

王丹凤, 王家良, 杨毅. 基于水质动态模拟的合流制截流倍数优化——射洪市新华河案例[J]. 净水技术, 2026, 45(7): 147-153.

Wang D F, Wang J L, Yang Y. Optimization of combined sewer overflow control based on dynamic water quality simulation——Case of Xinhua River in Shehong City[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(7): 147-153.

基于水质动态模拟的合流制截流倍数优化——射洪市新华河案例

王丹凤^{1,*}, 王家良¹, 杨毅²

(1. 四川省建筑设计研究院有限公司, 四川成都 610000; 2. 基准方中建筑设计股份有限公司, 四川成都 610000)

摘要 【目的】截流倍数是旧城区排水系统改造的关键参数,其取值受排污口水质与水量、接纳水体环境容量等诸多复杂因素影响。基于经验法或公式法等传统预测方法在实际应用中存在一定局限性,为有效提高截流倍数预测的准确性和适用性,进一步提高排水系统设计的经济合理性,本文提出一种基于数字化建模的截留倍数优化方法。【方法】本文以四川省射洪市合流制排水系统改造项目为例,针对不同区域排污口水质和污染物浓度差异,采用污染物入河系数计算出分质截流倍数数值,发现公式法计算的分质截流倍数普遍偏大,分析原因并引入数字化建模手段,构建“排污口-水系”水质模型,通过动态模拟验证和优化分质截流倍数,使截流倍数取值降低在经济合理的范围并应用到实际工程。【结果】所构建的水质模型能够结合水污染防治目标更精准的选择截留倍数,模型预测误差较小,具有较高的准确度。【结论】本文建立的“排污口-水系”水质模型,可有效辅助截流倍数优化选择,提升排水管网改造的经济性和合理性,本文可为老城区排水系统改造中截流倍数选取和优化提供参考,并为相关技术规范的完善提供有益补充。

关键词 分质截流倍数; 水质模型; 水环境容量; 截流式合流制; 数字化

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)07-0147-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.07.017

Optimization of Combined Sewer Overflow Control Based on Dynamic Water Quality Simulation——Case of Xinhua River in Shehong City

Wang Danfeng^{1,*}, Wang Jialiang¹, Yang Yi²

(1. Sichuan Provincial Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610000, China;

2. JZfz Architectural Design Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract [Objective] The interception ratio is a key parameter in the reconstruction of old urban drainage systems, influenced by complex factors such as water quality and water quantity at discharge outlets, as well as the environmental capacity of receiving water bodies. Traditional prediction methods based on empirical or formulaic approaches have certain limitations in practical applications. To effectively improve the accuracy and applicability of interception ratio prediction and further enhance the economic rationality of drainage system design, this paper proposes an optimization method for interception ratio based on digital modeling. [Methods] Taking the combined sewer system reconstruction project in Shehong City, Sichuan Province as an example, this paper calculated the quality-specific interception ratio values using pollutant discharge coefficients to account for differences in water quality and pollutant concentrations across different areas. It was found that formula-based calculations generally overestimated the quality-specific interception ratio. The reasons were analyzed, and digital modeling was introduced to construct a "discharge outlet-water system" water quality model. Through dynamic simulation verification, the quality-specific interception ratio was optimized to reduce its values within an economically reasonable range and apply them to practical projects. [Results] The constructed water quality model could more accurately select interception ratio in line with water pollution prevention and control objective, exhibiting smaller prediction errors and high accuracy. [Conclusion] The "discharge outlet-water system" water quality model established in this paper effectively

[收稿日期] 2025-12-23

[通信作者] 王丹凤(1984—),女,主要从事小流域水体综合整治与信息化软件利用等工作,E-mail:270081311@qq.com。

assists in the optimization selection of interception ratio, improving the economic and rational aspects of drainage network reconstruction. The research findings provide valuable references for selecting and optimizing interception ratio in the reconstruction of old urban drainage systems and offer useful supplements for the refinement of relevant technical standards.

Keywords quality-specific interception ratio; water quality model; water environmental capacity; interception combined sewer overflow; digitalization

国内老城区的排水系统多为合流制,虽然大部分城镇排水系统已完成了“直改分”改造,但仍遗留了大量截流式合流制系统,降雨期间截流过多的混流污水会造成污水处理厂超负荷运行,甚至溢流污染的问题也十分突出^[1]。从国际经验来看,国外以控制径流总量(T)为目标,初期截流倍数比较大,径流截留率一般为 80%~95%,但其在考虑绿色基础设施之前就已对溢流污染有所考虑,在雨水来临之时,对溢流部分基本可控^[2]。

相比之下,我国普遍采用有限截流设计理念^[3],截流倍数的选取面临两难境地,取值过大,虽能减少入河污染物,但会显著增加截流量,同时污水处理厂负荷、处理成本、运行费用等也会因此增大;反之,若截流倍数取值过小,则会导致过多污染物溢流入河,超过水体自净能力,导致水环境问题发生^[4-5]。因此,科学合理确定截流倍数是解决上述矛盾的关键。

目前,截流倍数的选取主要有传统经验法、反推法和模型法。我国在实际工程运用中以前 2 种方法为主,传统经验法虽然简便,但存在很大的主观性和片面性;反推法虽然较科学,但需在项目前期进行长期数据监测和溢流试验,操作复杂,不适合工程设计。更重要的是,这 2 种方法均不能模拟和反映污染物进入水体后的削减过程,难以确保满足受纳水体的水质标准要求。

近些年,随着计算机技术和数值模型的发展,利用软件建模辅助选取截流倍数已成为国内外研究趋势。目前,国际上应用较为广泛的水动力模型之一是丹麦水利研究所(DHI)开发的 MIKE 系列软件,该软件得到了广泛的使用和工程验证,可信度较高^[4]。

熊鸿斌等^[5]借助 MIKE11 模型通过分析河流中的污染物质量浓度与水环境容量来合理选择截流倍数;辛小康等^[6]运用 MIKE21 水动力水质模型参数敏感性分析;何强等^[7]通过合流制溢流污水扩散模拟及其对水环境的影响;叶永等^[8]基于 MIKE21 水

质与水动力模型的清江流域水质改善措施影响研究等。模型法弥补了前 2 种方法在水质层面分析计算的欠缺,它能够动态模拟污染物进入河流之后的污染物衰减及水质动态变化过程,并通过高维度模型能使分析更加精准。

本文以四川省射洪市旧城区合流制排水系统改造项目为例,旨在通过构建水动力-水质模型的方法,模拟新华河在溢流污染影响下的水质浓度动态变化,进而对基于传统方法得出的、可能偏大的分质截流倍数进行优化评估。本文旨在为类似高密度建成城区、环境容量敏感水体的合流制溢流污染控制与截流倍数科学选取,提供一种基于动态模拟分析优化的思路。

1 项目简述

新华河位于四川省射洪市,在射洪城区内全长约为 2.4 km,发源于白莲山村唐家井,自西向东,止于三江口汇入武安河,武安河最终汇入涪江。根据射洪市水系管理目标,新华河 2025 年水质管理目标执行Ⅳ类标准,2030 年水质管理目标执行Ⅲ类标准。通过水质监测数据可确定,新华河水体中化学需氧量(COD)、氨氮和总磷(TP)为主要污染物,其浓度均超出Ⅴ类水质标准。新华河上游无支流接入,其对应的水系如图 1 所示。

2 截流倍数的设计

2.1 分质截流倍数的定义

根据定义,截流倍数是指在合流制排水体系中,截流的雨水量与旱季污水量的比值,其计算如式(1)。

$$n_0 = \frac{Q_{\text{总}} - Q_{\text{溢}}}{Q_{\text{旱}}} - 1 \quad (1)$$

其中: n_0 ——截流倍数;

$Q_{\text{总}}$ ——范围内雨、污水总量, m^3/s ;

$Q_{\text{溢}}$ ——溢流量, m^3/s ;

$Q_{\text{旱}}$ ——旱季污水量, m^3/s 。

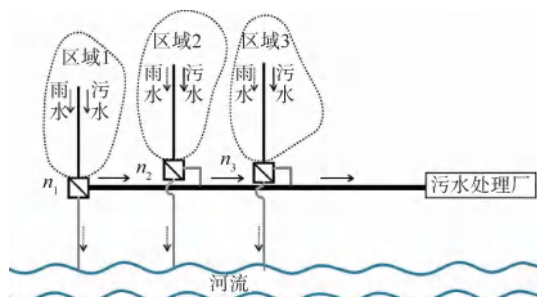
分质截流倍数是对传统截流倍数的改进。

分质截流倍数设计选择的步骤如图 2 所示。



图1 新华河水系分布示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of the Distribution of Xinhua River System



注: n_1 ——区域1的截流倍数; n_2 ——区域2的截流倍数; n_3 ——区域3的截流倍数。

图2 分质截流示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Quality-Specific Interception

(1) 将研究区域内不同类型排污口进行归纳分类, 并分成 m 个不同的子汇水区域, 将各个溢流口与子区域一一对应。

(2) 选择降雨重现期 (P) = 3 a (70.5 mm) 时的单次降雨事件, 采用最大值法, 将排污口的溢流方式概化为点源恒定流。

(3) 分别计算每个子区域的分质截流倍数, 计算如式(2)~式(4)。

$$n_1 = \frac{Q_{1\text{总}} - Q_{1\text{溢}}}{Q_{1\text{dr}}} - 1 \quad (2)$$

$$n_2 = \frac{Q_{2\text{总}} - Q_{2\text{溢}}}{Q_{2\text{dr}}} - 1 \quad (3)$$

$$n_m = \frac{Q_{m\text{总}} - Q_{m\text{溢}}}{Q_{m\text{dr}}} - 1 \quad (4)$$

其中: n_m ——第 m 子区域截流倍数;
 $Q_{m\text{总}}$ ——第 m 子区域雨、污水总流量, m^3/s ;

$Q_{m\text{溢}}$ ——第 m 子区域溢流量, m^3/s ;

$Q_{m\text{dr}}$ ——第 m 子区域旱季污水流量, m^3/s 。

2.2 分质截流倍数的计算

图3为新华河研究区排污口分布和汇水区域划分, 汇水区域包含城中村和居民区2个子区域, 合流制排污口标记为P1、P2、P3、P4, 新华河水质监测点位设置4个, 分别标记为L1、L2、L3、L4。



图3 研究区排污口分布和汇水区域划分

Fig. 3 Distribution of Discharge Outlets and Division of Catchment Areas in Study Area

表1为新华河合流制排污口排污和截流污水信息, 结合表1数据可知, 居民区和城中村排污口对受纳水体中污染物和污水量的贡献不同, 这也是本文中采用分质截流倍数的主要原因。参考四川省中部丘陵地区河流入河系数^[9], 对居民区和城中村的氨氮、TP和COD分别选取对应的系数。居民区分别选取为0.2、0.2、0.2; 城中村

分别选取为 0.15、0.15、0.15。分别计算出不同的污染物排放强度 W_0 , 作为水体环境保护程度, 根据降雨时不同截流井处污染物排放强度 W_0 (单位为 kg/d)、截流井处上游旱季污水量 Q_w (或 Q_{dr}) (单位为 L/s)、溢流井处混合水量 Q_H (或 $Q_{总}$) (单位为 L/s), 以及溢流井处管道输送

来的污染物的量 W (单位为 kg/d), 按照下边公式[式(5)]反算出截流倍数。

$$W_0 = \frac{W}{Q_H} [Q_H - (n_0 + 1)Q_w] \quad (5)$$

结合式(2)和式(3)可以解得: n_0 (城中村) = 5.7, n_0 (居民区) = 11.6。

表 1 新华河合流制排污口排污、截流污水信息

Tab. 1 Information of Discharge and Interception of Wastewater from Xinhua River Combined Discharge Outlets

排污口编号	区域性质	$Q_{dr}/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$Q_{总}-Q_{溢}/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{氨氮})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
P1	城中村	0.060	0.40	118	27.8	4.66
P2	城中村	0.141	0.95	149	32.3	5.08
P3	居民区	0.064	0.80	240	39.6	5.98
P4	居民区	0.098	1.24	300	42.0	4.04

注: 排污流量及截留污水污染物浓度工况为旱季无降雨事件时一天的平均值; ρ —污染物质量浓度。

2.3 分质截流倍数的结果分析

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)关于截流倍数的要求: 截流倍数应根据旱流污水的水质、水量、收纳水体的环境容量和排水区域大小等因素经计算确定, 宜采用 2~5……同一排水系统可采用不同截流倍数。而 2.2 小节公式法得到的分质截流倍数: n_0 (城中村) = 5.7, n_0 (居民区) = 11.6 普遍偏大, 推测主要原因有以下几点。

(1) 入河系数取值偏小, 计算时参考四川省中部丘陵地区河流, 氨氮和 TP 的入河系数, 该数值可能存在较大误差。

(2) 公式法考虑的因素比较少, 特别是忽略了污染物排入后水体通过自净能力消减的过程, 导致计算结果偏大。

(3) 公式法是一个静态的推理过程, 在各项条件设定时偏保守, 导致计算结果偏大。

3 水质模型的建立及验证

模型法能够有效克服公式法在计算截流倍数时结果偏大的局限性。本研究通过构建排污口—受纳水体水质模型, 基于新华河实际监测数据建立模型体系。所用数据主要包括以下几点。(1) 水动力数据: 新华河实测流量、实测平面与横断面、实测边界、河底高程、水位高程等。(2) 水质数据: 新华河实测水质和沿线排污口的水质和水量。

3.1 模型的假设条件与模块选择

本文采用 MIKE 21 中的水动力模型、ECOLab 水质生态模型^[10], 模拟研究新华河中 $\rho(\text{COD})$ 、 ρ

(氨氮)、 $\rho(\text{TP})$ 随截流倍数改变的情况。模型假设如下: ①降雨强度在空间上均匀分布; ②将溢流口概化为连续点源, 并采用峰值法确定流量与污染物浓度的最不利条件; ③忽略新华河水位对溢流排放的顶托作用, 假设溢流均可自行流入新华河。

本文重点针对新华河上游段 4 个排污口的截流倍数的优化(P1~P4, 图 2)。为避免交叉干扰, 忽略其他排污口所在周边以外的排放信息。

(1) 水动力模块。该模块是基于物质守恒方程和垂向积分的动量方程, 模拟河流的水体流动状态; 采用 Abbott-Ionescu 六点隐式有限差分格式求解, 对每个计算点计算不同时间的水位和流量。

(2) ECOLab 水质生态模型。本文主要用到五日生化需氧量(BOD_5)/COD—溶解氧(DO)关系 N 和 P 输运(硝化、反硝化、吸附)等功能^[6], 以模拟污染物在水环境中的动态变化。

3.2 模型边界

研究区域内, 根据水文模型边界确定的一般原则^[11], 上游边界为新华河进入射洪市的起点, 下游边界为三河交汇口。如图 2 所示, 本文利用 ArcGIS 软件划分汇水区并定位排污口, 将研究范围划分为城中村和居民区 2 个子区域, 包含 P1、P2、P3、P4 合流溢流口。

3.2.1 边界条件设置

模型的边界条件主要依据 2021 年 1 月—2021 年 3 月新华河的实测水动力与水质数据进行设定。

(1)水动力模型

水动力模型边界条件是每日的流量和水位,上游边界采用流量随时间变化的数据,下游边界采用水位随时间变化的数据。

(2)ECOLab 水质生态模型

水质模型边界条件是河流和排污口入流污染物浓度,上游边界为新华河水体入流的 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{氨氮})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 值,以及概化后 4 个溢流口 (P1~P4,图 2)排入的 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{氨氮})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 。上游以监测点位 L1 每月的监测值作为水质基础,如表 2 所示。下游边界采用 0 浓度边界,以满足污染物在水体中的对流扩散过程。

3.2.2 初始条件设置

(1)水动力模型

水动力模型采用热启动方式设定初始条件,即

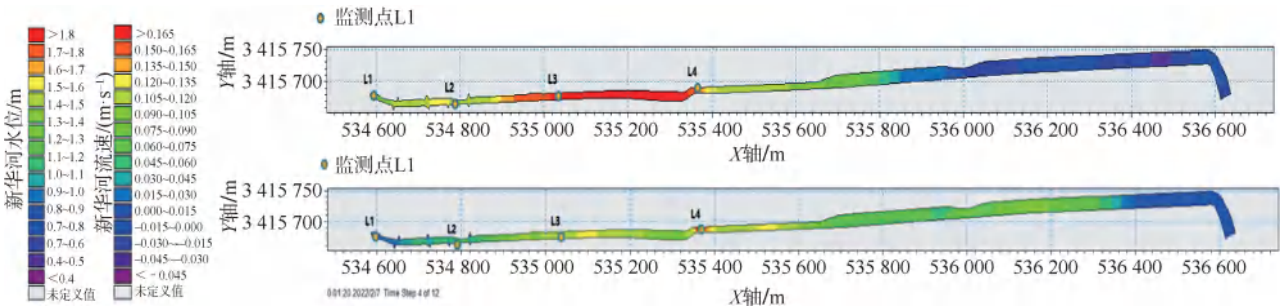


图 4 初始水位、流速及监测点位置

Fig. 4 Initial Water Level, Flow Velocity, and Monitoring Point Locations

3.3 MIKE21 模型的验证

3.3.1 对模型合理性的验证

(1)水动力模型的验证

水动力模型的可靠性可以通过实测资料与模拟

结果进行对比证实,水动力模型验证点选择 L4 点位,验证结果如表 3 所示。

经验证,水动力模拟结果相对误差均小于 10%,纳什系数 (NSE) 均值为大于 0.9 小于 1.0,在

表 3 L4 点水动力模型验证

Tab. 3 Verification of L4 Water Dynamic Model

日期	水深(模拟)/m	水深(实测)/m	相对误差	流量(模拟)/(m ³ ·s ⁻¹)	流量(实测)/(m ³ ·s ⁻¹)	相对误差
2021.03	1.41	1.54	8.44%	2.54	2.63	3.55%
2021.04	1.49	1.64	9.35%	2.78	2.94	5.30%
2021.05	2.07	2.20	5.86%	4.08	4.25	3.91%
2021.06	2.92	3.21	8.93%	6.11	6.36	3.87%
2021.07	2.77	3.02	8.16%	5.02	5.22	3.92%
2021.08	2.54	2.77	8.30%	3.81	4.02	5.14%

合理范围内^[12],水动力模型条件良好,可以进行后续的水质模型的模拟。

(2)水质生态模型的验证

经调查分析,中小城市内河主要污染物质为

COD、氨氮以及 TP 3 种。因此,在进行水质生态模型模拟时,也是选取这 3 个污染物指标,本文中水质模型选择 L4 点位,通过对比该点位上述 3 项污染物浓度每月实测值和模拟值来进行模型验证,验证结

果如图 5 所示。

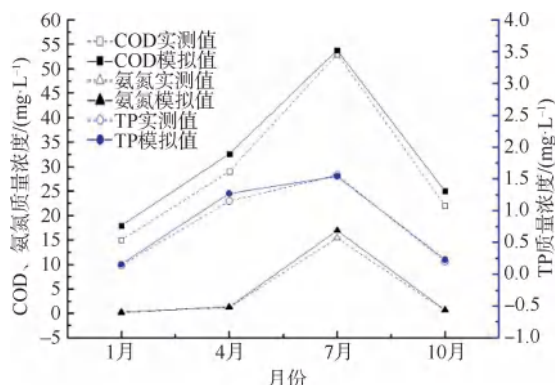


图 5 水质指标浓度验证

Fig. 5 Verification of Water Quality Indices Concentration

由图 5 可知, COD、氨氮以及 TP 3 种污染物浓度相对误差均控制在 20% 以下, 误差波动较小, 模型比较可靠, 可进行后续的模拟工作; 新华河水质在 7 月份最差, 各项指标均为最差, 这一点符合新华河的实际水质变化规律。

3.3.2 截流前污染物质量浓度分布

选取 COD 和氨氮、TP 为主要污染物指标。以射洪市 2020 年统计年鉴、住房和城乡建设局污染源普查资料和实地考察调研数据为基础, 选择在重现期为 3 a 的降雨强度下, 对 P1~P4 这 4 个溢流口的污染程度进行分析和模拟。

结合新华河周边排污状况, 模拟 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{氨氮})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 在新华河的分布状况, 结果如图 6 所示。

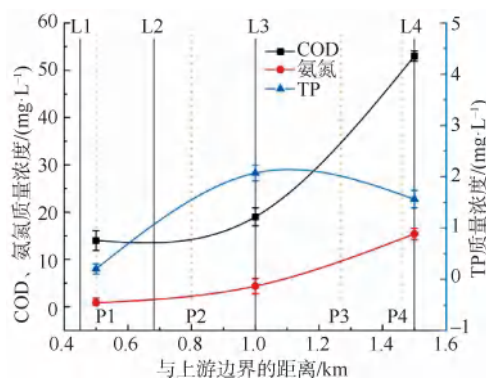


图 6 新华河截流前 COD、TP、氨氮质量浓度里程分布

Fig. 6 Mileage Distribution of COD, TP, and Ammonia Nitrogen Mass Concentrations before Interception In Xinhua River

由图 6 可知, $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{氨氮})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 在 P1、P2 排污口附近均为较低值, 分别为 12.3~14.5、1.6~2.0 mg/L 和 0.4~1.7 mg/L, 但 $\rho(\text{COD})$ 和 ρ

(氨氮) 到 P4 排污口附近达到区域最高值, 分别为 54.4、14.7 mg/L; 而 $\rho(\text{TP})$ 在 P3 排污口附近达到最高值 2.2 mg/L, 在 P4 排污口附近降至 1.6 mg/L。

总体而言, 污染物浓度随着距离的增加, 整体呈现上升的趋势。对比居民区和城中村 2 个类型的区域, 居民区 (P3、P4) 对应溢流口对水体污染最严重, 城中村 (P1、P2) 次之。

模拟结果能够较好地反映出新华河在该区域的水质变化情况, 基本符合河流削减污染物实际变化规律。且新华河全年从 4 月—10 月水质基本为劣 V 类, 若要满足全年水质达到 III 类水, 需进行分流或截流改造。但由于射洪城区经济和建设条件等多种原因无法彻底进行分流建设, 只能通过截流式改造来解决问题, 那么如何合理地选择截流倍数成为设计任务的重中之重。

4 截流倍数的优化设计研究

将 2.2 小节城中村和居民区 2 个区域的计算分质截流倍数 n_0 (城中村) = 5.7, n_0 (居民区) = 11.6, 代入 MIKE 21 模型中运行, 模拟的结果显示, COD、TP 分别在降雨事件的 4.26 d 和 5.93 d 后达到地表水 I 类标准要求, 满足新华河在 2030 年水质管理目标执行 III 类标准, 并且超越预期目标很多, 该结果表明截流倍数明显偏大, 这个结果与之前设想的一致, 过大的截污量不仅会增大截污干管的管径, 增加建设投资, 而且污水处理厂负荷、处理成本、运行费用等也会因此增加, 还会给污水处理厂的运行管理带来非常大的麻烦。

为寻求更加合理的截流倍数, 本文通过 MIKE 21 模型进行多情景模拟与校正, 结果如下。

(1) 当 n_0 (城中村) = 3.0, n_0 (居民区) = 6.0 时, COD、氨氮、TP 分别在降雨事件的 5.03、5.87 d 和 4.02 d 后达到地表水 III 类水体要求, 表明达标存在一定的滞后性。尽管存在延迟, 但与未采取截流措施相比, 污染物削减效果已显著提升。

模拟得出的“ n_0 (居民区) = 6.0”是基于特定研究条件下的模型优化结果, 其值略高于《室外排水设计标准》(GB 50014—2021) 建议的取值 (2~5), 建议在实际工程应用时, 可在本文推荐值基础上, 结合项目所在地规划要求、经济条件及规范限值综合论证、合理折减取用, 实现研究成果与现行国家标准的有效衔接。

(2) 对比更高截留倍数的情况, 当 n_0 (城中村) = 5.7, n_0 (居民区) = 11.6 时, 结果显示 COD、氨氮、TP 分别在降雨事件的 3.61、5.53 d 和 1.82 d 后达到地表水Ⅲ类水体要求, 研究发现在截流倍数翻倍的情况下, 污染物的达标速度并没有显著提升。

5 结论

本文针对四川省射洪市新华河合流制城区分质截留倍数的选取进行优化, 研究发现 MIKE21 模型能够结合水污染防治目标更合理地选择截留倍数, 本文为类似老旧城区合流制改造提供了一种可借鉴的技术路径。

(1) 由于居民区和城中村对应的溢流口对河流污染贡献率不同, 因此, 在不同污染源不同水质的区域, 采用分质截流非常必要。

(2) 公式法计算得到的分质截流倍数偏大, 通过软件模型法可以对截流倍数进行优化和修正, 为截流倍数的选取提供了新的思路。

(3) 在进行分质截流设计之前, 新华河在每年的 4 月—10 月基本为Ⅳ~劣Ⅴ类水体, 通过 MIKE 21 软件对最差 7 月份进行优化截留倍数后能有效地解决水质不达标的问题。

参考文献

- [1] 曹秀芹, 禹然, 洪国渊, 等. 基于雨水截流率的合流制改造措施研究[J]. 环境污染与防治, 2024, 46(8): 1213-1219.
Cao X Q, Yu R, Hong G Y, et al. Study on combined flow system retrofitting measures based on stormwater interception rate[J]. Environmental Pollution & Control, 2024, 46(8): 1213-1219.
- [2] 曾祥平, 刘杰, 丁文川, 等. 滇池环湖截污体系优选截留率及其影响因素研究[J]. 湖泊科学, 2024, 36(6): 1757-1768.
Zeng X P, Liu J, Ding W C, et al. Optimized interception rate of interception system around Lake Dianchi and influence factors[J]. Journal of Lake Sciences, 2024, 36(6): 1757-1768.
- [3] 郑岩杭, 李翠梅, 黄瑜琪. 合流污水系统最优截流倍数研究[J]. 水利水电技术, 2020, 51(10): 173-179.
Zheng Y H, Li C M, Huang Y Q. Study on optimal interception ratio of combined sewerage system[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(10): 173-179.
- [4] da Silva Burigato Costa C M, Leite I R, Almeida A K, et al. Choosing an appropriate water quality model—A review[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193: 38. DOI: 10.1007/s10661-020-08786-1.
- [5] 熊鸿斌, 冯晨潇. 基于 MIKE11 的合流制截流倍数优化[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2023, 46(3): 371-377.
Xiong H B, Feng C X. Study on optimal selection of interception ratio based on MIKE11 confluence system[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2023, 46(3): 371-377.
- [6] 辛小康, 陈花, 白凤朋. 水动力水质模型参数敏感性分析研究[J]. 水利水电快报, 2025, 46(10): 125-130.
Xin X K, Chen H, Bai F P. Study on sensitivity analysis of parameters in hydrodynamic and water quality models[J]. Water Resources and Hydropower Express, 2025, 46(10): 125-130.
- [7] 何强, 程呈, 夏鸿志远, 等. 合流制溢流污水扩散模拟及其对水环境的影响[J]. 西部人居环境学刊, 2025, 40(5): 9-15.
He Q, Cheng C, Xia H, et al. Study on diffusion simulation of combined sewer overflow and its impact on water environment[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2025, 40(5): 9-15.
- [8] 叶永, 陈雪倩, 汪旭. 基于 MIKE21 水质与水动力模型的清江流域水质改善措施影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2025(4): 14-19.
Ye Y, Chen X Q, Wang X. Research on the improvement of water quality based on MIKE21 water quality and hydrodynamic model[J]. China Rural Water and Hydropower, 2025(4): 14-19.
- [9] 覃银红, 肖杰, 许利, 等. 岷江(内江段)典型区域的非点源污染物入河系数估算及应用[J]. 四川环境, 2021, 40(4): 138-144.
Qin Y H, Xiao J, Xu L, et al. Estimation and application of non-point source pollutant inflow coefficient in typical area of Minjiang River(inner River section)[J]. Sichuan Environment, 2021, 40(4): 138-144.
- [10] 尹明波, 窦明, 刘玉倩, 等. 基于 XGBoost-MIKE21 耦合模型的缺资料水库富营养化模拟[J/OL]. 南水北调与水利科技(中英文), 2025-12-29. <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20251024.1525.002>.
Yin M B, Dou M, Liu Y Q, et al. Simulation of eutrophication in reservoirs with missing data based on the XGBoost-MIKE21 coupled model[J/OL]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2025-12-29. <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20251024.1525.002>.
- [11] 吴昊昊, 倪晋, 潘强. 基于 MIKE21 的沱湖水动力及水体更新时间模型[J]. 水电能源科学, 2025, 43(8): 47-51.
Wu H H, Ni J, Pan Q. Model of tuohu lake dynamics and water renewal time based on MIKE21[J]. Water Resources and Power, 2025, 43(8): 47-51.
- [12] 赵柯, 康瑞鹏, 王琪, 等. 基于 MIKE11 模型的南方典型雨源型河流水质模拟[J]. 净水技术, 2024, 43(12): 148-159.
Zhao K, Kang R P, Wang Q, et al. Water quality simulation for southern typical rain-source rivers based on MIKE11 model[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(12): 148-159.