

王丽娜, 刘海婷, 韩冠宇, 等. 基于源-网-厂-河耦合仿真的水体污染治理效果分析[J]. 净水技术, 2024, 43(9): 142-150.

WANG L N, LIU H T, HAN G Y, et al. Effect analysis of water environment pollution control based on combined simulation of source-network-plant-river[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(9): 142-150.

## 基于源-网-厂-河耦合仿真的水体污染治理效果分析

王丽娜\*, 刘海婷, 韩冠宇, 封天雨, 张 晶, 李麒嵩, 王 凯, 袁蒙蒙

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

**摘 要** 水体污染治理效果的量化评估在方案制定中起着重要作用, 而数学模型是量化评估的重要手段。以苦竹河流域为研究对象, 基于城市水系统控制仿真模型(Simuwater)开展源-网-厂-河耦合仿真的水体污染模拟, 分析流域径流污染、排口入河污染、河道水质等, 从而对陆域污染治理效果和水域污染治理效果进行量化评估。实例研究表明: Simuwater 模型操作简单, 数据需求低, 且具备源-网-厂-河动态模拟功能, 可模拟陆域污染负荷及河道水质浓度变化过程, 并可推广应用于流域级别的水环境治理效果评估。

**关键词** Simuwater 模型 源-网-厂-河耦合仿真 陆域污染治理效果 河道污染治理效果 量化评估

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)09-0142-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.09.018

## Effect Analysis of Water Environment Pollution Control Based on Combined Simulation of Source-Network-Plant-River

WANG Lina\*, LIU Haiting, HAN Guanyu, FENG Tianyu, ZHANG Jing, LI Qilun, WANG Kai, YUAN Mengmeng

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300074, China)

**Abstract** The quantitative evaluation of the effect of water pollution control plays an important role in the formulation of the scheme, and the mathematical model is an important means for quantitative evaluation. It took Kuzhuxi creek as the research object, and source-network-plant-river combined simulation of water pollution was carried out based on the urban water system control simulation model (Simuwater), to analyze the runoff pollution, the pollution from the outlet to the river, and the water quality of the river, So as to quantitatively evaluate the effect of land pollution control and water pollution control. The case study shows that: Simuwater model has the characteristics of simple operation and low data demand, and has the function of dynamic simulation of source, network, plant and river. It can simulate the land pollution load and the change process of river water quality concentration, which can be popularized and applied to evaluate the effect of creek water environment treatment.

**Keywords** Simuwater model combined simulation of source-network-plant-river effect of land pollution control effect of river pollution control quantitative evaluation

随着经济的发展与城市化进程的加快, 水环境问题日益严峻。针对水环境恶化问题, 国家高度重视, 以水质改善为核心, 利用控源截污、清淤疏浚、底泥原位修复、曝气增氧、活水补给等工程措施, 开展水体污染治理工作。借助数学模型科学评估各项工程措施的环境效应, 对于指导制定和优化水体

污染治理工程方案、推动科学治污具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。近年来, 数学模型在水体污染治理效果评估上的应用极为广泛<sup>[3-13]</sup>。本文以苦竹溪为研究对象, 以 COD<sub>Cr</sub> 作为水质评价指标, 应用城市水系统控制仿真模型(Simuwater)开展整治方案的效果评估研究。

### 1 研究区域概况

本文研究区域为苦竹溪, 水系面积为 96 km<sup>2</sup>, 苦竹溪河网较多, 有长江一级支流苦竹溪, 起点位于雷家桥水库, 终点位于长江交汇口, 河道总长为

[收稿日期] 2023-10-27

[通信作者] 王丽娜(1989—), 女, 工程师, 研究方向为市政、水利行业水安全和水环境的模型分析研究, E-mail: 970674691@qq.com。

18.4 km;还有梨子园河、跳蹬河、拦马河、李家湾沟、姜家沟等二级支流。流域范围内包含雷家桥水库、百步梯水库、木耳厂水库、团结湖水库、石塔水库5座水库;茶园污水处理厂一座,现状处理规模为6万 $m^3/d$ ,出水执行一级A标准。流域内河道水质现状如图1所示。



图1 水系概况

Fig. 1 General Situation of the Creeks

苦竹溪内已建雨水管线为217.8 km,合流制管线为59.6 km,污水管线为168.4 km,截污干管为22.82 km;水系范围内排口总数为102个,包括合流

排口21个、污水排口32个、雨水排口49个,排口位置分布如图2(a)所示。因水系范围内排口众多,且较为分散,本文根据排口大小及位置对排口进行概化处理,便于搭建苦竹溪概化模型,分析概化后各排口的入河负荷。概化后的合流排口为15个,污水排口为3个,雨水排口为19个,位置分布如图2(b)所示。

## 2 水体污染治理方案

根据水系现状情况,设计水环境治理措施,主要措施如表1所示。

### 2.1 排口治理措施

污水排口水量全部截流至污水处理厂,部分雨水排口和合流排口通过调蓄池和生态湿地实现水量滞纳和水质降解作用。各排口处理设施规模如表2所示。

### 2.2 河道补水措施

实施控源截污和底泥清淤工程措施后,仍有部分污染物进入河道,影响河道水质达标,因此,需要通过补水工程增加河水的流动性,并改善河道水质。

本文补水措施为:引渔溪流域的迎龙湖水库水至朱家岩水厂,通过泵站向苦竹溪、梨子园河和拦马河上游补水,补水水质为III类水;引茶园污水厂达标排放的地表IV类水向苦竹溪中游段补水。

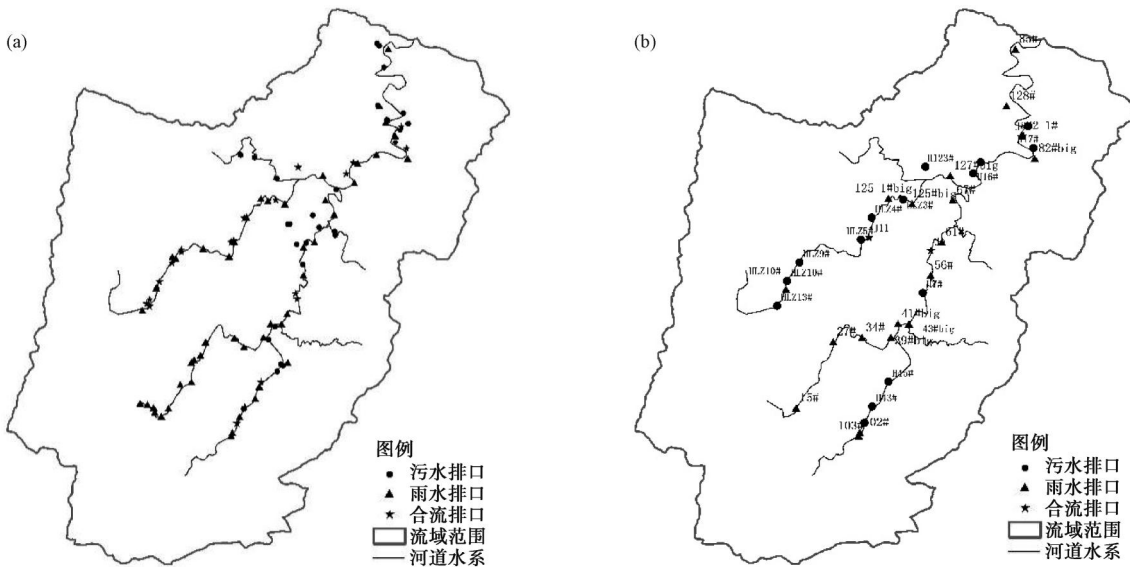


图2 现状排口及概化排口位置分布

Fig. 2 Location Distribution of Existing and Generalized Outlets

表 1 水体污染治理措施  
Tab. 1 Water Pollution Control Measures

治理对象	治理措施
污水排口	沿河建设截污管道, 污水全部进入截污管道, 最后进入污水处理厂
雨水排口	调蓄池+湿地
合流排口	截污管道+调蓄池+湿地
雨污混错接点	新建雨水管或者污水管, 改变混错接情况
茶园污水厂	污水厂提标改造, 处理规模上升至 11 万 $\text{m}^3/\text{d}$ , 出水执行 IV 类水标准
河道补水	迎龙湖水库补水、茶园污水厂尾水补水

表 2 各排口处理设施规模统计  
Tab. 2 Statistics of Treatment Facility Scale at Each Outlet

排口名称	设施规模
125_9#	3 500 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
125_1#big	9 000 $\text{m}^3$ 调蓄池+9 000 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.73 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
127#big	3 900 $\text{m}^2$ 链湖湿地, 水力负荷为 $0.39 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
103#	4 500 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.76 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
39#big 34# 43#big	6 500 $\text{m}^3$ 调蓄池+6 300 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.82 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
67# 61#	7 500 $\text{m}^3$ 调蓄池+7 500 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.82 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
82#big	14 800 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.45 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
128#	5 000 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.87 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
HLZ10# HLZ9#	200 $\text{m}^3$ 调蓄池+200 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
HLZ3#	3 300 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H98#	1 000 $\text{m}^3$ 调蓄池+1 000 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H43#	4 000 $\text{m}^3$ 调蓄池+4 000 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H45#	3 600 $\text{m}^3$ 调蓄池+3 600 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H16#	700 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H17#	7 000 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
H24#	2 200 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.65 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
HLZ13#	500 $\text{m}^3$ 调蓄池+500 $\text{m}^2$ 垂直潜流湿地, 水力负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

### 3 源-网-厂-河耦合仿真模型构建

#### 3.1 模型简介

Simuwater 是中国市政华北院研发的机理和概

念混合模型, 包括水文径流模块、管渠水动力流模块、河道模块、水质模块、水量水质控制模块、RTC 模块。

Simuwater 模型主要应用于水环境治理的综合模拟, 可实现源-网-厂-河动态模拟, 辅助规划设计阶段的方案效果评估及调度方案的优化设计等。它采用集约化参数进行模拟, 对数据要求低, 且避免了传统模型多参数输入的复杂性及异参同效的不确定性, 实现快速建模。此外, 还集成了 SWMM5ex 程序, 提供 Simuwater 和 SWMM 的开放接口, 实现复杂排水系统的嵌入模拟。

本次研究涉及河道、管网、调蓄设施、湿地、污水处理厂等多种要素, 因此, 采用 Simuwater 搭建源-网-厂-河耦合仿真模型, 模拟多要素间的水量、水质实时交换过程。

#### 3.2 数据前处理

##### 3.2.1 河道数据前处理

本文研究范围内包括苦竹溪、梨子园河、跳蹬河、拦马河、李家湾沟、姜家沟 6 条河道, 对其进行数据前处理, 将苦竹溪概化为 9 个河段, 梨子园河概化为 3 个河段, 跳蹬河概化为 3 个河段, 拦马河、李家湾沟、姜家沟各概化为一个河段。其中苦竹溪有下河咀堰、长生老桥拦河堰、汪家石塔、踏水桥堰; 跳蹬河有双河口堰, 梨子园河有 1#堰和 2#堰。河道分段如图 3 所示。



图 3 河道分段

Fig. 3 Segmented Map of the Creeks

### 3.2.2 子汇水区划分

子汇水区划分是将研究区域划分为一个个汇流的小区域,每一个小区域都有相应的产流,然后通过设定排口的方式将每个子汇水区域的产流排出。本文参照 DEM、排水管线、排水分区、道路、河网等矢量信息划分汇水区,共划分为 45 个汇水区,其中分流制 30 个,合流制 15 个,如图 4 所示。

### 3.3 模型构建

#### 3.3.1 现状模型构建

##### (1) 拓扑关系构建

根据汇水区、排口、构筑物、河道等上下游关系,搭建 Simuwater 模型拓扑关系,如图 5 所示。

##### (2) 汇水区参数设置

应用 GIS 空间统计及叠加分析功能提取子汇水区面积、流长、不透水百分比等参数。此外,汇水区

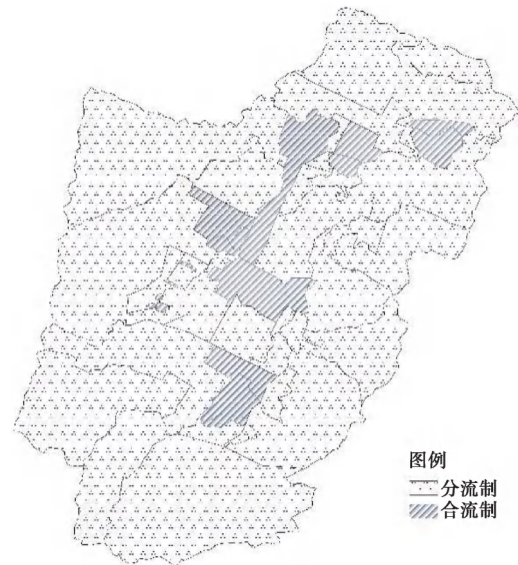


图 4 子汇水区划分

Fig. 4 Subcatchment Area Division

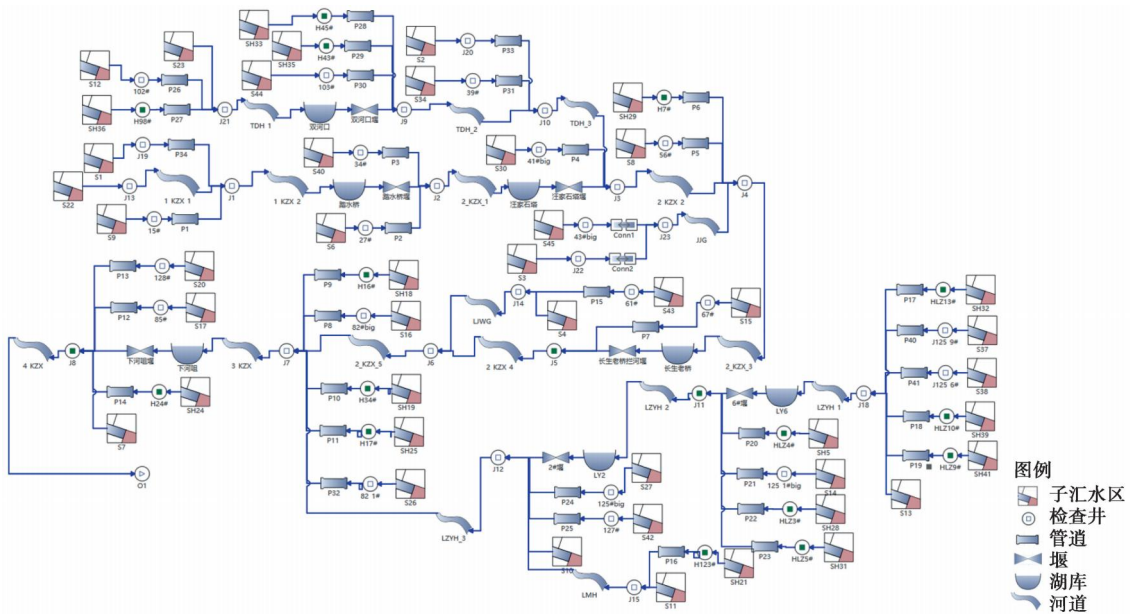


图 5 Simuwater 模型拓扑关系

Fig. 5 Topological Relationship of Simuwater Model

参数还包括透水地表曼宁系数、不透水地表曼宁系数、透水地表注蓄量、不透水地表注蓄量、入渗参数等。在参考相关文献<sup>[14]</sup>及模型用户手册后取值如表 3 所示。

##### (3) 面源污染参数设置

地表沉积物是城市地表径流中污染物的主要来源,不同土地利用性质的城市地表,其污染物的性质及累积、冲刷参数都不同。本文选取  $COD_{Cr}$  作为污染物指标,通过设置不同类型下垫面对应的累积参

表 3 汇水区取值

Tab. 3 Parameter Values of Catchment

项目	数值
透水地表曼宁系数	0.015
不透水地表曼宁系数	0.03
透水地表注蓄量/mm	6
不透水地表注蓄量/mm	2
最小入渗速率/( $mm \cdot h^{-1}$ )	16.5
入渗衰减系数/( $h^{-1}$ )	4
干燥天数/d	7



数与冲刷参数, 分析面源污染负荷。累积参数与冲刷参数在参考相关文献<sup>[14]</sup>及模型用户手册后取值

表 4 不同下垫面累积、冲刷参数值

Tab. 4 Cumulative Parameters and Scoured Parameters of Different Underlying Surfaces

下垫面类型	污染指标	累积参数			冲刷参数		
		计算方法	最大累积	速率常数	计算方法	冲刷系数	冲刷指数
屋面	COD <sub>Cr</sub>	exp	120	4	exp	0.005	1.5
路面	COD <sub>Cr</sub>	exp	150	2	exp	0.007	1.8
绿地	COD <sub>Cr</sub>	exp	130	3	exp	0.006	1.6
水体	COD <sub>Cr</sub>	exp	0	0	exp	0	0

(4) 河道参数设置

①河道模块采用马斯京根算法计算河道水量, 通过设置不同污染物的衰减系数, 模拟污染物的降解过程, 本文设置 COD<sub>Cr</sub> 衰减系数为 0.01 d<sup>-1</sup><sup>[15]</sup>。

②堰的类型包括矩形堰和三角堰, 堰的参数包括排放系数、堰宽、堰高、偏移量等。本文 7 个堰的详细参数如表 5 所示。

表 5 堰的详细参数

Tab. 5 Detailed Parameters of Weir

名称	类型	排放系数	堰宽/m	堰高/m
踏水桥堰	RECTANGULAR	1.84	41	1.9
双河口堰	RECTANGULAR	1.84	29	1
汪家石塔堰	RECTANGULAR	1.84	41	1.6
长生老桥拦河堰	RECTANGULAR	1.84	38	2.6
下河咀堰	RECTANGULAR	1.84	42	5
1#堰	RECTANGULAR	1.84	30	2
2#堰	RECTANGULAR	1.84	36	5

3.3.2 工程方案后模型构建

根据水体污染治理措施, 搭建方案后的水环境模型, 包括污水截流参数设置、调蓄池参数设置、湿地参数设置及河道补水参数设置。

(1) 污水截流参数设置

在 Simuwater 模型中, 应用分流器模块模拟污水截流, 通过设置分流管的分流量, 实现污水的截流。

(2) 调蓄池参数设置

在 Simuwater 模型中, 应用集水池模块模拟调蓄池, 参数包括调蓄池的最大深度、初始深度, 调蓄曲线等。

(3) 湿地参数设置

在 Simuwater 模型中, 应用生物滤池模块模拟湿地, 类型分为 SURFACE\_LOADING 和 FLOW\_

CAPACITY 两种, 参数包括处理能力、表面负荷、表面面积、水力停留时长、污染物衰减系数等; 其中污染物衰减方法分为 CONST\_CONCENTION、CONST\_RATIO、ZERO、FIRST 4 种方法。本文模块类型选择 FLOW\_CAPACITY; COD<sub>Cr</sub> 衰减方法选择 CONST\_RATIO, 数值为 0.55。

(4) 河道补水参数设置

苦竹溪、梨子园河、拦马河上游补水水量分别为 0.25、0.16、0.04 m<sup>3</sup>/s, 补水水质为地表Ⅲ类水。苦竹溪中游段补水水量为 1.273 m<sup>3</sup>/s, 补水水质为地表Ⅳ类水。模型中补水设置方式为: 在河道上游以点源形式加入。

4 水体污染治理效果评估

本文选取 2009 年典型年逐 5 min 降雨作为连续降雨数据, 搭建工程方案建设前的 Simuwater 耦合仿真模型, 然后将工程建设方案植入耦合仿真模型中, 构建工程方案建设后的 Simuwater 模型。通过分析工程建设前后的陆域污染削减情况及河道污染削减情况, 判断治理效果是否达标, 从而评估工程方案中的设施规模、治理措施等的合理性, 实现了应用数学模型辅助设计方案的制定并指导工程建设。

4.1 陆域污染治理效果评估

通过模拟现状和方案后的流域范围内 COD<sub>Cr</sub> 入河污染负荷, 评估水体污染治理措施对陆域污染源的治理效果。

(1) 各河道 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷总量分析

现状和方案后的各河道每年 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷如图 6 所示。现状各河道每年 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷为: 苦竹溪 3 567 t, 梨子园河 1 026 t, 拦马河 395 t, 跳蹬河 622 t, 姜家沟 79 t, 李家湾沟 104 t。方案后各河道每年 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷为: 苦竹溪 2 185 t, 梨子园

河 188 t, 拦马河 138 t, 跳蹬河 245 t, 姜家沟 39 t, 李家湾沟 47 t。方案后各河道 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷都得到很大程度削减。

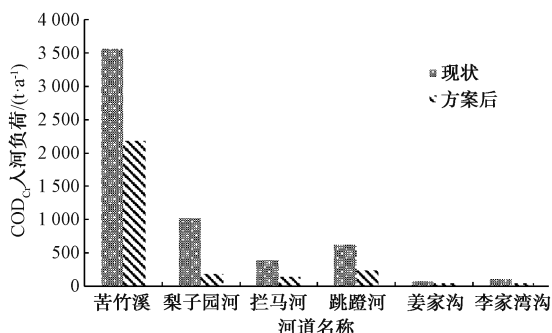


图 6 各河道的 COD<sub>Cr</sub> 年入河负荷

Fig. 6 Annual COD<sub>Cr</sub> Loads into the Rivers

(2) COD<sub>Cr</sub> 入河总负荷年内变化分析

现状和方案后的 COD<sub>Cr</sub> 入河总负荷年变化如图 7 所示。由图 7 可知, ①COD<sub>Cr</sub> 入河负荷月际变化与月降雨变化趋势基本保持一致, 降雨较多(少)的月份, COD<sub>Cr</sub> 入河负荷也较大(少), 8 月 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷随着雨量增大而达到峰值; ②方案后的 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷从 5 793 t 削减到 2 842 t, 削减率达 51%, 有利于改善河道水质。

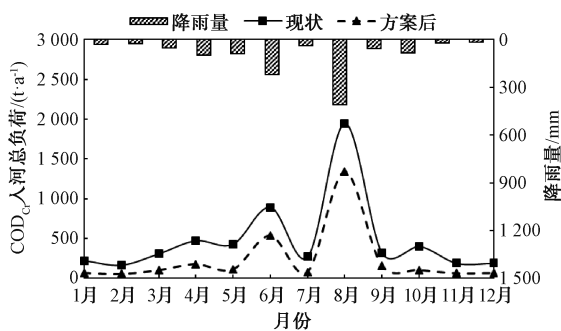


图 7 COD<sub>Cr</sub> 入河总负荷年变化

Fig. 7 Annual Variation of Total COD<sub>Cr</sub> Loads into the Rivers

4.2 河道污染治理效果评估

河道污染治理目标为河道水质达到《地面水环境质量标准》(GB 3838—1988)中的IV类水要求, 即 COD<sub>Cr</sub> ≤ 30 mg/L。本文以考核断面(苦竹溪入长江口)处的全年 COD<sub>Cr</sub> 浓度变化情况及流域范围内河道全年 COD<sub>Cr</sub> 均值为分析内容, 评估河道水质达标情况; 以不同等级降雨下考核断面(苦竹溪入长江口)处水质变化趋势为分析内容, 评估不同等级降雨下河道的水质恢复周期。

4.2.1 河道水质达标分析

(1) 通过模拟现状和方案后的全年降雨时序下的考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 浓度变化过程, 评估考核断面处全年水质达标情况。

由图 8 可知, 考核断面现状水质较差, 全年水质为地表水 V 类~劣 V 类。方案后, 考核断面全年水质多维持在地表水 IV 类, 只有在降雨时刻才有可能超过地表水 IV 类。但是在降雨结束后一段时间, 通过河道自净能力水质可恢复至地表水 IV 类。经数据统计, 方案后考核断面处全年水质地表水 IV 类达标率为 90%, 说明治理措施使河道水质得到明显改善。

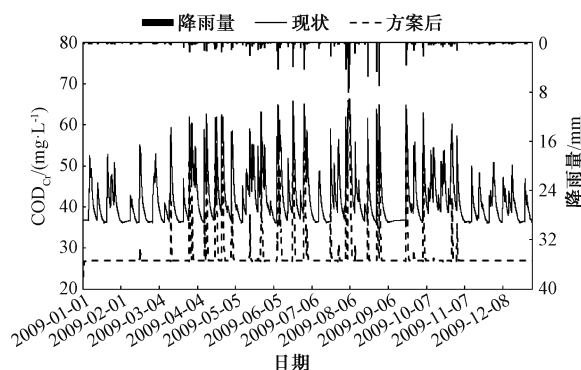


图 8 考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 浓度逐小时变化过程

Fig. 8 Hour-by-Hour Change Process of COD<sub>Cr</sub> Concentrations at Assessment Section

由图 9 可知, 考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 月均浓度最高月份为 8 月(月降雨量最大), COD<sub>Cr</sub> 月均浓度最低月份为 12 月(月降雨量最小), 降雨量越大, 考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 月均浓度越大, 因此, 可分析出考核断面处污染主要受径流污染影响。此外, 现状考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 月均质量浓度在 39~46 mg/L, 为地表水 V 类~劣 V 类; 方案后考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 月均质量

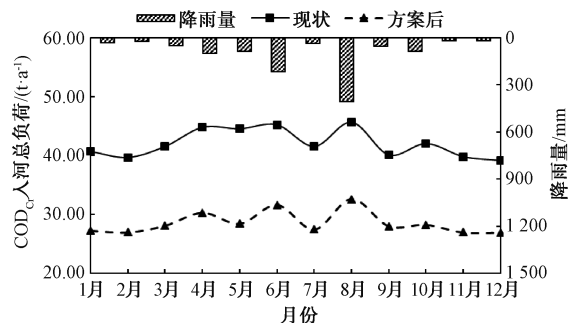


图 9 考核断面处 COD<sub>Cr</sub> 浓度月平均值

Fig. 9 Monthly Average of COD<sub>Cr</sub> Concentrations at the Assessment Section

浓度在 27~32 mg/L, 说明治理措施明显降低了考核断面处  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  月均浓度, 使其全年水质多维持在地表水 IV 类。

(2) 通过模拟现状和方案后的流域范围内河道  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度年平均值, 评估河道全年水质达标情况。

(各河段位置可参考图 3 河道分段)

由图 10 可知, 现状流域内河道  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  年平均值为地表水 V 类~劣 V 类, 方案后  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度年平均值为地表水 IV 类, 说明治理措施使苦竹溪流域内河道水质得到明显改善。

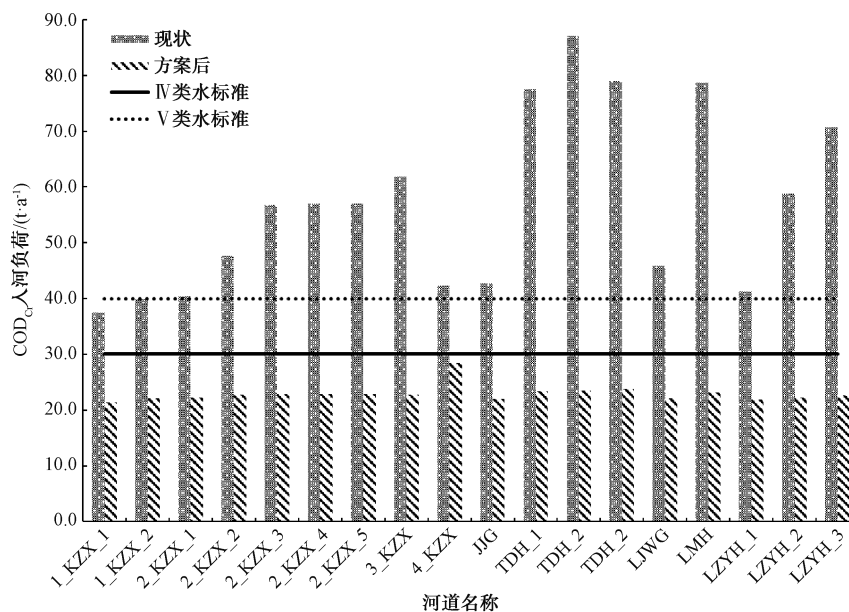


图 10 河道  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度年平均值

Fig. 10 Annual Average Values of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  Concentration in the Rivers

#### 4.2.2 河道水质恢复周期分析

衡量水域污染治理效果的因素, 除了全年水质达标率, 还包括场次降雨后的水质恢复周期。本文选取小雨、中雨、大雨 3 种工况, 模拟不同等级降雨下考核断面处水质变化趋势, 以此评估不同等级降雨下河道的水质恢复周期。

##### (1) 小雨等级下河道水质恢复周期分析

本文小雨场次的降雨开始时间为 6 月 28 日 22:10, 降雨结束时间为 6 月 29 日 00:15, 降雨量为 4.8 mm。降雨中及降雨后考核断面位置处的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度变化情况如图 11 所示。经分析可知, 降雨量最大时  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度达到峰值, 但未超过 IV 类水标准, 说明河道水质一直达标。

##### (2) 中雨等级下河道水质恢复周期分析

本文中雨场次的降雨开始时间为 5 月 1 日 07:40, 降雨结束时间为 5 月 1 日 14:50, 降雨量为 10.8 mm。降雨中及降雨后考核断面位置处的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度变化情况如图 12 所示。经分析可知, 降雨开始后,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度有上升趋势; 降雨结束后, 由

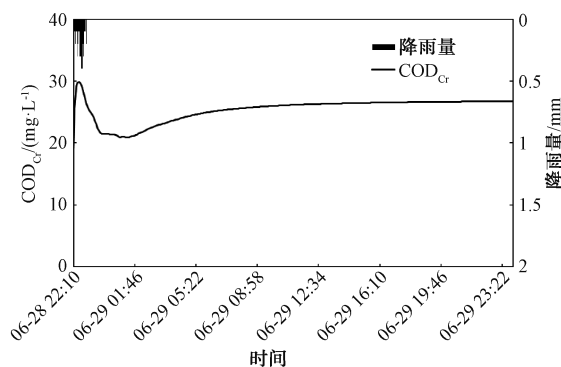


图 11 小雨等级下  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度变化过程

Fig. 11 Change Process of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  Concentration under Light Rain Level

于河道自净能力,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度缓慢下降, 在 5 月 2 日 06:25, 即降雨结束后 15 h 35 min 后, 考核断面处水质开始达标。

##### (3) 大雨等级下河道水质恢复周期分析

本文大雨场次的降雨开始时间为 4 月 23 日 06:40, 降雨结束时间为 4 月 23 日 18:35, 降雨量为 20.8 mm。降雨中及降雨后考核断面位置处的

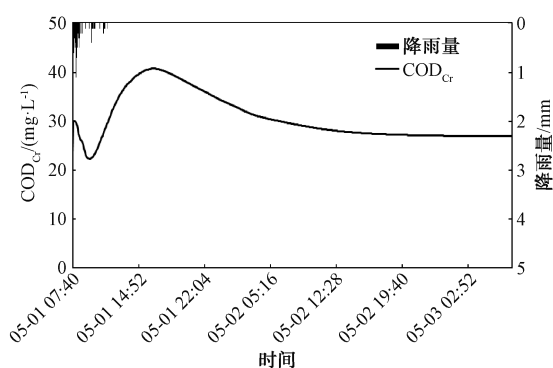


图 12 中雨等级下 COD<sub>Cr</sub> 浓度变化过程

Fig. 12 Change Process of COD<sub>Cr</sub> Concentration under Moderate Rain Level

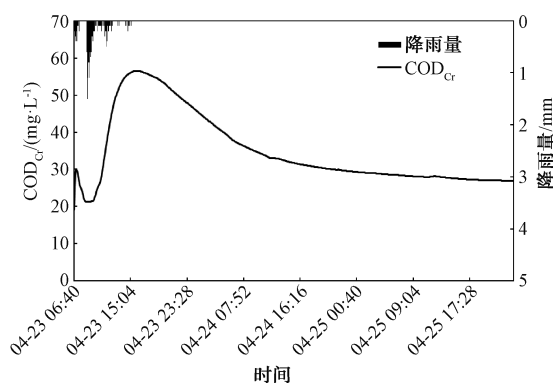


图 13 大雨等级下 COD<sub>Cr</sub> 浓度变化过程

Fig. 13 Change Process of COD<sub>Cr</sub> Concentration under Heavy Rain Level

COD<sub>Cr</sub> 浓度变化情况如图 13 所示。经分析可知,降雨开始后,COD<sub>Cr</sub> 浓度有上升趋势;降雨结束后,由于河道自净能力,COD<sub>Cr</sub> 浓度缓慢下降,在 4 月 24 日 21:10,即降雨结束后 26 h 35 min 后,考核断面处水质开始达标。

综上,在小雨、中雨、大雨 3 种工况下,降雨结束后 3 d 内河道水质均能恢复到目标水质,满足黑臭水体治理中对河道水质恢复周期的要求。

## 5 结论

(1) 本文针对苦竹溪水体污染治理的工程需求,采用 Simuwater 搭建多要素耦合模型,研究工程方案后陆域污染治理效果和河道污染治理效果。

(2) 模拟结果表明:①工程方案后,全年 COD<sub>Cr</sub> 入河负荷总量从 5 793 t 削减到 2 842 t,削减率达 51%。②工程方案后,河道考核断面处全年水质地表水 IV 类达标率为 90%,相比于河道现状地表水

V 类~劣 V 类,河道水质得到明显改善。

(3) 本文研究背景为苦竹溪水体污染治理方案规划阶段,受资料数据限制,传统机理模型难以适用,因此选用 Simuwater 模型搭建了苦竹河流域的水环境模型。该模型的优势为:①采用集约化参数进行模拟,对数据要求低,可化繁为简、快速建模,适合资料不充足条件下的数学模拟;②可实现源-网-厂-河动态模拟,一站式建模,方便快捷,可作为同类型项目规划评估的模型工具。

## 参考文献

- [1] 陈焰,夏瑞,王璐. 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.  
CHEN Y, XIA R, WANG L. Effects assessment of water environment treatment projects based on SWMM-EFDC coupling simulation in Xinfeng River Basin[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(4): 777-788.
- [2] 张凤山,魏俊,唐颖栋. 流域水环境模型在茅洲河流域系统治理中的应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 100-106.  
ZHANG F S, WEI J, TANG Y D. Application of watershed water environmental model in the systematic management of Maozhou River Basin[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 100-106.
- [3] 彭丽红,代洪亮. 基于动态水环境模型的龙王港流域综合治理方案及评估[J]. 净水技术, 2023, 42(9): 148-159.  
PENG L H, DAI H L. Pollution assessment and treatment of Longwanggang Basin based on dynamic water environment model[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 148-159.
- [4] 谭锦欣,胡嘉镗,李捷. 东湖水动力及水质模型的构建及应用[J]. 净水技术, 2022, 41(2): 127-132.  
TAN J X, HU J T, LI J. Modeling and application of hydrodynamic and water quality models in Dongshan Lake[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 127-132.
- [5] 张海军,马永法,叶萍. 基于数值模拟的嘉兴市河道水质优化调度方案[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 64-68.  
ZHANG H J, MA Y F, YE P. Optimal regulation of river water quality based on numerical modeling in Jiaxing City[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 64-68.
- [6] 王泽民,王岩波,沈昌明. 基于水动力模拟的湖库水质改善案例应用[J]. 净水技术, 2021, 40(8): 58-67.  
WANG Z M, WANG Y B, SHEN C M. Case application of water quality improvement in lakes and reservoirs based on hydrodynamic simulation[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 58-67.
- [7] 薛树红,李明,吴巍. 基于多耦合模型的盛桥河流域水环境



- 模拟研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(7): 83-94.
- XUE S H, LI M, WU W. Simulation of water environment in the Shengqiao River basin based on multi coupling model [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2021, 49(7): 83-94.
- [ 8 ] 高爽, 蒋红, 徐缙. 基于断面水质响应的宜兴市水环境治理工程环境绩效评估[J]. 水电能源科学, 2020, 38(5): 135-138.
- GAO S, JIANG H, XU T. Environmental performance assessment of water environment control projects in Yixing City based on section water quality response [J]. Water Resources and Power, 2020, 38(5): 135-138.
- [ 9 ] 赵翠平, 白辉, 赵琰鑫. 基于 SWAT 模型对武烈河流域不同水期的水环境治理项目效益分析研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(7): 99-103, 109.
- ZHAO C P, BAI H, ZHAO Y X. Research about the benefit analysis of environmental projects based on SWAT model in Wulie River Basin at different periods [J]. Environmental Pollution and Prevention, 2016, 38(7): 99-103, 109.
- [ 10 ] 赵也, 汤钟, 曾胜. 基于模型评估的黑臭水体综合治理方案目标可达性分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 73-82.
- ZHAO Y, TANG Z, ZENG S. Objective reachability analysis of comprehensive treatment scheme of black and odorous water body based on model evaluation [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 73-82.
- [ 11 ] 陈成成. 基于 MIKE21 的城市河流水动力水质模拟研究——以西安护城河为例[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- CHEN C C. Simulation and study on hydrodynamic and water quality of urban rivers based on MIKE21 [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [ 12 ] 田腾飞. 基于污染源解析和水质模拟的城市黑臭水体整治效果评估[D]. 天津: 天津理工大学, 2019.
- TIAN T F. Evaluation of the effect of urban malodorous-black water treatment based on the analysis of pollution sources and the mathematical model of water quality [D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2019.
- [ 13 ] 柯庆, 王林森, 陶涛. 基于 Delft3D 模拟的城市黑臭水体治理方案评估[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(1): 79-84.
- KE Q, WANG L S, TAO T. Assessment of malodorous black water treatment based on Delft3D simulation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(1): 79-84.
- [ 14 ] 曹必成. 海绵城市技术导向下山地住区径流污染控制评估[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- CAO B C. Evaluation of runoff pollution control in mountainous residential areas under the guidance of sponge city technology [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2021.
- [ 15 ] 丁博言. 基于 EFDC 模型的山地河流水污染控制研究——以重庆市长生河为例[D]. 重庆: 重庆大学, 2020.
- DING B Y. Study on water pollution control of mountain river based on EFDC model——The example of Changsheng River in Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020.

## (上接第 112 页)

- ZHAO Y. Research on pipeline path layout optimization based on heuristic algorithm [D]. Beijing: North China University of Technology, 2022.
- [ 9 ] 王建富, 郭豪, 秦祎, 等. 基于 SWMM 模型的排水分区参数率定——以迁安市为例[J]. 净水技术, 2022, 41(5): 122-130.
- WANG J F, GUO H, QIN Y, et al. Parameters calibration of drainage zone based on SWMM model——Case of Qian'an City [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 122-130.
- [ 10 ] 林若洲. 考虑暴雨空间不均匀性的城市内涝特征与优化改扩建研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- LIN R Z. Research on urban flooding properties and drainage system rehabilitation under spatially variable rainfall [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022.