

梁滩河流域水污染分析及负荷削减研究

缪吉伦

重庆交通大学, 西南水运工程科学研究所, 重庆
Email: jimcqu@163.com

收稿日期: 2020年9月2日; 录用日期: 2020年9月16日; 发布日期: 2020年9月23日

摘要

采用流域分析方法, 系统分析了重庆市梁滩河流域内影响生态环境质量的城镇污水、垃圾、工业排污、畜禽养殖、农业面源污染、水土流失等问题, 对规划目标年进行了污染负荷预测, 确定了流域环境容量和污染物负荷削减目标, 提出了实现规划水质目标和生态环境质量目标的污染控制措施和生态整治建设内容, 为类似流域的水环境综合治理工程的规划建设提供参考。

关键词

流域, 水污染治理, 规划, 梁滩河

Comprehensive Analysis of Water Pollution and Control Planning in Liangtan River Basin

Jilun Miao

Southwest Research Institute for Waterway Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing
Email: jimcqu@163.com

Received: Sep. 2nd, 2020; accepted: Sep. 16th, 2020; published: Sep. 23rd, 2020

Abstract

The factors, such as municipal wastewater and solid waste, industrial waste discharge, agriculture, soil erosion, domestic animals and birds breeding, agricultural source pollution, which may influence the ecoenvironmental quality of Liangtan River basin, were analyzed with watershed approach. The environmental capacity and total pollutants control goal are decided, the pollutants

control measures and ecological construction to achieve the planning water quality target and the ecological environmental quality target were put forward. It provides a reference for the planning and design of comprehensive water pollution control project in similar basins.

Keywords

Basin, Water Pollution Control, Planning, Liangtan River

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 流域现状及存在的主要问题

1.1. 流域概况

梁滩河系嘉陵江右岸一级支流，位于重庆西南部，其上游干流的白市河发源于九龙坡区福寿镇童家岭，在沙坪坝区土主镇的四塘埡上游约 400 m 处与支流龙凤河汇合后始称梁滩河。主干流经白市驿、西永、土主、回龙坝、歇马、龙凤桥等镇，在北碚区龙凤桥镇的毛背沱注入嘉陵江。干流全长 85.4 km，流域面积 498.2 km²，主河道平均坡降 1.79‰，总落差 224 m，河口处多年平均流量 6.08 m³/s，多年平均径流总量 1.29 亿 m³。流域水系见图 1 [1]。

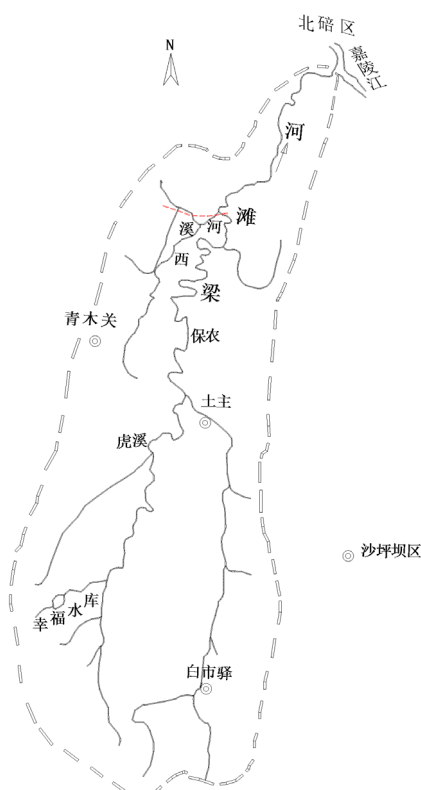


Figure 1. Water system of Liangtan River Basin

图 1. 梁滩河流域水系图

梁滩河流域是重庆市重要的粮食、蔬菜、油料、蚕茧生产基地及城市生活区。流域内总人口为 54.91 万人，其中城镇人口为 29.12 万人，工农业总产值为 70.6 亿元。

1.2. 水污染状况及主要问题

梁滩河流域除虎溪陈家桥以上水域执行地面水 III 类标准外，其余水域执行 IV 类标准。根据梁滩河五星桥、土主、曾家镇、西溪桥以及龙凤河口等断面的水质监测结果，各断面水体均为劣 V 类水质，水体污染严重，以有机物污染为特征，无法满足功能区水质要求。超标项目主要为 COD、BOD₅、NH₃-N、总氮和总磷，其中最为严重的是 TP、NH₃-N 和粪大肠菌群。龙凤桥段还出现铅、汞等重金属污染物，与北碚区下游几家电镀厂排污密切相关。原本清澈见底、水生物种众多的清洁河流已成为鱼虾绝迹、恶臭污浊的大水沟，尚存的几类鱼种也因河水严重污染而无法食用。随着流域城镇化进程加快，如不及时进行污染治理，梁滩河流域水质势必继续恶化，不仅影响整个三峡库区水质达标，也危害着人群的健康，制约流域经济的可持续发展。2018 年水质监测值结果如表 1 所示。表 2 为 2018 年各种污染源污染负荷统计。

Table 1. Water quality monitoring data of Liangtan River (2018)

表 1. 梁滩河水水质监测结果(2018)

断面	pH 值	溶解氧 (mg/L)	高锰酸盐指数 (mg/L)	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	石油类 (mg/L)	粪大肠菌群 (个/L)	水质级别
五星桥	7.59	3.55	5.94	66.14	28.50	10.61	13.72	2.09	0.171	7,300,000	劣 V
西永	8.22	1.20	6.02	117	36.7	11.98	8.75	1.80	0.269	20,200,000	劣 V
土主	7.78	1.15	6.11	73.4	17.6	7.51	9.05	1.52	0.154	2,000,000	劣 V
回龙坝	8.04	9.46	5.98	90.0	7.8	11.07	5.68	2.05	0.075	33,000	劣 V
西溪桥	7.81	5.74	8.48	47.6	3.78	3.53	4.249	0.664	0.124	12,200	劣 V
龙凤河	7.83	5.49	8.63	50.83	4.98	3.907	4.613	0.766	0.115	747,100	劣 V

Table 2. Yearly pollutant load of Liangtan River basin (2018)

表 2. 梁滩流域污染物负荷统计(2018)

污染来源	COD (t/a)	BOD ₅ (t/a)	TN (t/a)	TP (t/a)
工业废水	1047.5	152.8	0.3	/
城市污水	6658.8	3147.1	1004.2	102.1
生活垃圾	8515.7	815.7	163.5	32.6
畜禽养殖	5348.7	2243.0	448.6	168.2
农田面源	/	/	264.5	51.0
河道底泥	1402.2	145.9	15.4	1.7
水土流失	467.2	62.3	3.0	0.62
合计	23,440.1	6566.8	1899.5	356.2

从表 2 可以看出，城镇污水、畜禽养殖和城镇生活垃圾是梁滩河流域的主要污染源。目前流域内生活垃圾约有 447 t/d，生活污水为 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，工业废水为 $0.43 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。城镇生活垃圾由于没有完善的收运系统，绝大部分在街头路边或河边堆弃，对环境污染严重。生活污水基本未经任何处理，即直接排入梁滩河。工业废水虽在环保部门的监管下进行了处理，但是流域内仍有许多中小企业存在治污不力、偷排漏排现象。同时流域内畜禽养殖、水土流失和农田施肥对污染的贡献率也较大。

1.3. 生态环境状况及主要问题

梁滩河流域属于西南土石山区，流域水土流失总面积 232.4 km²，年平均侵蚀总量 69.21 万 t，平均侵蚀模数达 2978.2 t/km²·a。其中极强度水土流失面积 17.95 km²，占水土流失面积的 7.7%；强度水土流失面积 24.29 km²，占水土流失面积的 10.5%；中度水土流失面积 108.49 km²，占水土流失面积的 46.7%；轻度水土流失面积 81.65 km²，占水土流失面积的 35.1%。

由于水土流失较为严重，造成河道淤积，直接影响行洪泄流。同时，大量的 N、P 营养元素随土壤流失进入河道，超过水土自净能力，引起水质下降，河流生物多样性严重受损，影响生产、生活和景观。

2. 污染负荷预测及环境容量分析

2.1. 污染负荷预测

本文采用基于流域分析的方法对水污染进行研究[2] [3]。为预测规划目标年的河流水质状况，对规划目标年(2025 年和 2030 年)进行了污染负荷预测。对于城镇生活污水和生活垃圾的负荷预测主要依据人口增长和单位人口排污定额确定。规划近期 2025 年梁滩河流域人口将达到 81.50 万，远期 2030 年将达到 117.46 万。

随着城镇化水平不断提高及人民生活水平的改善，人们对蛋肉等的消费也会不断增加。根据《重庆市都市区城市总体规划纲要》的要求，梁滩河流域属畜禽养殖限养区，需对畜禽养殖污染进行控制。由此确定规模化畜禽养殖规模维持现状不变[4]。在不考虑治理的情况下，2025 年和 2030 年规模化畜禽产生和污染负荷不变。畜禽养殖对水体造成的污染主要途径是畜禽粪尿作为农田肥料被地下径流和地表径流带入水体，在进行负荷估算时，其产生的污染负荷进入地表水体的比例按畜禽总排放量的 15%计算。2025 年和 2030 年梁滩河流域畜禽污染导致的 COD 负荷为 5348.7 t/a，BOD₅ 负荷为 2243.0 t/a，TN 负荷为 448.6 t/a，TP 负荷为 168.2 t/a。

流域内人均生活垃圾日产量预测为近期 2025 年按 1.10 公斤/(人/天)，远期 2030 年按 1.05 公斤/(人/天)计。由于垃圾产生的污染负荷不可能全部贡献于梁滩河流域中，本规划取 50%作为生活垃圾污染负荷入河贡献值。

对于因农田施肥、水土流失和底泥污染引起的污染负荷，在不考虑治理的情况下，在整个规划期限内按现状值计。

由此预测得出到规划目标年梁滩河流域内的污染负荷，结果如表 3 所示。

Table 3. Pollutant load prediction of Liangtan River basin

表 3. 梁滩河流域污染负荷预测

污染来源	2025 年				2030 年			
	COD (t/a)	BOD ₅ (t/a)	TN (t/a)	TP (t/a)	COD (t/a)	BOD ₅ (t/a)	TN (t/a)	TP (t/a)
城市污水	17,579.2	9040.7	2260.1	251.1	33,432.5	17,193.8	4289.47	477.6
生活垃圾	7154	715.4	143.0	28.6	10,721.8	1072.1	214.4	42.8
畜禽养殖	5348.7	2243.0	448.6	168.2	5348.7	2243.0	448.6	168.2
河道底泥	1402.2	145.9	15.4	1.7	1402.2	145.9	15.4	1.7
农田面源	/	/	264.5	51.0	/	/	264.5	51.0
水土流失	467.2	62.3	3.0	0.62	467.2	62.3	3.0	0.62
小计	31,951.3	12,207.3	3134.7	501.2	51,372.5	20,717.2	5235.4	742.0

2.2. 环境容量分析

(1) 计算模型

梁滩河主流全长约 85.4 km，宽约 20~80 m，其间污染源是一个庞大复杂的系统，一般只考虑纵向即沿河道水流方向的浓度变化，结合梁滩河流域实际情况，本规划以非持久性污染物 COD、BOD₅、TN、TP 作为控制指标，采用一维恒定河流水质单指标模型。参照《水域纳污能力计算规程(GB/T 25173.2010)》和《全国水环境容量核定技术指南》，当控制断面满足指定的水质标准时，河流中某种非持久性污染物的环境容量计算公式为[5] [6]:

$$W = 86.4 \cdot (Q_h + Q_{\text{污}}) \cdot [C_s \cdot \exp(k \cdot L) - C_0]$$

式中: W ——环境容量, kg/d;

Q_h ——河流枯水期流量, m³/s;

$Q_{\text{污}}$ ——城市污水排放量, m³/s;

C_s ——河流水质控制标准浓度, mg/l;

K ——污染物综合降解系数, 1/km;

L ——河段长度, m;

C_0 ——河流对照断面的背景浓度, mg/l;

(2) 参数选取及计算

基于水文水质资料和文献数据的方法，污染物综合降解系数根据下式进行计算[7] [8]:

$$K = (86400u/\Delta L) \cdot \ln(C_{\text{上}}/C_{\text{下}})$$

式中: ΔL ——功能区河段长度, km;

$C_{\text{上}}$ ——功能区上断面污染物浓度, mg/l;

$C_{\text{下}}$ ——功能区下断面污染物浓度, mg/l。

根据各断面的水质监测值以及各断面的现状污染负荷，并参考《三峡水库对重庆库段生态环境影响及整治对策研究》中水环境容量分析，可计算出梁滩河污染物综合降解系数，并用 2018 年的水质监测资料和污染负荷校核 K 值。经分析得出梁滩河流域污染物综合降解系数 K 值见表 4。

Table 4. Value of pollutant degradable coefficient

表 4. 梁滩河污染物降解系数 K 值

序号	污染物种类	衰减系数 K 值(1/km)
1	COD	0.0053
2	BOD ₅	0.0090
3	TN	0.0030
4	TP	0.0027

由此可计算预测得出梁滩河流域各河段的水环境容量见表 5。

Table 5. Environmental capacity of Liangtan River

表 5. 梁滩河的环境容量

项目	环境容量(t·a ⁻¹)			
	COD	BOD ₅	TN	TP
2025	15491.2	3379.5	731.9	165.2
2030	24727.6	5407.7	1167.8	292.6

(3) 主要污染物的削减目标

根据梁滩河的污染物允许排放量和各规划水平年所预测的污染物负荷，可计算出到各规划水平年污染物所需削减量，如表 6 所示。

Table 6. Target of pollutant reduction in Liangtan River Basin (t·a)

表 6. 梁滩河流域污染物削减量目标(t·a)

项目	COD	BOD ₅	TN	TP
2025年所需削减量	16,460.1	8827.8	2402.8	336.0
2030年所需削减量	26,644.9	15,309.5	4067.6	449.4

3. 主要规划内容

针对流域水污染控制可采用基于最大日负荷量(TDML)模式等方法[9]。根据前述梁滩河流域污染物削减目标，为达到总量控制的要求，规划提出了流域综合整治工程内容。

3.1. 城镇污水处理

梁滩河流域规划污水处理厂 7 个，近期新建 5 座污水处理厂，与现有 2 座污水处理厂共形成污水处理总规模 12.96 万 m³/d (其中新建污水处理厂规模 2.96 万 m³/d)，建设配套污水管网 222.46 km。在 2025 年前建设完成二期工程，对梁滩河流域的 7 座污水处理厂进行扩建，污水处理总规模达到 24.87 万 m³/d (其中新增规模 11.91 万 m³/d)。

对于工业废水要加强监督管理，坚决取缔“十五小”企业，特别要对流域内的小电镀、小染料、小纸厂、小油漆企业进行清理。

3.2. 城镇生活垃圾处理

梁滩河流域城镇生活垃圾近期运至附近同兴垃圾处理场处理，远期建成大路垃圾焚烧场后，垃圾可运往大路处理场处理。

综合考虑规划区各区块面积、与同兴焚烧厂距离、区块垃圾收运量，以及区块内部交通条件，确定规划区建设 6 个压缩式垃圾转运站。近期设计规模为 940 t/d，远期设计规模为 1460 t/d。

3.3. 底泥污染治理

梁滩河河道清淤总长 107.919 km，河道清淤总量 267.97 万 m³。污染底泥含有各种对环境有害的污染物，必须经无害化处理或采取防止污染扩散的措施，不能直接吹填堆放。经处理后的底泥，可作为河岸带绿化建设用土，无害化处理后作为园林绿化用肥。

3.4. 河岸防护

由于梁滩河目前河床淤积严重，且由于人为的河道侵占，河堤年久失修护岸垮塌，以及大量垃圾冲入，致使河道排水不畅，特别是雨季，一遇暴雨极易造成洪水泛滥成灾。

规划修建河岸防护工程，使得护岸、行洪、城市建设、旅游、绿化等综合效益得以发挥。主要在城镇建成区河岸修建生态型防护堤，在其余河段以自然边坡为主，规划建设防护堤 45.88 km。建成健全的水循环系统，营造多样化的生物栖息、繁殖环境，并使其具有亲水性、观赏性[10]。典型河岸防护工程断面见图 2。

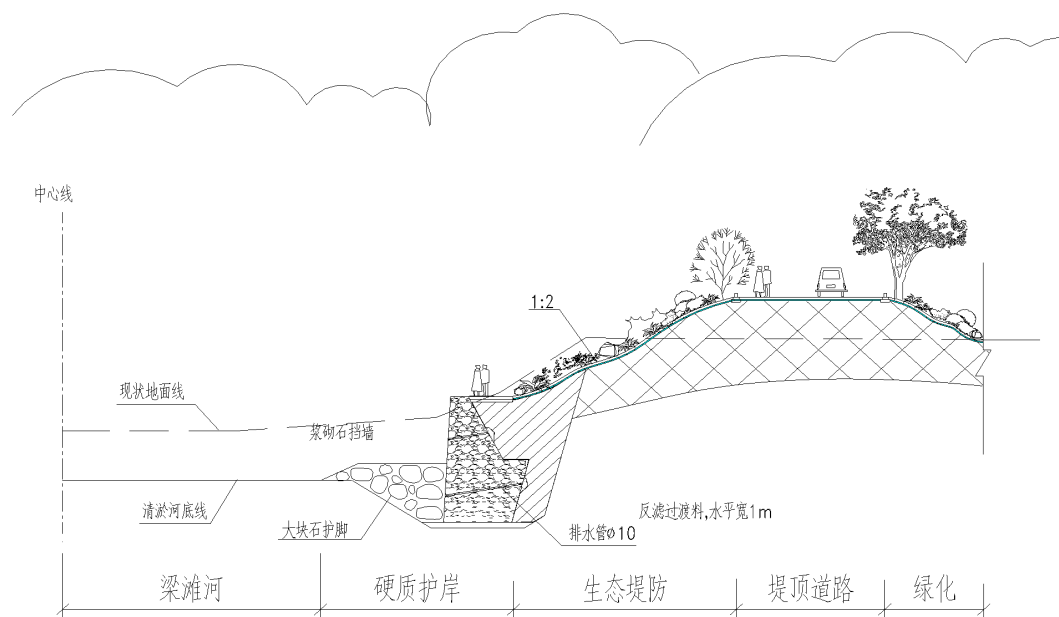


Figure 2. Sketch map of river protection bank engineering
图 2. 河岸防护工程示意图

3.5. 生态环境建设

对全流域现有的 23,240 ha 的水土流失进行治理。对流域内坡度大于 25 度以上的坡耕地全部退耕还林还草，全流域退耕还林还草 16.25 km²，流域内自然保护区面积达到 2466 ha。将梁滩河流域生态修复分为滨水生态屏障建设、牛老滩湿地建设以及水生生态修复。采用退耕还林还草和水土流失治理措施后，可有效减少土壤侵蚀量 30.74×10^4 t/a，减少泥沙流入 1.38×10^4 t/a。推行生态农业后，还可减少农田化肥施用量 40%左右。

3.6. 畜禽养殖污染治理

规模化畜禽养殖企业污染物处理要严格按照国家《畜禽养殖业污染物排放标准》和《污水综合排放标准》执行。对于产生的干粪，主要通过有机肥料加工厂制成有机肥料用于农田施肥，产生的沼气可用作燃料。

4. 效益分析

梁滩河流域通过建设污水处理厂、生活垃圾转运站以及规模化养殖畜禽粪便处理工程，将有效地削减因生活垃圾、污水排放、规模化畜禽养殖产生的污染负荷。表 7 为整治实施后预测梁滩河流域污染负荷削减量。

根据整治后污染负荷预测削减量与削减目标对比分析，预测到 2025 年，梁滩河流域水质情况将得到好转，各主要监测断面的 COD 达到 IV 类，但 BOD₅、TN 仍不能达标；到 2030 年，梁滩河水水质得到明显好转，主要控制污染物均得到大幅削减，各主要监测断面的 COD、BOD₅、TP 能满足地表水环境质量 IV 类水质标准，但 TP 仍无法满足 IV 类水域功能要求。

通过梁滩河流域综合整治，显著拦截减少了污染物进入河道，净化水质；逐步恢复了水生生物，丰富了河道生物多样性；防止水土流失，减缓了河道淤积。通过滞洪区湿地建设，使滞洪区在生境发生突变的的同时迅速调整群落组成，并逐步演替达到稳定的湿地生态系统，并能通过吸附、沉降、分解等作用

净化水质。对其他野生动物、植物的生存营造一个健康良好的生存环境，将极大改善梁滩河流域的生态环境，生态效益及社会效益显著。

Table 7. Prediction of pollution load reduction in Liangtan River Basin (t·a)

表 7. 梁滩河流域污染负荷削减量预测(t·a)

规划期限	污染削减类型	COD	BOD ₅	TN	TP
2025年	城市污水	13606	6339	1716	217
	生活垃圾	3046.5	304.7	60.9	12.2
	畜禽养殖	4279	1794.4	358.9	134.6
	河道底泥	450	53.5	8.5	1.1
	水土流失	130	13.4	3.65	0.12
	农田面源	/	/	65.8	18.9
	合计	21511.5	8505	2213.75	383.92
2030年	城市污水	33027	14849	3826	457
	生活垃圾	5269.3	526.9	105.4	21.1
	畜禽养殖	4635.6	1943.9	388.8	145.8
	河道底泥	1308.1	136.1	14.3	1.6
	水土流失	205.57	27.41	7.89	0.27
	农田面源	/	/	118.8	32.1
	合计	44,445.57	17,483.31	4461.19	657.87

5. 结论

采用流域分析方法，分析了影响生态环境质量的各污染因子的贡献率。对规划目标年进行了污染负荷预测，确定了流域环境容量和污染物负荷削减目标，以环境容量和污染物总量控制为主线，提出了切实可行的能够满足生态环境目标要求的水污染治理措施和生态建设内容，贯彻了绿色发展理念，可以用于指导该流域的水污染防治和生态建设工作，也可流域产业结构调整及经济发展提供参考。

参考文献

- [1] 重庆市梁滩河流域水污染综合整治规划[R]. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 重庆江河工程咨询中心有限公司, 2008.
- [2] 刘永, 郭怀成, 周丰, 等. 基于流域分析方法的湖泊水污染综合防治研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 30-34.
- [3] 刘巧玲, 王奇. 基于区域差异的污染物削减总量分配研究——以 COD 削减总量的省际分配为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 512-517.
- [4] 丁世敏, 熊竹, 封享华, 等. 三峡库区城镇水环境容量及总量控制研究[J]. 三峡生态环境监测, 2016, 1(1): 60-64.
- [5] 国家环保局. GB/T 25173.2010 水域纳污能力计算规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [6] 中国环境规划院. 全国地表水环境容量核定技术指南[R]. 2003.
- [7] 金纳华, 徐峰俊. 水环境数值模拟与可视化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [8] 饶瑶, 佟洪金, 余涛, 等. 濑溪河流域泸县短水污染源分析及对策研究[J]. 四川环境, 2017, 36(3): 32-36.
- [9] 徐荣乐, 赵侣璇, 黄业翔, 等. 基于 TMDL 模式的九洲江流域水污染控制研究[J]. 环境科学与管理科学学报, 2020, 7(2): 20-24.
- [10] 李睿华. 河岸混合植物带处理受污染河水中试研究[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 651-654.