

# 平原河网城市河道水生态修复总体策略研究

花燕

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

**摘要：**全球60%的人口集中生活在距离水域60公里以内的纵深区域<sup>[1]</sup>，随着社会经济的快速发展，城市各类污染排放量日益增加，雨水径流也向河道输入了大量的面源污染，河道水生态遭到破坏<sup>[2]</sup>。本文首先分析了平原河网城市面临的主要水环境问题，并从水生态的角度提出了相应的解决措施，在此基础上，形成了外源污染拦截、内源污染控制、生态系统构建的河道水生态修复总体策略。

**关键词：**平原河网；城市河道；水生态修复

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.103

## 概述

城市向河道中排放的污染物主要有点源污染和面源污染。点源污染是指生活和生产中产生的污染，包括生活污水集中排放口、工业废水排放口、污水处理设施排放口、固废堆放点渗滤液排放口等<sup>[3]</sup>；面源污染是指区域内分散污染源对水体造成的污染，主要包括城市地表和农田土壤因降雨冲刷而产生的雨水径流污染。削减入河污染的核心措施是在源头控制进入雨水管渠的各类污染物，针对岸上的相关措施，业内已有较多成功的案例，本文不再赘述。当岸上的控源截污措施已经相对完善，或存在条件限制继续实施无法取得明显效果时，则需要通过河道水生态治理手段进一步对入河污染物进行减量，巩固水环境治理成效，逐步恢复河道的生态自净能力，实现人与自然的和谐共生。

## 一、平原河网城市河道水环境问题分析

### （1）河道流动性差

我国长三角地区城市大多为平原河网，平时流动性差，易造成水体分层，河道底部缺氧，水体中厌氧型微生物大规模繁殖，导致河道发黑发臭。

### （2）河道护岸生态性不足

由于行洪需要，城市河道护岸大多采用浆砌驳坎，硬化后的驳坎已无法直接种植水生植物，导致水生态系统中生产者的缺失。

### （3）污水直排问题

城市内河道不可避免的存在污水直排的现象，即便是全面完成雨污混接改造之后，伴随着城市的不断发展，仍然会有新的混接点产生。高浓度污染物经由排口进入河道，直接导致局部水质恶化。

### （4）氮、磷污染物

氮素对水体环境和人类均具有很大的危害，氨氮会消耗水体中的溶解氧，同时含氮化合物对人和其他生物有毒害作用，在人类活动的影响下，氮、磷等富营养物质大量进入河道等缓流水体，造成氮磷污染物浓度迅速升高。氮、磷物质的累积是河道水体藻类和其他浮游生物迅速繁殖的重要原因，藻类和生物的过渡繁殖导致水体溶解氧含量下降，水质恶化，鱼类和其他生物大量死亡。

城市中生活污水、工业废水和农业面源污染未经有效处理，大量排入河道中，河道生态环境发生急剧变化，生态系统中生物种类急剧减少，结构群落发生明显变化，表征水体富营养化的蓝藻、绿藻等藻类物质上升成为优势种类。

氮、磷往往是城市河道中最主要的污染因素，由于城市河道污染输入量大、水动力不足，通过水体自净能力难以实现污染物的降解，因此，氮、磷的去除是河道水生态修复的重点和难点。

### （5）油污污染物

河道水体中的油污主要来自周边生活污水和雨污混排废水，油污进入水体后，会阻碍水体的复氧作用和植物光合作用，导致水体溶解氧降低，影响水生植物的生长和繁殖。同时水面大量的油污覆盖，会影响水生动物的早期发育，导致水生动物窒息死亡。

### （6）底泥污染物

底泥作为城市河道中最主要的内源污染源，是影响河道水质的关键因素。底泥中不断释放氮、磷等营养物质和藻毒素等加重水体污染程度。富营养化水体底泥表层0-3cm处往往沉积有大量蓝藻休眠体和大量氮、磷营养物质、蚊蝇虫卵，受城市引水、排涝等动力条件的作用，底泥中积累的营养物质会悬浮起来，释放到河道水体中成为新的污染源。夏季温度升高时，底泥沉积物中有机物发酵产生甲烷、硫化氢等气体，释放恶臭气味，将会严重影响周边环境和河道水体水质。

底泥污染物主要包括两个方面，一是有毒有害的有机类物质，底泥中的有毒有害物质通过富集作用在生物链中逐渐累积，经过复杂的生物和化学作用在不同的生物体内积累和转移，在生物腐烂、死亡过程中以更高浓度的状态重新回到河道水体；二是难降解重金属类物质，该类物质主要通过生活污水、工业废水以及地表雨水径流的排放进入河道水体，经过沉淀、络合等化学作

用产生沉淀物而沉积在河道底部，随着时间的推移该类污染物不断积累。

## 二、水生态技术措施

平原河网地区城市河道流动性较差，需要通过引调水工程增强水动力。在河道内部应根据实际形态，识别流动性不足的区域，检测水体溶氧量情况，在河道中间隔布置曝气装置，如水车式增氧机、喷泉曝气装置以及推流曝气装置等，通过曝气装置向水体均匀供氧，快速提升水体溶解氧含量。

城市河道普遍存在护岸生态性不足问题，可采用水生植物修复技术，在护岸附近的水面上设置一定量的生态浮岛，种植适宜各季生长的多种水生植物，增加水体的景观效果，同时保持生物多样性，增强生态系统的稳定性。

针对污水直排问题，首先应考虑对污染源的控制和截流，当岸上的控源截污措施已经较为完善，但仍有无法查明的点源污染或雨天溢流污染时，需要在河道排口处增加生态拦截措施。通过分析各排口污水量和污染物浓度，利用人工介质、植物、微生物对入河污染物进行强化处理，降低对河道水质的影响。

氨氮的转化去除是通过硝化-反硝化等一系列反应过程来进行的，水体中的氨氮过高，说明硝化过程受阻，硝化反应需要在硝化细菌、溶解氧和碳源的基础上，投加微生物促生剂，并设置生态基，为河道内土著硝化微生物的附着和繁殖提供条件。此外，还需通过水生植物来吸收和同化氮磷，降低水体中的氮磷浓度。

对于有油污排放的河道，首先应加强排查，在油污产生河段开展偷排、漏排巡查，妥善处理油污排放口。对无法处理的排污口，可在排口附近的河面上设置拦油围挡，防止油污扩散蔓延，并及时清理河面油污。

河道底泥一般采用清淤疏浚的方式进行去除，但对底泥的处理处置往往存在诸多困难，此外，在城市的行洪排涝河道以及护岸存在安全隐患的河段，一般不适宜进行大规模清淤疏浚。针对上述问题，可考虑在治理前期投放底泥处理剂，底泥中的黑臭物质、有害菌落、油污类物质和重金属等将得到有效的抑制和分解。在处理后的底泥基础之上投洒底泥固化剂，即原位覆盖修复技术，使底部污泥形成稳定的固结层，阻止底泥与上部水体的直接接触，防止污泥中的有害物质、底泥油污等扩散到河道水体中。

## 三、水生态修复总体策略

平原河网城市河道密布，河道治理一般采用分期分段、逐条推进的治理模式，在前文对城市河道的问题分析和相应技术措施研究的基础上，从实际出发，考虑近

远结合，根据低碳环保、科学有效、安全可持续的治理原则，兼顾河道整体观感和景观环境，本文针对城市河道提出外源污染拦截（上游来水污染物生态拦截、河道排放口生态拦截）、内源污染控制（底泥锁定）、生态系统构建（水体复氧、生态修复）的水生态修复总体策略。

### （一）外源污染拦截

#### （1）上游来水污染物生态拦截

对治理河段上游来水和汇入支流进行识别，检测上游水质情况，如果来水水质劣于治理河段，应合理调整区域引排水调度规则，尽量减少上游来水水量，降低对治理河段的影响，为河道水生态修复创造条件。同时在治理段上下游及支流汇入口设置生态拦截区，对上游来水中的污染物进行拦截和降解，并在一定范围内形成水质与水体生态相对稳定的区域。

#### （2）河道排放口生态拦截

河道排放口流出的混接污水和初期雨水，是造成河道水体污染的最重要原因。由于排放口污染具有分散、冲击负荷大等特点，治理难度相对较高，削减排放口污染的核心措施是在源头控制进入雨水管渠的各类污染物，相关岸上措施不在本次研究范围。本文从水生态的角度提出，针对各排放口水量、污染物浓度的不同，可设置不同规格的排放口拦截处理系统，利用人工介质、植物、微生物对排放口处水质进行强化处理，降低混接污水和初期雨水对河道水体水质的影响，并遮挡排放口，优化河道景观。

### （二）内源污染控制

河道内源污染控制采用底泥固化剂，底泥固化剂为多孔物质制成的底泥活性载体，覆盖于河底表面，其主要功能体现在以下几个方面：1）具孔表面可为有益土著微生物生长、繁殖提供空间，可在不破坏水体底泥自然环境条件下，减少底泥絮凝物的生成与释放；2）适用于多种有机和无机污染底泥，不仅可以有效控制底泥中氮、磷等营养物质的释放，还可以抑制重金属和底泥油污等有害物质的释放；3）材料选用天然的矿物或者合成品，性状稳定，不会向水体释放污染物质；4）具有吸附作用，可以稳固底泥，防止再悬浮或迁移。

采用底泥固化剂对底泥进行固化处理，并结合水生植物和土著微生物对底泥污染物进行降解和去除，最终达到河道底泥减量化的目的。

### （三）生态系统构建

生态系统构建主要是重新建立和恢复水体生态平衡，主要措施包括水体复氧、微生物修复、水生植物修复及生物链构建等。

生态系统构建的主要过程是通过人工增氧，恢复微

生物的矿化作用,使水体中现有的有机物转化为无机态,其次还可以抑制厌氧微生物的代谢,减少硫化氢、亚硝酸盐等有害物质的产生。PSB菌剂可以分解有害硫化物,具有除臭作用;NOB和DNB组合菌剂能够将硝态氮、亚硝态氮、氨氮转化为氮气彻底从水环境中移出,并且恢复了水体的景观性。然后再人工种植一定数量的净水植物、放养适宜数量的鱼群,净水植物可以利用无机物合成有机物,有利于实现生态系统的物质平衡,鱼群可以控制藻类的生长,当鱼类成长到一定数量,通过人工捕捞不但控制了其数量也将部分氮、磷从水体中移出。

因此,通过生态系统构建可减少水体中营养物质含量,恢复有机物矿化成无机物、无机物转化为有机物的过程,保持水体的物质平衡,同时利用净水植物恢复水体的景观效果,最终实现水体生物在数量上的平衡。

### (1) 水体高效复氧技术

水体高效复氧是水体生态修复工程中的一环重要环节,也是后续水体自有微生物生长和繁殖的基本条件,通过复氧曝气系统向已破坏的生态环节中供氧,可使得已断裂的生物链得到有效的修复,为后续水生动植物和底泥修复剂的生态修复提供必要条件,从而逐步建立更加完善的生态系统。

对河道进行人工曝气可加速水体的复氧过程,迅速氧化有机物厌氧降解时产生的 $H_2S$ 及 $FeS$ 等致黑、致臭物质,有效地改善或缓解黑臭现象。能使河道的上层底泥中还原性物质得到氧化或好氧生物降解,不会形成 $H_2S$ ,没有臭味,并形成 $Fe(OH)_3$ 沉淀,在底泥表层形成一个密实的“沉积层”。

### (2) 微生物修复技术

微生物修复技术是基于微生物在水体有机物降解、转化过程中的核心作用,利用微生物将污染水体中有害有毒物质就地去除和降解,达到清除水体污染,恢复水体生态系统的目的,是原位生物修复中最根本、最关键和最重要的修复技术,也是唯一可与各种环境污染修复方法耦合的生态修复技术。

微生物修复技术的核心是促进水环境中污染物降解功能微生物的生态活性,加快水体污染物的降解和转化。主要采用促进、增强具有污染物降解功能的水体土著微生物活性,提升水体自净能力。在相关工程实践中,根据河道水质状况,定时定量向水体中投放促生剂,使污染水体中有益土著微生物维持较高的净化吸收污染活性,可以快速有效地达到最佳净水效果。

### (3) 水生植物修复及生物链构建

水生植物能吸收河道和底泥中氮、磷等营养元素,通过竞争途径抑制藻类的过度繁殖,其根系又可作为土著微生物培育床,形成一个庞大的生物群落,提高土著微生物对水质的净化作用,还能为浮游动物和鱼类提供栖息地。在治理河道水域设置生态浮岛,种植美人蕉、黄菖蒲、千屈菜、水葱、花叶菖蒲、梭鱼草、慈姑、鸢尾、睡莲、聚草、圆币草等水生植物,强化了水体污染物质尤其是无机污染物的吸收、转化,促进了微生物原位强化修复的效果,在污染水体中形成了立体生态修复体系,为逐渐恢复水体生态平衡奠定了有力的基础,又营造了良好的河道生态景观。同时,生态浮岛也为水生动物生存、繁殖提供了栖息场所,有利于增加生态系统生物量,提高生物多样性,并可让河道的食物链趋于完善,促进物质与能量流动的正常运行。

## 四、结语

本文立足生态修复,针对平原河网城市面临的水环境问题,从水生态的角度提出了相应的解决措施,在此基础上,从实际工程推进的角度出发,对城市河道水生生态修复提出了外源污染拦截、内源污染控制和生态系统构建的总体策略。

外源污染拦截可以阻断或减少外来污染物进入治理区,内源污染控制可以避免因底泥扰动造成的污染物二次释放。本文详细阐述了生态系统构建的技术原理和相关措施,水体复氧可以为微生物生长和繁殖提供基本条件,有效改善河道黑臭现象;微生物在水环境可以快速、有效的改善水质,降解底泥,提升水体自净能力;水生植物能吸收河道中的营养元素,其根系周边形成的生物群落,可以提高土著微生物对水质的净化作用,并为浮游动物和鱼类提供栖息地。

在人为干预期,通过定期收割已成熟的水生植物将氮磷等污染物移出水体,在河道中投放鱼、虾等水生动物,逐步完善水体动植物系统和生物链,恢复水体溶解氧自给功能。在长效保持期,水生动植物和河道自有微生物通过生物选择形成稳定系统,在污染物突然变化和水质冲击情况下,有自身降解污染物的能力,实现河道水体的自我净化,达到长效治理的效果。

## 参考文献

- [1] 苏耀明,王秀明,谭志等.区域水环境污染问题识别及整治对策研究[J].给水排水,2021,57(S2):219-222.
- [2] 李锐.中国水资源、水环境现状与和谐社会建设[J].河北水利,2007(09):39.
- [3] 郭娅琦.城市化进程对城市生态环境的影响研究[D].湖南大学,2007.