

某城市河道水质提升设计

黄军政

(台州市城乡规划设计研究院有限公司, 浙江 台州 318000)

摘要:随着城市的发展,城市内很多河道水质变差,因此提升河道水质十分有必要。文章针对某城市河道分析了水质恶化的主要原因,包括面源污染、农村生活污水以及河道底泥污染等,并提出一系列水质提升的技术措施,如水环境改善措施、水生态修复措施、基底修复措施、人工湿地构建等。研究表明:通过以上多种措施,可达到削减来水污染物、增强水生植物的生态环境的自净能力以及观赏功能。在此基础上,水体环境可得到长期稳定改善,实现断面水质年均值达到《地表水环境质量标准》中Ⅲ类水质目标。

关键词:水环境改善; 水生态修复; 内源基底修复; 人工湿地构建

中图分类号:X52

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)04-0056-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.04.051

Design of improving river water quality in a city

HUANG Junzheng

(Taizhou Urban and Rural Planning and Design Institute Co., Ltd., Taizhou 318000, Zhejiang, China)

Abstract: With the development of the city, the water quality of many rivers in the city becomes worse, thus improving the water quality of the river is very necessary. This main causes of water quality deterioration in a city river are analyzed, such as non-point source pollution, rural domestic sewage and river sediment pollution, and a series of technical measures are put forward to improve water quality, including water environment improvement measures, water ecological restoration measures, basement restoration measures, construction of constructed wetlands, etc. The research shows that the above measures can reduce the inflow pollutants and enhance the self-purification ability and ornamental function of aquatic plants. On this basis, the water environment can be steadily improved for a long time, and the annual average water quality of the section can reach the water quality target of Class III in the "Surface Water Environmental Quality Standard".

Key words: improvement of water quality; water ecological restoration; base repair; wetland construction

随着我国工业化、城市化的快速推进,由于工业废水、生活污水以及农业面源污染等多种因素的影响,河道水质问题日益凸显,成为影响生态环境和人类健康的重要因素^[1]。

为了改善河道水质状况,提升水环境质量,国内外学者进行了大量的研究和实践。这些研究涵盖了水质监测、污染源控制、生态修复等多个方面。孙超^[2]对西安护城河存在水质问题做出全面的评价分析,针对护城河不同区段存在的水质

问题,并提出“控源-流动-净化-修复”的综合水质提升措施;易春权^[3]通过制定和实施“一河一策”的深度治理要求,实现水环境质量的改善,提高治理成效;刘芳琪^[4]通过营造水下森林,食藻虫、微孔曝气增氧技术来改善河道水质状况。然而现阶段众多研究措施仅从河段层面考虑,欠缺从宏观视角纵观流域问题的意识,也未充分考虑自然资源、景观旅游等方面的关系,未能更深入治理水环境生态问题。

收稿日期:2023-03-06

作者简介:黄军政(1986—),男,工程师,从事市政给水排水设计。

基于前人的研究，本文以某市流域为例，分析水质恶化原因，基于截污控源与生态治理措施为主的综合系统治理理念，找出改善河道水质状况、提升水环境质量的应对措施，以期可为实现水体长期不断改善提供参考与借鉴。

1 项目背景

项目涉及山水泾、石浜泾、丁岙泾、墙里贺泾、外脚桥泾五条支流，均属于市、县级河道范围，主要河道功能为防洪、排涝及灌溉。属亚热带海洋季风气候，具有明显的海洋性气候特征。根据河道断面水质监测数据，以《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）^[5] 为评价标准，山水泾 1、5、6、7、8、9、12 这 7 个月水质最差，其余上分水水质，除 2、3、4、10 这 4 个月外，其余月份水质基本为Ⅳ类或Ⅴ类，支流污染较为明显，支流污染汇入干流，进一步加剧污染，远超出水体自净能力范围。



图 1 水质监测点分布

2 水环境改善工程设计

针对沿线存在的雨水和污水口水量和水质的不稳定性及复杂性，在每个排放口处布设浮动湿地处理系统。该系统采用“生态浮床+碳素纤维生态草”方案设计，通过植株根系及微生物菌群的新陈代谢和絮凝、吸附作用，可以去除水体中的 N、P、悬浮物和有机物等^[6]，不仅可以削减来水的污染物，同时可提升河道景观效果。

考虑到各排放口位置相对较为集中，本方案于排放口处均布置浮动湿地，具体规格为 2 m × 10 m 的生态浮床，浮床下挂碳素纤维生态草。按照河流碳素纤维生态草设计量为 100 ~ 200 g/m³，COD 去除率按照 10% 计算，NH₃-N 去除率按照 10% 计

算，TP 去除率按照 10% 计算。布设方式根据现场实际采用浮岛悬挂式与框架式相结合。

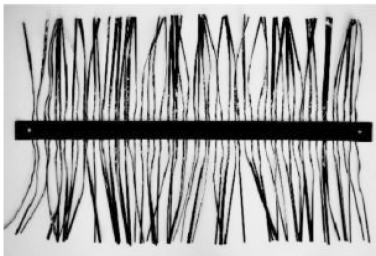


图 2 碳素纤维生态草

表 1 不同场所下碳素纤维草参考使用量

设置场所	目的	碳素纤维量/(g·cm ⁻³)
湖泊、海域	水质净化	10 ~ 100
河流	水质净化	100 ~ 200
工业污水	水质净化	200 ~ 600
池、湖泊、海域	藻场形成	100 ~ 200

3 水生态修复工程设计

水生态修复工程主要涉及支流，通过生态浮岛、水下森林构建、FBR 生物床等工程，采用藤本、挺水、沉水植物相结合的立体植物配置，增强水生植物的生态环境的自净能力以及观赏功能。

3.1 生态浮岛方案

生态浮岛技术构建水上植物体系，利用植物根系、植物本身直接或间接地达到吸收利用水体中的溶解氮、磷等营养物质，提高水体溶解氧含量，促进污染物净化，增加生物多样性，构建水上花园。

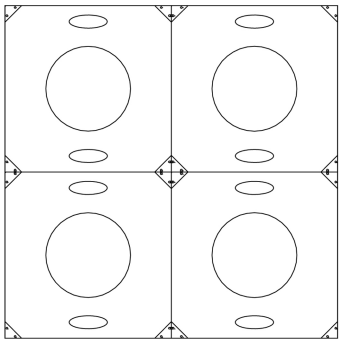


图 3 浮岛连接示意

(1) 生态浮岛由浮岛板(33 cm × 33 cm × 6 cm)组合而成，浮岛板之间用板扣(厂家提供)连接，组合后与外围的 UPVC 浮筒通过铁制箍圈组成一个浮岛单元。生态浮床采用水位动态结合配重块

设计,浮岛根据河水水位可上下浮动,同时配重块对浮床起到固定作用,在河道行洪时不至于被淹没、漂移。生态浮岛植物根系为柔性丝状物对行洪水位影响有限,对河道行洪影响基本可忽略不计。

(2) 浮岛单元之间采用钢丝绳连接为一个整体,钢丝绳下部与 300 mm × 300 mm × 100 mm 的混凝土块连接,钢丝绳长度根据水库水深确定,保证在水流速度增加时人工浮岛不被冲跑、冲散。浮岛板里每个种植穴只栽种 1 株植物。浮岛板种植篮可栽植美人蕉、黄菖蒲、旱伞草、鸢尾等。

3.2 水下森林方案

在支流生态系统构建工程中引入“水下森林”系统,形成沉水植物的水生植物水体净化体系^[7]。在支流河道处构建水下森林,合计共约 398 835.3 m² 水下森林,以此对水质进行生物净化,达到保证维持水质良好的目的,并与水上的生态浮岛相结合,完善和丰富支流的植物和生物多样性。

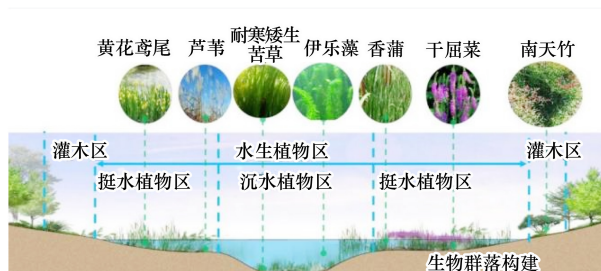


图 4 水下森林植物配置

水下森林是一种沉水植物系统,是水生态系统的初级生产者,不仅能够对水体和底泥中的氮、磷和难降解有机污染物进行吸收、转化,合成自身物质,对富营养化的水体起到净化作用;还能调节水生态系统的物质循环速度,增加水体生物多样性,控制藻类生长,从而有效提高水质,改善生态环境;植物通过自身呼吸,能够增加水体含氧率,起到复氧作用,为水生鱼、虾、贝、螺等提供氧环境、栖息地和部分食物。沉水植物系统是水系统调节和提高水体自净能力的重要环节。设计所选用的沉水植物品种主要有以下几种:黄花鸢尾、矮生苦草、伊乐藻、香蒲、千屈菜、南天竹等。

通过采用“水下森林”+“生态浮岛”相结合方式,构建“水面+水中”二维一体生态修复

方式,在水生植物以及吸附在上面动物和微生物的吸收、取食、吸附和分解等功能的共同作用下,可以修复水污染。

4 基底修复工程设计

水体是一个复杂的生态系统,影响水质的因素包括物理因素(悬浮物)、藻类因素(蓝绿藻)、微生物因素(腐败菌)、化学因素(溶氧、富营养物质)等等。内源污染主要是底泥污染物释放,削减底泥污染物含量,在提高水体自净能力、重构水生态系统的过程中有重要意义^[8]。

4.1 底泥清理

对河道清淤主要采用水陆两用挖泥机配合抓斗式挖泥船施工,驳船由各支流通过上分水、山水泾河运输至岸边,泵送至原有淤泥堆土场。河道开挖应遵循“先上后下”的施工方法,河道疏浚不允许欠挖,超挖深度最大不得超过 30 cm。边坡开挖按不小于设计边坡开挖,若出现坍塌段则可适当放缓边坡,对部分出现坍塌段采用松木桩进行加固处理。淤泥采用运砂船运输至淤泥堆放场,再由输送泵输送至淤泥池。



图 5 水陆两用挖泥船

4.2 菌剂改良

采用船只装载菌剂全水域均匀在水体中,喷洒投放菌剂去快速分解、吸收、转化中上层水体中的污染物质,让底泥污染物质向中上层水体加速释放,再经过水质改良菌菌剂的分解、吸收、转化削减其释放在上层水体中的污染物^[9]。水质改良菌菌剂的投放时间及投放量:3个月的强化治理期间每 3 d 投放 1 次,每次的投放量为 0.02‰,运维期间每 5 d 投放 1 次,每次的投放量为 0.01‰;在适当时间、适当区域开展底泥扰动工程,在底泥扰动的同时,同步投放菌剂去快速分解、吸收、转化扰动起来的污染物质,水质改良菌菌剂的投放量

为 600 kg/ha。

4.3 工艺选择确定

采用清淤疏浚作为河道底泥修复的主体工艺。河道清淤将淤泥从河道中分离出来，从根本上解决污染源的释放。河道清淤主要问题在于淤泥的堆放及运输，根据螺洋街道提供的山水泾清淤疏浚施工情况，在上分水及山水泾等多处已建有淤泥塘，根据实地勘察，上分水淤泥塘已经完全干化，可移除部分泥土后继续使用，解决了最主要的淤泥堆放场地问题。工程投资少，施工难度低，工程技术安全可靠，干化后淤泥可作为园林绿化改良土，遵循了大自然水生态环境修复的基本原则。

5 生态湿地构建工程设计

生态湿地工程选址位于支路上游西岸，表流生态湿地选址位于现有支路流域及沿岸。生态湿地构建工程由湿地预处理工程、表流生态湿地工程两个部分构成。来水通过一体化泵站提升，提升后的河水进入一体化预处理，随后流入支流生态湿地深度处理，最终保证下游断面水质达标。故而，生态湿地的进水为“超磁+生化法”预处理工艺处理后的河道微污染水。

目前断面水质基本不足Ⅳ类，结合断面Ⅲ类水水质的水质目标，湿地工艺以表流湿地为主^[10]，如图6所示。由于上游来水水量变化很大，最大流量可达到约 50 000 m³/d，若全部处理，湿地水力负荷大，不能达到净化效果，因此处理水量根据现场实际，并结合上游来水水质水量情况和湿地工程用地情况分析，一般水平潜流湿地水力负荷小于 0.5 m³/(m²·d)，垂直潜流湿地水力负荷 0.4~0.8 m³/(m²·d)(南方)，一般生态湿地水力负荷 0.1~0.5 m³/(m²·d)，本工程根据湿地面积和水力负荷测算，最终确定处理规模为 20 000 m³/d。

5.1 湿地预处理方案

生态湿地构建工程预处理工艺采用山水泾→一体化超磁分离设备→BAF滤池系统处理工艺。山水泾应急处理设计规模：20 000 m³/d，处理水量 840 m³/h，预处理设施的运行根据来水水质情况进行调节，选择不同运行方式，在水质达标情

况下，河水只进行生化处理系统，主要去除氨氮，提升水质后进入支流表流湿地；在水质下降情况下，系统开启超磁分离+生化强化处理模式，保障出水水质。既可满足技术可行性同时可兼顾经济性。

山水泾来水通过一体化泵站提升，提升后的河水进入强化治理系统一体化预处理，随后流入生态湿地深度处理，最终保证下游下里桥断面水质达标。故而，生态湿地的进水为“超磁分离+BAF滤池”预处理工艺处理后的河道微污染水，总设计进水量 20 000 m³/d。

5.2 表流生态湿地构建方案

项目构建生态湿地面积为 11 992 m²，其中自由水面区面积为 1 080 m²、沼泽区面积为 5 776 m²、矮生植物区面积为 5 136 m²。

生态湿地在支流流域基础上进行局部改造，对河床底质进行改良后，对河床原地形重新塑形，分为自由水面区(水力消能区)、沼泽区(生物富集区)以及矮生植物区。

(1) 河床塑形，在经过底质改良的河床上，首先铺设一层复合基质垫层，厚度为 3 cm，由直径 1~2 cm 的碎石、建筑垃圾和黏土粒按一定比例组成，以延缓和阻止河床底泥的二次污染。底部采用 10~12~15~20 cm 等粒径天然砾石或者吸附型砾石，一侧进水一侧出水，充分的孔隙率保证水的流动，中上层采用次一级粒径的天然砾石或者吸附型砾石，表层采用覆砂或覆土的形式种植亲水性表面绿化植物，在植物根系吸收和砾石的吸附功能的共同作用下起到净化污水的目的。

(2) 自由水面区，一方面进行水力消解，另一方面通过布置沉水植物，影响湿地沉水植物生长和生态构建，并为微生物富集提供场所，如图7所示。支流上游设置自由水面区，利用自由水面区作为洪水期间缓冲作用。设计内部种植沉水植物，通过植物吸收、土壤的吸附过滤及附着在水中植物上的微生物来达到去除污染物的目的。自由水面区河床底质采用生物改良剂进行改良。

(3) 沼泽区主要通过对河床原地形重新塑形，以建设“生物床+生态鱼巢+水下森林”方式构建微生物生存空间，如图8所示。自由水面区经

水力消解后进入沼泽区,在该区域进行生物多样性恢复,通过合理水深布置,丰富微生物种类,并布置生态鱼巢、FBR 生物床等措施的布置,促进河道生态的快速建立和稳定。

(4) 最后通过矮生植物区的沉水植物,通过对河床原地形重新塑形,以建设“水下森林”方式构建,形成沉水植物的水生植物水体净化体系,如图 9 所示。构建清水型水生态,保持水质的清洁、稳定,并进一步丰富河道生态。矮生植物区种植沉水植物,通过植物吸收、土壤的吸附过滤及附着在水中植物上的微生物来达到去除污染物的目的。

5.3 生态湿地运维方案

人工湿地污水处理系统的启动一般要经历两个阶段:即系统调试、植物复活、根系发展不稳定阶段和植物生长成熟、处理效果良好的稳定成熟阶段。

在启动阶段,芦苇等植物栽种后即须充水。初期可将水位控制在地面下 25 mm 左右处。按设计流量运行 3 个月后,将水位降低至距床底 0.2 m 处,以促进植物根系向深部发展。待根系深入到床底后,再将水位调节至地表下 0.2 m 处开始正常运行。进入稳定成熟阶段后,系统处于动态平衡,植物的生长仅随季节发生周期性变化,而年际间则处于相对稳定的状态,此时系统的处理效果充分发挥,运行稳定。人工湿地系统从启动到成熟一般需 1~2 a。对设计合理的人工湿地系统,在进水水质及水量变化不大时,一旦进入稳定期,系统可自流运行,无须任何动设备,也无须更多的维护。由于本项目生态湿地进水由一体化泵站提升至湿地,可通过水量调节生态湿地的进水量,因此不考虑生态湿地枯水期运行。

6 结 语

为实现下里桥断面水质年均值达到 GB 3838—2002 中Ⅲ类水质目标,实现水环境、水生态及水景观的全面提升,营造“水清、岸绿、景美”的和谐景象,形成健康水生态系统,并为生态环境保护“十四五”全域水生态环境改善提供有力技术支撑和工程保障,本次水体综合治理工程设计

采用水环境改善、水生态修复工程、内源基底修复和生态湿地构建等,使得支流污染物进行消解、吸附、拦截、净化可不同程度削减目标水体的污染负荷。干流上分水通过强化治理措施对河道微污染水体进行进一步强化保证,提升山水泾水系整体水环境质量。

短期目标与长效保障相结合是工程的首要设计理念,能为水网发达、水资源相对发达地区提供治水经验。工程建设完成后,可实现短期内水质大幅好转,在工程措施按期落地的情况下,确保短时间实现水质目标。后期随着支流生态系统构建、面源污染净化工程完善、居民生活污水提升与排污口拦截等措施完备,湿地预处理工程可作为辅助设施按需开启,作为断面水质长期达标的保障措施。同时,该工程能把城市建设和河道水质提升结合起来,打造环境优美、人水和谐的城市新环境。

参考文献:

- [1] 张金健. 河流污染控制方法[J]. 资源节约与环保, 2022(12):43-46.
- [2] 孙超. 西安护城河水质问题分析及提升技术方案探究[D]. 西安:西安理工大学,2020.
- [3] 易春权. 城市黑臭河道水体治理基本思路的探讨[J]. 水资源开发与管理,2017(4):14-16.
- [4] 刘芳琪. 城市河道水环境生态综合治理探究[J]. 环境与发展,2019,31(7):62-63.
- [5] 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国环境出版集团出版社,2019.
- [6] 蒋宇豪,李敏,唐明哲. 微污染河道修复技术及其应用[J]. 环境生态学,2019,1(8):83-87.
- [7] 金树权,周金波,包薇红,等. 5 种沉水植物的氮、磷吸收和水质净化能力比较[J]. 环境科学,2017,38(1):156-160.
- [8] 张珊. 浅析国内黑臭河道治理存在的问题及改进建议[J]. 科技与创新,2020(19):88-90.
- [9] 余强,苏姬,鄢煜川. 江西省河道生态修复技术方法综述[J]. 工程建设,2021,53(6):74-78.
- [10] 黄德峰. 人工湿地净化富营养化景观水的效果及机理研究[D]. 上海:同济大学,2007.