

上海市浦东新区周浦镇河道水体生态修复研究

Ecological Restoration of Rivers in Zhoupu Town, Pudong New District, Shanghai

王彬郦 李艳华 李 弘 陈范模*
WANG Binli Li Yanhua LI Hong CHEN Fanmo*

文章编号: 1000-0283 (2021) 08-0082-07
DOI: 10.12193/j.laig.2021.08.0082.012
中图分类号: TU986
文献标识码: A
收稿日期: 2021-06-01
修回日期: 2021-07-08

王彬郦
1994年生/女/浙江人/上海十方生态园林股份有限公司景观工程师/研究方向为水体治理及水生态修复、面源污染防控(上海 200437)

陈范模
1967年生/男/重庆人/上海十方生态园林股份有限公司高级工程师/研究方向为园林工程技术、生态水面源污染控制、土壤改良等领域(上海 200233)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: chenfanmo@shsfyl.com

摘要

河道不仅承担着行洪排涝、灌溉供水、生态维持、养殖及景观等功能, 还是城乡自然生态系统的核心组成部分。随着城市的更新与扩张, 城乡中小型河道普遍面临污染输入剧增、水质恶化、水生态恶化等问题。以上海浦东新区周浦镇河道水体生态修复工程为例, 研究其采用水生植物直接种植并辅以适当工程手段的修复方法, 结果表明选用的水生植物对地处城乡结合地带中的河道的水环境改善、水生态修复和水景观营造具有明显的提升作用。研究可为同类型河道的综合治理提供参考与借鉴。

关键词

水生植物; 河道; 水体净化; 生态修复; 工程手段

Abstract

Rivers not only assume the functions of flood discharge and drainage, irrigation and water supply, ecology maintenance, aquaculture and landscape, but also are the core components of urban and rural ecosystem. With the renewal and expansion of cities, small and medium rivers in urban and rural areas are generally faced with problems such as sharp increase in pollution input, deterioration of water quality and deterioration of water ecology. Taking the river water ecological restoration project in Zhoupu Town, Pudong New Area, Shanghai as an example, this paper studies the restoration method of direct planting of aquatic plants with appropriate engineering methods. The results show that the selected aquatic plants have a significant improvement or promotion effect on the improvement of water environment, water ecological restoration and water landscape construction of rivers in the urban-rural fringe. This study can serve as a reference for the restoration of rivers under similar conditions.

Key words

macrophytes; river; water purification; ecological restoration; engineering measures

河道是陆地表面包括水体、植物、动物、土壤等多种环境因子的线型天然水道, 具有明显不同于其两侧陆地的土壤和植被特征, 支持较高水平的物种多样性、种群密度和生物生产率, 是具有包括调节径流、调蓄水量、去除水中有害物质、提供水生和陆生动物栖息地等多项生态功能的复杂的生态系统^[1]。河道不仅承担着行洪排涝、灌溉供水、生态、养殖及景观等功能, 还是城、乡自然生态系统的核心组成部分^[2]。由于工业化、城镇化进程的不统一, 在城市与农村之间形成一些独特而复杂的城乡结合地带, 这些地带的中小河道面临河道空间受压缩、污染源复杂、生态服务需求不断增长的多重压力, 存在水土流失、河道淤积、水体严重污染、水质变差等问题, 河道的承载能力逐渐下降。

因此,开展河道的水环境治理和生态修复工程,对于解决城乡河道面临的根本生态问题,以及城市水资源、水环境、水生态、水景观问题至关重要^[3]。

植物,尤其是水生植物在生长过程中,由于对于周围环境中氮、磷等营养物质,有机污染物和重金属有吸收、吸附作用,被大量应用于控制富营养化和修复污染水体。栽植水生植物成为近年来受到高度关注的水生态治理措施之一,具有成本低廉、管理方便、有经济收益潜力、不产生二次污染、能够改善生态景观等优点。文章通过实际案例探析水生植物在地处城乡中小河道水质净化、生态修复和景观营造及恢复中的应用,旨在为水生植物用于因受到河流空间压缩、水动力不足、治理技术薄弱等各方面限制的城乡中小脆弱河道的生态环境修复提供理论基础和实践经验,为以水生植物为主要手段的生物修复技术的推广和同类型河道的生态综合治理提供示范和参考。

1 水生植物的生态修复功能

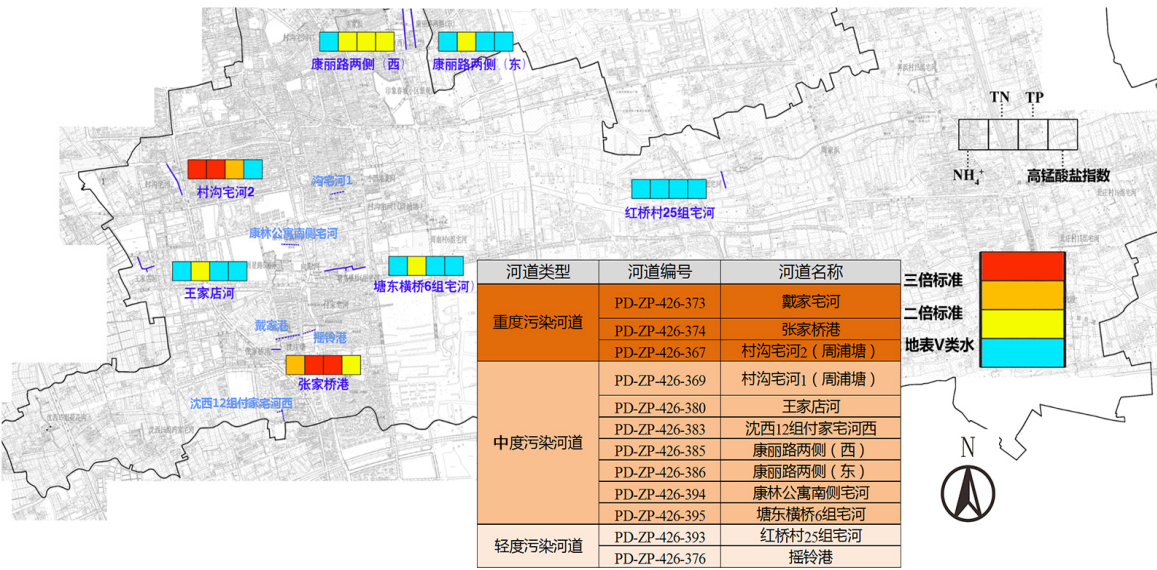
水生植物又称水生高等植物,是指能够长期或永久地在水中正常生活的植物,包括木本和草本植物。按照其生长空间又可细分为沉水、挺水、漂浮和浮叶植物。水生植物是河流、湖泊等水生生态系统主要的初级生产者,具有显著的环境生态功能,不仅能够为水生动物、微生物提供食物和栖息地,而且对水体的物理、化学和生物特性具有调节作用。

近年来兴起的植物修复技术是通过植物的吸收和代谢功能对环境介质中的有毒有害污染物进行分解、富集、稳定和移除^[4]。植物修复的作用机理主要有植物固定、植物降解、植物挥发、植物提取、根系过滤。由于生长发育需要,水生植物在生长过程中可直接吸收污水中的氮、磷等营养物质。以水生植物根际为生存场所的微生物,是营养物质好氧/厌氧降解的主要介导^[5]。水生植物对水体中的重金属等污染物也有一定的吸附作用^[6]。水生植物的根、茎、叶吸收水体中的有机污染物,如PAHs、TPHs、PCBs等,利用植物或植物与微生物共同降解作用实现清除^[7]。此外,水生植物还具有释放化感物质(Allelochemicals)^[8]调节周围生物活动的生态功能。水生植物代谢过程中会产生对特定受体(植物或微生物)具有调节作用(化感作用)的次生代谢物质,对水华藻类的生长产生抑制(克制)作用,而且化感物质对藻类的抑制作用具有明显的选择性。近年来国内外有大量关于水生植物化感

抑藻作用的研究报道,目前已经确认具有较强化感抑藻作用的水生植物有:芦苇、灯芯草、石菖蒲、马蹄莲、苦草、凤眼莲、金鱼藻、穗花狐尾藻、芦竹、浮萍、满江红、紫萍等10余种^[9]。通过水生植物对藻类的化感抑制效应,可以控制藻类生长、改善水质、提高透明度,改善景观^[10]。对于以富营养化为主要特征的湖泊、水库,水生植物被认为是湖泊生态系统结构的主导因子^[11]。国内已有多个利用水生植物,特别是沉水植物治理富营养化藻型湖泊(水库)的实际应用,均取得较好效果^[12]。

城市滨河区是城市范围内河道水域与陆地相接的区域,集中了各种自然因素,同时又受到人类活动和城市干扰,是人与自然共同作用最强烈的地带之一^[13]。城市河流具有行洪、排涝、纳污、水土保持、水体自净和构成、连接城市景观等基本功能,是城市生态系统中具有生态景观连通作用的重要纽带。作为水生态环境的重要载体,城市河道在社会经济发展中有着十分重要的地位。然而,伴随城市发展的人类活动加剧,城市河流受到干扰和威胁,城市区域内产生的各种污染物直接或间接排入河道,导致城市河道严重污染,超过河道的自净能力,河道水生态系统退化,既影响沿河居民的生活质量,也阻碍了城市的可持续发展。受城市人口增加和经济活动日益强化的影响,城乡河道普遍存在点源、面源污染输入增加,滨岸空间受到挤压,连通性丧失等问题,不仅给河道生态系统造成压力,也给常见河道修复治理手段的应用实施造成难以逾越的障碍。在用于城市河道治理的多种措施中,水生植物不仅能吸收净化水体中的重金属和有机污染物,控制富营养化,作为初级生产者,还能完善水生生物群落结构,增加水体的生物多样性,使城市河道恢复近自然条件,提高其自净能力,而且具有低耗、高效、不产生二次污染的特点,日益受到关注和广泛应用^[14-15]。

河道治理中,水生植物的生态修复作用通常通过人工湿地、植物缓冲带、生态浮床(岛)等生态工程来实现^[16-17]。另外,直接种植水生植物是一种更为灵活、有效、简便的原位污染清除和水质改善措施。利用河道自身的水动力学特征,通过水生植物的生态过程,可以实现净化清除水体污染、增加水体溶解氧、改善水生态健康、营造景观、美化环境的目标。在满足河道水利功能要求的前提下,合理配置沉水、挺水植物,充分发挥水生植物的形态、色彩等自然要素的作用,既能改善河道水质,又能起到美化环境、营造水景的作用。



1. 河道污染程度分析图

2 上海浦东新区周浦镇河道生态修复

项目位于浦东新区周浦镇 (北纬31° 07′, 东经121° 35′), 是航运河网的中枢, 内通钦塘内各地, 外与黄浦江相接, 是城乡结合的一处典型, 也是承接市区产业扩散的第一圈层。周浦镇属老滨海平原区, 地势较低, 地面标高为吴淞零上4 m左右, 常年地下水位1.5 m, 冬季为1.8 ~ 2 m, 夏季为1.2 ~ 1.5 m。

2.1 河道现状问题分析

通过实地调研, 河道存在以下问题: (1) 周边用地类型复杂, 主要有居住、公共绿化、工业、林业用地等, 且许多坡岸被居民用来种植蔬菜。(2) 因道路和城市建设的需要^[10], 许多自然河道已被人工改造成多种形式, 导致自然河流非连续化, 许多河道流通不畅。(3) 许多河道坡岸被开发为菜地, 施肥后的径流污染直接入河, 导致河道富营养化。此外, 畜禽养殖在近河地区仍然大量进行, 也增加了河道的污染负荷。(4) 虽然河道周边均建立了截污纳管的工程设施, 但部分河道仍有周边居民的生活污水进入。

2.2 综合整治技术方案

水生态治理不仅要实现近期水质达标的目标, 更应着眼

于河道水环境及生态系统健康稳定的长远目标。此次河道网络综合治理, 根据河道现状和规划, 设计了近期与远期目标。近期目标为: 项目实施1年后, 消除黑臭; 实施2年后, 消除劣V类水; 主要水质指标: TP (总磷) $\leq 0.4 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (氨氮) $\leq 2 \text{ mg/L}$, DO (溶解氧) $\geq 2.5 \text{ mg/L}$ 。远期目标为: 连通水系, 大幅度提高调节、净化能力, 使水环境及生态系统健康稳定, 最终实现“水清、水动、岸洁、岸绿”的总目标。

为此, 项目制定“综合考量—整体规划—逐步实施”的技术方案, 先将取样河道的水质数据进行比较分析。以地表V类水为标准, 分析 NH_4^+ (氨离子)、TN (总氮)、TP、高锰酸盐指数4个指标的污染严重程度。将这4个指标分为4个格子在地图每条河道上标出, 低于地表V类水标准以蓝色表示; 在地表V类水两倍标准和地表V类水标准之间的以黄色表示; 在地表V类水三倍标准和地表V类水两倍标准之间的以橙色表示; 高于地表V类水三倍标准的以红色表示, 直观反映河道周边干扰最大的因素。综合考虑项目及周边地区的水系特点、水质及生态要求, 结合每条河道的现状条件、驳岸情况, 将12条河道分为重度污染河道、中度污染河道、轻度污染河道三个类型, 同时选取7条典型河道的水质数据进行横向比较分析 (图1), 形成对河道进行强化净化和生态修复的

“工程+技术”措施，一河一策，在每条河道上形成节点净化处理—水域强化净化—岸线植物恢复的全方位水环境治理和生态修复系统。

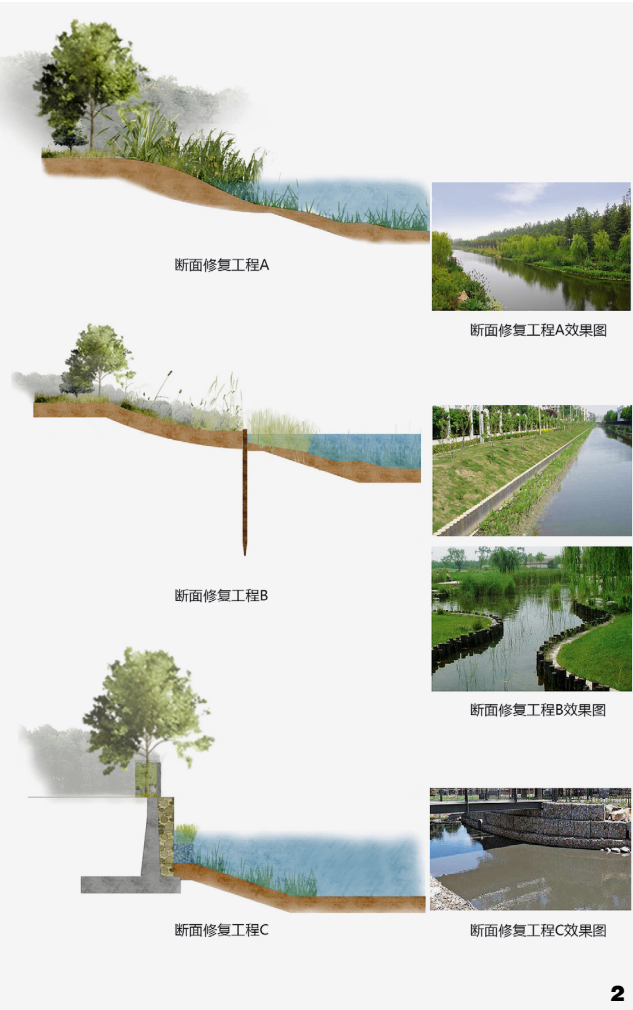
在具体的修复技术措施实施时，结合前期清淤、截污纳管工程，采用“节点净化—生境构造—湿地生态—水域修复”的技术路线，同时辅助水系连通、饮水调水的设计架构，对城乡中小河道进行综合治理和生态修复，确保消除黑臭，消除劣Ⅴ类水体，最终实现全方位水质改善和生态功能提升。

2.3 栽植水生植物提升水体水质

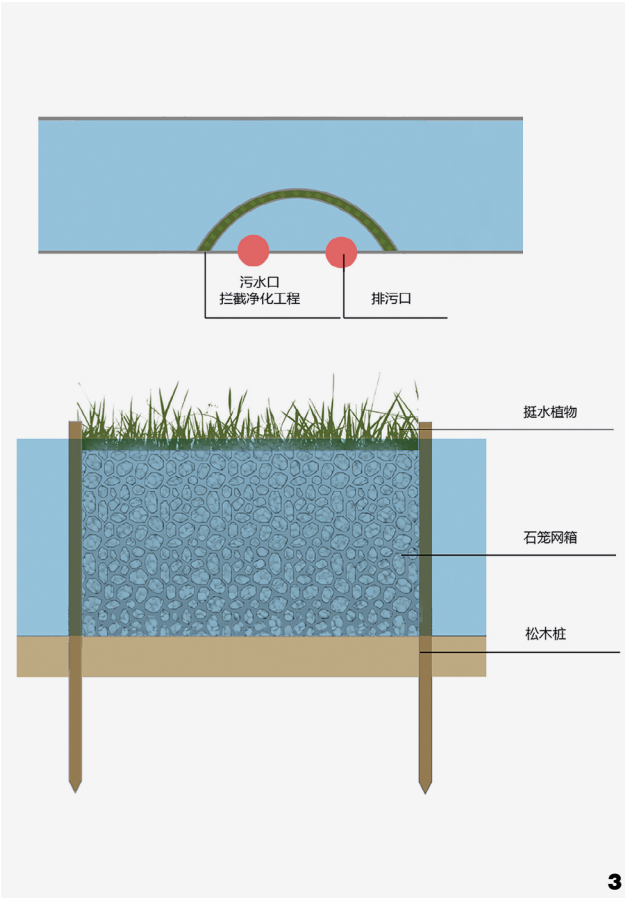
根据不同区域的河道和驳岸形态，选用水生植物净化水体，而构成驳岸植物带的湿生植物，如受淹时间长，则受到水深、光照、水流速度、风浪等影响严重^[19]，因而选取适宜的水生植物能够更好地保证植物健康生长，同时减少风浪反冲，促进水体中营养成份的吸收，有效提升水质。植物配置选用挺水植物如水生美人蕉、再力花、黄菖蒲等，沉水植物如苦草、轮叶黑藻等，浮叶植物如耐寒睡莲（表1）。

表1 植物配置表

植物类型	植物品种	拉丁学名	观赏特性	适应能力	株高/m	主要净化功能	养护特性
挺水植物	水生美人蕉	<i>Canna indica</i>	良好的观叶观花植物，适合片植也可点缀河道、水池，花期为夏秋两季	强	0.8~1.5	去除总氮、总磷、氨氮，降解化学需氧量	喜光怕强风，不耐寒，冬季宿根越冬，需割除地上枯萎部分，播种、分株可繁
	再力花	<i>Thalia dealbata</i>	株型优美，叶色翠绿，夏秋紫色，总状花絮	强	1~2.5	去除氨氮、总磷	无病虫害，鱼鸟不食，冬季枯萎割除枯枝叶，开春即长，长势较快
	黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	花色黄艳，花姿秀美，花期5月，观赏价值极高	强	0.4~0.6	去除总氮、总磷、氨氮，降解化学需氧量	冬季枯，需剪除枯枝，管理粗放
	铜钱草	<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	叶圆形盾状，夏秋开小小黄绿色花	强	0.1	去除总氮、总磷、氨氮	喜温暖潮湿，栽培处以半日照或阴处为宜，以松软排水良好的栽培土为佳
	水芹菜	<i>Oenanthe javanica</i>	茎直立或基部匍匐，复伞形花序顶生，萼齿线状披针形，花瓣白色，倒卵形，有一长而内折的小舌片	强	0.2~0.3	去除总氮、总磷、氨氮	秋季种植，冬季开始生长，管理粗放
	茭草	<i>Zizania latifolia</i>	具匍匐根状茎，秆高大直立，圆锥花序长30~50 cm，分枝多数簇生，上升，果期开展	强	1.6~2	去除总氮、总磷、氨氮	可分春秋两季，春栽在谷雨前后，秋栽在立秋前后
沉水植物	旱伞草	<i>Cyperus involucratus</i>	多年生草本植物，依水而生，植株茂密，丛生，茎秆秀雅挺拔，叶伞状，奇特优美	强	0.3~1.5	去除总氮、总磷、氨氮	分株繁殖一般在4~5月
	苦草	<i>Vallisneria natans</i>	叶长翠绿、丛生，能提升水体透明度	强	0.2~2	富集重金属，去除总氮、总磷	定植时间为5~9月，株行距30~80 cm，每兜5~8株
	轮叶黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	多年生沉水草本，适宜浅水绿化、室内水体绿化，作水下植被	强	0.2~2	富集重金属，去除氨氮，提升水体透明度	定植时间为5~8月，10~15芽/丛、25~36丛/m ²
浮叶植物	耐寒睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	多年生水生植物，3~4月萌发长叶，5~8月陆续开花	强	0.2~0.5	去除总氮，降解生化需氧量、化学需氧量	水位控制是耐寒睡莲良好生长的重要因素之一，随着生长期的不同对水位的要求各不相同



以河道生态净化和景观要求为目标，通过一定密度、多种水生植物的片植、块植与丛植，构建水下健全、健康的沉水植物及其支持的微生物净水系统，为浮游动物提供栖息地和避难所，同时改变水体中氮、磷等营养盐的循环动力学。通过介导作用促进氮的硝化/反硝化作用，抑制磷的沉降，也可有效抑制因底泥再悬浮和氮磷释放导致的内源性污染，增强对浮游植物的控制和提升生态系统的自净能力^[20]。由沉水、挺水、浮叶植物立体搭配构成相互呼应、错落有致的景观系统，有力地提升了河道水域的观赏性。



2. 断面修复工程示意图和效果图
3. 排污口拦截净化装置

2.4 辅助工程治理措施及方法

2.4.1 不同类型驳岸的治理与生态修复

生物群落多样性是河道生态系统健康的保障，而河道形态多样性是生物群落多样性的物理基础^[13]。驳岸作为水陆交接带，不仅是生态治理中控制径流入河污染的关键屏障，也是重要的景观区域，所以驳岸的建设应依据现状条件同时满足生态修复和景观功能的要求。结合现场调查，依据驳岸现有使用情况，本项目中12条河道的驳岸类型主要有自然型驳岸（断面修复工程A）、已有木桩驳岸（断面修复工程B）、直立硬

质驳岸(断面修复工程C)三种,项目组采取如下治理措施:

(1) 断面修复工程A。分析驳岸现有水生植物(茭草、水花生等)配置已不能满足生态需求,决定采用人工干预修复河床基底,进行基底重构,采用挺水植物(黄菖蒲、茭草、芦苇)和沉水植物(苦草、轮叶黑藻)复合种植进行生态恢复,通过水生态系统结构和功能的恢复,达到减缓径流、吸收部分污染物、稳定河道两岸的目的,最终改善整个河道生境,提升河道自我修复功能。

(2) 断面修复工程B。排查并修补破损或塌陷的木桩,同时对部分有景观一致性要求的河段进行木桩增补。重构河床基底进行人工干预,根据现有水生植物分布情况,在河道边补种挺水植物和沉水植物,通过水陆交错带植物的恢复,改善河道的生态环境。

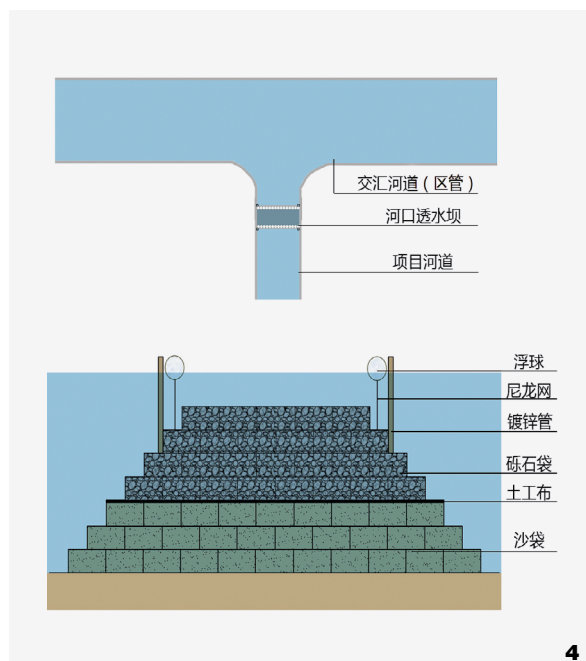
(3) 断面修复工程C。采用格宾石笼混凝土或浆砌毛石挡墙沿硬质驳岸进行改造,使毫无生机的直立驳岸成为能够提供栖息场所的驳岸。在直立硬质驳岸部分进行河床基底重构,利用格宾石笼的生态格网结构,实现工程结构与生态环境的有机结合。最后在格宾石笼上进行增补水生植物恢复,改善河道

的生态环境(图2)。

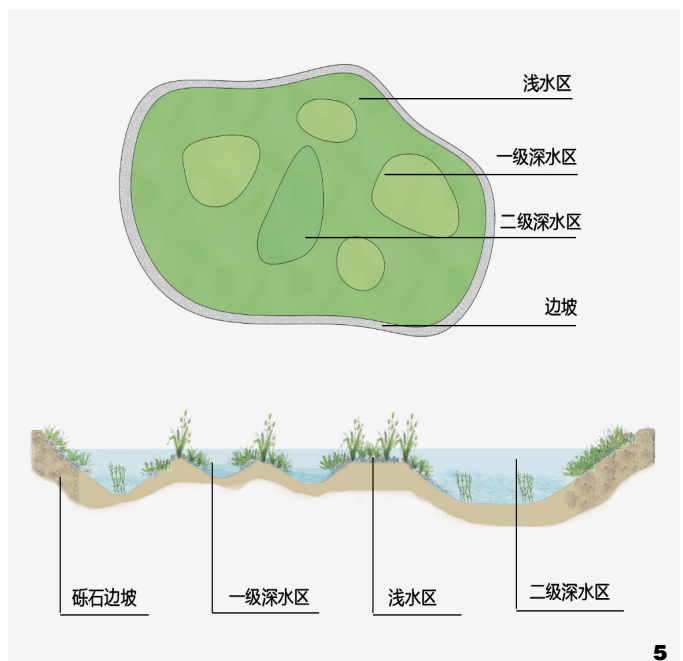
2.4.2 点源污染净化的治理及修复

河道点源污染如排水口,有量大、排水集中、冲击力强等特点。对此,污水口设计了拦截净化工程,对排污量较大(生活污水、农业退水等)的河段进行水力学缓冲和初步净化,降低污水中的悬浮物量,降低生活污水汇水负荷冲击(图3),必要时在大河道交汇河口设置生态基生物滤坝,使河道的汇水得到进一步净化,同时拦截进入大河道的漂浮物,如生活垃圾、枯枝落叶等。河口生态基生物滤坝设置在与大河道交汇处约10~15m的范围内,采用沙袋和砾石袋作为底部铺垫,上铺砾石袋层,中间采用土工布分隔。坝顶布置两道尼龙网,上部连接特制泡沫浮球,用来拦截进入区管河道的漂浮物,并采用镀锌管加以固定。水流较容易穿过空隙较大的砾石层,可进一步提高净化效率。在水位过低时,河口生态基生物滤坝还能够防止水过快流失,保证河道水生态系统的沉水植物拥有正常的生长水位,而当水位高于设定水位时,项目河道的水能够没过坝顶迅速排出(图4)。

4. 生态基生物滤坝示意图
5. 节点净化湿地示意图



4



5

2.4.3 部分节点净化湿地治理及修复

节点净化湿地针对长度仅为15 ~ 20 m的河道分支设计, 此处水流较慢, 水力停留时间相对较长, 利于湿地系统对河道水体进行深度净化, 同时能够有效营造水域景观。节点净化湿地采用深浅水域交替的设计, 营造利于不同株高水生植物生长的基底条件, 可分为浅水区、一级深水区、二级深水区三个区级。其中浅水区水深约为0.5 m, 利于株高较低的挺水植物如茭草、旱伞草的生长; 一级深水区水深约为0.8 m, 利于株高较高的挺水植物如芦苇、再力花的生长; 二级深水区水深约1.5 m, 利于沉水植物如苦草、轮叶黑藻的生长。对于节点湿地与陆域交界的边坡处, 采用砾石和土混合铺垫, 保护边坡免受侵蚀(图5)。

2.5 项目效果

通过增补大量水生植物, 并辅以一系列人工工程手段进行生态整治后, 周浦镇地区河道水体净化的效果较为明显, 生态得到有效恢复, 进一步提升水生态稳定性, 坡岸更整洁, 水质更清澈透亮。

3 结语

研究得出, 城乡中小河道的水环境治理生态修复与综合整治, 因其现状的复杂与特殊性, 需要前期认真细致的现场勘查, 分析周边的环境影响因素如污染源, 根据各条河道的功能, 制定一河一策的可实施方案。结合水利、水务建设要求, 选用不同种类的水生植物, 与不同类型的驳岸有效融合, 利用水生植物吸收、净化河道水体污染物和富营养元素, 使河道景观得到优化提升, 最终实现综合治理的目标。实践证明, 选用的水生植物搭配种植, 配合适当的工程辅助, 能够显著改善河道水质、恢复水体中生物的多样性, 有利于稳定河流生态系统的构建。LA

参考文献

[1] 曹建廷. 河道生态修复工程的组成与生态修复指导原则[J]. 科技导报, 2005, 23(7): 67.

[2] 陈兴茹. 促进人水和谐的城市河流建设理论研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006.

[3] 陈兴茹. 城市河流生态修复浅议[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2006, 4(3): 226-231.

[4] 唐志坚, 张平, 左社强, 等. 植物修复技术在地表水处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2003, 19(7): 27-29.

[5] 刘盼, 宋超, 朱华, 等. 3种水生植物对富营养化水体的净化作用研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(002): 69-74.

[6] 王谦, 成水平. 大型水生植物修复重金属污染水体研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(05): 96-102.

[7] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J]. 环境工程学报, 2003, 004(002): 36-40.

[8] SATOSHI N, YUTAKA I, MASAAKI H, et al. Growth Inhibition of Blue-green Algae by Allelopathic Effects of Macrophyte[J]. Water Science & Technology, 1999, 39(8): 47-53.

[9] HONG Y, HU H Y. Effects of the Aquatic Extracts of Arundo Donax L. on the Growth of Freshwater Algae[J]. Allelopathy Journal, 2007, 20(2): 315-326.

[10] 李锋民, 胡洪营. 植物化感作用控制天然水体中有害藻类的机理与应用[J]. 给水排水, 2004(02): 1-4.

[11] 朱元钦, 袁龙义. 水生植物在湖泊生态修复中的作用[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(5): 13-17.

[12] 黄小龙, 郭艳敏, 张毅敏, 等. 沉水植物对湖泊沉积物氮磷内源负荷的控制及应用[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(12): 30-36.

[13] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003, 34(011): 1-6.

[14] 张捷鑫, 吴纯德, 陈维平, 等. 污染河道治理技术研究进展[J]. 生态科学, 2005, 24(2): 178-181.

[15] 王军, 王淑燕, 李海燕, 等. 韩国清溪川的生态化整治对中国河道治理的启示[J]. 中国发展, 2009(03): 15-18.

[16] 李文芬, 刘沛芬, 颜亨梅, 等. 5种浮床植物在水环境恢复治理中的净化差异[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(2): 173-176.

[17] 秦红杰, 张志勇, 刘海琴, 等. 两种漂浮植物的生长特性及其水质净化作用[J]. 中国环境科学, 2016, 36(8): 2470-2479.

[18] 董哲仁. 试论生态水利工程的基本设计原则[J]. 水利学报, 2004(10): 1-6.

[19] 陈婉. 城市河道生态修复初探[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.

[20] 刘足根, 张萌, 李雄清, 等. 沉水—挺水植物镶嵌组合的水体氮磷去除效果研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 171-181.