

小流域生态环境治理的路径策略及应用研究

——以资阳市为例

高月明¹, 段 扬¹, 刘艳丽², 吴文俊¹, 胡 溪¹, 陈 杰³, 蒋洪强¹, 蒋龙川⁴

1. 生态环境部环境规划院国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012;
2. 资阳市环境信息中心, 资阳 641300; 3. 四川省生态环境科学研究院, 成都 610044;
4. 四川省资阳生态环境监测中心站, 资阳 641300)

摘要: 以资阳市小流域为例, 以水质断面改善为导向, 结合小流域污染物核算, 识别水质断面超标的主要来源。结果表明, COD 和 NH₃-N 在城镇生活污染中占比最大, TP 在农田径流污染中占比最大, 农村生活污染、畜禽养殖污染对不同流域的影响都较大, 工业污染和水产养殖污染影响相对较小。以“污染源核算-工程措施/非工程措施-水质改善”为治理思路, 识别小流域共性和个性问题, 择取污水设施及配套管网建设、河道清淤、生态拦截沟渠、水产养殖尾水治理、生态保护修复和补水活水等工程, 开展农业面源、产业结构、水资源、水生态和水环境等管控, 削减污染物排放量, 建立健全流域横向补偿机制, 确保水体水质改善成效显著。

关键词: 小流域; 污染物; 技术路径; 治理工程; 管控措施

中图分类号: X323

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022030046

Path strategy and application of ecological environment control in small watershed

——A case study of Ziyang

GAO Yueming¹, DUAN Yang¹, LIU Yanli², WU Wenjun¹, HU Xi¹, CHEN Jie³, JIANG Hongqiang¹, JIANG Longchuan⁴

1. Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China;
2. Ziyang Environmental Information Center, Ziyang 641300, China;
3. Sichuan Academy of Ecological and Environmental Sciences, Chengdu 610044, China;
4. Sichuan Ziyang Ecological Environment Monitoring Center, Ziyang 641300, China)

Abstract: Aiming at the improvement of the water quality section in Ziyang, and considering the pollutant accounting of the river basin, the main pollutant sources causing the section beyond the water quality standard are identified. The results show that COD and NH₃-N account for the largest proportion of urban domestic pollution. TP accounts for the largest proportion of farmland runoff pollution. Rural domestic pollution and the livestock and poultry breeding pollution have a great impact on different watersheds, while the industrial pollution and the aquaculture pollution have a relatively small impact. Taking "pollution source accounting - treatment work - control measures/water quality improvement" as the treatment idea, the common and individual problems of small watersheds are identified. The projects such as sewage facilities and supporting pipe network constructions, river dredging, ecological interception ditches, aquaculture tail water treatment, ecological protection and restoration, water replenishment and running water, and controlling agricultural non-point sources, industrial structure, water resources, water ecology and water environment, are selected to reduce pollutant emissions. The horizontal compensation mechanism of the river basin is also established and improved, thus ensuring the improvement of water quality.

收稿日期: 2022-03-18

录用日期: 2022-05-05

基金项目: 国家生态环境资产核算体系建立项目(2110105); 长江生态环境保护修复联合研究项目(2019-LHYJ-01-0204, 2019-LHYJ-01-0204-50)

作者简介: 高月明(1991-), 男, 硕士、助理研究员。研究方向: 农业面源污染核算研究。E-mail: gaoym@caep.org.cn

通信作者: 蒋洪强(1975-), 男, 博士、研究员。研究方向: 环境规划与政策模拟技术研究。E-mail: jianghq@caep.org.cn

引用格式: 高月明, 段 扬, 刘艳丽, 等. 小流域生态环境治理的路径策略及应用研究——以资阳市为例[J]. 环境保护科学, 2023, 49(1): 44-51.

Keywords: small watershed; contaminants; technical path; treatment project; controlling measures
CLC number: X323

持续打好长江保护修复攻坚战是深入打好污染防治攻坚战的重点任务之一,要推动长江全流域按单元精细化分区分管,加强生活、工业和农业面源等污染治理^[1]。《中华人民共和国长江保护法》作为我国首部流域专门保护法,自 2021 年 3 月 1 日起实施^[2]。经过沿江各地的攻坚,长江经济带水生态环境得到持续改善,2020 年,长江干流和主要支流水质均为优,在监测的 510 个水质断面中,优良水质断面比例达到 96.7%。但受限于乡镇污水收集管网不完善、农业面源污染严重、生态径流小和管控技术与措施不足等因素,长江经济带一些小流域生态环境治理与水质稳定达标仍存在难度。从四川省资阳市看,“十四五”期间四川省新增 116 个国家考核断面,而资阳市国省控考核断面从 5 个新增至 17 个,考核目标均为Ⅲ类水质,这些断面均集中在小流域上。

许多学者对小流域污染源解析及治理思路进行了深入研究。蒋海红等^[3]研究发现外源点源是重庆盘溪河的主要污染源(63%~86%),通过采取控源截污、初期雨水控制、补水活水、生态净化和生态恢复改造等工程措施,盘溪河河段基本可达到无黑臭目标。宋静雯等^[4]以若尔盖湿地为例,从小流域和缓冲区尺度分析得到,主要污染物为 TN 和 TP,污染来源与生活污水和放牧。ZHAO et al^[5]对太湖流域常州市和沙家浜镇地表径流输送的 N、P 和 COD 发现,较常州市而言,沙家浜镇 COD 与各种形态 N 之间的相关性更强,COD 浓度亦普遍高于常州市,推测这可能是沙家浜镇的经济水平较低导致的。沱江是长江的一级支流,该流域内水网密布,小流域众多,开展了大量的水生态治理和修复工作。刘丹丹等^[6]基于沱江流域工业、农业和生活源 TP 排放数据,核算得到 2017 年沱江流域 TP 排放量和入河量分别为 8 324.0 和 3 676.9 t,空间排放以成都市和宜宾市为主,水田面积、国内生产总值和人口规模是影响沱江流域 TP 排放的主要因素。钟旭珍等^[7]研究发现坡度>35°,海拔>1 500 m 等起伏较大的山区是土壤侵蚀的高风险区,需重点治理。LIU et al^[8]估算每年对沱江流域的 TP 排放量为 9 253.55 t,其中牲畜贡献为

52.52%,建立有效的畜禽养殖管理实践,并综合利用设施,有助于减少 TP 排放进入沱江流域。

本研究在借鉴国内外小流域治理研究经验的基础上^[9-14],以资阳市重点小流域污染源解析与环境容量计算等研究为基础,以水质稳定达标为目标,分析小流域主要生态环境问题,针对性提出治理工程技术与管控措施。研究成果对长江经济带小流域生态环境治理具有一定的推广价值,对实现“生态优先、绿色发展”,流域控制单元精细化分区分管、小流域水质改善等具有借鉴意义^[15-16]。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

资阳市位于四川省中南地区,地处沱江与涪江两江分水岭,南与内江相邻,北与成都、德阳市接壤,东与重庆和遂宁市毗邻,西与眉山相连,地理坐标介于 104°26′~105°45′E,29°45′~30°39′N 之间,全市幅员面积 5 747.5 km²。全市境内水系发达、河网密布,季节性小溪流众多,河流基本都发源于丘陵,河床平、缓、宽,地形切割浅、落差小、水流平缓、岸势开阔,海拔 550~900 m,相对高差 200~400 m。研究区域涉及资阳市境内的阳化河、小阳化河、索溪河、大濠溪河、小濠溪河、岳阳河、龙台河、蟠龙河、小清流河和高升河等小流域,涉及水质监测断面 12 个,见图 1。



图 1 资阳市部分水质监测断面分布
 Fig. 1 Distribution of water quality monitoring section in Ziyang

1.2 数据来源

主要数据包括水质监测数据、人口数据、环境统计数据、乡镇边界矢量数据、水系图层和土地利用数据,见表 1。

表 1 数据来源及描述
Table 1 Data sources and descriptions

| 数据类型 | 描述 | 数据来源 |
|----------|--|---|
| 水质监测数据 | 选定2020年主要控制指标为COD、NH ₃ -N、TP和COD _{Mn} 共计4个指标; 监测频度为12次/a | 资阳市生态环境局 |
| 人口数据 | 全国第七次人口普查数据, 具体到乡镇(街道) | 雁江区、乐至县和安岳县第七次人口普查数据公报 |
| 环境统计数据 | 涵盖工业企业、畜禽养殖和水产养殖等 | 资阳市生态环境局 |
| 乡镇边界矢量数据 | 2020年资阳市新版乡镇边界矢量数据 | 资阳市生态环境局 |
| 水系图层 | 数据类型Shape矢量数据 | 资阳市生态环境局 |
| 土地利用数据 | 数据类型TIFF, 分辨率10 m×10 m | http://data.ess.tsinghua.edu.cn/ |

1.3 研究方法

1.3.1 控制单元划定 采用 ArcGIS 的 ArcHydro 水文模块或 ArcSWAT 的相关命令生成河流网络; 检查河流的相互连接状况、检查河流流向、依据河流等级完成水系概化; 配好基础地图和完成水系概化后, 提取水系对应的陆域汇水范围, 并与资阳市“三线一单”中水环境控制单元划定结果相衔接^[17], 确定最终流域控制单元范围。

1.3.2 污染源解析 以小流域控制单元范围为基础, 按工业源、城镇生活源、农村生活源、畜禽养殖源、农田径流源和水产养殖源进行污染物核算。具体系数参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》^[18]《中国农业面源污染问题研究》^[19]中四川省农业面源污染源排放强度系数, 见式(1):

$$D_{TS} = D_{IS} + D_{UL} + D_{VL} + D_{LP} + D_{FL} + D_{LR} \quad (1)$$

式中: D_{TS} 为小流域污染物排放总量, t/a; D_{IS} 为工业源污染物排放量, t/a; D_{UL} 为城镇生活源污染物排放量, t/a; D_{VL} 为农村生活源污染物排放量, t/a; D_{LP} 为畜禽养殖源污染物排放量, t/a; D_{FL} 为农田径流源污染物排放量, t/a; D_{LR} 为水产养殖源污染物排放量, t/a; 污染物种类包括 COD、NH₃-N 和 TP, 见式(2):

$$D_{TS} = \sum_{i=1}^n F_i + \sum_{i=1}^m GP_{out} \times GL_i \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: F_i 为工业企业污染物排放量, t; GP_{out} 为污水处理设施出口浓度, mg/L; GL_i 为污水处理设施处理量, t; n 为已建工业污水处理设施乡镇(街道)个数; m 为未建工业污水处理设施乡镇(街道)个数, 见式(3):

$$D_{UL} = \sum_{i=1}^n \{UP_i \times EP_i \times 10^{-6} \times 365 - (SP_{in} - SP_{out}) \times SL_i \times 10^{-6}\} + \sum_{i=1}^m UP_i \times UEP_i \times 10^{-6} \times 365 \quad (3)$$

式中: UP_i 为城镇常住人口数, 人; UEP_i 为城镇人均污染物排放系数, g/(人·d); SP_{in} 为生活污水处理设施进口浓度, mg/L; SP_{out} 为生活污水处理设施出口浓度, mg/L; SL_i 为生活污水处理量, t; n 为已建污水处理设施乡镇(街道)个数; m 为未建污水处理设施乡镇(街道)个数, 见式(4):

$$D_{VL} = \sum_{i=1}^n VP_i \times VEP_i \times 10^{-6} \times 365 \quad (4)$$

式中: VP_i 为农村常住人口数, 人; VEP_i 为农村人均污染物排放系数, g/(人·d); n 为小流域内乡镇个数, 见式(5):

$$D_{VL} = \left(\sum_{i=1}^k GV_i \times GEP_i + \sum_{i=1}^k SV_i \times SEP_i \right) \times 10^{-6} \times 365 \quad (5)$$

式中: GV_i 为规模化畜禽养殖量, 头; GEP_i 为规模化畜禽养殖污染物排放系数, g/(头·d); SV_i 为散养畜禽养殖量, 头; SEP_i 为散养畜禽养殖污染物排放系数, g/(头·d); k 为小流域内乡镇个数。其中, 规模化畜禽养殖按照生猪出栏量 ≥ 500 头、奶牛存栏量 ≥ 100 头、肉牛存栏量 ≥ 50 头、蛋鸡存栏量 ≥ 2000 只、肉鸡出栏量 ≥ 10000 只进行界定, 见式(6):

$$D_{FL} = \sum_{i=1}^k VE_i \times V_i \times S \times 10^{-3} \quad D_{FL} = \sum_{i=1}^k VE_i \times V_i \times S \times 10^{-3} \quad (6)$$

式中: VE_i 为单位面积污染物排放系数, kg/m²; V_i 为农田类型像元数; S 为像元面积, m², 见式(7):

$$D_{LR} = \sum_{i=1}^k FE_i \times A_i \quad (7)$$

式中, FE_i 为草鱼、鲢鱼、鳙鱼和鲫鱼等主要水产养

殖的平均排污系数, t/hm^2 ; A_i 为水产养殖面积, hm^2 。

2 小流域污染物分类识别

2.1 污染物排放情况

按工业源、城镇生活源、农村生活源、畜禽养殖源、农田径流源和水产养殖源 6 类污染物来源进行分析, 核算得到逐条小流域污染物排放量, 见图 2。

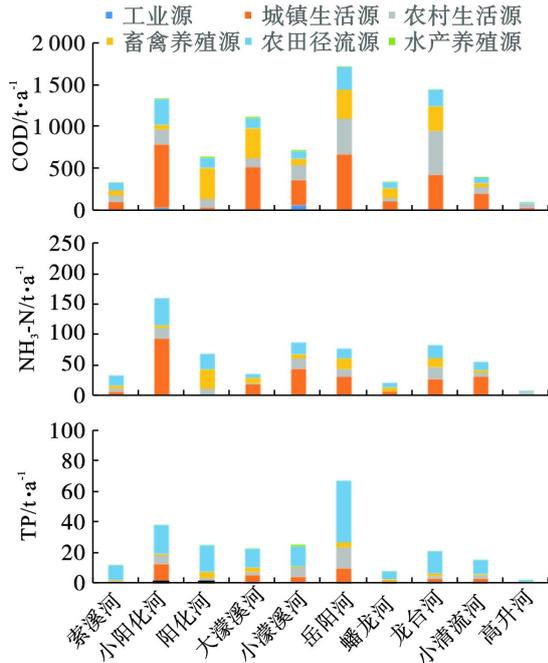


图 2 资阳市小流域污染物核算

Fig. 2 Small watershed pollutant accounting in Ziyang

图 2 可知, 岳阳河、龙台河和小阳化河 COD 排放量排名前 3, 分别为 1 716.38、1 443.40 和 1 334.12 t/a, 污染物来源以城镇生活源为主, 其中小阳化河的城镇生活源占比达 56.55%; 小阳化河、小濛溪河和龙台河 NH_3-N 排放量排名前 3, 分别为 160.69、88.18 和 83.79 t/a, 主要来源于城镇生活源和农田径流源; 岳阳河、小阳化河和小濛溪河 TP 排

放量排名前 3, 分别为 67.57、38.73 和 25.81 t/a, 主要来源于农田径流源, 其中岳阳河的农田径流源占比达 59.43%。各断面水质情况, 见表 2。

表 2 小流域监测断面水质情况

Table 2 Small watershed monitoring section water quality

| 小流域 | 监测断面 | 2020 考核目标 | 超标指标 (超标倍数) |
|------|--------|-----------|---|
| 索溪河 | 谢家桥 | IV III | COD(0.04) |
| 小阳化河 | 万安桥 | IV III | COD(0.30); COD _{Mn} (0.04) |
| 阳化河 | 巷子口 | IV III | COD(0.06) |
| | 肖家鼓堰码头 | IV III | COD(0.02) |
| 大濛溪河 | 汪家坝 | III III | / |
| | 牛桥 | III III | / |
| 小濛溪河 | 资安桥 | IV III | COD(0.21); COD _{Mn} (0.01); TP(0.05) |
| 岳阳河 | 白沙 | IV III | COD(0.14); COD _{Mn} (0.004) |
| 蟠龙河 | 元坝子 | III III | / |
| 龙台河 | 两河 | III III | / |
| 小清流河 | 韦家湾 | III III | / |
| 高升河 | 红光村 | III III | / |

表 2 可知, 小流域中仅谢家桥、万安桥、巷子口、肖家鼓堰码头、资安桥和白沙 6 个断面超过地表水 III 类水质标准, 主要污染物为 COD, 超标倍数在 0.02 ~ 0.30 之间; 其次是部分断面 COD_{Mn} 超标, 分别为万安桥 (0.04)、资安桥 (0.01) 和白沙 (0.004); 仅资安桥断面 TP 超标, 超标倍数为 0.05; 无 NH_3-N 超标断面。

2.2 小流域分类分析

流域污染物分类情况, 见图 3。

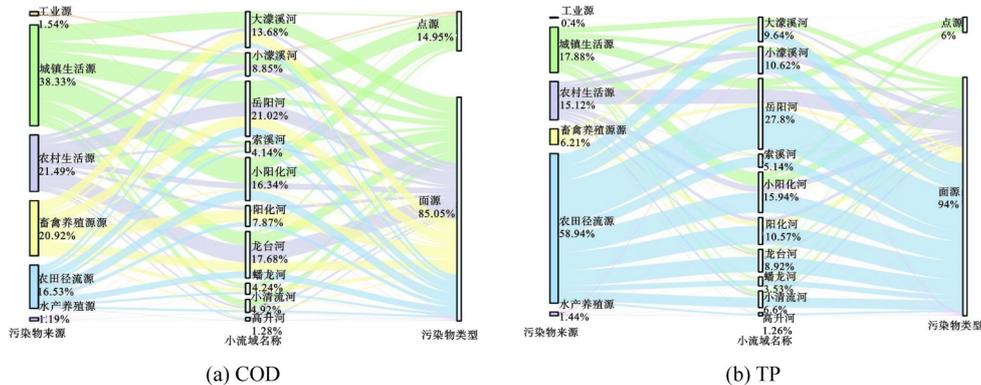


图 3 小流域污染物分类

Fig. 3 Classification of pollutants in small watershed

图 3 可知,点源污染在小流域 COD 总量中占比 14.95%,主要来源于城镇生活污水设施出水排放,小阳化河和岳阳河城镇生活污水设施末端排放,亟需开展污水处理设施提标改造工程;工业源点源污染主要分布在小濛溪河、小阳化河和阳化河。面源污染是小流域污染的主要类型,占比在 85%~94% 之间,农村生活源、畜禽养殖源、农田径流源和城镇生活污水未收集导致的面源污染种类多,管控难度大。

2.3 主要生态环境问题识别

(1)污水处理设施及配套管网建设相对滞后。一是雨污分流建设困难,管网收集能力低。资阳市小流域 COD 排放量为 3 130.33 t/a,占比 38.33%,是索溪河、小阳化河、阳化河、大濛溪河、小濛溪河和岳阳河等小流域 COD 超标的主要污染源。县城老城区基本采用雨污合流制管道,部分已建管网存在跑冒滴漏现象。污水处理厂存在低浓度、超负荷运行。部分污水处理设施实际处理量远低于设计处理能力。乡镇污水管网收集率不高,导致大量生活污水无法得到处理而同时大量处理能力闲置。二是污水处理厂日处理能力不足。已建污水设施存在污水收集率低,实际处理量远低于设计处理量。三是执行排放标准偏低。部分已建污水处理设施执行一级 A 标准,距四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准存在一定差距^[20]。

(2)农业面源污染排放严峻。一是流域内种植结构以水稻、玉米和柠檬等为主,种植作物施肥强

度大。资阳市小流域 TP 排放量为 58.94 t/a,占比 58.94%,是小濛溪河流域 TP 超标的主要污染源。流域内岸坡种植较多,通常作物沿河种植后与河岸连成一片,由于坡耕地位置较高,农田排水直接排河,而施肥量较多的时期与雨季重合度高,致使土壤中大量 N、P 随雨水冲刷排放^[21]。二是养殖规模大,粪污资源化利用能力不足。规模化养殖量大,特别是生猪养殖多,养殖量占比超过 90%,散养户遍布全市,水产养殖面积大,难以管控。三是农村人口比重大,面源污染产生量不容忽视。农村生活污水存在直排现象,部分河段农村生活垃圾、农业废弃物沿河堆存,汛期随地表径流冲刷排放^[22]。

(3)生态流量不足,河道底泥淤积。全市地处沱江与涪江两江分水岭,位于四川盆地腹地,地势较平坦,导致生态流量不足,跨市、跨省小支流众多。河道水利工程多,防洪闸坝导致地表径流不连贯^[23]。为保障农田灌溉用水量,在流域内河道拦坝设堰,导致河道渠化明显,沿程修建蓄水水利工程一般只考虑满足本区段水量供应需求,尤其枯水期,下泄水量较少,河道水流不畅,导致流速迟滞,河底淤泥逐年增加,影响河道水生态环境,造成河道底泥淤积。底泥微生境受到破坏,水体自净能力较差。夏季阳光暴晒后河底淤泥变黑,泥中有机废气爆出,并伴有部分絮状底泥碎块上浮,阻止水体自然复氧而加剧厌氧化^[14]。由于水资源缺乏,流域河道内拦河堰过密过多,汇水控制区内的河道水体中 N、P 污染严重,水生生物(特别是底泥微生物)的微生境受到破坏。

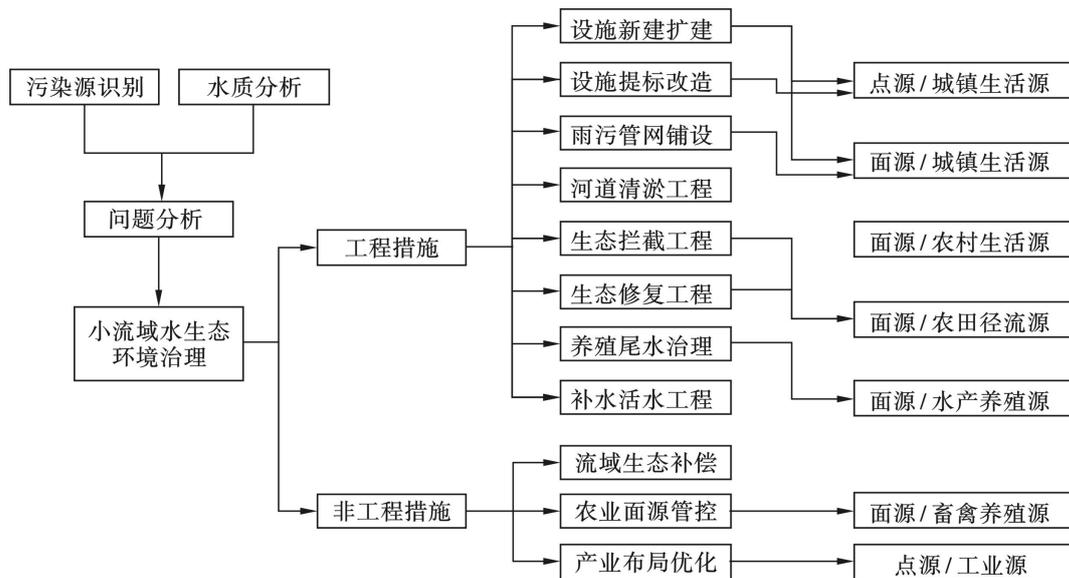


图 4 小流域生态环境治理路径设计

Fig. 4 Small watershed ecological environment governance method design

3 水生态环境治理路径与策略

3.1 治理技术路径

以“污染源核算-治理工程-管控措施-水质改善”为治理技术路径,见图4。

按污染严重等级及主要超标污染物排序依次是城镇生活源>农田径流源>农村生活源=畜禽养殖源>水产养殖源=工业源,识别小流域共性和个性问题。为满足“十四五”期间小流域水质稳定达到Ⅲ类标准的目标,按照小流域污染源分类情况,针对不同小流域实施污水设施及配套管网建设、河道清淤、生态拦截沟渠、水产养殖尾水治理、生态保护修复和补水活水等工程设计,并开展农业面源、产业结构、水生态和水环境等管控措施,建立水质改善和生态恢复长效机制。

3.2 工程措施

3.2.1 管网设施改扩建工程 以现有污水处理设施进水量和服务人口为基础,估算污水处理设施处理规模缺口,以新建或扩建的方式提高设计处理规模,并逐步全面执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准:DB 51/2311—2016》。由于管网等基础设施配套不到位、雨污分流不彻底等原因,实际处理量均未达到设计处理能力,存在大量生活污水未经处理直排。加强居民户内污水收集,推进雨污分流改造,对直排水体的城镇生活污染采取截污措施^[24]。

3.2.2 河道清淤工程 适用于中小河段的河流疏浚工程技术主要包括排干疏浚、水下疏浚和环保疏浚。环保疏浚旨在清除河湖水体中的污染底泥,清除污染水体的内源,并改善水生态环境。采用螺旋式挖泥装置、密闭式旋转斗轮挖泥设备和气动泵挖泥船来疏浚河道水下污染底泥,借助净水压力和压缩空气可疏浚约70%污染底泥量,且对河底扰动小。按照《疏浚与吹填工程设计规范》,推荐方案设计允许超深值取0.15~0.2 m,设计允许超宽取1.5~2.0 m。

3.2.3 生态拦截工程 (1)生态沟渠。生态沟渠需满足上沿宽度不小于2.0 m,底部宽度不小于1.0 m,深度不小于1.3 m等要求,生态拦截辅助设施应至少包括节制闸、拦水坎、底泥捕获井和N、P去除模块等设施,并在浮床上种植水生植物,一般在夏秋季主要种植香菇草、菖蒲、美人蕉、鸢尾和水葫

芦等种类,在冬春季主要种植香菇草、狐尾藻和伊乐藻等种类。(2)生态浮床。以高分子材料为载体和基质,在水面或河道两侧形成人工浮岛带,利用生态学原理降低水体中COD、N和P含量,适用于水深1~5 m的河流区域。采用泡沫板式浮床、PVC管式浮床和塑料篮式浮床宽度按沟渠宽度的30%~50%设置。其优点为:①有效去除水体中N、P等污染物,从而有效控制水体的富营养化,增加绿化面积,同时为鱼类、鸟类和昆虫等提供了修养生息的场所;②投资费用小、施工简单、工期短、低碳,易管理,维护费用少;③可抑制藻类生长。

3.2.4 生态修复工程 为恢复流域生态系统多样性,提升水体自净能力,采用人工湿地、原位修复和水生植物种植等生态治理技术,逐步改善流域水生态环境^[25]。

岳阳河流域综合治理与生态修复工程:实施内源污染重点河段底泥污染治理,包括工业园区污水处理厂上游2.5 km河段,江水村上游15 km河段;实施河道综合治理与生态修复工程,修复河道长度16 km,因地制宜分河段建设人工湿地,建设人工浮岛和生态湿地、微生物修复和水生植物恢复等综合措施;实施水系生态景观工程,新建城南湿地公园;构建多级表流人工湿地,建设工业园区污水处理厂尾水湿地。

蟠龙河流域河道水生态修复工程:实施内源污染重点河段底泥污染治理;实施河道综合治理与生态修复工程,进行清淤及生态原位修复的水环境综合治理;蟠龙河在流域河道两侧由农田向河道过渡的平坦河滩区域内种植3~4 m宽的多年生苜蓿草形成的岸边植被生态拦截带,建设人工湿地。

3.2.5 水产养殖尾水治理工程 水产养殖污染主要为被摄食的饲料、渔肥、养殖生物的粪便和水体改良剂等。采用原位净化与修复方式进行水产养殖尾水处理,通过水生植物和微生物的生长代谢来吸收水体中的N、P和BOD等污染物,主要处理设施包括生态沟渠、沉淀池、过滤坝、曝气池和生态净化池(人工湿地)。

3.2.6 补水活水工程 增加生态流量,促进水的流动和污染物的稀释、扩散和分解。补水水源包括城市再生水、清洁地表水和海绵系统净化的雨水等。实施安岳县岳阳河流域“引书济岳”调水工程。具

体来看,从岳一村景观湖至双河口 10 级河堰,河道总长 15.1 km,形成河湖水域面积约 0.85 km²,蓄水能力达 160 万 m³,完善调水渠系整治和修补,枯水期通过书永分干渠向岳阳河县城城区调水,以改善城区水生态环境质量,提高岳阳河水环境自净能力。

3.3 非工程措施

3.3.1 流域生态补偿 持续开展流域横向生态补偿工作,设立流域横向生态补偿奖金,每年依据不同地级市对流域资源环境压力(流域国内生产总值占比、水资源开发利用程度和地表水环境质量系数等)确定出资比例,并依据地级市的环境工作绩效(流域面积占比、用水效率和水环境质量改善程度等)进行奖金分配。

补偿基准金从流域上下游地级市上一年所得省级生态功能区转移支付资金中列支;水质达标则下游地市给予上游地市补偿,水质未达标则上游地市给予下游地市补偿,分配到各市、县、区的生态保护补偿资金由各地人民政府统筹安排,主要用于饮用水水源地保护、城乡污水垃圾处理设施建设、城乡公厕建设、农业面源污染治理、畜禽养殖业污染治理、水生态修复、水土保持、造林防护等生态保护和污染防治工作,同时为调动双方积极性,对获得补偿的地市,省级财政应按照 1:1 的比例再安排省级资金给予补偿,切实加大补偿力度。

3.3.2 农业面源管控 针对阳化河流域泡菜加工、琼江流域柠檬种植和加工、水产养殖等突出问题,按照“抓重点、分区治、精细管”,进一步优化农业生产布局,完善化肥农药使用管理,加强水产养殖尾水治理,深化畜禽养殖污染治理。抓实河湖“清四乱”工作,坚持“遏增量,清存量”的原则,坚决杜绝“乱占、乱采、乱堆、乱建”行为。全面推进农村“五清”行动,加强农村生活垃圾、农村厕屋便池、农村水源水体、畜禽粪污和生产废弃物清理,全面提升农村人居环境。散养密集区实行畜禽粪便污水分户收集、集中处理利用,养殖散户应配套沼气池、沼液池等设施。推进畜禽清洁养殖技术和生态养殖模式,引导畜禽养殖散户向养殖小区集中。

3.3.3 产业布局优化 加快淘汰落后产能,积极化解产能严重过剩矛盾,取缔违反国家产业政策、环保违法违规的重污染企业,加大现有装备水平低、环保设施差的小微企业“关、停、并、转”实施力度。建立基于环境质量目标、区域功能定位、容量总量核定的“三位一体”环境准入制度。行业内新建项目超标污染物排放总量等量或倍量替代。

3.4 治理成效分析

按照污染特征、水质达标情况和污染治理需求,将小流域进行分类,以便提出针对性治理措施。小流域污染源分类情况,见表 3。

表 3 小流域污染源分类情况

Table 3 Classification of pollution sources in small watershed

| 小流域 | 点源/ 工业源 | 点源/ 城镇生活源 | 面源/ 城镇生活源 | 面源/ 农村生活源 | 面源/ 畜禽养殖源 | 面源/ 农田径流源 | 面源/ 水产养殖源 | ★ ~ ☆ |
|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| 索溪河 | ☆ | | ★ | | | | ★ | 2~1 |
| 小阳化河 | ☆ | ★ | | ★ | | | ★ | 3~1 |
| 阳化河 | | | ★ | ★ | ★ | ☆ | | 3~1 |
| 大濛溪河 | | | ★ | | ★ | ☆ | | 2~1 |
| 小濛溪河 | ☆ | | ★ | ★ | | | ★ | 3~1 |
| 岳阳河 | | ★ | | ★ | ★ | ☆ | ☆ | 3~2 |
| 蟠龙河 | | | ★ | | | ☆ | ☆ | 1~2 |
| 龙台河 | | | ★ | ★ | | ☆ | | 2~1 |
| 小清流河 | | | ★ | ★ | | ☆ | | 2~1 |
| 高升河 | | ☆ | | ☆ | | ☆ | | 0~3 |
| ★ ~ ☆ | 0~3 | 2~1 | 7~0 | 6~1 | 3~0 | 3~7 | 0~2 | 21~14 |

注:★代表需重点治理;☆代表可优化提升。

表 3 可知,10 条小流域合计需重点治理 21 项,可优化提升 14 项,其中,城镇生活源、农村生活源和农田径流源是小流域污染治理的重点,畜禽养殖源在

阳化河、大濛溪河和岳阳河等小流域需重点治理,岳阳河治理需求最为突出,高升河治理难度相对较小。从污染减排来看,小阳化河、小濛溪河、岳阳

河、小清河流、龙台河和索溪河 COD 减排比例(超过 10%)较大,龙台河、小阳化河、岳阳河和小濠溪河 TP 减排比例(超过 10%)较大,阳化河、大濠溪河、蟠龙河和高升河等减排比例约 6%~9%,见表 4。

表 4 小流域污染减排比例测算

| 污染物 | 索溪河 | 小阳化河 | 阳化河 | 大濠溪河 | 小濠溪河 | 岳阳河 | 蟠龙河 | 龙台河 | 小清河流 | 高升河 |
|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|
| COD | 10.4 | 24.2 | 9.2 | 7.0 | 22.3 | 17.0 | 6.5 | 13.4 | 16.5 | 8.0 |
| TP | 8.3 | 19.6 | 9.7 | 3.3 | 12.0 | 13.5 | 8.4 | 25.8 | 7.7 | 6.9 |

4 结论

以“污染源核算-工程措施/非工程措施-水质改善”为治理思路,本文识别出资阳市小流域 COD、NH₃-N 和 TP 总量分别为 8 166.00、639.68 和 243.04t,城镇生活污染、农田径流污染、畜禽养殖污染是资阳市小流域生态环境治理的重点,通过实施污水设施及配套管网建设、河道清淤、生态拦截沟渠和生态保护修复等工程措施进行整治,加强畜禽养殖、农村面源污染管控措施,预计可实现污染物减排 13%~28%。统筹水资源、水环境、水生态“三水”共治,突出工业、农业和生活污染“三源齐控”,加强上下游统筹协调,严格落实各方责任,提升水生态环境治理体系与治理能力现代化水平。

致谢:感谢长江生态环境保护修复资阳市驻点跟踪研究项目工作组以及资阳市生态环境局的大力支持。

参考文献

- [1] 中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见 [EB/OL]. (2022-02-20)[2021-11-02]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-11/07/content_5649656.htm.
- [2] 续衍雪,孙宏亮,马乐宽,等.基于《长江保护法》做好长江生态环境保护修复[J].环境保护,2021,49(19):56-59.
- [3] 蒋海红,袁绍春,吕波,等.重庆盘溪河黑臭水体治理方法初探[J].环境工程,2019,37(8):37-41.
- [4] 宋静雯,张学霞,姜东旸,等.不同尺度土地利用方式对地表水环境质量的影响及驱动机制[J].环境科学,2022,43(6):3016-3026.
- [5] ZHAO L, LIU X D, WANG P, et al. N, P, and COD conveyed by urban runoff: A comparative research between a city and a town in the Taihu Basin, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(40): 56686-56695.
- [6] 刘丹丹,乔琦,李雪迎,等.沱江流域总磷空间排放特征及影响因素分析[J].环境工程技术学报,2022,12(2):449-458.
- [7] 钟旭珍,张素,吴瑞娟,等.沱江流域土壤侵蚀动态变化及驱动力分析[J].水土保持研究,2022,29(2):43-49+56.
- [8] LIU D, BAI L, QIAO Q, et al. Anthropogenic total phosphorus emissions to the Tuojiang River Basin, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 294: 126325.
- [9] 董战峰,毕粉粉,龙凤.论国家流域水环境经济政策创新的思路与重点方向[J].环境保护,2021,49(7):12-19.
- [10] 余义瑞,史贵君,武星,等.深圳市宝安区水环境综合治理模式及其成效[J].人民长江,2021,52(3):21-27.
- [11] 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.
- [12] 陈焰,夏瑞,王璐,等.基于 SWMM-EFDC 耦合模拟的新凤河流域水环境治理工程效应评估[J].环境工程技术学报,2021,11(4):777-788.
- [13] 袁宏川,彭勃,李新哲.基于 DPSIR 模型的长江流域中部地区水环境治理绩效评价[J].水电能源科学,2021,39(5):61-65.
- [14] 翟俊,黄晓斌,何强,等.重庆市跳磴河流域水污染综合治理工程规划[J].中国给水排水,2007,23(6):45-49.
- [15] 李海生,王丽婧,张泽乾,等.长江生态环境协同治理的理论思考与实践[J].环境工程技术学报,2021,11(3):409-417.
- [16] LI Y F, WU J B, SHANG Y C. Assessment of water risk management technology in the watershed during the “Thirteenth Five-Year Plan” period in Liaoning Province based on the analytic hierarchy process[C]// E3S Web of Conferences, 2021, 269: 01007.
- [17] 彭昕杰,成金华,方传棣.基于“三线一单”的长江经济带经济-资源-环境协调发展研究[J].中国人口·资源与环境,2021,31(5):163-173.
- [18] 生态环境部.排放源统计调查产排污核算方法和系数手册[M].北京:中国标准出版社,2021.
- [19] 梁流涛,秦明周.中国农业面源污染问题研究[M].北京:中国社会科学出版社,2013.
- [20] 四川省环境保护厅.四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准:DB51/2311—2016[S].成都:四川环境保护科学研究院,2016.
- [21] 庞爱萍,李春晖,易雨君.长江经济带农业种植-消费系统氮流时空格局演化规律与驱动机制[J].农业环境科学学报,2021,40(2):408-420.
- [22] ZONG M, HU Y M, LIU M, et al. Quantifying the contribution of agricultural and urban non-point source pollutant loads in watershed with urban agglomeration[J]. *Water*, 2021, 13(10): 1385-1385.
- [23] 李怡,胡小泓.浅谈河道生态工程水环境治理[J].人民长江,2012,43(S1):142-144.
- [24] 黄伟,王阿华,桂衍武,等.竹皮河流域水环境综合治理(城区段)沿河截污干管工程设计[J].中国给水排水,2019,35(24):70-74.
- [25] 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.