

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.004

基于宏观、微观层面的流域治理系统化方案编制

桑非凡¹, 许可¹, 刘慧波¹, 杨丽琴¹, 蔡然^{2,3}, 吴伟龙^{2,3}

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司北京分公司, 北京 100044; 2. 北京首创生态环保集团股份有限公司, 北京 100044; 3. 四川水汇生态环境治理有限公司, 四川内江 641100)

摘要: 流域水环境治理常常由于主体众多、建设项目碎片化等原因无法达到预期效果,近年来许多城市采用PPP模式对流域水环境进行综合治理,为实现水环境综合治理效果,需要在项目初期采用系统化思维对各类子项进行统筹。结合沱江流域内江市域段水环境综合治理PPP项目实践,从宏观和微观层面探讨系统化实施方案编制的思路和要点,宏观层面以沱江流域内江段为研究对象,从大流域尺度分析现状存在的水环境治理、环境品质、管理机制等方面的问题,并提出对应实施方案,同时通过污染负荷和模型构建两种方式对预期效果进行评估;微观层面以具体黑臭水体河道(寿溪河)为研究对象,从小流域尺度分析现状存在的污水直排、农业面源和内源污染等问题,继而提出对应实施方案并进行效果评估,以期为国内其他城市开展流域水环境综合治理提供参考。

关键词: 流域水环境综合治理; 系统化方案; 宏观层面; 微观层面; 厂-网-河一体化
中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0026-05

Thought of Systematic Scheme Compilation of Watershed Management Based on Macro and Micro Levels Coordination

SANG Fei-fan¹, XU Ke¹, LIU Hui-bo¹, YANG Li-qin¹, CAI Ran^{2,3}, WU Wei-long^{2,3}

(1. Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Beijing Capital Eco-Pro Group Co. Ltd., Beijing 100044, China; 3. Sichuan Aqua Gathering Eco-environment Management Co. Ltd., Neijiang 641100, China)

Abstract: Due to many subjects and fragmentation of construction projects, watershed water environment management often failed to meet expectations. In recent years, many cities have adopted PPP mode to comprehensively manage the watershed water environment. In order to achieve the effect of comprehensive management of watershed water environment, it is necessary to adopt systematic thinking to coordinate each sub-project at the beginning of the project. Combined with the practice of the PPP project for comprehensive management of water environment in the Neijiang section of the Tuojiang River watershed, the ideas and key points of the systematic implementation scheme are discussed from the macro and micro levels. On the macro level, taking Neijiang section of the Tuojiang River watershed as the research object, the existing problems including water environment governance, environmental quality, and management mechanism were analyzed from the large watershed scale. And the corresponding implementation schemes were put forward. The expected effect is evaluated by pollution load and model construction. On the micro level, taking Shouxi River as the research object, the problems of direct sewage discharge, agricultural non-point source and endogenous pollution in small watershed

scale were analyzed. The corresponding implementation schemes were proposed, and the implementation effect evaluation was carried out. Thus, it can provide reference for other cities in China to carry out comprehensive water environment management.

Key words: comprehensive control of watershed water environment; systematic scheme; macro level; micro level; integration of sewage treatment plant, sewage pipe network and river

根据国家水环境治理及污水处理提质增效相关要求,改善水环境要以全流域为控制单元,按照“控源截污、内源治理、生态修复、活水提质”的工程措施消除黑臭水体,基本消除生活污水收集处理设施空白区,提升污水厂进水BOD₅浓度^[1],实现厂-网-河一体化^[2]运维。流域水环境综合治理过程中,为了统筹各类项目,保障治理效果,需要编制系统化方案^[3]评估项目实施效果,对项目库进行调整优化并提出建议,系统推进流域水环境综合治理。

1 流域治理系统化方案编制思路

流域水环境综合治理需要考虑在考核断面水质达标的前提下环境效果最佳,且尽量满足综合治理方案经济最优,这就要求治理过程中既要做好微观层面即实现河道不黑不臭,又要统筹达到宏观层面目标即实现流域断面水质达标,故需要使用系统化思维,编制流域水环境综合治理系统化方案。以内江市水环境治理实践为例,系统化方案主要编制思路见图1。

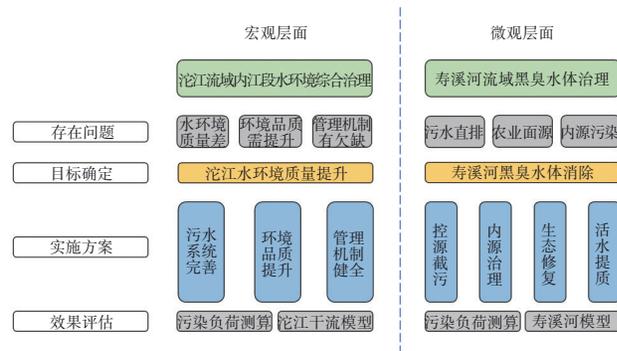


图1 系统化实施方案编制思路

Fig.1 Thoughts on the preparation of systematic implementation plan

① 宏观层面。通过PPP项目模式^[4],以沱江流域内江段为研究范围,在现状调研充分的基础上识别流域水环境治理、环境品质、管理体制等方面存在的问题,以沱江水环境治理提升为目标,通过污水设施和排水管网提标、建设和改造完善污水系

统,通过公园绿地、滨水绿道、生态岸线建设提升环境品质,通过厂-网-河一体化运维辅以水环境系统监测智慧平台健全管理机制,通过沱江流域内江段污染负荷测算和沱江干流水环境模型构建评估各类工程实施效果。

② 微观层面。以寿溪河为研究对象,从污水直排、农业面源污染和内源污染等方面分析黑臭成因,以寿溪河黑臭水体消除,实现“清水绿岸、鱼翔浅底”为目标,按照“控源截污、内源治理、生态修复、活水提质”的工程思路实施治理,通过入河污染负荷测算和水环境模型构建评估治理效果。

2 宏观层面的流域治理系统化方案编制要点

2.1 沱江流域内江段水环境存在的问题

根据四川省生态环境部门的监测数据,2016年以来,沱江流域水环境质量较差,I~Ⅲ类水质断面比例呈降低趋势,IV~劣V类水质断面比例逐年升高。沱江内江段受上游成都、德阳等市涉磷企业、畜禽养殖影响,入境水质较差,加之内江段污水处理系统不健全,建成区黑臭水体较多,环境品质不高,管理机制水平较低,出境断面水质常常不达标。根据沱江流域内江段人口、用地、排水设施、养殖等情况,测算得到流域总入河污染负荷,如表1所示。由于仅氨氮指标同时属于地表水环境标准指标与黑臭水体判定指标,故各类污染均以氨氮负荷计。

表1 沱江流域内江段污染负荷综合分析

Tab.1 Comprehensive analysis of pollution load in Neijiang section of Tuojiang River watershed t·a⁻¹

| 污染物类型 | | COD | 氨氮 | TP |
|-------|--------|-----------|----------|--------|
| 点源污染 | 污水直排 | 17 163.03 | 1 659.09 | 286.05 |
| | 污水设施排放 | 3 519.33 | 369.60 | 38.87 |
| 面源污染 | 城市面源 | 3 715.77 | 103.81 | 11.03 |
| | 农业面源 | 16 671.12 | 303.10 | 75.78 |
| | 山林面源 | 1 564.99 | 15.65 | 2.08 |
| | 畜禽养殖 | 11 923.68 | 339.16 | 81.03 |
| | 水产养殖 | 4 511.38 | 642.45 | 22.84 |
| 内源污染 | 底泥释放 | 54.44 | 29.03 | 10.89 |

2.2 沱江流域内江段水环境改善方案

2.2.1 污水系统完善

根据内江段水环境现状问题,结合上位规划和工程安排,内江市近期新建4座污水厂,污水厂总数量达到8座,处理能力达到 $20.05 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期规划污水厂10座,总规模为 $41.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。市域(不含市区)规划污水厂9座,总规模为 $38.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。各污水厂出水水质均达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)。对于乡镇污水,采用PPP项目新建处理设施(涉及96个乡镇,污水处理站规模为 $3.48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、接入区县污水厂和保留现状污水处理设施的方式实现全覆盖,村户污水处理按照5个区县各选取20个行政村作为示范项目进行污水无害化处理,后续根据示范效果进一步推广。建设 19.8 km^2 的海绵城市示范区,削减城市面源污染;调整农业种植结构、推广农业清洁生产技术,逐步控制农业面源污染;对中心城区黑臭水体进行清淤疏浚,控制内源污染。

为保证流域水环境质量,完善内江建成区沿河截污管线,具体见图2。

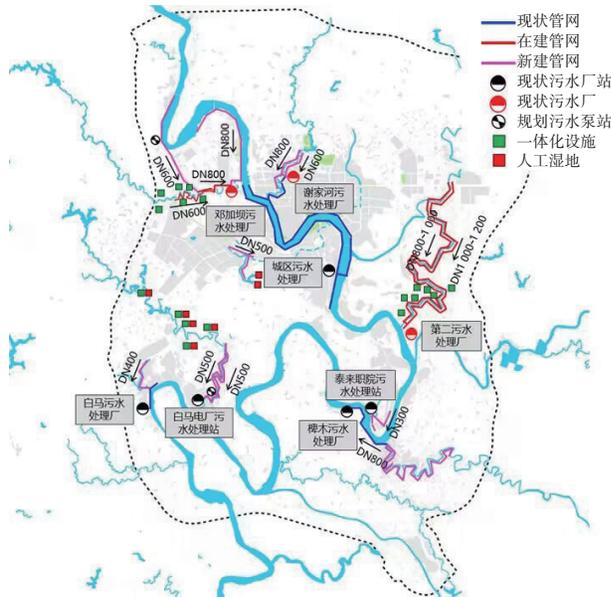


图2 内江市区截污管线分布

Fig.2 Distribution of sewage interception pipelines in Neijiang

综合考虑合流制污水量与污水厂处理规模的匹配,在市区新建4座污水厂的基础上,沿河新建截污管线 67.0 km ,其中黑臭河道沿河截污干线9条,总计 51.1 km ,沿沱江截污干线 15.9 km ,并逐步形

成市区污水厂联合调度系统,缓解合流制区域雨季压力。根据污水收集空白区现状用地和周边排水管线分布情况,为消除 275 hm^2 的污水收集处理空白区,新建污水管线 14.6 km 。同时开展排水管网修复改造工作,优先开展大千路、西林片区管网排查和混错接改造工作,对7个条件较好的合流制分区进行雨污分流改造。此外,在保证行洪通道顺畅的前提下,结合管网排查修复、海绵城市改造、污水厂改(扩)建及水体治理等工程开展合流制暗渠系统化改造,彻底解决影响内江污水收集处理效能较低的问题。

2.2.2 环境品质提升

遵循城市近期发展区域(邓家坝、高铁片区)重点打造,工业远郊区域(城西、白马片区)适当提升,老城区(旧城、东兴片区)保护现状的原则,在重点打造的邓家坝、高铁片区新建寿溪河湿地公园、甜城公园等4座公园(占地 98 hm^2),根据居民需求,在内河沿岸新建亲水平台、滨水广场、驿站、滨水园林小品、人工景观湿地等沿河节点性工程33处,沿内河新建滨水绿道 15.2 km ,沿沱江新建生态岸线 10.45 km ,从多方面系统提升城市环境品质。

2.2.3 管理机制健全

通过政府购买社会服务的方式,开展厂-网-河一体化运维工作。选择有经验的国有企业作为运营方,进行污水处理相关设施存量与增量资产移交工作,有效整合水环境治理、污水厂运行、排水管网运维等各运营方利益,按照统一标准推进流域排水设施建设,建立供排水一体化调度信息管理系统。同时为了监督资本方,建立与运营绩效挂钩的以污水收集率、污水厂进水 BOD_5 浓度、出水质量为控制指标的考核付费机制,并形成与排水设施投资建管相适应的定价付费体系。开展城市水环境监测,设置35个河道断面监测点,对河道流量、水质进行长期监测。同时对24个排水分区和80个关键节点进行监测并确定问题严重区域,优先对其进行精细化管网诊断,对源头重点排水户进行监测,推算区域污水收集情况。

2.3 实施效果评估

通过城市污水处理厂新建和提标改造、镇村污水处理设施新建和改造、污水收集处理空白区消除等措施,降低各流域污水直排和污水设施污染物排放量;通过化学药剂使用控制、农业废弃物资源化

利用等措施,削减各流域农业面源污染物排放量;通过规模化畜禽养殖、水产清洁养殖等措施,减少畜禽养殖和水产养殖污染物排放量;通过河道底泥清淤措施,减小内源污染排放量。由于内江市水环境治理暂不考虑海绵城市建设和山林面源污染控制等相关措施,故对城市面源污染和山林面源污染削减不进行测算。以上措施建设完工后,近期可实现沱江流域内江段污染负荷(以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计)削减1581.52 t/a(见图3),削减率达到45.7%。

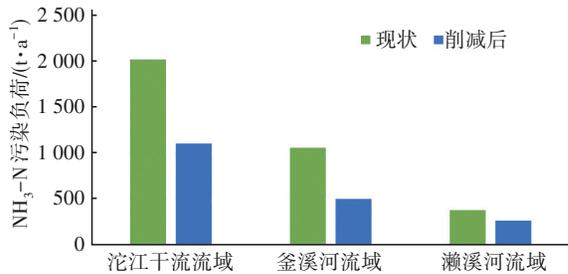


图3 沱江流域内江段实施工程措施前后污染物负荷情况(以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计)

Fig.3 Pollutant load of $\text{NH}_3\text{-N}$ before and after the implement of Tuojiang River watershed projects

为进一步验证工程实施效果,采用MIKE11模型构建沱江流域内江段水力模型。沱江流域内江段长约146.7 km,常年平均流量为 $375 \text{ m}^3/\text{s}$,自然落差135.5 m,平均比降为0.045%,模型构建断面147个。通过旱季常流量和洪峰流量对模型水动力过程进行率定,采用国控断面顺河场和银山镇对水质情况进行率定。根据四川省《沱江流域水污染防治规划(2017—2020年)》划定的各城市出入境断面水质要求,按照上游入境断面水质为地表水Ⅲ类下限值(与现状水质监测结果相符),将沱江干流流域污染物负荷测算结果代入模型,考虑区域降雨径流面源污染、禽畜养殖污染、水产养殖污染、污水厂尾水污染等,进行流域产污量对沱江水质影响的评估。计算结果显示,当入境水质为地表水Ⅲ类时,现状出境断面水质劣于入境水质或与入境水质基本相当,工程实施后出境断面水质全面优于入境水质,工程措施对COD的改善率为0.24%~4.32%,TP的改善率为0.11%~5.66%。

3 微观层面的流域治理系统化方案编制要点

以寿溪河黑臭水体治理为例,介绍微观层面水环境治理思路。寿溪河为沱江右岸一级支流,流域面积 38.43 km^2 ,属于城市近郊区,现状以城中村和

农林用地为主。寿溪河黑臭段自内遂高速至沱江入河口,治理前属于轻度黑臭,主要超标指标为氧化还原电位,黑臭长度6.6 km,全段为开放式明渠,无暗渠和支流汇入,流域内主要市政道路建设有市政雨、污水管,农村段以散排为主。治理目标为近期消除黑臭,部分河段实现“清水绿岸、鱼翔浅底”,远期达到地表Ⅳ类水要求。

3.1 寿溪河黑臭成因分析

寿溪河沿岸城中村较多,治理前沿岸居民排放的生活污水基本没有进行截污处理,大量的生活污水直接或间接排入河道,流域内城中村、农田、鱼塘分布众多,降雨时面源污染随雨水径流冲刷进入河道。此外,随着寿溪河周边的发展,沿线两岸生活生产所产生的污水和垃圾直排河道,底泥不断淤积和释放,造成河道水体黑臭。经污染负荷测算,寿溪河年入河污染物COD为514.77 t、氨氮为32.69 t。

3.2 寿溪河黑臭水体整治方案

作为内江市近期重点开发建设区域,寿溪河流域本底条件较好,故计划对其重点打造,实现黑臭水体环境综合整治示范区、厂-网-河一体化运营示范区、环境整治带动城市发展示范区。寿溪河黑臭水体整治工程分布见图4。

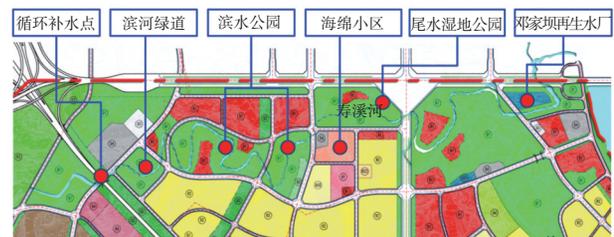


图4 寿溪河黑臭水体整治工程分布

Fig.4 Distribution of black and odorous water treatment projects in Shouxi River

① 控源截污:在寿溪河沿线,自成渝高速公路寿溪河大桥至邓家坝再生水厂建设DN500~1000沿河截污干管,长度为6.5 km,并通过泵站截流堰、人工湿地等措施对沿线散排污水进行截流。

② 内源治理:对寿溪河大桥以西150 m至沱江入河口2.8 km河段进行清淤,清淤深度为0.4~0.6 m,清淤总量为 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,经检测底泥各项指标符合要求,收集转运后进行城市园林绿化填埋处置。

③ 生态修复:打造寿溪河滨水湿地公园,面

积38 hm²,在寿溪河中下游河岸裸露段建设生态岸坡2 km。

④ 活水提质:利用寿溪河滨水湿地公园对准IV类再生水厂尾水进一步净化处理,达到地表IV类水后通过2.6 km的DN110管线输送至成渝高速下寿溪河补水点。

3.3 治理效果评估

通过控源截污、内源治理、生态修复、活水提质等一系列措施,经测算,控制入河污染物COD为235.37 t/a、氨氮为11.17 t/a,水环境容量COD和氨氮分别为提升到644.27、191.31 t/a。为进一步评估工程效果,通过构建MIKE11模型对结果进行验证。概化寿溪河36个断面,上游边界采用实测水质数据,下游边界采用水质自由扩散迁移边界数据,流量率定误差<5%,水质率定误差<20%。模拟结果显示,工程实施后寿溪河旱天COD、氨氮指标改善率分别为11.15%、30.00%,雨天改善率分别为5.62%、24.74%,工程措施对水质的提升效果较明显,工程实施后出口断面处于地表V类水的天数减少1 d,IV类水的天数减少53 d,III类水的天数增加54 d,小雨、中雨、大雨(24 h降雨量分别为10、25、50 mm)对寿溪河水体水质的影响时间分别为48、56和62 h。

4 结论

针对沱江流域内江段水环境面临的问题,分别从宏观层面和微观层面对研究对象进行分析,提出治理方案并通过模型手段进行效果评估。根据层面不同,微观上以寿溪河黑臭水体为研究对象,按照黑臭水体治理思路科学施策,最终达到消除黑臭的目的。宏观层面上以内江市全流域为研究对象,不局限于河道治理,将研究范围扩大到污水设施完善、环境品质提升和管理机制健全等方面。流域水环境综合治理系统规划编制方案整体提高了流域综合治理的技术含量和效果呈现,同时考虑上层政策需求、规划和环境考核要求及远期预期效果,助力解决主要污染物排放削减,实现规划体系和水环

境治理思路调整优化。同时,系统考虑目标与项目、项目之间、项目内各工程的相互关系,科学开展治理工作,提高流域精细化管理水平,逐步恢复河流水生态功能,提升流域生态价值,对日趋复杂的流域水环境综合治理提供系统化解决思路。

参考文献:

- [1] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45(4): 30-38.
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30-38(in Chinese).
- [2] 郑江. 城镇排水系统厂网一体化运营模式的研究与实践[J]. 给水排水, 2016, 42(10): 47-51.
ZHENG Jiang. Research and practice on operation mode for integration of urban drainage network-wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(10): 47-51(in Chinese).
- [3] 万鹏,丁文静. 关于流域综合整治系统化方案编制的思考[J]. 中国给水排水, 2019, 35(11): 113-117, 124.
WAN Peng, DING Wenjing. Thoughts on systematic programming of watershed comprehensive regulation [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(11): 113-117, 124(in Chinese).
- [4] 庞洪涛,薛晓飞,翟丹丹,等. 流域水环境综合治理PPP模式探究[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(1): 77-80.
PANG Hongtao, XUE Xiaofei, ZHAI Dandan, et al. Study on PPP model of watershed comprehensive management [J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42(1): 77-80(in Chinese).

作者简介:桑非凡(1991-),男,山西晋城人,硕士,工程师,主要从事海绵城市、黑臭水体、排水防涝、污水处理提质增效等方面的工作。

E-mail: sff0918@126.com

收稿日期:2020-10-14

修回日期:2021-08-09

(编辑:丁彩娟)