

# 城市水生态修复和水环境安全保障技术库构建

闫林霞

深圳市利源水务设计咨询有限公司

**摘要:**随着城市化进程加快, 污染物排放量增加等影响, 城市水系面临诸多问题, 修复水生态环境, 保障水环境安全任务艰巨。目前, 水质提升与生境改善的单项技术应用较多, 但缺乏系统的梳理和总结。本研究根据流域水生态环境修复技术的自身特征、适用范围和共性技术原则, 构建了流域水生态修复和水环境安全保障共性技术库, 技术库划分为四级, 包括生态需水量保障技术、点源污染控制技术、面源污染控制技术、河湖水质底质改善和河湖生态系统修复技术等二级技术的共性技术库, 包含118项四级技术, 为城市水生态修复和水环境安全保障提供有力技术支撑, 为城市的河流生态治理提供借鉴。

**关键词:**水生态修复; 水环境; 安全保障; 技术库  
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.22.070

## 引言

近年来, 我国水环境保护虽然取得积极进展, 但形势依然严峻, 城乡存量污染减排的空间有限, 治污进入攻坚克难阶段。另外, 由于受到城市化进程加快、污染物排放量增加等影响, 城市水系多面临水域面积及水量锐减, 生物多样性降低, 水环境容量减小, 自净能力差, 水生态系统严重退化等问题<sup>[1-6]</sup>, 恢复城市健康的流域生态系统任务艰巨。

目前, 水质提升与生境改善的单项技术应用较多<sup>[7-12]</sup>, 但整体上还缺乏城市生态系统构建与水环境安全保障方面的技术整装集成。以城市水系水生态安全为目标, 开展适应城市化快速发展情况下城市流域生境特征的河网生态修复技术的集成和再创新, 并以此构建流域生态安全格局, 提高流域生态服务功能, 为城市人民打造“水清岸绿、鱼翔浅底”的美好水环境, 是非常必要的。

本研究总结现有水环境与水生态修复的技术, 根据数据库构建原则, 构建符合研究区域特点的河湖生态修复和水环境安全保障共性技术库, 指导具体的水生态修复和水环境安全保障。

## 一、城市水生态修复和水环境安全保障技术

城市水生态修复和水环境安全保障常用相关技术的来源主要包括以下几个方面: (1) 国内外目前普遍使用的相关技术; (2) 我国其他重点流域的相关技术;

(3) 在本研究区域内已成功使用的相关技术; (4) 本领域具有引领示范作用的新兴技术, 包括针对现行标准的提质增效技术, 以及面向未来需求的前沿技术等。

相关技术按照类型分为点源污染控制技术、面源污染综合整治技术、流域生态圈层修复与构建技术、湖泊生境改善与饮用水源安全技术和管理体系。

### (一) 点源污染控制技术

针对城市河流点源污染的特征, 集成流域重点行业(印染、化工、电镀、造纸)废水深度处理及减排技术、乡镇生活污水和工业废水的脱氮除磷及尾水的深度净化、工业园区污染源头控制及污水处理的长效管理技术等。

### (二) 面源污染综合整治技术

针对城市河流现行水环境管理存在的问题, 在污染源治理与控制单项技术基础上进行面源污染治理技术库的构建, 包括流域面源生物物质废弃物资源化技术, 农

村生活面源污染控制技术, 农田面源污染控制技术、农村污染型湖荡与河流净化技术及沿村低污染水生态处理技术等, 也包括排放口整治、污水管接驳、管道改造、小区正本清源、雨污分流改造、内涝点整治等相关城市面源污染控制技术。

### (三) 流域生态圈层修复与构建技术

针对城市河流生态退化的现状和趋势, 在污染源治理与控制单项技术基础上进行生态圈层修复与重建技术库的构建。包括农业面源污染型入湖河流、农村与农田复合污染型入湖河流、闸控型入湖河流、运河与湖荡型入湖河流、城市型入湖河流、工业污染型入湖河流等不同类型入湖河流污染控制的技术。重点包括重污染湖区湖滨带及其缓冲区生态修复技术、受损湖泊湖滨带建设技术、直立堤岸型湖滨带生态修复技术、沿岸带生态重建技术、生物多样性湖滨带修复与缓冲区建设技术, 形成缓冲区与湖滨带多自然型生境改善与生态修复集成技术, 不同类型湖滨带缓冲区生态建设与管理成套技术, 以及流域水生态系统退化预警-控制措施-长效运行等安全维护技术体系。

### (四) 河湖生境改善与饮用水源安全技术

针对城市河流栖息地水环境质量与饮用水水质安全存在的问题, 在污染源治理与控制单项技术基础上进行河湖生境改善与饮用水安全技术库的构建。包括高氮磷和有毒有害污染底泥环保疏浚技术、调水引流水质改善技术、城市河湖生态修复与构建技术、生态渔业综合技术、沼泽化防治及生态保育技术等, 形成河湖生境改善技术库; 同时, 集成高效蓝藻收聚技术、中低浓度蓝藻去除与水质改善技术、蓝藻水华黑臭污染团控制技术、水源区藻-草-泥污染的关联性控制技术、水源区水质改善的集成化技术、水源取水口水域突发水污染事故应急处理技术等, 同时, 构建河湖生态系统退化预警-应急控制-长效运行等安全维护技术体系。

### (五) 管理技术体系

针对城市河流现行水环境管理存在的问题, 在污染源治理与控制单项技术基础上进行水环境管理技术库的构建。包括流域水土资源优化配置技术、流域水污染防治规划技术、非工程措施管理减排技术、流域水环境监控监测技术、湖泊生态环境管理平台技术、流域水环境综合管理技术、流域水环境预警技术、水污染负荷削减技术等体系。

## 二、水生态修复和水环境安全保障技术库构建原则

### (一) 普适性原则

普适性指某一事物特别是观念、制度和规律等比较普遍地适用于同类对象或事物, 事物的普适性源于事物的共性和规律。共性技术的普适性是指共性技术在不同行业、不同领域以及不同地域适用的程度, 一般来讲, 一项技术如果能在各个行业、各类环境要素、各个地区适用, 则其普适性较强, 应优先选取普适性强的技术。

### (二) 新颖性原则

共性技术的新颖性是指该技术相对于其他技术所具有的长处和优势, 具体体现的是技术的创新性和先进性。技术的创新性具有“前无古人”的独到之处, 可以

是自行研发的新型技术，也可以在既有技术的基础上有新发明、新突破，从而具有首创性和开拓性。技术的新颖性可以通过技术的理论创新、方法创新或工艺流程创新来进行判断。技术先进也是指在一定条件下和一定时期的先进，能否保持一项技术的先进性，取决于该技术的生命力。对于城市河流污染治理共性技术而言，要以适应城市生态系统和河流水体环境为基础，以获取较大生态效益、经济效益和社会效益为目的，所选取的技术应采用新兴产业领域中的技术。

**(三) 绿色性原则**

对于城市河流污染治理技术，其绿色性体现在技术的节能环保性和景观生态性，注重生态效益，要选择具有环境友好型材料的节能环保型技术以及与河流生态景观相匹配的生态技术。

**(四) 成熟性原则**

技术成熟性原则主要是指技术操作过程中的规范程度、实际的应用效果以及大规模推广的可行性。主要体现在技术原理和工艺流程清晰、关键性技术指标标准化程度高、实际应用效果显著且可量测等方面。

**(五) 可靠性原则**

技术的可靠性主要体现在技术设计的可靠性和技术平稳性。技术设计的可靠性是技术可靠性的关键，也就是研究者在研发初期应充分考虑到技术的使用性和操作性，避免技术在运行中因操作或环境改变而发生故障，从而保证技术的可靠性。通常情况下，技术的操作越简单，发生人为失误或出现故障和安全问题的可能性就越小；即使发生了故障或者安全性问题，技术的可维护性也要强，这是在技术的设计初期就要考虑的重要因素。

**(六) 推广性原则**

共性技术的推广性是指技术应具有广阔的产业化推广前景，可形成一定的产业链和产业规模。一种技术被广泛使用，它就会不断被改进，也会不断成熟。共性技术的应用前景不仅要着眼于现实需求，更要瞄准未来的发展。

**三、水生态修复和水环境安全保障技术库**

根据我国河湖生态修复技术研究常用技术，结合修复目标的具体特点，采用数理统计法确定了技术层级和技术库清单，包含了生态需水量保障技术、点源污染控制技术、面源污染控制技术、河湖水质底质改善技术、河湖生态系统改善技术在内的一系列整装成套技术，具体详见表1-5。

**表 1 生态需水量保障技术库**

二级技术	三级技术	四级技术
生态需水量保障技术	生态补水	河湖一体化生态补水技术
		河道改善预防水旱灾害技术
		雨水排口截污
		横向生态河道改造
		雨水、城市尾水、过境水、海水淡化水多水源综合补水技术
		多水源联合调度技术
		河湖水网连通技术
		管道输送应急生态补水技术
		再生水生态补水技术
		再生水、尾水管道输送补水技术
		处理厂的再生水耦合生态调蓄净化雨水技术
		纳潮引水工程
	生态调度	水库生态调度技术
		生态调水技术
		河库调度技术
		闸坝调度技术

**表 2 点源污染控制技术库**

二级技术	三级技术	四级技术
点源污染控制技术	物理方法	混凝沉淀法
		磁加载沉淀
	化学氧化法	人工湿地 +UV/O <sub>3</sub> 高级氧化技术
	生物法	曝气生物滤池
		膜过滤技术
自然生态处理技术	稳定塘	
		人工湿地

**表 3 面源污染控制技术库**

二级技术	三级技术	四级技术	
面源污染控制技术	农业面源污染控制技术	菜地氮磷污染综合控制技术	
		生态施肥	
		农田尾水生态沟渠与缓冲带联合净化技术	
		生态拦截沟 + 生态净化塘治理技术	
		生态拦截汇水渠 + 生态复合沟 + 生态系统组合净化塘技术	
		生态河道（沟渠）+ 生态绿化治理技术	
		农田径流污染生态拦截沟渠	
		污染河道水体强化生物接触氧化 - 多级人工湿地组合处理技术	
		农田污染生态塘拦截技术	
		复合塔式生物滤池农村生活污水处理技术	
	农村生活污水处理技术	集中式复合生物滤池人工湿地处理技术	
		无动力净化装置 - 人工湿地技术	
		塔式蚯蚓生态滤池 - 人工湿地系统	
		生物净化槽工艺	
		地埋式微动力生物滤池技术	
		厌氧净化 + 跌水充氧接触氧化 + 人工湿地工艺	
		厌氧滤池 - 氧化塘 - 生态渠	
		生物净化槽 / 强化生态浮床工艺	
		水源涵养林修复技术	
		微动力净化装置 - 潜流式人工湿地	
		阿科蔓生态基处理技术	
		复合生物滤池 + 人工湿地处理技术	
		湿地污水处理系统构建技术	
		植被过滤带拦截技术	
		城市面源污染治理技术	植被浅沟技术
			以海绵城市为主的分级调蓄技术
			海绵城市治理技术
			下凹式绿地技术
透水路面 - 生物滞留池组合			
智能分流井			
雨水调蓄			
湖滨区污染控制成套技术			
河湖滨区面源污染治理技术	湖滨缓冲带生态建设成套技术		
	植草沟技术		
	岸堤多级渗滤技术		
	壁挂式雨水净化装置		

表 4 河湖水质底质改善技术库

二级技术	三级技术	四级技术
河湖水质底质改善技术	富营养化水体治理技术	大型水生植物控藻技术
		大型水生植物控藻技术
		大型底栖生物和沉水植物联合调控富营养化技术
		HAAC 技术
		水动力循环复氧控藻技术
		景观式新型微纳米增氧生物浮岛技术
		微纳米生态浮岛联合技术
		人工水草技术
	重污染水体治理技术	臭氧除藻
		人工水草-菌藻生物膜技术
		人工水草组合填料
		湖区控藻技术（混凝剂强化除藻、气浮除藻、臭氧除藻藻类打捞）
		高效微生物菌剂
		高效污水净化站
		EM 水体修复技术
		生态浮岛、人工水草与曝气充氧组合技术
		WOSC 组合生态修复技术
		超磁分离净化技术
		超磁分离技术
		城市污染水体组合生态修复技术
	完全硬化河道水污染净化技术	
	低污染水体生态净化技术	强化生态浮床原位修复技术
		生态悬床技术
		人工生态系统集成去水体富营养化技术
		复合悬浮生态岛技术
		植物型生态浮床技术
	内源污染治理技术	微纳米曝气植物浮床技术
		低污染水生态净化组合技术
		底泥洗脱技术
		底泥原位洗脱技术
		河流底泥洗脱
		基于底泥疏浚和高性能环境材料原位覆盖联用的湖荡内源污染防控技术
	底泥生态疏浚	

表 5 河湖生态系统改善技术库

二级技术	三级技术	四级技术
河湖生态系统修复技术	栖息地保护与修复技术	入湖河道生态修复与污染削减功能重建技术
		深潭浅滩构建技术
		深潭浅滩构建技术
		组合深潭浅滩
		多孔混凝土预制挂板
		护坡技术（如重力式挡墙、喷锚网）
		红树林湿地建设
		生物栖息地的营造（鸟类栖息、鱼类栖息、生物通道）
		丁坝构建技术
		深槽-浅滩构建技术
		生态砾石床
		生态廊道建设
	水生植物群落修复技术	水生植被防退化技术
		消浪带、岸上护坡措施
		水生植物群落重建技术
		草型生态系统重构

河湖生态系统修复技术	水生动物群落恢复技术	鱼类群落结构调控技术
		鱼梯
		食物网操纵技术
		食物网操纵技术
		水生动物系统重建
		微生物系统重建
		食物网构建技术
		人工鱼礁
		建设人工模拟鱼类产卵场

结论

本研究以深圳河流域及相似流域河湖治理技术的应用情况为基础，广泛查阅了国内外相关研究文献和技术资料，在反复论证、咨询、研讨和比较的基础上，筛选出来五大类适用于流域河湖治理的推荐技术库，分别为河湖生态需水量保障技术库、点源污染控制技术库、面源污染控制技术库、河湖水质底质改善技术库、河湖生态系统改善技术库。通过对流域水环境问题研发应用的先进技术方法的整理归纳总结形成的技术库有利于掌握技术发展的现状，服务于流域水环境治理与生态环境改善的现实需求，同时有利于对未来技术的改进与更新，为国内流域生态治理提供借鉴。

参考文献

- [1] 刘翔, 李森, 周方, 等. 城市水环境综合整治工程原理与系统方法[J]. 环境工程, 2019, 37(10): 1-5+15.
  - [2] 杨臻. 城市水环境的修复与综合治理措施研究[J]. 环境与发展, 2019, 31(03): 27+29.
  - [3] 徐祖信, 张竞艺, 徐晋, 等. 城市排水系统提质增效关键技术研究——以马鞍山市为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(02): 348-355.
  - [4] 熊瑛, 曹海深, 楼春华, 等. 城市水环境治理技术及其发展趋势[J]. 北京水务, 2024(01): 55-60.
  - [5] 段丙政, 汪萌, 王龙涛. 城市水环境治理相关理论研究及实践特点分析[J]. 工程技术研究, 2017(04): 244+246.
  - [6] 朱文辉. 城市水环境治理及污染防治措施[J]. 工程技术研究, 2020, 5(16): 247-248.
  - [7] 李丽, 杨梦蝶, 张卫军. 水生态修复技术在城市河道治理中的应用探讨[J]. 能源与环境, 2024(02): 175-177.
  - [8] 李枫林, 黄守斌, 王卓艺, 等. 城区黑臭水体综合治理案例分析及设计要点探讨[J]. 环境工程, 2023, 41(01): 149-157.
  - [9] 张列宇, 王浩, 李国文, 等. 城市黑臭水体治理技术及其发展趋势[J]. 环境保护, 2017, 45(05): 62-65.
  - [10] 杨峰, 曹勋, 李冬梅, 等. 生态工程在尾水深度处理中的应用[J]. 生态环境, 2019, 38(1): 132-139.
  - [11] 张玲玲, 杨永强, 张权, 等. 组合型人工湿地对二级好氧单元出水的深度处理[J]. 环境工程学报, 2019, 13(7), 1592-1601.
  - [12] 马原. 水生态修复技术在城市河道污染治理工程中的应用[J]. 能源与节能, 2021(07): 87-88+96.
- 基金项目: 深圳市技术创新计划(JSGG20171012102620854)