

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.22.023

汕尾市海丰县黄江河流域水环境综合治理研究

徐婷婷¹, 郑锐滨^{1,2}, 班远冲¹, 吴 锋², 姜刘志²

(1. 深港产学研基地<北京大学香港科技大学深圳研究院>, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市景泰荣环保科技有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要: 由于人口集中、生产生活活动强度大,汕尾市黄江河(西闸断面以上)流域存在突出的生活污水直排、畜禽养殖面源污染等问题,再加上河道自净能力不足,西闸国控断面水质在枯水期为地表Ⅳ类或Ⅴ类,主要污染指标为COD、NH₃-N、TP。为实现断面水质达到地表Ⅲ类水目标,针对水质评价结果、污染源特征,系统性提出了流域综合治理技术路线,采取了消除镇区生活污水直排口、治理畜禽养殖污染、收集处理农村生活污水等控源截污工程措施,河道清淤、支流水质净化等内源治理工程措施,以及河滨带植被恢复、河道生态补水等生态修复工程措施。这些工程措施实施后,黄江河入河污染物大幅削减,水体自净能力显著提升,西闸国考断面水质稳定达到地表水Ⅲ类标准。

关键词: 黄江河流域; 控源截污; 内源治理; 生态修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)22-0137-07

Research on Comprehensive Management of Water Environment in Huangjiang River Basin of Haifeng County, Shanwei City

XU Ting-ting¹, ZHENG Rui-bin^{1,2}, BAN Yuan-chong¹, WU Feng², JIANG Liu-zhi²

(1. PKU-HKUST Shenzhen-Hong Kong Institution, Shenzhen 518000, China; 2. Shenzhen Jingtairong Environmental Protection Technology Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Due to the concentration of population and the intensity of production and living activities, the Huangjiang River basin (above the Xizha section) has prominent problems such as direct discharge of domestic sewage, non-point source pollution of livestock and poultry breeding, and insufficient self-purification capacity of the river. The water quality of the Xizha section under national control is level IV or V of surface water standard in the dry season, and the main impact indicators are COD, NH₃-N and TP. In order to achieve the goal of level III water quality at the section, the technical route of comprehensive watershed management was systematically proposed based on the water quality assessment results and pollution source characteristics. Measures for source control and sewage interception were taken, including the elimination of direct domestic sewage outlets in towns, the treatment of livestock and poultry breeding pollution, the collection and treatment of rural domestic sewage, the internal control engineering measures such as river dredging and tributary purification, and the ecological restoration engineering measures such as riparian vegetation restoration and river channel ecological supplement. After the implementation of the project, the pollutants entering the Huangjiang

River have been greatly reduced, the self-purification capacity of the water body has been significantly improved, and the water quality of the national controlled section of Xizha has reached the level III standard for surface water.

Key words: Huangjiang River basin; source control and pollution interception; endogenous treatment; ecological restoration

1 项目概况

黄江河是广东省汕尾市海丰县境内最大的河流,发源于海丰县境北部莲花山南麓东北段与陆河县交界的上、下蜡烛山,自北向南流经长沙港直接注入南海,流域面积1 189 km²。该流域是海丰县的工业基地、产粮基地,也是全县重要的饮用水源地、工农业水源地^[1]。作为广东省九条监管河流之一,根据《重点流域水污染防治规划(2016—2020)》及《广东省水污染防治工作方案》考核要求,黄江河西闸国考断面水质要求达到地表水Ⅲ类标准。2019年3月,黄江河西闸国控断面(位于黄江河入海口)水质为地表水V类,COD、氨氮及总磷均超标。为消除不达标水体,持续提升黄江河水环境质量,海丰县启动黄江河(西闸断面以上)流域水环境综合治理工程,提出的目标为黄江河干流水质稳定达到水功能区划标准要求,其中西闸国考断面水质稳定达到地表水Ⅲ类标准。

2 问题分析

2.1 流域范围的确定

黄江河流域水环境综合整治旨在保障西闸国控断面水质达标,整治实施区域为黄江河(西闸断面以上)区域。根据汕尾市流域范围划分原则,结合实际调研,流域范围由公平水库坝下至西闸,包括公平镇、城东镇、海城镇、平东镇和陶河镇5个镇的6条主支流和7条小支流,流域面积为240.01 km²。

2.2 河道水质监测分析

根据汕尾市生态环境局发布的数据,2018年1月—2019年3月黄江河西闸断面水质仅2018年4、6、7、8、9、10月达标,其余月份均为地表Ⅳ类或V类水,呈现枯水期水质明显劣于丰水期的特征。

根据2019年3月对黄江河干流及各支流补充监测点(见图1)连续3 d的3次监测数据(见表1),枯水期支流水质以地表水V类和劣V类为主,COD、NH₃-N、TP均超标,其中NH₃-N超标较为严重;干

流水质与支流水质呈现正相关关系,以地表水V类和劣V类为主,COD、NH₃-N、TP均超标,其中NH₃-N超标较为严重。

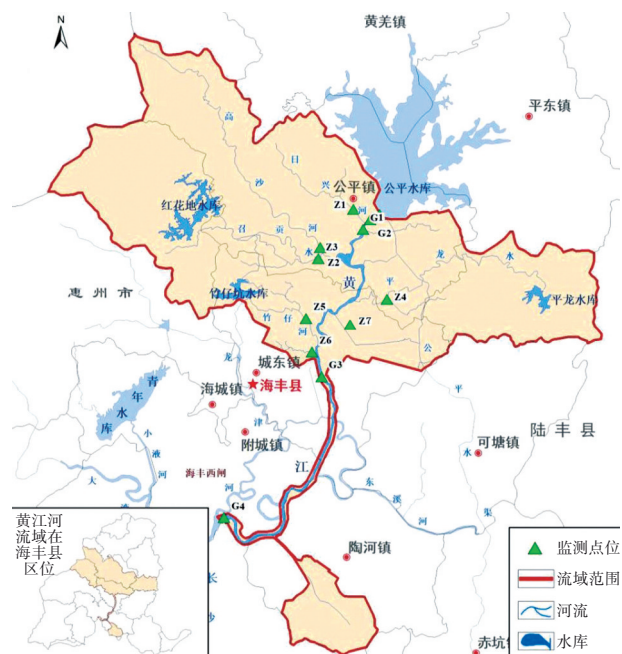


图1 2019年3月补充监测点位示意

Fig.1 Schematic diagram of additional monitoring points in March 2019

表1 2019年3月干流及支流水质监测数据

Tab.1 Main stream and tributary water quality monitoring data in March 2019 mg·L⁻¹

编号	所属河流(监测断面)		COD	NH ₃ -N	TP	水质类别
G1	黄江河干流	跃进桥	19	1.68	0.10	V类
G2		公平茆雅	13	3.57	0.19	劣V类
G3		赤岸桥	26	2.68	0.24	劣V类
G4		西闸	36	1.91	0.23	V类
Z1	日兴河(英豪学校桥)		26	3.66	0.43	劣V类
Z2	高沙河(杨梅一桥)		25	0.64	0.07	Ⅳ类
Z3	召贡水(杨梅二桥)		29	1.52	0.27	V类
Z4	平龙水(后山村)		12	1.92	0.32	V类
Z5	竹仔坑水库排洪渠 (台东村路桥)		35	3.97	0.40	劣V类
Z6	支流(下关后路桥)		35	3.97	0.40	劣V类
Z7	支流(后塘村)		37	5.26	0.67	劣V类

2.3 主要污染源分析

流域污染源分析见图2。

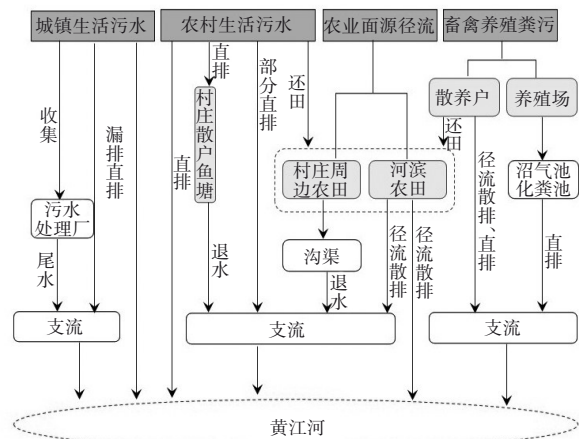


图2 流域污染源分析

Fig.2 Analysis of pollution sources in the basin

① 畜禽养殖和生活污水是主要污染源

根据陆丰县黄江河流域城镇、农村、工业、畜禽养殖、农业面源等已经实施的治理措施,以及人口、用水量、种植面积、养殖规模等统计数据,计算流域主要污染源^[2-4],结果见表2。总体上,畜禽养殖和生活污水是流域的主要污染源。流域范围养猪场数量多,为“猪-塘-鱼”模式,水冲粪后的污染物直接排入鱼塘喂鱼,并流入河道,COD、NH₃-N、TP入河量占比分别达到49.85%、40.96%、88.24%,是第一大污染源。同时,镇区有2个片区未铺设污水管网,农村有34个行政村均未建设分散式污水收集、处理设备设施,生活污水直排河道,该部分污染贡献也较大,为第二大污染源。此外,流域范围内农业发达,农田退水产生的农业面源污染对COD、NH₃-N的贡献也较大。

表2 各类污染源的污染贡献情况

Tab.2 Pollution contribution of each pollution source

项目	COD		NH ₃ -N		TP	
	入河量/ (t·a ⁻¹)	占比/ %	入河量/ (t·a ⁻¹)	占比/ %	入河量/ (t·a ⁻¹)	占比/ %
工业污染	92.90	3.67	11.26	4.31	0.93	0.86
城镇生活污水	339.48	13.40	40.40	15.48	4.10	3.79
农村生活污水	626.16	24.73	62.62	24.00	5.37	4.96
居民生活垃圾	20.29	0.80	1.56	0.60	0.03	0.03
农业面源	191.10	7.55	38.22	14.65	2.29	2.12
畜禽养殖	1 262.16	49.85	106.88	40.96	95.46	88.24
合计	2 532.09	100.00	260.94	100.00	108.18	100.00
水环境容量	1 104.28		76.07		15.21	
削减目标	1 427.81		184.87		92.97	

② 部分支流水体黑臭,底泥淤积严重

枯水期支流是干流的主要补水来源,支流携带的污染物对干流水质产生较大影响,其中日兴河、召贡水、竹仔坑排洪渠、平龙水、金锡河几条主要支流污染负荷占比分别约为30%、10%、18%、38%、4%。根据现场调研情况,由于镇区污水直排、养殖废水直排、污水处理厂尾水排放等,日兴河、竹仔坑水库排洪渠等部分支流水体黑臭,底泥长期厌氧发酵、淤积严重,造成支流水质进一步恶化。

3 治理工程设计

针对本流域污染源特点,结合同类河流治理经验^[5-7],明确以点源治理、面源截流、内源清淤、生态修复和水质提升为思路(见图3):一是实施控源截污工程,通过消除镇区生活污水直排口、治理畜禽养殖污染、收集处理农村生活污水,减少入河污染物总量;二是实施内源治理工程,通过河道清淤、支流水质净化工程,消除支流内源污染影响;三是实施生态修复工程,通过河滨带植被恢复、河道生态补水等生态修复工程,丰富水体生态系统群落结构,提高黄江河纳污能力和水体自净能力。

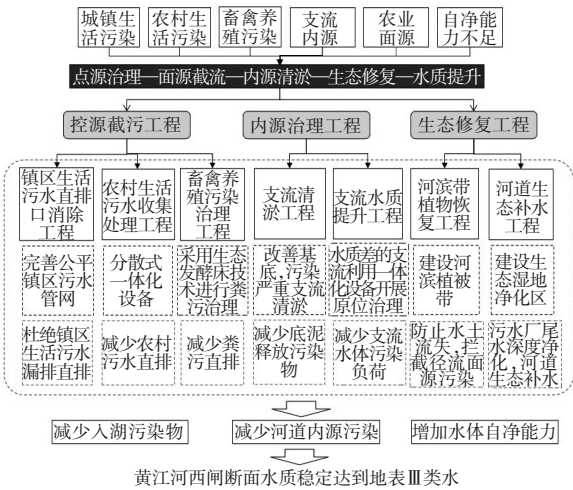


图3 流域污染治理技术思路

Fig.3 Technical ideas of the basin pollution treatment

3.1 控源截污工程

① 畜禽养殖污染治理工程

养猪场是流域最大的污染源,对猪场粪污进行有效治理并杜绝产生二次污染十分必要。拆除位于禁养区的养殖场和限养区内规模化以下的养殖场123家,对限养区内的29家规模化养殖场和其他区域的养殖场予以保留,采用生态发酵床技术进行

粪污治理,建设生态发酵床 55 260 m²。利用锯末、稻壳、秸秆等下脚料与菌种制作有机垫料,猪的排泄物与其混合后可就被微生物迅速降解、消化为有机肥料,实现污染物零排放和资源循环利用,环境效益和经济效益显著。

② 镇区生活污水直排口消除工程

纳管工程范围为海丰县公平镇镇区新东江酒店/妈祖文化公园至跃进桥区域、琼液红黑糯米酒厂至日兴河北支渠区域,见图4。工程规模:a. 335省道、人民西路及支路建设 1.2 km/DN300、0.8 km/DN400的主管和 3.8 km/DN200的支管,采用HDPE双壁波纹管,收集污水约 1 000 m³/d;b. 在日兴河支流河流处建设一座提升泵站。管网接通后,上述两个区域生活污水可接入已有管网并最终进入公平镇生活污水处理厂,实现镇区污水 100% 集中收集。

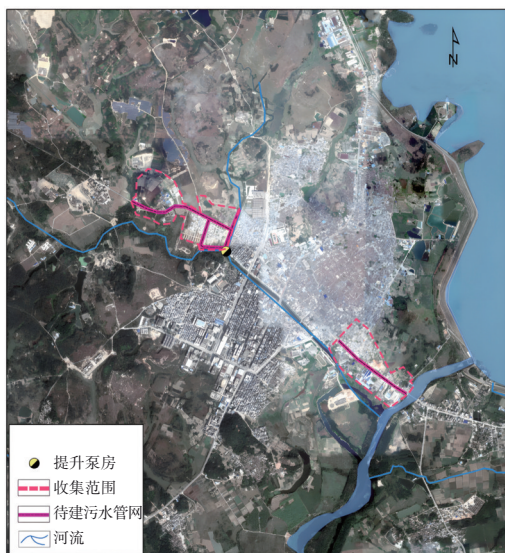


图4 公平镇区污水管网完善工程收集范围

Fig.4 Collection scope of sewage pipe network improvement project in Gongping Town

③ 农村生活污水收集处理工程

农村生活污水具有排放分散、水质水量波动大的特点,除考虑处理效果之外,还需重点考虑能否稳定、低成本运营。对黄江河流域内常住人口≥70人、涉及17个行政村在内的共46个自然村,采用一体化人工快渗(CRI)处理技术,按片区将生活污水集中收集处理,总处理量 1 175 m³/d,其中 5 m³/d的27套、10 m³/d的11套、20 m³/d的5套、30 m³/d的5套、40 m³/d的7套、50 m³/d的8套,覆盖人口 17 097人。使用人工回填砂质填料替代天然土壤,并添加

多种矿物质填料(以钙系矿物为主),干湿交替运行,使污水在自上而下流经填料过程中发生综合反应。采用间歇曝气和气提,重力自流进水和重力自流出水或气提出水,可自动稳定运行,运行能耗低。有机污染物的去除由过滤截留、吸附和生物降解作用共同完成,SS通过预处理和过滤作用去除,NH₃-N通过硝化(落干)和反硝化作用(淹水)脱氮,磷则与渗滤池内的特殊填料形成磷酸钙沉淀而去除。工艺流程见图5。根据实际数据反馈,设备调试运行后(2021年5月),出水水质月均值稳定达到一级A排放标准,见图6。

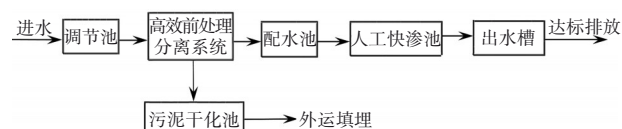
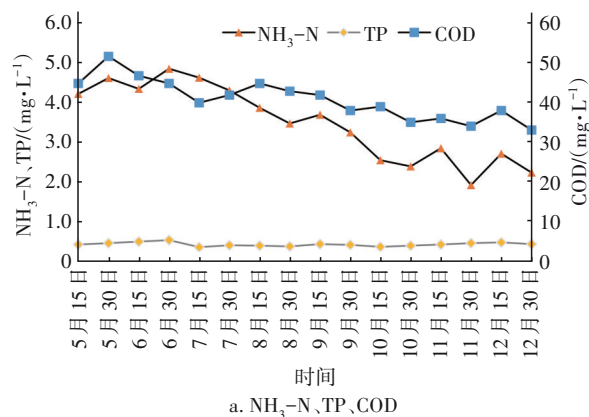
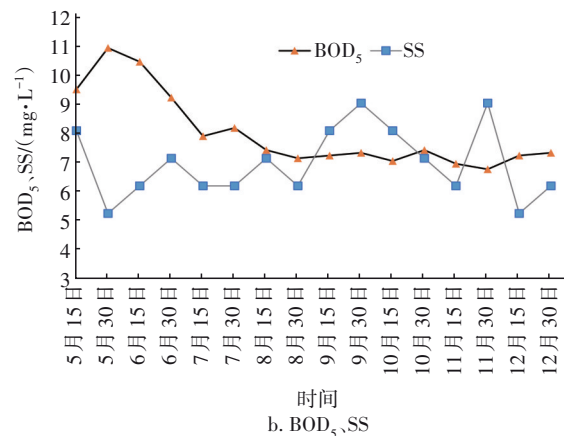


图5 5~50 m³/d人工快渗一体化污水处理设备工艺流程

Fig.5 Process flow diagram of 5~50 m³/d CRI infiltration integrated sewage treatment equipment



a. NH₃-N、TP、COD



b. BOD₅、SS

图6 2021年5月—12月城东镇大樟村平岭污水站点运行数据
Fig.6 Operation effluent data of Pingling sewage station in Dazhang Village, Chengdong Town from May to December 2021

3.2 内源治理工程

① 支流清淤工程

对水质较差、底泥淤积的支流进行清淤,总清淤长度 32.85 km,清淤量 $59 \times 10^4 \text{ m}^3$,清淤深度 0.4~0.8 m。日兴河排水施工导流要求高,采用不排水机械清淤方式;金锡河等水体中泥沙含量较高,采用气力泵清淤;平龙水、竹仔坑排洪渠、召贡水等小支流流量、流速相对较小,采用水力冲挖清淤方式。支流清淤方式及清淤量见表 3。通过改善基底的污染程度,增加水体容积和水体自净能力,为水生态系统的重建提供适宜的底质条件。

表 3 支流清淤方式及清淤量

Tab.3 Silt removal method and volume of tributary m^3

项目	日兴河	金锡河	平龙水	竹仔坑排洪渠	召贡水
清淤方式	不排水机械清淤	气力泵清淤	水力冲挖式清淤		
清淤量	25.8	14.59	8.88	5.57	4.16

② 支流水质提升工程

针对竹仔坑水库排洪渠、支流(下关后路)、支流(后塘村)、召贡水以及平龙水 5 条水质较差的支流,选用 MBBR-超微分离一体化水质提升技术,将河水拦截净化处理后再补回河道内,共计处理规模为 $90\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。MBBR-超微分离一体化水质提升技术的移动床生物膜反应器模块与超微分离模块通过管道连接可减少占地面积,工艺流程见图 7。

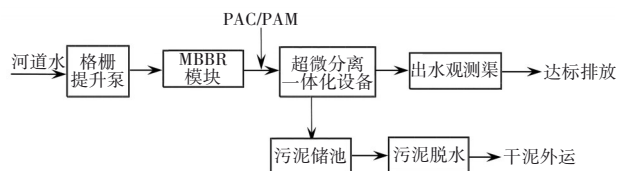


图 7 MBBR-超微分离一体化河道水质提升工艺流程

Fig.7 Flow chart of MBBR-ultramicro separation integrated river water quality improving process

污水在移动床生物膜反应器模块以上下折流方式过水,经曝气和悬浮生物填料单元后,进入超微分离模块,表面负荷 $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水力停留时间 2~4 min,进水、曝气、加药、刮渣和排泥均自动化控制,可连续稳定运行。经过两级处理,水体污染物负荷显著减少。监测数据显示,工程实施后(2021 年 6 月)支流水质明显改善,并于 2021 年 8 月稳定达

到地表Ⅳ类水标准,具体见图 8。

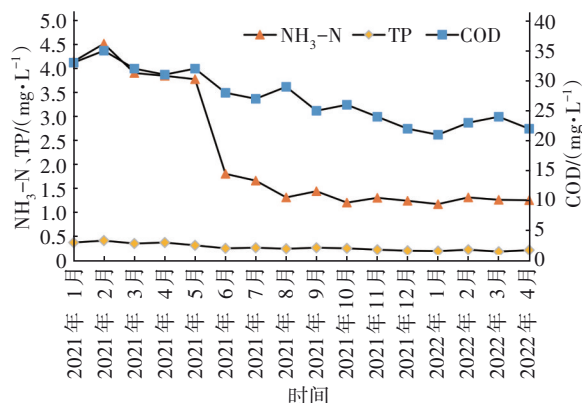


图 8 工程实施前、后竹仔坑水库排洪渠水质变化

Fig.8 Change of water quality in flood drainage channel of Zhuzikeng Reservoir before and after project implementation

3.3 生态修复工程

① 河滨带植物恢复工程

河滨植被带具有截留和净化污染物、提供生物栖息地和保持生物多样性、涵养水源、改变立地小环境等生态、环境功能,减缓陆地污染物输入对水生系统的直接影响。在黄江河干流从高沙河(杨梅一桥)入河口处至西闸约 22 km 河道两岸共 44 km 建设河滨植被带,在沿河岸坡乔木林带种植杉木、湿地松、茶树,灌丛带种植马尾松、岗松、鹧鸪草,草带种植日照飘拂草、莠狗尾草、芦苇、咸水草、雀稗,同时在湿生地带种植红千层、水蒲桃、青皮竹等湿生植物,在河滩浅水区大面积种植以苦草、黑藻为主的沉水植物,同时辅以梭鱼草、再力花等挺水植物以及睡莲等浮叶植物,构建“乔木-灌木-草本-湿生-水生”多级完善的植物群落系,并在浅滩处散放砾石,营造生物栖息地,强化河滨带对面源污染、河水的净化能力。

② 生态补水工程

滨水湿地在控制水体污染,尤其是控制非点源污染方面具有显著的优势^[8]。公平镇污水处理厂处理规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尾水执行一级 A 标准,并排入黄江河。在上游公平镇河段及中下游赤岸桥至西闸河段河滩地建设“垂直潜流+表面流湿地”的生态湿地净化区,进行深度净化。该工程实施后(2021 年 5 月),出水 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 等水质指标稳定并优于地表Ⅳ类水标准。

垂直潜流湿地:设计水量 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,净化区面

积2.5 hm²,占地面积3.2 hm²,设计水力负荷0.8 m³/(m²·d),水力停留时间1 d,湿地植物为芦苇、香蒲、菖蒲、再力花、美人蕉。

表面流湿地:利用原始滩地开展基底剖面多样性设计改造,营造高低、深浅不一的水下和陆上微地形多样化剖面形态设计,为提高植物多样性以及污染净化能力创建良好条件。采用沿岸带及水深梯度,逐级进行全系列水生植被带重建,施用微生物底泥快速修复剂,有益微生物在河底着床、复活、繁殖,生态修复从底层微生物开始逐级向上传递,使水体的自净力得到强化。栽种水生植物荇菜、芡实、菱、睡莲、马来眼子菜、金鱼藻、苦草。

3.4 实施效果

上述工程措施实施后大幅削减了入河污染物量(见表4),并有效提升了水质净化能力,黄江河海丰县西闸国考断面水质逐步改善(见图9)。

表4 工程实际污染物削减量

Tab.4 Actual Pollutant reduction of the project

指标	污染物削减量						t·a ⁻¹
	目标值	工程实际值	畜禽养殖污染防治工程	农村生活污水收集处理工程	公平镇镇区生活污水管网完善工程	水质净化工程	
COD	1 427.81	3 850	1 262	284	96	657	1 551
NH ₃ -N	184.86	363.47	106.9	37.8	14.37	49.3	155.1
TP	92.97	132.09	95.46	6.30	1.68	13.14	15.51

根据监测数据,工程完工后的2021年6月—2022年7月,黄江河海丰县西闸国考断面水质显著改善,枯水期水质能稳定达到地表Ⅲ类水标准,满足国家考核目标要求。

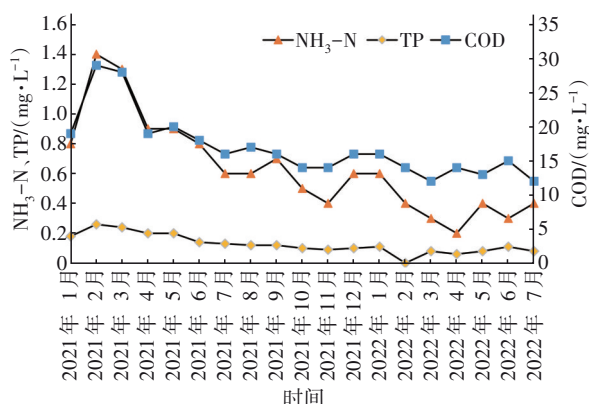


图9 黄江河流域西闸国考断面主要污染物月均浓度

Fig.9 Monthly average concentration of main pollutants at Xizha national control section in Huangjiang River basin

4 结论与建议

① 根据水质评价结果,黄江河西闸断面丰水期水质达标、枯水期水质超标,超标污染物为COD、NH₃-N、TP,其中NH₃-N超标最为严重。根据污染源分析结果,畜禽养殖废水和生活污水入河是水质不达标的主要原因,同时支流水质差及内源污染对干流水质影响较大。

② 黄江河(西闸断面以上)流域水环境达标综合治理是一个典型的流域综合治理项目。根据流域污染源特点,综合考虑经济性、可行性、效益性,提出了控源截污、内源治理和生态修复的综合治理技术路线,因地制宜且具有可落地性,适用于流域综合治理,特别是以断面水质达标为目的的流域水质提升项目。

③ 各项工程于2021年1月开始实施,至2021年5月逐步完工。通过工程措施,最大程度削减了入河污染物,消除了内源污染,并提升了黄江河的水体自净能力,实现了水质的显著改善,黄江河干流水质从地表劣V类提升到Ⅲ类标准。

④ 工程运行期间应当进行科学、合理、精细的运维管理,保证工程措施正常运行,持续发挥最大的效益。农村生活污水一体化设备在运行期间可根据实际情况,适当接入散户畜禽养殖废水,保证进水的稳定性。汛期河道水量极大,应当加强对湿地设施及水生植物的维护管理,保证其正常运行。此外,在支流水质稳定达到预期效果后,可将一体化设备用于农村黑臭水体及其他污染水体治理当中。

参考文献:

- [1] 谢丽莉,刘立霞,肖莞生. 汕尾市螺河—黄江水系连通可行性和规模分析[J]. 广东水利水电,2019(9):39-42,58.
XIE Lili, LIU Lixia, XIAO Guansheng. Research on the feasibility and scale of Luohe-Huangjiang connection in Shanwei City [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower,2019(9):39-42,58(in Chinese).
- [2] 秦柳,朱江龙,龚汇泉,等. 南湖污染源解析与污染负荷核算[J]. 湖北大学学报(自然科学版),2020,42(3):298-305.
QIN Liu, ZHU Jianglong, GONG Huiquan, et al. Analysis of pollution source and calculation of pollution load of the South Lake [J]. Journal of Hubei University

- (Natural Science), 2020, 42(3): 298-305 (in Chinese).
- [3] 张睿昊, 朱龙基, 王佰梅. 柳河流域特征污染物负荷模拟及污染源解析[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 120-127.
- ZHANG Ruihao, ZHU Longji, WANG Baimei. Simulation of characteristic pollutant load and analysis of pollution source in Liuhe River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 120-127 (in Chinese).
- [4] 陈海洋, 滕彦国, 王金生, 等. 晋江流域非点源氮磷负荷及污染源解析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 213-219.
- CHEN Haiyang, TENG Yanguo, WANG Jinsheng, *et al.* Pollution load and source apportionment of non-point source nitrogen and phosphorus in Jinjiang River watershed [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(5): 213-219 (in Chinese).
- [5] 成水平, 冯玉琴, 吴娟, 等. 城市河流水环境综合治理技术集成与示范[J]. 给水排水, 2013, 39(8): 16-19.
- CHENG Shuiping, FENG Yuqin, WU Juan, *et al.* Integration and demonstration of the water environment management of urban river [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(8): 16-19 (in Chinese).
- [6] 蒋自胜, 李斌, 吴基昌, 等. 茅洲河流域水环境治理工程的生态效应研究[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(3): 30-37.
- JIANG Zisheng, LI Bin, WU Jichang, *et al.* Ecological effectiveness of the water management project in Maozhou River basin [J]. Journal of Hydroecology, 2021, 42(3): 30-37 (in Chinese).
- [7] 李婧, 陈纯兴. 深圳市龙岗河水污染问题与治理对策分析[J]. 江苏科技信息, 2019, 36(12): 13-15.
- LI Jing, CHEN Chunxing. Analysis on pollution problems of Longgang River and its countermeasures in Shenzhen [J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2019, 36(12): 13-15 (in Chinese).
- [8] 魏金珂. 河道治理工程中人工湿地技术的实施[J]. 河南水利与南水北调, 2021, 50(9): 44-45.
- WEI Jinke. Implementation of artificial wetland technology in river regulation project [J]. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 2021, 50(9): 44-45 (in Chinese).

作者简介: 徐婷婷(1989—), 女, 湖北荆门人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为流域综合治理与生态保护修复。

E-mail: xtt523000@163.com

收稿日期: 2022-08-15

修回日期: 2022-09-28

(编辑: 衣春敏)

加强湖泊管理保护

改善湖泊生态环境

维护湖泊健康生命