

城市水环境治理与生态修复技术研究

戈 洋

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710100

摘 要：随着城市化进程加快，城市水环境面临点源、面源、内源多重污染，水生生态功能退化，治理与修复刻不容缓。本文结合实地监测与技术研究，系统分析城市水环境现状及现存问题，探究物理、化学、生物及复合治理技术的应用要点，构建水生态修复技术体系与长效机制，融入海绵城市理念与智慧治水模式，提出优化路径与发展展望，为城市水环境精准治理、生态恢复及可持续发展提供科学参考与实践支撑。

关键词：城市；水环境治理；生态修复技术

引言：水环境是城市生态系统的核心，关乎居民生活质量与城市可持续发展。当前，我国城市地表水仍有污染隐患，地下水存在安全风险，生态系统功能受损，加之治理技术针对性不足、管理机制不完善，制约水环境质量提升。响应国家污染防治攻坚战要求，践行生态优先理念，深入研究城市水环境治理与生态修复技术，破解治理难题、完善长效体系，对改善城市生态环境、实现人水和谐具有重要现实意义。

1 城市水环境现状及问题分析

1.1 城市水环境现状调查与评价

(1) 调查范围覆盖城市建成区主要河流、湖泊、水库及地下水监测点位，采用实地采样、在线监测结合数据集成分析的方法，整合环保、水利部门监测数据，确保调查全面准确。(2) 城市地表水整体呈改善趋势，优良水质断面比例提升，但部分支流仍存在轻度污染，主要污染物为氨氮、总磷，部分区域存在黑臭水体隐患。(3) 城市地下水水质基本稳定，优良点位比例较高，但部分区域受人类活动影响，存在微量重金属超标现象，水质安全存在潜在风险。(4) 城市水生生态系统功能退化，河道硬化导致水生植物覆盖率下降，底栖生物多样性降低，水体自净能力减弱，生态链完整性受损。

1.2 城市水环境主要污染来源解析

(1) 点源污染是主要污染源之一，生活污水部分未完全收集处理，工业废水存在超标排放情况，污染物浓度波动大，涵盖COD、重金属等多种污染物。(2) 面源污染管控难度大，城市初期雨水径流携带路面污染物，农业面源氮磷流失严重，大气沉降也会带来微量污染物，受气象因素影响显著。(3) 内源污染易被忽视，底泥中累积的重金属、有机物易在水体扰动时释放，水生生物残体分解产生的污染物，形成二次污染隐患^[1]。

1.3 城市水环境治理与生态修复现存问题

(1) 治理技术针对性不足，多采用传统工艺，对新兴污染物去除效果有限，不同技术集成应用不够，难以适配复合型污染场景。(2) 生态修复模式单一，多聚焦单一水体治理，未构建系统性生态体系，修复后系统稳定性差，易出现反弹现象。(3) 治理与管理脱节，部门权责交叉，缺乏统筹协调机制，长效监测和运维体系不完善，治理效果难以持续巩固。(4) 资金投入不足，难以支撑基础设施升级和技术研发，先进治理技术因成本高、配套政策不足，推广应用难度较大。

2 城市水环境治理核心技术研究

2.1 物理治理技术

(1) 截污控源技术是治理基础，重点开展管网改造，更换老旧破损管道、修复泄漏节点，减少污水渗漏；合理设置截污闸，拦截沿岸污水直排口，阻断污染源头；推进分流制改造，分离雨污管网，避免雨水携带污染物进入水体，提升污水收集处理效率。(2) 水体疏浚技术聚焦底泥污染治理，机械疏浚适用于重度底泥淤积区域，快速清除表层污染底泥；环保疏浚采用低扰动工艺，精准清除污染层，减少底泥二次扰动，疏浚后的底泥经脱水、固化处理后，实现无害化处置与资源化利用^[2]。(3) 水体曝气技术用于提升水体溶解氧，人工曝气适用于封闭、缓流水体，通过曝气设备强制增氧，缓解水体黑臭；生态曝气结合自然水体流动特性，采用太阳能曝气装置，适配中小型河道，在提升溶氧的同时减少能源消耗，适配不同水质改善场景。

2.2 化学治理技术

(1) 化学除磷脱氮技术针对性去除水体中氮磷污染物，药剂选型优先选用高效低毒药剂，除磷选用聚合氯化铝、硫酸亚铁等，脱氮采用氨氮去除剂，投加方式采用多点均匀投加，根据水体污染浓度动态调整投加量，确保处理效果稳定。(2) 水体消毒技术注重安全环保，

优先采用紫外线、臭氧等无二次污染工艺,替代传统氯消毒,减少消毒副产物产生;严格控制消毒工艺参数,兼顾消毒效果与环境影响,避免对水生生物造成危害。

(3) 化学修复剂应用于专项污染治理,重金属固化剂可将水体中游离重金属转化为稳定化合物,降低迁移性;有机物降解剂选用生物可降解型,快速分解水体中难降解有机物,提升水体净化速度,适配重金属、有机物超标水体。

2.3 生物治理技术

(1) 微生物修复技术核心是功能菌剂筛选,筛选适配城市水体污染类型的降解菌,通过定向投加改善水体微生物群落结构,搭配曝气等强化措施,提升微生物活性,加速污染物降解,实现水体自净能力恢复。(2) 水生植物净化技术利用植物吸附与降解作用,挺水植物(如芦苇、菖蒲)用于岸边及浅水区,拦截悬浮物;浮水植物(如浮萍、睡莲)覆盖水面,抑制藻类生长;沉水植物(如金鱼藻、狐尾藻)扎根水底,吸收水体中氮磷,构建水生生态系统。(3) 生物膜技术优化核心是载体选型,选用多孔、易挂膜的载体材料,优化挂膜工艺,提升生物膜附着稳定性;通过调整水力条件优化工艺参数,增强生物膜对污染物的吸附与降解效能,适配轻度污染水体治理^[3]。

2.4 复合治理技术集成与优化

(1) 物理-化学复合技术组合模式,采用截污控源+化学除磷脱氮、水体疏浚+化学修复剂投加等组合,发挥物理技术控源、化学技术高效除污的优势,适配重度复合型污染水体。(2) 生物-生态复合技术应用方案,整合微生物修复与水生植物净化技术,搭配生态曝气,构建“微生物+植物+曝气”协同体系,实现水体净化与生态修复同步推进,提升治理长效性。(3) 不同污染类型的技术适配性优化,针对氮磷超标水体,优先选用生物除磷脱氮+水生植物组合;针对重金属污染水体,采用化学固化+底泥疏浚组合;针对黑臭水体,采用曝气+微生物修复组合,提升技术适配性与治理效果。

3 城市水生态修复技术体系构建与实践

3.1 水生态修复的原则与目标

(1) 生态优先、因地制宜原则,核心是尊重水体自然生态规律,优先保护原生水生生物与栖息地,避免过度人工干预;结合城市水文特征、气候条件及污染现状,针对性选择修复技术,不盲目照搬其他地区模式,确保修复方案科学可行。(2) 系统性、长效性原则,强调水生态修复并非单一环节治理,需统筹地表水、地下水、水生生物及周边环境,实现“控源-修复-运维”全

流程衔接;注重构建可持续的生态系统,避免短期修复效果反弹,保障修复成果长期稳定。(3) 修复目标聚焦水质改善、生态恢复、功能提升三大核心,通过修复实现水体水质达到相应功能区标准,消除黑臭现象;恢复水生生物多样性,重建完整的水生生态链;提升水体调蓄、净化、景观及休闲等综合功能,实现人与自然和谐共生。

3.2 水生生态系统修复技术

(1) 水生生物群落构建以恢复生态平衡为核心,鱼类群落恢复选用本土适生品种,合理搭配滤食性、草食性鱼类,控制藻类生长,改善水体环境;底栖生物恢复通过投放螺、蚌等底栖动物,清除水体悬浮物,促进底泥转化;微生物群落恢复定向投加功能菌剂,优化水体微生物结构,强化污染物降解能力。(2) 滨水生态廊道建设重点优化岸线生态功能,替代传统硬化护岸,采用生态护岸技术,选用石笼、生态袋、植被混凝土等材料,兼顾防洪与生态保护;构建植被缓冲带,在滨水区域种植本土乔灌木、草本植物,拦截地表径流污染物,减少水土流失,为水生生物提供栖息环境^[4]。(3) 人工湿地修复技术结合城市用地条件设计应用,表面流湿地适用于用地充足区域,利用水生植物、微生物自然净化水体,工艺简单、成本较低;潜流湿地采用地下径流模式,占地面积小、净化效率高,可处理生活污水、初期雨水,通过基质、植物、微生物协同作用,实现水质深度净化。

3.3 海绵城市理念下的生态修复技术

(1) 雨水花园、生态洼地技术广泛应用于城市社区、道路周边,雨水花园通过种植耐旱、耐涝植物,搭配渗透基质,收集、滞留、净化雨水,减少地表径流;生态洼地利用低洼地形储存雨水,通过土壤渗透和植物吸收,实现雨水资源化利用,同时补充地下水。(2) 生态植草沟、透水铺装技术全面推广,生态植草沟沿道路、绿地铺设,收集路面雨水,通过植被过滤、土壤渗透去除污染物,引导雨水有序排放;透水铺装替代传统硬化铺装,增强雨水下渗能力,减少城市内涝,降低雨水径流对水环境的污染。(3) 海绵设施与水环境修复发挥协同作用,海绵设施减少雨水径流污染负荷,降低水环境治理压力;水环境修复改善水体水质,为海绵设施收集的雨水提供净化载体,二者结合实现“渗、滞、蓄、净、用、排”一体化,提升城市水生态系统的稳定性和可持续性。

4 城市水环境治理与生态修复的长效机制与发展展望

4.1 长效治理与修复机制构建

(1) 技术保障机制聚焦技术研发、推广与更新,加大对绿色高效治理技术的研发投入,重点突破复合型污染治理、生态修复长效技术瓶颈;建立技术推广体系,通过试点示范、技术培训等方式,推动先进适用技术落地;建立技术更新机制,跟踪行业技术发展趋势,及时迭代落后技术,保障治理修复技术的科学性与有效性。

(2) 管理机制强化统筹协调,深化河湖长制,明确各级河湖长职责,实现水体治理全覆盖;健全环保、水利、住建等多部门协同机制,打破权责壁垒,形成治理合力;构建全程监管体系,完善监测、执法、考核闭环管理,加强对污染排放、治理过程及修复效果的动态监管,确保各项措施落地见效。(3) 资金保障机制构建多元投入模式,强化政府财政投入,重点支持基础设施建设、技术研发及运维管理;积极引导社会资本参与,通过特许经营、PPP等模式,拓宽资金来源渠道,明确各方利益分配,保障资金持续投入,为长效治理与修复提供坚实支撑。

4.2 智慧治水技术应用与优化

(1) 水质在线监测与智能预警系统全面部署,在重点河道、湖泊、管网节点布设监测设备,实时监测水质指标,通过大数据分析实现污染物溯源、水质异常预警,提前防范污染风险,为精准治理提供数据支撑。

(2) 智慧管控平台与一体化调度不断优化,整合监测数据、治理设施运行数据等,构建一体化智慧管控平台,实现对水环境治理全流程的智能化管控;优化水资源与水环境一体化调度,统筹调配水资源,提升水体流动性与自净能力。(3) 智能化设备广泛应用于治理修复,推广无人机巡查、智能曝气设备、自动化疏浚设备等,替代传统人工操作,提升治理效率与精准度,降低运维成本,推动治水模式向智能化、精细化转型^[5]。

4.3 存在的不足与改进建议

(1) 现有技术与机制存在明显短板,技术层面,部分核心技术适配性不足,难以应对复杂复合型污染,绿色低碳技术应用不够广泛;机制层面,部门协同效率不高,监管存在盲区,社会资本参与积极性不足,资金投入稳定性有待提升。(2) 针对性改进措施与优化路

径,技术上,加大绿色低碳技术研发投入,优化技术集成模式,提升技术适配性;机制上,完善部门协同考核机制,强化全流程监管,出台优惠政策引导社会资本参与,建立资金投入长效保障机制;同时加强人才培养,提升从业人员专业能力。

4.4 未来发展展望

(1) 绿色低碳治理技术成为发展主流,未来将重点发展节能型治理设备、生物降解技术、太阳能等清洁能源驱动的治理技术,推动治理过程低碳化、资源化,实现水环境治理与“双碳”目标协同推进。(2) 跨区域协同治理模式持续探索,针对流域性水环境问题,打破行政区域壁垒,建立跨区域协同治理机制,实现监测数据共享、治理措施协同、应急处置联动,提升流域水环境整体治理水平。(3) 生态产品价值实现路径不断完善,探索水环境治理与生态旅游、休闲康养等产业融合发展模式,推动生态修复成果转化为生态产品,实现生态效益、经济效益与社会效益的有机统一。

结束语

城市水环境治理与生态修复是一项系统性、长期性工程,需统筹技术应用、机制构建与理念创新。本文梳理的治理技术与修复方案,结合多地实践经验,可有效破解当前水环境治理痛点。未来需持续强化技术研发与推广,完善协同管理与资金保障机制,推动绿色低碳技术应用与跨区域协同治理,助力生态产品价值转化,实现城市水环境长治久清与生态系统可持续发展。

参考文献

- [1]黄勇,董运常,罗伟聪,等.景观水体生态修复治理技术的研究与分析[J].环境工程.2022,13(7):79-81.
- [2]顾鹏.上海市乡村河湖生态治理技术体系研究[J].水资源开发与管理.2022,8(6):62-64.
- [3]易忠,张瑞.北京市城市河湖生态治理发展与对策[J].北京水务.2022,20(5):96-99.
- [4]俞建全.关于石羊河“一河一策”水生态保护治理措施的思考[J].农业科技与信息.2022,36(16):177-179.
- [5]高琦.水环境生态治理在城市河湖治理工程中的应用[J].黑龙江环境通报.2025,38(3):113-115.