

基于WASP模型的古蔺河水质控制研究

付 飞¹, 张继文², 姚 建^{2*}

¹成都市环境工程评审中心, 四川 成都

²四川大学建筑与环境学院, 四川 成都

Email: 676400867@qq.com

收稿日期: 2021年4月17日; 录用日期: 2021年5月18日; 发布日期: 2021年5月27日

摘 要

利用WASP 8.0模型模拟古蔺河水质情况, 模拟结果与实际监测值相差不大。根据古蔺河污染情况制定3种污染控制优化方案, 结果表明: 3种污染控制优化方案对古蔺河水质有明显改善作用, 方案1实施后能使古蔺河水质达到地表水水环境III类水质标准, 方案3实施后能使古蔺河全流域水质能达到地表水II类水质标准, 对古蔺河水生态环境保护, 改善水环境质量有借鉴意义。

关键词

WASP, 水质模拟, 古蔺河

Water Quality Control of Gulin River based on WASP Model

Fei Fu¹, Jiwen Zhang², Jian Yao^{2*}

¹Chengdu Environmental Engineering Review Center, Chengdu Sichuan

²School of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu Sichuan

Email: 676400867@qq.com

Received: Apr. 17th, 2021; accepted: May 18th, 2021; published: May 27th, 2021

Abstract

The WASP 8.0 model was used to simulate the water quality of the Gulin River, and the simulation results were consistent with the actual value. According to the pollution of the Gulin River, three pollution control optimization schemes were formulated. The results showed that the water quality of Gulin River was significantly improved by the three optimal pollution control schemes. After the implementation of scheme 1, the water quality of the Gulin River can reach the standard of

*通讯作者。

surface water environment Class III, and after the implementation of scheme 3, the water quality of the whole basin of Gulin River can meet the standard of surface water quality class II, which has reference significance for the protection of the water ecological environment of Gulin River and the improvement of water environment quality.

Keywords

WASP, Water Quality Simulation, Gulin River

Copyright © 2021 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. 引言

随着我国生态文明战略的实施和污染防治攻坚战持续开展, 定量开展河流水体的模拟研究越来越受关注, 水污染控制和水环境保护的模拟分析, 正在成为水体污染精细化管理的主要手段和技术支撑。目前我国对河流水质的模拟分析研究还处于探索阶段, 其中 WASP 有较多应用[1]。杨家宽等[2]运用 WASP 6 对汉江襄樊段水质进行模拟研究, 张永祥等[3]将 WASP 模型应用于长河水体富营养化分析, 得出 WASP 模型具有易用性, 适用于河流水体的富营养化模拟。张荔等[4]将 WASP 6 水质模型应用于渭河流域陕西片, 模拟计算渭河陕西段水环境容量。张佩芳等[5]应用 WASP 7 模型的 EUTRO 子模块对淮沔新河东海段的溶解氧(DO)和化学需氧量(COD)指标进行模拟研究, 结果表明 WASP 对淮沔新河东海段模拟效果良好。WASP 软件应用最多的是通过参数设置来模拟河流水质变化, 对该模型的推广应用奠定了良好的基础[6] [7] [8] [9]。文献表明该模型具有较好的适应性, 但用于水污染控制的模拟研究不多, 为此本文将尝试利用 WASP 模型对中小河流的模拟结果, 开展水质控制方案的模拟分析, 得到河流水体治理的优化方案, 为河流水体水环境管理提供科学依据。

2. 研究方法

WASP 模型是美国国家环保局(EPA)开发的通用水质模型, 对河流、湖泊等水体的模拟分析具有很好的适应性和易用性, 在世界各地都有广泛的应用。WASP8.0 模型包括 DYNHYD5 和 WASP8 两个独立的程序, DYNHYD5 是水力学计算程序, 为 WASP8 传输所需的水力学参数; WASP8 提供 EUTRO 和 TOXI 两类水质模型子程序, 分别解决两类水质问题。传统的水质问题, 由 EUTRO 子模块来完成, 包括 BOD、DO、N、P 等; 有毒污染问题, 由 TOXI 子模块来完成, 包括有机污染物、重金属、底泥等。古蔺河属于中小型河流, 污染物质在水体中的横向和垂向较容易混合均匀, 但纵向变化显著, 主要靠纵向迁移向下游输送, 适用于一维水质模型的模拟分析, 此次模拟使用 EUTRO 子模块来完成。

WASP 水质模块的基本方程是一个平移—扩散质量迁移方程, 对于任意无限小的水体, 水质指标 C 的质量平衡式用公式 2-1 表示为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(UC_x) - \frac{\partial}{\partial y}(UC_y) - \frac{\partial}{\partial z}(UC_z) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K \quad (2-1)$$

本次模拟假设水体在横向和垂向方向上是均匀的, 得到一维水质组分运移方程如公式 2-2 所示:

其中, A 为水体横截面积(m^2), C 为水质指标浓度(mg/L); U_x 、 U_y 、 U_z 为流速, m/s ; E_x 、 E_y 、 E_z 为河流纵向、横向和垂向扩散系数, m^2/s ; S_L 为点源和非点源负荷, 正为源,

负为漏, $g/(m^3 \cdot d)$; S_B 为边界负荷, 包括上游、下游、底部和大气环境, $g/(m^3 \cdot d)$; S_K 为动力转换项, $g/(m^3 \cdot d)$ 。

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(-U_x AC + E_x A \frac{\partial C}{\partial x} \right) + A(S_L + S_B) + AS_K \quad (2-2)$$

3. 研究流域概况及模型建立

3.1. 流域概况

本研究选取四川省东南山区赤水河流域的古蔺河。主河道长度 70.7 km, 河道平均比降约 18.4%, 区域内多年平均年径流深 445.6 mm, 年径流总量 4.05 亿 m^3 , 河口平均流量 12.85 m^3/s 。受气候因素影响其枯水期持续时间较长为 11 月至次年 4 月, 丰水期为 5~9 月[10]。古蔺河污染主要以城镇生活和面源污染为主, 污染入河量占比从大到小依次为: 城镇生活污水、畜禽养殖、农村生活污水、工业和农业面源。根据古蔺河排污统计结果, 得到流域 COD、氨氮入河量, 见图 1。

古蔺河COD、氨氮入河量图

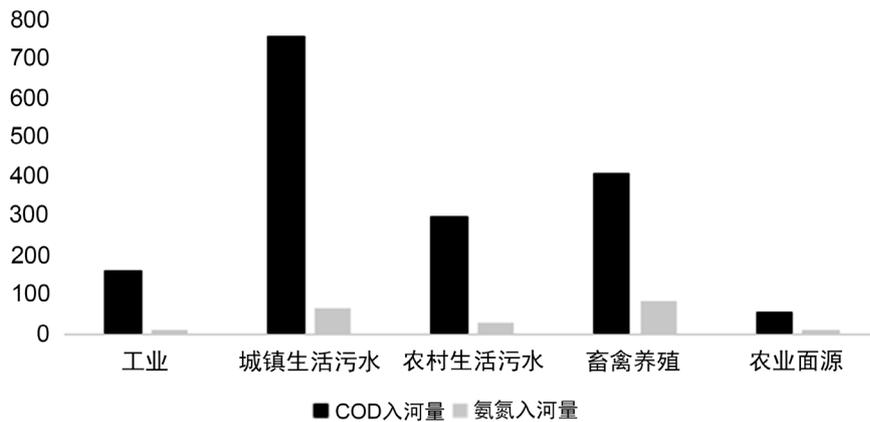


Figure 1. The amount of COD and ammonia nitrogen in Gulin River

图 1. 古蔺河 COD、氨氮入河量图

根据 2019 年古蔺县环境统计数据结合实际调研情况, 该段共有排污口约 30 个, 为方便水质模拟和计算, 采用重心概化法将干流沿岸的排污口概化为 11 个排污口。其古蔺河河流概化图见图 2。

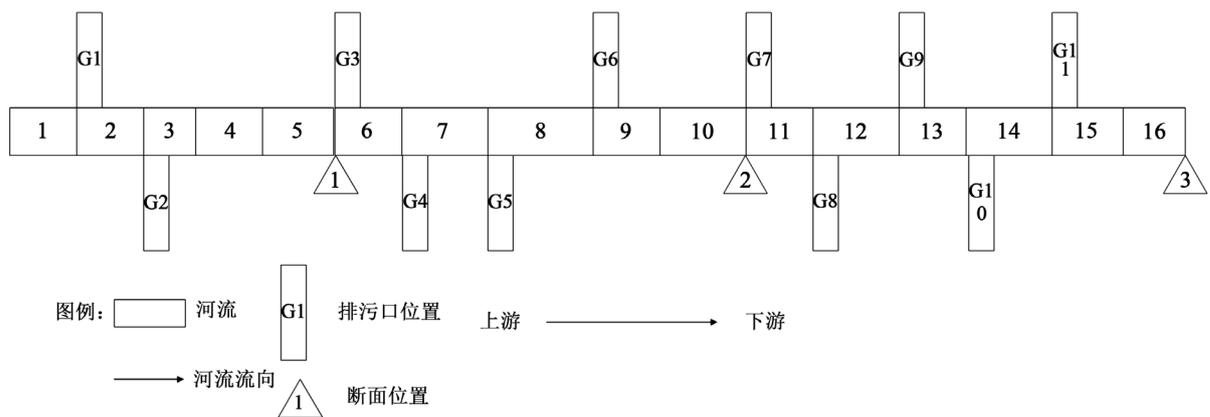


Figure 2. Generalization of Gulin River

图 2. 古蔺河河流概化图

3.2. 基于 WASP 8.0 的河流水质模拟

考虑到模型模拟的稳定性,在利用 WASP 模型模拟时应选取流量较稳定、持续时间较长的枯水期流量作为水文设计条件,因此流量、COD、氨氮的模拟选取枯水期保证率 90%时河流流量模拟。模型水动力学模块选择一维网格动力波(1-D Network Kinematic Wave)模块,选用 Euler 方程进行差分求解,模型时间步长设为 1 天。河流河底坡度、糙率较大,坡度取值在 0.005~0.05 之间,糙率计算值在 0.05~0.06 之间,其他动力学参数与常数的取值参考 WASP 用户手册中的参数取值范围,COD、氨氮的主要动力学参数取值范围见表 1。

Table 1. Value of main parameters of the model

表 1. 模型主要参数取值表

控制单元	长度(m)	枯水期保证率 90%下流量(m ³ /s)	坡度	糙率	20°C时的COD衰 减速率(d-1)	20°C时的硝化 速率(d-1)
1号控制单元	17483	1.56	0.005~0.031	0.06	0.35	0.10
2号控制单元	7489	2.12	0.009~0.010	0.05	0.30	0.08
3号控制单元	33642	3.72	0.005~0.030	0.05	0.35	0.08

本文以各监测断面的 COD 浓度、NH₃-N 浓度为模拟指标,通过对所建立的 WASP 水质模型的模拟结果与相关科研部门提供的实测数据进行对比,从而验证所建立的 WASP 水质模型的准确性。

通过对不同监测点沿程的流量、COD 浓度、NH₃-N 浓度的实测值与模拟值的对比(见图 3、图 4、图 5)可知,所建立的 WASP 模型的模拟值与实测值的平均相对误差小于 25%,模拟值沿程变化趋势与实测值的变化趋势基本相同。因此,该模型能够较准确地模拟河流中污染物迁移扩散影响。

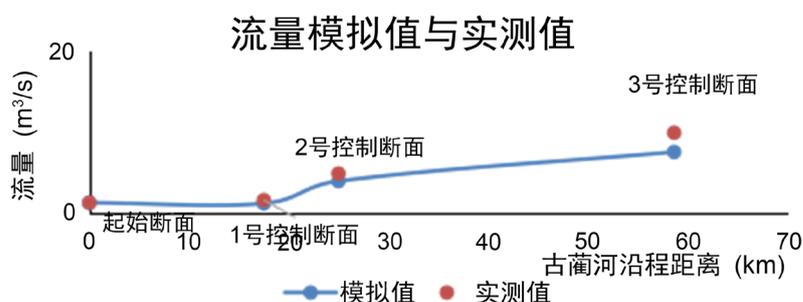


Figure 3. Changes of simulated and measured discharge values along the Gulin River

图 3. 古蔺河流量模拟值和实测值沿程变化

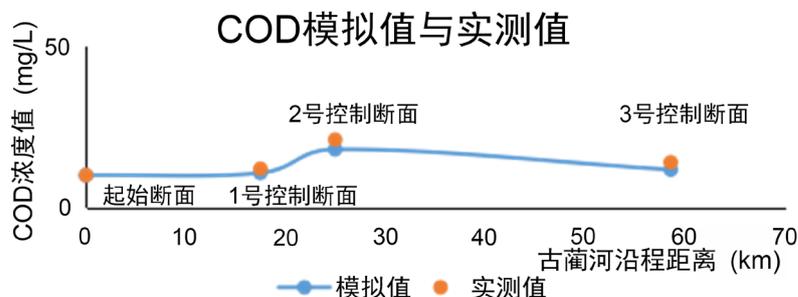


Figure 4. Changes of simulated and measured COD values along the Gulin River

图 4. 古蔺河 COD 模拟值和实测值沿程变化

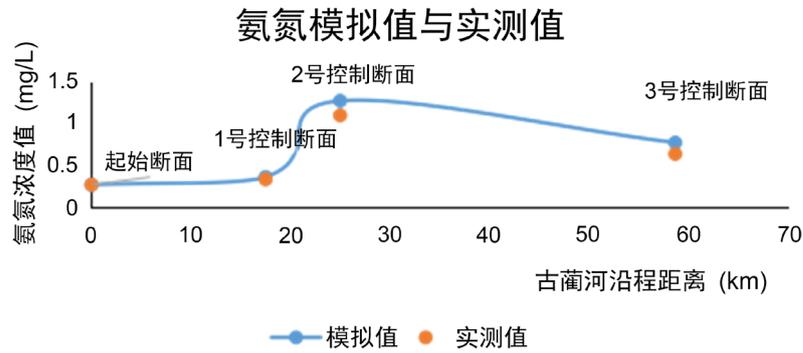


Figure 5. Changes of simulated and measured ammonia nitrogen values along the Gulin River
图 5. 古蔺河氨氮模拟值和实测值沿程变化

4. 河流污染控制优化方案

为使古蔺河水污染得到有效控制，需要对影响水质的各类污染源进行削减和治理。通过低钠盐论证，拟从城镇生活污染源、畜禽养殖污染、农村生活污染源、支流、工业源和农业面源 6 个方面入手，设计成 3 种污染控制组合方案，通过分析比较得到优化结果。三种控制方案内容见表 2。

Table 2. River pollution control schemes
表 2. 河流污染控制方案

污染类型	工业源	城镇生活源	农村生活源	农业面源	畜禽养殖	支流
方案 1		COD 入河量削减 301.95 t/a, 氨氮入河量削减 26.16 t/a			COD 入河量削减 81.35t/a, 氨氮入河量削减 16.27 t/a	
方案 2		COD 入河量削减 301.95 t/a, 氨氮入河量削减 26.16 t/a	COD 入河量削减 31.66 t/a, 氨氮入河量削减 11.96 t/a		COD 入河量削减 81.35 t/a, 氨氮入河量削减 16.27 t/a	支流达到 III 类水质标准
方案 3	COD 入河量削减 32.29 t/a, 氨氮入河量削减 2.36 t/a	COD 入河量削减 301.95 t/a, 氨氮入河量削减 26.16 t/a	COD 入河量削减 31.66t/a, 氨氮入河量削减 11.96 t/a	COD 入河量削减 11.18 t/a, 氨氮入河量削减 2.36 t/a	COD 入河量削减 81.35 t/a, 氨氮入河量削减 16.27 t/a	支流达到 III 类水质标准

利用建立的基于 WASP 8.0 的古蔺河水质模型，模拟 3 种污染控制方案实施后水质变化情况，结果见表 3、表 4。方案 1 实施后古蔺河全流域水质能稳定达到地表水水环境 III 类水质标准，其中 COD 出境断面浓度为 11.5 mg/L，氨氮出境浓度为 0.625 mg/L。当方案 3 实施后古蔺河全流域水质能达到地表水 II 类水质标准，其中 COD 出境断面浓度为 10.11 mg/L，氨氮出境浓度为 0.421 mg/L。

Table 3. COD simulation effect after the implementation of the optimization scheme
表 3. 优化方案实施后 COD 模拟效果表

单位(mg/L)	实测值	方案 1	方案 2	方案 3	III 类水质标准	II 类水质标准
起始断面	8	8	8	8	20	15
一号控制断面	12	10.26	10.14	10.05	20	15
二号控制断面	21	17.39	13.96	13.64	20	15
三号控制断面	14	11.5	10.23	10.11	20	15

Table 4. Ammonia nitrogen simulation effect table after the implementation of the optimization scheme
表 4. 优化方案实施后氨氮模拟效果表

单位(mg/L)	实测值	方案 1	方案 2	方案 3	III 类水质标准	II 类水质标准
起始断面	0.026	0.026	0.026	0.026	1.0	0.5
一号控制断面	0.331	0.319	0.312	0.308	1.0	0.5
二号控制断面	0.944	0.860	0.515	0.489	1.0	0.5
三号控制断面	0.633	0.625	0.439	0.421	1.0	0.5

结果表明 3 种方案实施后对古蔺河水质有明显改善作用, 从实施效果分析应优先治理古蔺河城镇生活污染源与畜禽养殖污染源, 再逐步开展农村生活源、支流和工业源、农业面源的治理, 使古蔺河水质得到持续改善。

5. 结论

1) 基于 WASP 8.0 建立的古蔺河水质模型, 模拟值沿程变化趋势与实测值的变化趋势基本相同, 能够有效模拟河流水质变化, 可用于研究河流水质变化规律, 用于模拟分析不同污染控制和削减方案的水环境质量变化情况, 为制订合理的污染控制方案提供决策依据和参考。

2) 古蔺河水质受城镇化发展、农业生产、工业污染排放等因素影响在逐步恶化, 主要污染来源为城镇生活和面源污染, 主要污染指标为 COD 和氨氮。上中下游三个断面的污染指数呈现逐步升高趋势。

3) 以城镇生活污染和畜禽养殖为重点的 3 种污染控制方案对古蔺河水质有明显改善作用, 方案 1 实施后能使古蔺河水质达到地表水水环境 III 类水质标准, 方案 3 实施后能使古蔺河全流域水质能达到地表水 II 类水质标准, 结果对古蔺河水生态环境保护和管理决策具有重要参考价值。

参考文献

- [1] 马丁, 姚建. 中小流域总磷污染模拟及控制对策研究[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(6): 728-732.
- [2] 杨家宽, 肖波, 刘年丰, 等. WASP6 水质模型应用于汉江襄樊段水质模拟研究[J]. 水资源保护, 2005(4): 8-10.
- [3] 张永祥, 王磊, 姚伟涛, 等. WASP 模型参数率定与敏感性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009(5): 28-30.
- [4] 张荔, 孙程, 林金辉, 等. WASP6 水质模型在渭河流域水环境容量解析中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2006(6): 12-14.
- [5] 张佩芳, 朱文杰, 任妍冰, 等. 基于 WASP7 模型的水质模拟应用——以淮沭新河东海段为例[J]. 环境监控与预警, 2018(2), 11-14.
- [6] 唐国平, 陈德超, 黄振旭, 等. 基于 WASP 模型的水质模拟及参数敏感性分析[J]. 水电能源科学, 2017(5): 41-44.
- [7] 徐盼盼, 杨咪, 钱会, 等. 基于 WASP 对渝河 NH₃-N 排放方案的研究[J]. 环境工程, 2017(8): 168-173.
- [8] 王莹, 张幼宽, 梁修雨, 等. 沙颍河安徽段水环境容量计算及动态分析[J]. 人民黄河, 2019(1): 79-84.
- [9] 姚金豆, 姚建. 基于盲数理论的绵远河不同水期水环境容量研究[J]. 人民长江, 2018, 49(15): 41-45.
- [10] 刘思杰, 刘明维. 古蔺河流域径流特性分析与研究[J]. 环境工程, 2017(8): 152-158.