

琼江流域遂宁段水环境治理规划研究

杨永安¹, 刘兵², 杨娟^{2*}, 龙帅², 王远铭³, 李克锋³

(1.西华师范大学 环境科学与工程学院, 四川 南充 637009; 2.遂宁市生态环境安全应急中心, 四川 遂宁 629000; 3.四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

摘要: 水环境治理规划是解决水资源枯竭和水污染的有效手段, 在河流生态保护中具有重要作用。选取我国典型小流域—琼江流域遂宁段作为研究对象, 在已有治污措施与规划的基础上, 针对琼江流域构建 SWAT 模型, 根据水域纳污能力的计算结果, 通过提升污水处理厂出水的水质标准, 增大二、三产业污水和生活污水收集率, 提高中水回用举措, 完善农村散排生活污水处理和排放途径, 研究并比较了新增治污规划前后的 3 个典型断面水质状况和纳污能力。结果表明, 新增治污规划后水平年各典型断面 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TP 在全年均能达到 III 类水质标准, 即使在最枯月也具备对各水质指标的纳污能力。本研究可为琼江流域水环境保护提供科学依据和技术支撑。

关键词: 琼江遂宁段; SWAT 模型; 治污规划; 纳污能力

中图分类号: X52; TU984

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022199

杨永安, 刘兵, 杨娟, 等. 琼江流域遂宁段水环境治理规划研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 94-98.

YANG Yongan, LIU Bing, YANG Juan, et al. Study on the Framework of Water Environment Treatment in the Suining Section of Qiongzhang River basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 94-98.

0 引言

琼江是四川省的重要河流, 其生态地位显著。琼江在遂宁境内主要流经安居区, 除磨溪镇、西眉镇、衡山镇和常理镇的部分区域外, 其余安居区全部属于琼江的集雨范围, 安居区境内的水污染治理水平直接影响琼江流域的水质状况^[1-3]。琼江流域遂宁市内的大安断面作为国控出川断面, 近年来水质无法稳定在 III 类水质标准, 水体中主要超标因子为 COD_{Cr} 与 TP, 被列为四川省挂牌整治的小流域达标考核断面^[4-5], 改善水环境质量已迫在眉睫。

近年来, 针对琼江流域水环境的研究较少, 且仅限于流域内水质的监测与评价, 较少研究针对流域水污染提出治理方案^[1-3, 6-7]。相反, 区域内琼江汇入的涪江干流针对水环境保护开展了较为丰富的研究, 包含了河流水质的评价、水环境容量的解析以及水污染的综合治理^[8-10]。琼江流域水资源支撑着遂宁的社会发展, 保障着流域内的灌溉、城市与工业用水等。当前, 安居区已制定相应的城市发展规划, 预计在 2030 年, 安居区总人口将达到 80 万以上, 区域内城镇化

水平达到 56.9%, 区域内将形成“一心、三节点、两轴、三带、三片区”的城镇体系空间结构^[11]。伴随着城市发展, 区域内的用水量也将显著增加, 安居区城区最高日综合用水量将达到 11.36 万 m^3 , 区域内产生的污水不可避免地将汇集到琼江干流, 未来流域内的水环境质量仍将面临极大挑战。

为使琼江流域遂宁段水环境质量在未来城市发展的过程中得到保障, 本文整理了区域内已有的治污措施与规划, 在此基础上提出了新的治污措施, 同时利用 SWAT 模型对规划年典型断面的水质变化进行预测分析, 并计算了典型控制断面的水域纳污能力, 验证了新增措施的有效性。研究结果可为琼江流域水环境保护提供科学依据和技术支撑。

1 研究区域与方法

琼江是涪江右岸一级支流, 源于四川省资阳市乐至县三星乡金马寺, 经该县的棺材函后流入遂宁市安居区, 于大安乡陈家坝下半边山出安居境, 进入重庆市潼南区, 至铜梁县安居镇汇入涪江。琼江全长 235 km, 其中遂宁市境内河长 117 km, 全流域面积 4 560 km^2 , 上游遂宁市内流域面积 1 008.4 km^2 。琼江天然落差 40 m, 河道平均比降 0.34‰。琼江水量主要来源于自然降水, 丰、枯水期流量差异极大, 枯水期时断流, 出遂宁境的大安断面多年平均流量为 14.08 m^3/s 。

收稿日期: 2022-04-12

基金项目: 四川省省级科技计划项目(2018SZYZF0001)

作者简介: 杨永安(1979-)男, 高级工程师, 博士, 主要从事环境科学相关研究工作。E-mail: yasn13@163.com

通信作者: 杨娟(1986-), 女, 工程师, 学士, 主要从事环境科学相关研究工作。E-mail: 182334686@qq.com

以境内流域水系为基础, 兼顾行政管理的可操作性, 本文将点源污染现状调查分为 3 个区域进行讨论, 分别是城区以上、城区范围和城区以下区域。为了解琼江流域遂宁段当前水环境治理水平, 于 2019 年 11 月对流域内的污水处理设施进行了现场勘查, 同时收集了《四川省遂宁市安居区规模以下入河排污口设置单位基本情况调查表》、《安居区各乡镇污水处理有关信息收集表》、《遂宁市第二次全国污染源普查规模畜禽养殖场基本情况》、《遂宁市第二次全国污染源普查规模畜禽养殖场养殖规模与粪污处理情况》、《遂宁市第二次全国污染源普查农村生活污染基本信息》等资料。在获取到琼江流域遂宁段当前水环境治理水平的情况后, 为确保琼江流域遂宁段水质在 2030 年达到地表水Ⅲ类水质标准, 结合《遂宁市安居区分区规划(2016—2030)》及安居区相关乡镇、城镇发展规划, 在已有规划治污措施的基础上, 提出琼江遂宁段新增的水质治污措施。

利用 SWAT 分布式水文模型, 以 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 为水质指标, 计算了达标减排方案下各典型断面在 2030 年(规划年)的逐月水质变化, 同时根据《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010), 计算已有规划措施和新增治污措施水平下各控制断面在 2030 年最枯月的水域纳污能力, 以验证达标减排方案的可行性。

根据《水域纳污能力计算规程》(GB/T25173—2010), 采用污染物均匀混合的小型河段计算模型, 计算各河段水域纳污能力, 其计算式为:

$$M = (C_s - C)(Q + Q_p), \quad (1)$$

式中: M 为计算单元的水环境容量 (g/s); Q 为河段上断面的设计流量 (m^3/s); Q_p 为计算单元旁侧入流量 (m^3/s); C_s 为计算单元水质目标浓度 (mg/L); C 为控制断面污染物浓度 (mg/L)。

控制断面污染物浓度由 SWAT 模型求解得到, SWAT 模型输入的空间数据包括数字高程图(DEM)、土地利用类型和土壤类型。DEM 采用 ASTER GDEM 提取的 30 m 分辨率的数字高程数据, 土地利用数据采用遂宁市安居区精度为 30 m 的 2019 年土地利用类型栅格文件。土壤数据采用精度为 1:100 万的 HWSD-V1.2 世界土壤数据栅格文件。气象数据采用 2011—2018 年的实测值用于模型参数率定, 并结合气候预测再分析数据模型中的未来气候数据构建分布式 SWAT 模型的气象数据库。依据遂宁市安居区 2017—2018 年统计年鉴, 琼江流域遂宁段内主要粮食作物为春小麦、大麦、玉米、水稻, 主要经济作物为油料和棉花, 将上述作物所需肥料用量按照耕作时

间输入模型, 完成管理措施方案。

利用收集到的水文和水质实测数据, 通过 SWAT-CUP 率定 SWAT 模型参数。将多年实测数据划分为模型需要的不同时期, 其中, 流量参数的预热期为 2008—2011 年, 率定期为 2014—2016 年, 验证期为 2017 年, 水质参数的预热期为 2008—2011 年, 率定期为 2017 年, 验证期为 2018 年。大安断面率定期和验证期纳什效率系数(NS) 分别为 0.73 和 0.62, 决定系数(R^2) 分别为 0.72 和 0.67, 根据模拟结果评价标准, 率定效果良好, 因此率定所得流量参数满足本流域要求。

2 结果与讨论

2.1 现状分析

2.1.1 点源情况

现状年(2019 年)安居区已建设污水处理厂 27 个, 琼江流域安居区分水岭内涉及污水处理厂共 22 个, 具体信息见表 1。城区以上区域涉及污水处理厂共 10 个, 其中保山场镇污水处理厂在建, 城区范围共 6 个污水处理厂投入使用, 城区以下区域共 6 个污水处理厂投入使用。现状污水处理厂配套污水管网覆盖率低, 污水收集率不足, 部分工厂废水仍然排入农田、沟渠, 大部分农村居民生活污水就近排入河道、农田等水系。随着未来遂宁市安居区城镇化、工业化进程的加快以及发展建成后水质的不确定性, 污水处理厂集中排放的污水将成为造成琼江水质变差的主要因素之一。

2.1.2 面源情况

由图 1 可知, 现状年琼江流域遂宁段农村散排生活污水产生途径共 6 种, 分别为: ①综合利用或填埋; ②采用贮粪池抽吸后集中处理; ③直排入水体; ④直排入户用污水处理设备; ⑤经化粪池后排入下水管道; ⑥其他处理方式。安居区农村散排生活污水排水去向共 6 种, 分别为: ①直排进入农田; ②直排入水体; ③排入户用污水处理设备; ④进入农村集中式污水处理设施; ⑤进入城镇市政管网; ⑥其他排放去向。其中生活污水直排进入农田、直排进入水体以及排入户用污水处理设备产生的负荷较高, 对琼江水质较为不利。

2.2 污染控制方案

2.2.1 点源污染控制方案

对于点源污染, 要加强污水处理厂的提标扩容改造工作, 增加提高污水处理厂处理规模, 增强对主要污染物的去除能力, 提高中水回用率, 削减污水排放量。按城镇体系规模结构, 具体措施分中心城区、乡镇 2 个控制单元。

表 1 琼江流域遂宁段现状年(2019年)点源污染处理设施及规划年(2030年)污染控制方案

Table 1 The treatment facilities for point source pollution in the year 2019 and the framework of water environment treatment in the year 2030 in the Suining section of Qiongjiang River basin

序号	区、乡镇	污水处理厂名称	现状年污水处理措施		已有规划污水处理措施		新增污水处理措施	
			污水处理厂 设计规模/ ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	污水处理厂 排放标准	污水处理厂 设计规模/ ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	污水处理厂 排放标准	污水处理厂 排放标准	中水回 用率/%
1	中心城区	龙眼井污水处理厂	21 000	一级 A 标	118 000	一级 A 标	地表水 V 类水质	40
		乌木厅污水处理厂						
		玉丰河污水处理厂						
2	白马镇	白马镇污水处理厂	800	一级 B 标	5 600	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
3	保石镇	保石镇污水处理厂	200	一级 B 标	2 500	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
4	步云乡	步云乡污水处理厂	140	一级 B 标	1 200	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
5	大安乡	大安乡新场村污水处理厂	900	一级 B 标	2 400	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
		大安乡污水处理厂						
		大安乡大安中学污水处理厂						
6	东禅镇	东禅镇污水处理厂	400	一级 A 标	5 000	一级 A 标	地表水 V 类水质	20
7	分水镇	分水镇污水处理厂	500	一级 B 标	2 500	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
		保山场镇污水处理厂 (现状年在建)						
8	观音镇	观音镇污水处理厂	250	一级 B 标	1 500	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
9	会龙镇	会龙镇污水处理厂	250	一级 A 标	1 500	一级 A 标	地表水 V 类水质	20
10	聚贤镇	聚贤镇污水处理厂	400	一级 B 标	5 000	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
11	拦江镇	拦江镇污水处理厂	5 000	一级 B 标	7 000	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
12	莲花乡	莲花乡污水处理厂	140	一级 B 标	1 200	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
13	马家乡	马家乡污水处理厂	130	一级 B 标	1 200	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
14	三家镇	三家镇污水处理厂	500	一级 B 标	5 000	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
15	石洞镇	石洞谭家坝污水处理厂、石洞镇 老庙村污水处理厂	500	一级 B 标	3 500	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
16	玉丰镇	玉丰镇污水处理厂	1 000	一级 B 标	4 000	一级 B 标	地表水 V 类水质	20
17	中兴镇	中兴镇污水处理厂	400	一级 B 标	2 000	一级 B 标	地表水 V 类水质	20

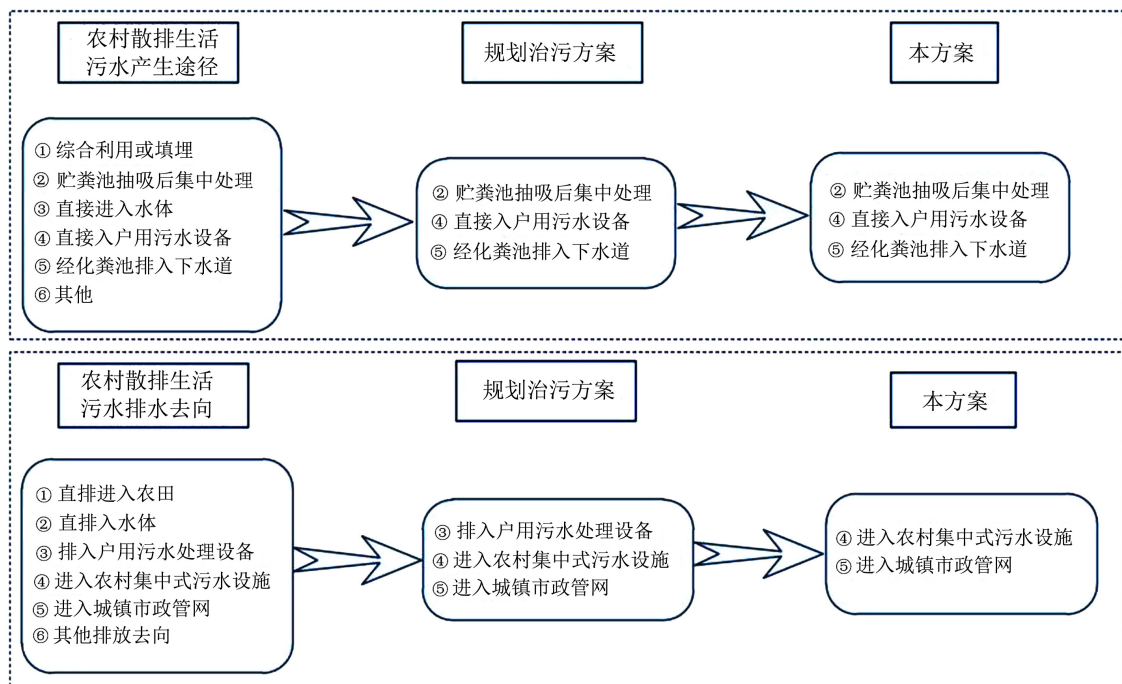


图 1 琼江流域遂宁段规划年(2030年)面源污染控制措施方案

Fig.1 The control framework for non-point source pollution in the year 2030 in the Suining section of Qiongjiang River basin

针对中心城区点源污染控制,已有规划提出 2030 年在中心城区分片建设 3 个污水处理厂,其中玉丰河污水处理厂设计规模 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$,乌木厅污水处理厂设计规模 $80\,000\text{ m}^3/\text{d}$,龙眼井污水处理厂设计规模 $28\,000\text{ m}^3/\text{d}$,各污水处理厂处理标准为一级 A 标。为进一步确保 2030 年琼江流域遂宁段水质达标,本研究提出城市污水处理厂出水水质应达到地表水 V 类水质标准,同时加强城区污水处理厂配套管网建设,确保二、三产业污水和生活污水收集率达 100%;此外,中心城区还应在 2030 年前提高中水回用率至 30%,加强配套管网的运行维护,河岸禁止新建排污口,强化接入市政管网的污水排放口设置以及预处理设施和水质、水量监测设施建设的指导和监督。

针对乡镇点源污染控制,已有规划提出在 2030 年前中心镇、重点镇各设 1 座、共 12 座污水处理厂,一般乡镇共设 8 座污水处理厂,各污水处理厂处理标准为一级 B 标。在已有污水措施基础上,本研究提出:各乡镇污水处理厂出水水质应达到地表水 V 类水质标准,在 2030 年前,各乡镇提高中水回用率至 10%,加强城区污水处理厂配套管网建设及维护,强化接入市政管网的污水排放口设置以及预处理设施和水质、水量监测设施建设的指导和监督。

2.2.2 面源污染控制方案

面源控制方面加快农村环境综合整治,实行农村污水处理统一规划、统一建设、统一管理,强化农村集中处理生活污水以及配套管网建设,积极推进城镇污水处理设施和服务向农村延伸。到 2030 年,对农村散排生活污水采用贮粪池抽吸后集中处理、排入户用污水处理设备、或经化粪池后排入下水管道,杜绝污水直接排入水体。对于农村散排生活污水排水方式采取进入农村集中式污水处理设施或就近进入城镇市政管网 2 种途径。

2.3 规划年(2030 年)控制断面水质预测

在已有治污规划水平下,高滩断面和萝卜园断面的 COD_{Cr} 在全年均可达到 III 类水质标准,其中,高滩断面 COD_{Cr} 质量浓度变化范围为 $3.06\sim 16.31\text{ mg/L}$,萝卜园断面 COD_{Cr} 质量浓度在 $4.07\sim 13.03\text{ mg/L}$ 之间波动,大安断面 COD_{Cr} 水质稍差,浓度在 $6.17\sim 28.45\text{ mg/L}$ 之间波动,其中 1—2 月超过 III 类水质标准。各典型断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 则不能稳定达到 III 类水质标准,在 1 月水质均有不同程度超标,大安断面在 1—3 月 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均处于超标状态。与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 相似,各典型断面的 TP 也不能稳定达标,其中高滩断面 TP 在 1 月超过 III 类水质标准,为 0.300 mg/L ,萝卜园断面 TP 在 1—2 月超过 III 类水质标准,1 月质量浓度最大,为 0.234 mg/L ;大安断面 TP 在 1—3 月超过 III 类水质标准。对比 3

个断面水质状况可知,高滩断面和萝卜园断面各月份水质较为接近,相对优于出境的大安断面。

新增治污规划后的水平年,水质得到明显改善,各典型断面 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TP 在全年均可达到 III 类水质标准。其中,高滩断面各水质浓度波动较小,而萝卜园与大安断面各月份间的水质浓度变化相对较大。各典型断面 COD_{Cr} 浓度值较为接近,高滩断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TP 整体上好于萝卜园与大安断面。

2.4 水平年流量最枯月水域纳污能力分析

SWAT 模型预测结果表明,规划水平年(2030)的 1 月各控制断面流量最小,分别为 1.12 、 $2.47\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $2.82\text{ m}^3/\text{s}$ 。已有治污规划水平下,对于 COD_{Cr} ,高滩断面和萝卜园断面具有一定的纳污能力,分别为 130.76 、 542.75 t/a ,大安断面在接纳安居城区城市生活污水与工业污水后, COD_{Cr} 水质超标,不具备 COD_{Cr} 的纳污能力。对于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 TP,已有治污规划水平下的最枯月,各典型断面水质均超过 III 类水质标准,河道内不具有相应的纳污能力。在新增治污规划水平下,2030 年水质得到有效改善,与已有治污规划水平相比,新增治污规划水平下的各典型断面纳污能力均有所增加,各典型断面在最枯月皆具备了对各水质指标的纳污能力,说明新增治污措施有效改善了琼江流域遂宁段的水质状况(表 2)。

表 2 规划年(2030 年)流量最枯月各控制断面水域纳污能力

Table 2 The pollution receiving capacity of the typical profiles in the driest month of the year 2030

控制断面	已有治污规划下 纳污能力/(t a^{-1})			新增治污规划下 纳污能力/(t a^{-1})		
	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
高滩电站	130.76	-10.05	-3.55	226.18	23.31	4.08
萝卜园水库	542.75	-0.96	-2.66	576.82	57.64	10.59
大安断面	-752.82	-76.83	-24.75	92.63	21.27	2.44

3 结 论

琼江流域遂宁段现有污水处理厂配套污水管网覆盖率低,污水收集率不足,部分工厂废水仍然排入农田、沟渠,大部分农村居民生活污水就近排入河道、农田等水系,对琼江流域水质不利。

对于点源污染,在已有规划措施基础上,提出城市与各乡镇污水处理厂出水水质应达到地表水 V 类水质标准,中心城区在 2030 年前提高中水回用率至 30%,各乡镇提高中水回用率至 10%;对农村散排生活污水采用贮粪池抽吸后集中处理、排入户用污水处理设备、或经化粪池后排入下水管道,排水方式采取进入农村集中式污水处理设施或就近进入城镇市政管网 2 种途径。

已有治污规划水平下,高滩断面和萝卜园断面的 COD_{Cr} 在全年均能达到Ⅲ类水质标准,大安断面 COD_{Cr} 在1—2月超过Ⅲ类水质标准,各典型断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与TP则不能稳定达到Ⅲ类水质标准,新增治污规划后的水平年,水质得到明显改善,各典型断面 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与TP在全年均能达到Ⅲ类水质标准。

参考文献:

- [1] 唐琦, 刘兵, 杨永安, 等. 琼江干流遂宁段及主要支流水质时空变化规律[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(2): 9-18.
- [2] 杨雯, 敖天其, 王文章, 等. 基于输出系数模型的琼江流域(安居段)农村非点源污染负荷评估[J]. 环境工程, 2018, 36(10): 140-144.
- [3] 刘凌霄, 敖天其, 胡正, 等. 琼江流域(安居段)水质及面源污染综合评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 372-376.
- [4] 四川省生态环境厅. 2018年四川省生态环境状况公报[R]. 成都: 2019.
- [5] 四川省生态环境厅. 2019年四川省生态环境状况公报[R]. 成都: 2020.
- [6] 刘兵, 杨永安, 郑宇杰, 等. 中国西南丘陵地区典型流域 COD_{Cr} 与 BOD_5 相关关系分析[J]. 水电能源科学, 2021, 39(11): 88-92.
- [7] 唐琦, 刘兵, 王璞, 等. 改进WQI在川中丘陵地区典型流域水质评价中的应用: 以琼江流域上游段为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(2): 615-623.
- [8] 舒丽, 张政权, 吕娟. 涪江流域遂宁段生态环境监测与水质污染现状评价[J]. 四川环境, 2013, 32(6): 49-53.
- [9] 沈剑飞. 涪江遂宁段水环境容量研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [10] 熊风, 罗洁, 杨立中, 等. 城市河流污水污染总量控制和综合治理研究: 以四川省绵阳市涪江河段为例[J]. 重庆建筑大学学报, 2008(1): 109-113.
- [11] 遂宁市安居区住房和城乡建设局. 遂宁市安居区分区规划(2016—2030)[R]. 遂宁: 2017.

Study on the Framework of Water Environment Treatment in the Suining Section of Qiongzjiang River Basin

YANG Yongan¹, LIU Bing², YANG Juan^{2*}, LONG Shuai², WANG Yuanming³, LI Kefeng³

(1. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, China;

2. Emergency Center for Ecological Environmental Safety of Suining, Suining 629000, China;

3. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The framework of water environment treatment is an effective way to cope with the running out of water resources and the deterioration of water quality. It also has important significance in the practice of river conservation. The Suining section of Qiongzjiang River basin, a typical small watershed in China, was chosen as the research object in this study. On the basis of existing frameworks and measures for water quality, and according to the result of pollution receiving capacity from SWAT model, we proposed three main measures as a whole framework to guarantee the water quality, which includes improving the effluent standard of sewerage treatment plants, increasing the sewerage collection rate the reuse of effluent, improving the treatment methods and discharge channels of rural scattered domestic sewage. The water quality and pollution receiving capacity with and without the new framework proposed in this study were calculated and compared in three typical profiles. The result showed that the COD_{Cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP could reach the standard of class III in a whole year in typical profiles, and the river still had the pollution receiving capacity for COD_{Cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP in the driest month. The result of this study can provide a scientific basis and technique support for the water environment conservation in Qiongzjiang River basin.

Key words: Suining section of Qiongzjiang River basin; SWAT model; framework of water environment treatment; pollution receiving capacity

责任编辑: 韩 洋