

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.023

厦门市埭头溪流域水环境综合治理方案研究

徐柏刚¹, 杨仲韬², 吴宝利², 唐 建¹

(1. 大连理工大学 建筑与艺术学院, 辽宁 大连 116024; 2. 中国市政工程华北设计研究
总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: 厦门市埭头溪流域属沿海季节性雨源型城市感潮河流,存在旱天污水直排、雨天污水溢流、生态基流匮乏、底泥淤积等诸多水环境问题,导致其水质恶化严重,水生态系统受损,水环境容量不足。为彻底解决埭头溪流域水环境问题,在进行污染物来源量化分析的基础上,从减少入河污染和提升自净能力两方面着手,提出了控源截污、内源治理、活水提质、生态修复和旁路净化的治理方案,构建了从源头到末端的水环境综合治理体系,探索了沿海季节性雨源型城市感潮河流域水环境综合治理及规划设计的思路。该工程总投资为344 556万元,现已完成包括污水厂扩建、截污管道、底泥治理、补水管线及生态修复在内的多项工程,水环境治理已取得显著效果。

关键词: 雨源型城市; 感潮河流; 水环境治理; 控源截污; 内源治理; 活水提质; 生态修复; 旁路净化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0125-08

Water Environment Comprehensive Management Scheme of Daitouxi Watershed in Xiamen

XU Bai-gang¹, YANG Zhong-tao², WU Bao-li², TANG Jian¹

(1. School of Architecture & Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: Xiamen Daitouxi is a coastal and seasonal stormwater-source urban tidal river, which has many water environment problems, such as direct discharge of sewage in dry days, overflow of sewage in rainy days, lack of ecological base flow, sediment deposition and so on, resulting in serious deterioration of its water quality, damage to the water ecosystem, and insufficient water environment capacity. In order to thoroughly solve the water environment problems in the Daitouxi watershed, based on the quantitative analysis of the pollutant source, from the two aspects of reducing the influent pollution and improving the self-purification capacity, the treatment schemes of source control and interception, endogenous treatment, living water quality improvement, ecological restoration and bypass purification are put forward, and a comprehensive treatment system of water environment from the source to the end is constructed. This paper explores the ideas of comprehensive management, planning and design of river water environment in coastal and seasonal stormwater-source cities. The total investment of the project is 3 445.56 million yuan. A number of projects including sewage plant expansion, sewage pipelines, sediment treatment, water

基金项目: 2021年国家社科基金年度一般项目(21BSH039)

通信作者: 杨仲韬 E-mail: yangzhongtao15@cemi.com.cn

replenishment pipelines and ecological restoration have been completed, and remarkable results have been achieved in water environment treatment.

Key words: stormwater-source city; tidal river; water environment treatment; source control and interception; endogenous treatment; living water quality improvement; ecological restoration; bypass purification

厦门是我国五大经济特区之一、重要的风景旅游城市、海西重要中心城市,肩负着海峡两岸交流融合的特殊使命。近年来厦门城市发展迅速,但伴随而来的水环境问题日益凸显,市民对城市水环境品质的要求也日益提升。埭头溪作为同安区独流入海的山溪性河流,承担着城市排水的重任,兼具季节性雨源型感潮河流的性质,源短流急,水量随季节变化大,生态基流难以保障,末端入海口排水不畅,水体环境容量有限,面临水生生物多样性锐减、水体黑臭等问题。

截至2020年底,埭头溪流域已基本完成消除黑臭的目标,但河道整体水质多为地表水劣V类标准。埭头溪流域水环境问题严重影响人们的生产和生活,亟需进行综合治理,以满足工业区招商引资、乡村振兴以及河道周边居民生活品质提升对河道水环境改善的诉求。

在深刻剖析问题、分析诉求、确定工程目标的基础上,借鉴相关工程案例^[1-2],从流域整体出发,统筹协调“上游+下游”“岸上+岸下”“市政+水利”等各方面要素,综合考虑外海潮汐作用对防洪排涝及生态环境的影响,提出“控源截污+内源治理+活水提质+生态修复+旁路净化”的系统化方案,可为沿海城市流域水环境综合治理及规划设计提供可复制可推广的经验。

1 项目区概况

1.1 河道及流域

埭头溪流域位于厦门市同安区南部,河道总长度为34.97 km,流域总面积为41.22 km²。主要包括:乌涂溪—城南排洪沟、泥山溪箱涵—泥山溪、梧侣溪箱涵—梧侣溪三条支流和埭头溪主干流。其中,乌涂溪改道至城南中部排洪沟、城南瑶头排洪渠,最后注入浦声支流,流域面积19.19 km²;泥山溪箱涵—泥山溪位于同安区西柯镇境内,发源于大西山,流域面积8.76 km²;梧侣溪发源于小西山,流域面积7.15 km²,流经梧侣、四口圳于埭头汇入埭

头溪。

埭头溪流域河道及涉水设施分布见图1。

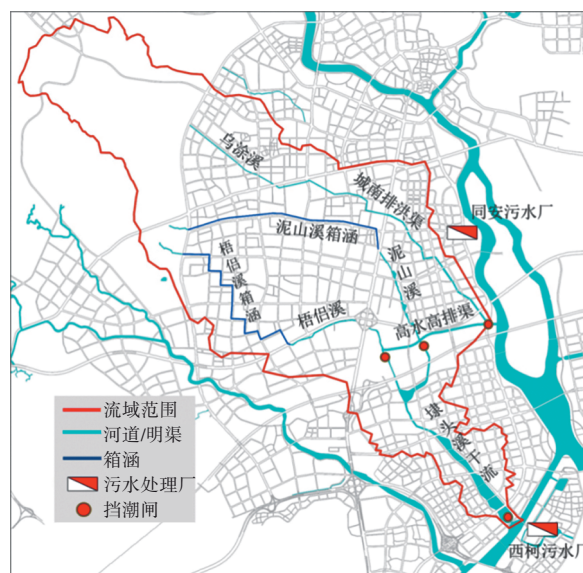


图1 埭头溪流域河道及涉水设施分布

Fig.1 Distribution of river channels and wading facilities in Daitouxi watershed

1.2 排水系统

1.2.1 排水体制

埭头溪流域现状排水体制基本为雨污分流制,部分城市区域及村庄为雨污合流制,少数未开发区域无市政排水管网。

1.2.2 排水口

经过调研发现,埭头溪流域内排口共253个,其中农业排口54个、污水直排口30个、雨污混排口55个、雨水排口104个、已截污排口10个。其中污水直排口、雨污混排口均存在旱天溢流的情况,溢流平均流量分别约为12.5、6.5 m³/h, COD为150~240 mg/L, NH₃-N为12.0~15.5 mg/L。雨天达不到截流设施截流规模的溢流口有6个。

1.2.3 污水处理设施

① 污水处理厂

埭头溪流域属于同安污水处理厂的服务范围。

同安污水处理厂位于同安区卿朴村南侧,主要服务城北片区、城东片区、城南片区和西柯片区,设计处理规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,尾水就近排入西溪。

② 农村污水处理设施

埭头流域农村污水主要采用集中纳管和分散式处理。流域内分布124座村庄,主要集中在上游片区,其中28个村庄建设了18座农村分散式污水处理站,其余96个自然村采用集中纳管将污水截至市政管网,再输送至同安污水处理厂处理。18座农村分散式污水处理站中,可正常运行的仅占约22%,其余处理站由于进水水质不达标、进水量不足、设备损坏等原因无法正常运行。

③ 临时污水处理设施

由于梧侣溪箱涵、泥山溪箱涵存在工业废水混合生活污水一并经雨水管道进入箱涵的问题,同安区于2016年分别建设了梧侣溪和泥山溪高效污水处理设施,设计规模均为 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.3 补水工程

目前流域内已实施两项河道补水工程,分别是同安污水处理厂至泥山溪出口补水工程和泥山溪至梧侣溪补水工程,补水对象主要是泥山溪和梧侣溪的中游河段。

① 同安污水处理厂至泥山溪出口补水工程。该工程的补水水源为同安污水处理厂尾水,补水管沿滨海西大道向南,再沿二环南路向西,补水点位于泥山溪与二环南路交汇处,设计补水规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

② 泥山溪至梧侣溪补水工程。该工程的补水水源为泥山溪生态补水后的河水,取水点位于泥山溪同集北路与苏颂大道互通立交下,补水点位于梧侣溪中游同明路附近,日均补水量为 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 问题与需求分析

2.1 现状水环境问题

① 水质整体较差,劣V类水体占比较高。目前乌涂溪上游、梧侣溪上游为V类水体,长约5.58 km,占流域河道总长的17%;其余河段为劣V类水体,长约27.27 km,占流域河道总长的83%。

② 生态基流匮乏,水体动力不足。埭头溪流

域属季节性雨源型城市河流,旱季河道内生态基流匮乏,河道底泥大面积裸露;河道末端受外海潮汐及挡潮闸影响排水不畅,水体存蓄时间较长致使易发生水华等现象。

③ 底泥沉积较多,污染物含量较高。埭头溪流域内5条主要河流均存在不同程度的底泥沉积情况,深度为56~825 mm(均值为266 mm);底泥中总有机碳、总氮、氨氮和总磷平均含量分别为3.8%、1 574 mg/kg、110.2 mg/kg、1 125 mg/kg,属中度污染,重金属含量未超标。

④ 生态系统受损,自净能力差。河道内水生植被群落多样性差,仅局部河段存在芦苇、蒲苇等挺水植物,以及凤眼蓝、浮萍等浮叶植物,且生物量较低。现场调研未发现鱼类、螺、蚌等底栖动物,水体生态系统受损,几乎无自净能力,对外来污染缓冲能力差。

2.2 水环境问题成因分析

① 同安污水厂处于超负荷运行,部分污水干管运行压力大。埭头流域属于同安污水厂的服务范围,城乡生活区和工业集中区的生活污水及达标工业废水经过现有市政管网送至同安污水厂集中处理。随着流域范围内城区人口的增长及工业集中区的迅速发展,污水排放量大幅上升,现状污水管线的输水能力不足,大量污水直排入河;进入同安污水厂的污水量超过了设施处理能力,运行效果欠佳。

② 雨水箱涵内的截污管雨天溢流。目前梧侣溪箱涵和泥山溪箱涵内部两侧均建设有截污管道,设计截流倍数为2。由于设计截流倍数较低,超过截流倍数的溢流雨水中污染物浓度较高,超过水体自净能力,给泥山溪、梧侣溪和埭头溪干流水质造成严重污染。

③ 天然降雨径流量小,现有补水工程覆盖河段有限。由于埭头流域具有面积小、流程短、上游河段陡、下游河段缓、自然存积量少等特点,导致河道日常的自然补给能力不足,生态基流少。现有污水厂尾水补给河道仅覆盖了流域中游部分河段,上游及下游河段无补水工程。

④ 河底底泥释放污染物造成水体污染。经过对采样底泥的检验分析,参考相关研究文献^[3],经测算,每年河道通过底泥释放的COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP分别为7.95、2.12、1.32 t/a。

2.3 污染物量化分析

掌握流域内污染物的来源是有效控制流域污染的基础。考虑到埭头溪流域雨污通过管网汇流等特点,通过SWMM和EFDC构建流域水陆一体化耦合模型,评估流域内的污染物来源及其贡献比例。其中SWMM为暴雨洪水管理模型,用来计算面源及溢流污染;EFDC为环境流体动力学模型,用来模拟水质情况以及计算环境容量。

经评估测算,埭头溪流域每年向水环境中排放COD为5 260 t/a,其中旱天排放2 514 t/a,雨天排放2 746 t/a,而流域总水环境容量约673 t/a,可见COD排放量远超水环境容量。折合后,埭头溪流域旱天环境容量为1.84 t/d,污染物排放量为8.46 t/d, COD排放量是环境容量的近5倍;雨天环境容量为2.21 t/d,污染物排放量为40.38 t/d, COD排放量是环境容量的18倍。埭头溪流域旱天污染物主要来自城镇点源、同安污水处理厂出水以及污水管网直排/混接,分别占旱天污染物总排放量的47%、24%、15%。雨天污染物主要来自泥山溪和梧侣溪流域内两条箱涵溢流、农业面源及城镇面源等,分别占雨天污染物总排放量的40%、22%和19%。

因此,埭头溪流域的水污染治理,首先要通过完善污水管道系统和建设截污系统等方式控制漏排污水;其次有必要通过初雨调蓄、雨污分流改造等措施控制溢流污染和面源污染。

埭头溪流域污染排放量与环境容量对比如图2所示。

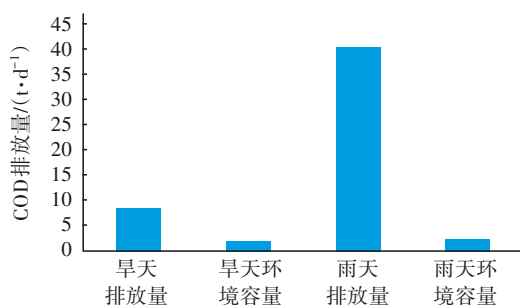


图2 埭头溪流域污染物与水环境容量对比

Fig.2 Comparison of pollutants and water environmental capacity in Daitouxi watershed

流域旱天和雨天污染物来源分布见图3。

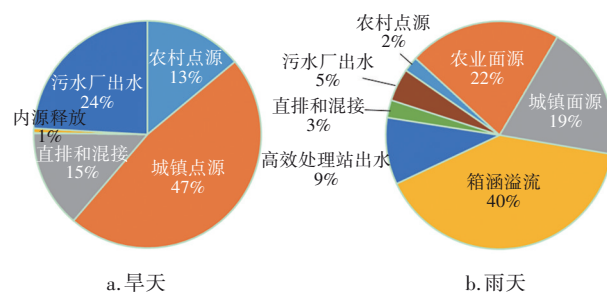


图3 埭头溪流域污染物来源分布

Fig.3 Source and distribution of pollutants in Daitouxi watershed

3 工程目标

按照“除臭、水清、岸绿、营城”的思路,统筹近期与远期目标。近期(2021年)以消除流域黑臭为核心目标,再逐步提升巩固水环境,营造水生态景观,远期(2030年)要求流域内水质主要指标达到地表水Ⅴ类标准,实现长制久清的建设目标。

4 技术思路

水环境改善技术路线见图4。

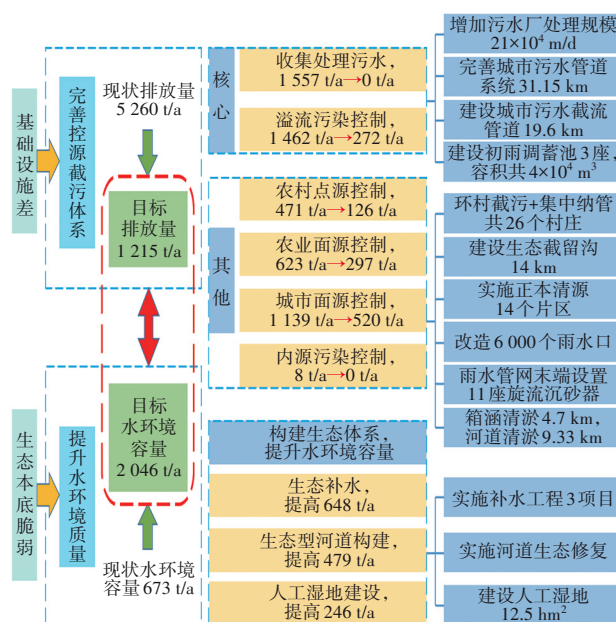


图4 水环境改善技术路线

Fig.4 Technical route of water environment improvement

针对埭头溪流域的现状水质条件和污染原因分析,水环境改善主要从减少入河污染和提升自净能力两方面着手^[4]。首先抓住主要矛盾,构建以污水全收集、全截流、全处理为核心的污水系统,保证旱天污水不入河,同时构建溢流污染控制体系,保证雨天污水少溢流;其次通过河道清淤,清除河道

底泥中沉积的污染物,消除内源污染;最后通过增加河道水动力、重构水生态系统、建设人工湿地等措施,提升河道自净能力和环境容量,最终形成控源截污、内源治理、活水提质、生态修复和旁路净化的工程体系。本方案利用水质模型,定量评估方案的合理性和科学性,反复调整优化,保障水体水质稳定提升。最终确定COD排放量由5 260 t/a削减至1 215 t/a,水环境容量由673 t/a提升至2 046 t/a。

5 工程方案

在前述工程目标及技术思路的基础上,提出“控源截污、内源治理、活水提质、生态修复和旁路净化”的治理方案。各项规划工程措施见图5。

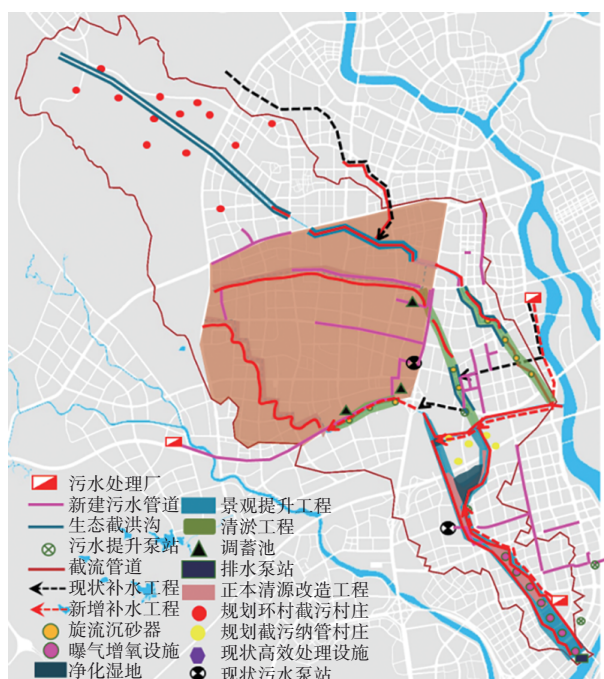


图5 规划工程措施分布

Fig.5 Distribution of planned engineering measures

5.1 控源截污

① 旱天污水治理:抓住主要矛盾,构建全收集、全截流、全处理的旱天污水收集系统,保障旱天污水不入河。

a. 完善污水处理厂体系,解决污水处理能力缺口。同安污水处理厂处理规模由 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩建至 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;新建西柯污水处理厂,规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;新建工业园区污水处理厂,规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

b. 完善城市污水管道系统。对埭头流域内西柯村东南侧污水干管、滨海五路污水干管、同安

新城片区污水管网、工业园区分质收集管道等关键区域进行污水管道建设,管道建设总长度31.15 km。

c. 建设城市污水截流系统。对泥山溪、梧侣溪、乌涂溪—城南排洪沟、高水高排渠、埭头溪干流5条河流共计253个污水直排口进行截流,建设截流管道19.6 km。

d. 完善农村污水处理系统。对7个村庄的截污纳管系统进行完善,对19个村庄进行环村围截,保证污水处理站进水量和水质正常,并修缮现有污水处理站设备,使其能发挥应有的作用。

e. 实施正本清源工程。对流域范围内14个片区共计约 93.5 km^2 的工业区、公共建筑、住宅小区、城中村等片区实施溯源排查、雨污分流改造、错接混接整改等工程,从源头消除污染源。

② 雨天污水治理:构建溢流污染、面源污染控制体系,减少雨天污水溢流。

a. 建设末端污染控制调蓄池,控制10 mm以内降雨不产生溢流,并在目前流域内正本清源项目未完成时兼作合流制溢流控制。新建泥山溪调蓄池(调蓄容积 $14\,000 \text{ m}^3$)、梧侣溪调蓄池(调蓄容积 $10\,000 \text{ m}^3$)、同集路调蓄池(调蓄容积 $16\,000 \text{ m}^3$)共计3座初雨调蓄池,调蓄容积总计 $40\,000 \text{ m}^3$ 。

b. 净化初期雨水,控制城市面源污染。将流域范围内现有6 000个雨水口改造为截污式环保雨水口,并在现状雨水管网末端设置11座旋流沉砂器等设施净化初期雨水,减少入河污染物总量。

c. 建设生态截流沟,控制农业面源污染。在埭头溪上游乌涂溪支流两岸修建总长度为14 km、宽约3 m的生态截流沟,沟内栽种易吸收氮、磷、农药等污染物的植物,构成稳定的生态减污型排水沟系统,并满足农田排涝、防渍需求。生态沟末端设置沉砂井以收集沉积物,并定期清理。

5.2 内源治理

底泥污染释放造成的内源污染是影响埭头流域水环境的关键问题之一。本方案根据工程规模、目标要求、现场水域条件等影响因素,选择清淤方案。

① 箱涵清淤

对泥山溪箱涵、梧侣溪箱涵等共计约4.7 km暗涵进行清淤整治,清淤量 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均清淤深度1.0 m。采用机械配合人工方案进行清淤,清淤完

成后采用高压水冲洗。箱涵淤泥通过运输机械经新324国道运输至同安污水厂进行集中处理,而后进行填埋或焚烧。

② 河道清淤

对埭头溪干流及支流等共计约9.33 km河道进行清淤整治,清淤量 $11.55 \times 10^4 \text{ m}^3$,清淤深度0.5~0.8 m。清淤范围内水域深度较浅,采用水陆两栖挖掘机进行清淤。清出的淤泥通过固化、脱水等措施处理达标后作为绿化及路基用土。

5.3 活水提质

通过生态补水、泵闸排水等措施提升河道水动力,促进水体循环,提升河道环境容量。河道最小生态需水量是指为维系和保护河流的最基本生态功能不受破坏而在河道内保留的最小水量,本方案生态需水量采用综合法计算^[5-6]。

埭头溪下游与海水连通,海水涨潮时会倒灌入河内,形成淡水咸水交替生境,不利于水生生物生存。为了打造淡水生态系统,丰富物种多样性,采取关闭排海闸门,靠上游来水和生态补水对河道进行补给以形成淡水生境。

现有补水工程为同安污水处理厂向泥山溪补水 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,再从泥山溪抽 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 向梧侣溪补水。为解决目前埭头溪上游及下游河段无补水工程的问题,拟新增补水工程包括:①同安污水厂扩建后增加补水能力 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,将该部分水量补往梧侣水闸和泥山水闸下游;②西柯污水厂近期通水后补水能力为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,向三角洲湿地补水;③对策槽中干渠进行疏浚清通,恢复莲花水库向乌涂溪补水能力;④延长现有梧侣溪补水路至河道起端。

厦门海区潮汐类型属正规半日潮,由于外海潮位高于内河水位的工况时间较长,在一天中时长占比达1/2以上,造成了埭头溪干流末端挡潮闸处河道排水不畅的问题。为此,在挡潮闸旁侧建设排水泵站,旱天时将上游来水抽排入海,提高河道水体的流动性,避免发生“水华”。在雨天通过优化泵、闸调度方式,外海高潮时河道蓄水、低潮时河道排水,在不影响区域防洪排涝安全的前提下保障河道生态流量。

5.4 生态修复

分三步实施生态修复:①改造河道基底,中心开挖小河槽,构建蜿蜒的溪流形态和起伏变化的河底地形。②构建河道植物群落,形成以沉水植物为

主的水下森林及沉水、浮叶、湿生植物等多植被组合的植物体系。③河道水生生物生态链构建,引入鱼类和底栖动物,形成生产者、消费者、分解者完整的生态循环系统,达到生态平衡。

具体工程措施如下:

① 河道基底改造

埭头溪下游现状河段宽度达到200 m,现有补水量不足以支撑该断面下的生态流量,且河段宽阔导致流速缓慢、泥沙沉积。为了提升水动力,减少河道淤积,本方案对河道断面进行适当改造,在河道中心开挖5~8 m宽小河槽,使非汛期生态流量集中于小河槽中。小河槽平面形态蜿蜒,间隔50~70 m设置一处水深0.8~1.0 m的湿地塘。清理出的淤泥放置于两侧滩地作为水生植物种植槽,在此基础上构建丰富的滨水生态和服务沿岸居民的亲水平台。

② 构建水下森林

在埭头溪干流构造水下森林 12 hm^2 ,沿河岸配置湿生、挺水植物 1.5 hm^2 ;在乌涂溪、城南排洪沟、梧侣溪、泥山溪、高水高排渠配置湿生、挺水植物 4.5 hm^2 ,沉水植物 14 hm^2 。

③ 水生生物生态链构建

在埭头溪干流投放底栖动物3 000 kg、鱼类1 200 kg;在乌涂溪、城南排洪沟、梧侣溪、泥山溪、高水高排投放底栖动物6 300 kg、鱼类2 400 kg。

5.5 旁路净化

利用人工湿地对河道水体进行旁路净化是提升河道水质的高效方式。人工湿地是借鉴自然湿地系统原理,由人工建造和监督控制的湿地系统,利用生态系统的物理、化学和生物的三重协调作用,通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、植物吸收和微生物分解等作用来实现对污水的高效净化^[7]。人工湿地同时具有改善污染河流水质和修复河流生态的功能,并且能够与河流生态自然融合,因此人工湿地成为河流水质改善的有效技术手段。过去10年间,各种类型的人工湿地被广泛应用于污染河水的水质修复^[8-10]。

本工程在梧侣溪、泥山溪汇合口区域建设三角洲人工湿地,对两支流来水进行净化,并结合景观设计,打造埭头溪流域中游生态湿地公园。湿地工程处理规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总占地面积 12.5 hm^2 ,主体处理工艺采用垂直潜流湿地。通过在梧侣溪和泥山溪河道内新建液压坝,壅高河道内非汛期水

位,使上游来水通过引水管道自流进入前置库沉淀后,再进入垂直潜流湿地处理。潜流湿地出水经表流湿地进一步净化后最终排入河道内,达到旁路净化水质的效果。人工湿地设计进水水质主控指标执行一级 A 标准,设计出水水质主控指标执行地表水Ⅳ类标准。

6 工程投资及治理效果

本项目分为控源截污、内源治理、活水提质、生态修复、旁路净化5大项内容,总计20个子项,总投资为344 556万元。各子项投资及实施进度安排见表1。

表1 项目投资及实施进度安排
Tab.1 Project investment and implementation
schedule 万元

项目	子项	投资	实施进度
控源截污	同安污水处理厂扩建、西柯污水处理厂新建	100 800	已完建
	工业园区污水处理厂新建	23 000	待实施
	污水管道工程	29 760	实施中,已完成65%
	污水截流工程	10 664	实施中,已完成80%
	农村截污工程	1 300	待实施
	正本清源工程	119 637	实施中,已完成32%
	调蓄池工程(3座)	18 500	已完建
	雨水口改造工程	6 880	待实施
内源治理	生态截流沟工程	400	待实施
	箱涵清淤	2 865	已完建
活水提质	河道清淤	3 020	已完建
	同安污水厂至梧侣水闸及泥山水闸下游补水工程	1 400	已完建
	西柯污水厂向三角洲湿地补水工程	1 832	已完建
	策槽中干渠疏浚清通工程	579	已完建
	梧侣溪补水管线延长工程	600	已完建
	挡潮闸排水泵站新建工程(3座)	1 720	待实施
生态修复	河道基底改造	2 338	实施中,已完成42%
	水生植物种植	1 565	实施中,已完成43%
	水生动物投放	896	待实施
旁路净化	三角洲人工湿地工程	16 800	待实施
总计		344 556	
注: 已完成项目和实施中项目的统计截止时间为2022年6月。			

① 控源截污项目。同安污水处理厂扩建、西柯污水处理厂新建及初雨调蓄池已完工,配合正在实施推进的污水管网、初雨截流、正本清源等工程,已基本实现了“旱天污水不入河、雨天污水少溢流”的治污目标,入河污染负荷得到有效控制。其中2022年6月—8月泥山溪调蓄池、梧侣溪调蓄池、同集路调蓄池进水SS为120~260 mg/L、COD为80~160 mg/L,基本达到了预期设计目标。

② 内源治理项目。箱涵及河道清淤均已完成,消除了内源污染,但需进行定期维护以确保河道长制久清。

③ 活水提质项目。各项补水工程均已完成,保证了河道的生态基流。挡潮闸排水泵站尚待实施,完工后可进一步提高水体的流动性,有利于水质维持。

④ 生态修复项目。河道基底改造及水生植物种植正在实施,水生动物投放需待所有项目完工后最后实施。

⑤ 旁路净化项目。人工湿地工程尚待实施,完成后可进一步提升河道水质。

7 结论

城市水环境综合治理在进行顶层设计时需要 对全流域进行系统化分析,做好“上游+下游”“岸上+岸下”“市政+水利”的统筹协调,特别对于沿海感潮河流,还要考虑外海潮汐作用对防洪排涝及生态环境的影响。以厦门市埭头流域水环境综合治理为案例,坚持“控源截污、内源治理、活水提质、生态修复和旁路净化”的新时期治水技术思路,全面提升水环境质量。下一步将在“厂-网-站-河”一体化管理、海绵城市推广实施、水质监测预警、沿岸景观设计、内涝灾害风险管控等方面进行探索和研究,进一步提高人居环境品质、提升城市竞争力。

参考文献:

[1] 汤钟,张亮,俞露,等. 深圳福田区水环境综合治理方案探索与实践[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 7-12.
TANG Zhong, ZHANG Liang, YU Lu, et al. Exploration and practice of comprehensive treatment scheme of water environment in Futian District of Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (18):7-12(in Chinese).

- [2] 楼少华,唐颖栋,陶明,等. 深圳市茅洲河流域水环境综合治理方法与实践[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10):1-6.
LOU Shaohua, TANG Yingdong, TAO Ming, *et al.* Methods and practice of comprehensive improvement of Maozhou River water environment in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10):1-6 (in Chinese).
- [3] 陈美丹. 河网底泥释放规律及其与模型耦合应用研究[D]. 南京:河海大学, 2007.
CHEN Meidan. Study on Rule of Contaminant Releasing from Sediment in River Network Area and Its Application in Coupled Model [D]. Nanjing: Hohai University, 2007(in Chinese).
- [4] 贾海峰. 城市河流环境修复技术原理及实践[M]. 北京:化学工业出版社, 2016.
JIA Haifeng. Urban River Restoration Technology Theory and Practice [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016(in Chinese).
- [5] 汪丽,黄伟,王阿华,等. 荆门市竹皮河流域水环境综合治理之生态修复工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6):69-73.
WANG Li, HUANG Wei, WANG Ahua, *et al.* Ecological restoration project design of comprehensive treatment of water environment in Zhupi River basin, Jingmen City[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6):69-73(in Chinese).
- [6] 刘江侠,任涵璐. 基于生态需水的永定河水资源调配研究[J]. 水电能源科学, 2019(2):31-34.
LIU Jiangxia, REN Hanlu. Research of water resources allocation in Yongding River based on ecological water requirements [J]. Water Resources and Power, 2019(2):31-34(in Chinese).
- [7] 吴树彪,董仁杰. 人工湿地生态水污染控制理论与技术[M]. 北京:中国林业出版社, 2016.
WU Shubiao, DONG Renjie. Constructed Wetlands for Water Pollution Control: An Ecological Theory and Technology[M]. Beijing: China Forestry Press, 2016(in Chinese).
- [8] 贺婷婷. 石子河人工湿地水质净化工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14):50-53.
HE Tingting. Design of constructed wetland project for water purification in Shizihe area [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14):50-53(in Chinese).
- [9] 魏俊,赵梦飞,王济来,等. 宋公河人工湿地设计方案优化探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4):16-19.
WEI Jun, ZHAO Mengfei, WANG Jilai, *et al.* Study on optimization of design of constructed wetlands in Songgong River[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4):16-19(in Chinese).
- [10] 宋凯宇,章粟粲,魏俊,等. 雄安新区孝义河河口湿地水质净化工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10):62-69.
SONG Kaiyu, ZHANG Sukan, WEI Jun, *et al.* Design of water purification project of Xiaoyi River estuary wetland in Xiongan New Area [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10):62-69(in Chinese).
- 作者简介:徐柏刚(1982-),男,辽宁大连人,博士,助理研究员,主要从事韧性城市分析与研究、城市规划与设计工作。
E-mail:121750215@qq.com
收稿日期:2022-08-05
修回日期:2022-09-28

(编辑:衣春敏)

科学防御水旱灾害,有效促进人水和谐