规避因污泥产品反复施用引发的土壤累积超标与地下水二次污染问题。(3)应积极发展基于微生物隐性生长与细胞破壁耦合的剩余污泥减量技术,如臭氧接触氧化-回流系统与超声波破解-厌氧消化联合工艺,在生物处理单元内部有效削减剩余污泥生成量,同步降低有机质含量与含水率,在末端处置前段大幅削减固废总产生负荷,显著缓解后续压滤、干化及焚烧环节的环境压力与能耗成本^[3]。

2.3 污水处理全过程生态风险管控措施

(1)须构建覆盖污水收集管网关键节点、处理厂各工艺单元及最终排放口的水量-水质全流程动态监测网络,集成在线生物毒性预警传感器、特征污染物指纹库与大数据分析平台,实现异常 pH、重金属突增或毒性跃升等事件的即时识别与精准溯源,为预警决策与应急调度提供实时、可靠的数据基础,形成感知-研判-响应的闭环

管理链条。(2)针对汛期雨污合流制管网溢流、泵站故障及极端暴雨引发的水位顶托等突发场景,应制定分级应急响应预案与快速启动流程,预先配置移动式一体化处理车、临时调蓄池和快速除污药剂储备,确保在超设计负荷条件下最大限度拦截悬浮物与溶解性污染物,防止高浓度混合污水瞬时直排导致地表水环境急剧恶化及地下水补给区遭受冲击污染^[4]。(3)在污水处理设施日常运维层面,应全面推行生态化管理模式,包括预处理区及污泥脱水间实施生物滤池除臭封闭改造、优选低转速潜水设备降低噪声辐射、依据进水负荷与水质波动实时精准调控混凝剂与碳源投加量等措施,系统性削减治污设施自身运行对厂界外大气、声环境及周边土壤生态的附加侵扰,真正实现污染物削减与环境友好运行的双重目标统一。

3 土壤污染综合防控与水土协同防控策略构建

3.1 土壤污染源头精准防控策略

(1)应严格执行污水灌溉审批与污泥农用备案制度,依据灌溉水质分级标准划定允许灌溉区域与禁用区域,对污泥农用地块实施重金属及有机污染物年度抽检全覆盖,配套建设灌区水质在线监测设施与预警阈值触发系统,从入口端构建外源输入的全链条拦截体系,实施灌溉前预处理与施用前检测双保险机制,坚决杜绝不达标水体和污泥制品进入农田生态系统。(2)围绕重点行业企业、工业园区及规模化农业种养密集区,全面排查并动态更新污染源排放清单,综合运用同位素示踪、指纹图谱比对及遥感反演等技术手段实现工业点源与农业面源的精准溯源与贡献率解析,针对超标因子差异化制定“一源一策”专项治理方案,将污染治理责任逐级压实至具体责任主体,形成源头排查-溯源定责-治理验收的闭环管理链条。(3)依托土壤环境质量详查与补充调查成果,按污染程度与敏感受体分布建立红、橙、黄三级风险管控清单,对不同等级地块分别明确监测频次、管控边界及治理时序,同步配套差异化的政策激励与约束措施,将有限治理资源精准投放到高风险区域,实现土壤污染防治由粗放覆盖向靶向施策的根本性转变。

3.2 差异化土壤生态修复技术应用方案

(1)针对耕地重金属与有机农药复合污染,优先推广超富集植物吸取、土著功能菌群强化降解及原位钝化调理等绿色低碳技术组合,在不中断农业生产功能的前提下持续削减耕作层有效态污染物含量,同步跟踪修复过程对土壤酶活性、微生物多样性与作物籽粒安全性的影响,确保农田生态系统的生产力恢复与食品质量安全协调统一。(2)面对工业污染场地污染组分复杂、空间

变异性强及深度分布不均的特点,应以固化稳定化作为快速控制污染物扩散的兜底手段,耦合热脱附、化学氧化及生物堆等强化修复技术进行多工艺协同治理,依据地块未来用地规划灵活设定修复目标值与验收标准,将长期风险管控措施贯穿于场地再开发全生命周期,兼顾短期应急处置效率与长期安全利用效益的平衡^[5]。(3)对于污染物含量处于筛选值附近且无直接健康风险的轻度污染土壤,应以生态改良与地力恢复为核心导向,通过施用生物炭、腐殖质及矿物调理剂优化土壤团粒结构与酸碱环境,辅以深翻耕、轮作休耕及覆盖种植等农艺措施逐步提升自净能力与肥力水平,在安全利用框架下实现土壤生态服务功能的渐进式恢复与稳定维持。

3.3 水土污染协同防控体系构建

(1)整合地下水监测井群、地表水自动站及土壤长期定位监测点资源,按照统一布点、同步采样、协同分析的思路搭建涵盖多介质多指标的水土一体化环境监测网络,制定开放共享的数据接口协议与质量控制标准,开发耦合水土多介质传输过程的风险评估模型与预警算法,实现水质突变与土壤污染事件的同步感知、趋势推演及跨介质联动预警。(2)在流域综合治理与工业园区环境整治规划中,应将污水厂提标改造、管网更新修复与周边地块土壤修复工程统筹部署、梯次推进,在再生水回灌利用区域同步布设地下防渗屏障与水位调控设施,确保治水工程实施不与土壤修复目标产生时序冲突与效果抵消,形成地上地下协同治理、相互增益的工程合力。(3)推动建立跨行政区域及跨部门联合的生态联防联控实体化运作机制,厘清上下游各地区在水土协同治理中的权责清单与补偿标准,定期组织联合监测、交叉检查和场景化应急演练,依托信息化平台实现流域尺度信息互通、调度指令直达与成效统一评估,有效破除因行政分割与职能分置造成的各自为政困境。

3.4 综合防控保障措施

(1)应加快推进土壤污染防治法与地下水保护条例的配套细则制定与修订,更新完善农用地与建设用地的土壤污染风险管控标准体系,针对不同区域特征与污染类型制定水土协同治理技术导则和效果评估规范,为综合防控提供层次分明、科学合理且可操作性强的

法律法规与技术标准支撑。(2)持续加大财政专项资金整合投入力度,设立水土协同治理重大科技专项,重点突破原位修复装备国产化、高效功能材料低成本制备及智能监测预警系统开发等关键瓶颈,同时依托高校与科研院所建立定向委培与继续教育长效机制,系统培养兼具水处理与土壤修复技能的复合型专业队伍,夯实治理能力底座与人才储备基础。(3)构建以信息化监管平台为依托的常态化巡查与第三方独立评估相结合的管理模式,实现从污染源管控、治理实施到效果核验的全过程留痕与闭环管理,同时畅通公众投诉举报渠道,定期发布区域水土环境质量公报与治理进展通报,引导环保组织与社区居民参与治理监督与满意度评价,形成政府主导有力、企业责任明确、社会协同参与的现代化环境治理新格局,全面提升水土污染综合防控的系统效能与长效水平。

结束语

本文立足水土耦合污染的核心痛点,形成集污水优化治理、污泥生态处置、土壤精准防控、水土协同治理于一体的综合策略,全方位补齐区域生态治理短板。通过技术优化、体系构建与制度保障多维发力,可有效阻断污染物跨介质迁移链条,遏制水土生态持续退化。未来需持续深化技术创新与跨区域联防联控,不断提升水土污染系统化治理效能,筑牢区域生态安全屏障。

参考文献

- [1] 经雪,李傲.黄河流域农村生活污水资源化利用制约因素与系统路径[J].环境科学研究,2025,38(07):1452-1461.
- [2] 陈瀚洋.生物炭耦合工艺处理含抗生素制药废水研究进展[J].环境工程技术学报,2025,15(01):238-248.
- [3] 蒋嫒可.平原河网区沟浜协同措施下氮磷时空迁移特征[J].中国生态农业学报,2025,33(02):301-313.
- [4] 王兴明,刘欣.不同生物炭协同蚯蚓钝化工业污泥中重金属及环境风险研究[J].环境工程技术学报,2025,15(03):189-197.
- [5] 王朋,杨婉婷,李平.污染土壤中持久性自由基对有机污染物修复效率的影响机制[J].环境科学,2024,45(08):350-358.