

潮汐对三亚河污染物排放的影响分析

许世梁, 葛扬

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 潮汐式河道中污染组分复杂, 污染物浓度受水位变化影响大。以三亚河为研究对象, 针对其感潮河段的特征建立水动力水质耦合模型, 研究潮汐对河道的影响。分析潮位顶托下和无潮位顶托下 COD、NH₃-N、TP 等污染物的分布特征, 为后续综合整治方案的指定提供依据。经分析, 潮位顶托下的三亚河的 COD、NH₃-N 和 TP 的总量与无潮位顶托时的比值分别是 93%、115% 和 83%。潮汐对整年的污染物的释放影响较小。但是对东河污染物总量影响大于西河。

关键词: InfoWorks ICM; 模型; 潮汐; 污染特征

中图分类号: X52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0162-03

0 引言

水环境综合整治是一项系统性工程。河流水环境问题成因复杂, 涉及城区、河道岸上、水下、上下游、左右岸, 因此水环境综合整治具有流域性、系统性等特点。而潮汐式河道中污染组分复杂, 污染物浓度受水位变化影响大, 在潮汐作用下水体 COD、BOD、氨氮、磷等含量均能发生明显的波动变化^[1], 水体环境的波动性为河道治理带来了一定难度^[2]。在治理沿海城市的河流污染时, 需考虑潮汐的影响因素。

三亚地处东南沿海地区, 降雨丰沛, 水系复杂, 河道系统下游多受潮位影响, 涉及的污染原因也复杂多样。三亚市城市建设中也出现了城市排水不畅、水环境恶化等诸多问题。要实现河道水质达标、水环境改善的目标, 需要将项目范围内复杂的流域以及河道系统都纳入考虑。本文以三亚河作为研究对象, 运用 InfoWorks ICM 模型研究潮汐对河道 COD、NH₃-N、TP 含量的影响, 为综合整治措施的制定提供依据。

1 研究区域

三亚市由于地形地貌原因, 河流主要发源于三亚市北部山区, 自北向南注入南海, 从而自然形成了东、中、西部三个相对独立的水系, 即东部的藤桥河,

中部的三亚河和大茅水, 西部的宁远河。

三亚河位于三亚市中部, 流经区域为三亚市中心城市建设密集区和人口密集区。三亚河发源于三亚市北部的毫八刚岭, 进入市区后分成两条支流, 再流入南海, 如图 1 所示。西侧的支流为三亚西河, 河道全长约 31.5 km; 东侧的支流为三亚东河, 河道全长约 26.8 km。



图 1 三亚河位置图

三亚河具有防洪、排涝、供水、生态、航运、旅游等多方面功能, 整体水质介于地表水 III 类至 V 类之间, 上游水质优于下游。

2 模型的选择

目前常用的模型软件主要由美国环境保护署 (EPA) 研发的城市雨洪管理模型 SWMM 模型、丹麦水资源及水环境研究所 (DHI) 开发的 MIKE 模型以及英国 HR Wallingford 公司开发的 Infoworks ICM

收稿日期: 2023-07-31

作者简介: 许世梁(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事排水工程设计工作。

模型。

本次研究采用 Infoworks ICM 模型,该软件可将河道计算、管网计算、地面积水迁移计算、水质计算、LID 开发评估计算耦合在一个计算引擎内。同时,软件可与多种数据库兼容,并能自动推演缺少的系数数值,为模型数据导入提供便捷^[3]。

3 边界事件的构建

3.1 降雨事件确定

本研究采用三亚市暴雨强度公式:

$$q = \frac{1\ 058 \times (1+0.575 \lg P)}{(t+9)^{0.584}} \quad (1)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $L/(hm^2 \cdot s)$; P 为设计暴雨重现期, a ; t 为降雨历时, min 。

2017—2018 年降雨曲线见图 2。

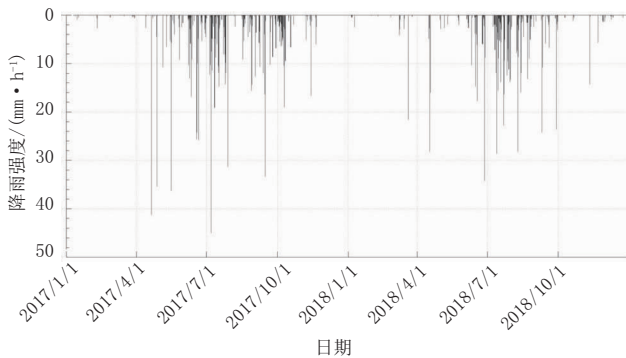


图 2 2017 年至 2018 年的降雨曲线图

本次模拟的降雨数据选取 2018 年一整年作为典型年的降雨。

3.2 水位事件确定

由于三亚河最终向南排入南海,受潮位顶托影响,需要在模型下游的设置水位边界。建立水位事件,在软件里输入了对应末端出水口(东河和西河两个入海口)的实测潮位数据曲线,详见图 3、图 4。

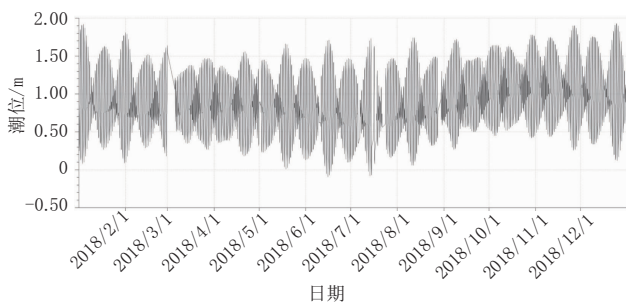


图 3 三亚西河末端出水口的潮位曲线图

4 模型的率定

采用纳什效率系数 (Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, NSE) 来评估模型模拟结果和实测流量的差异。

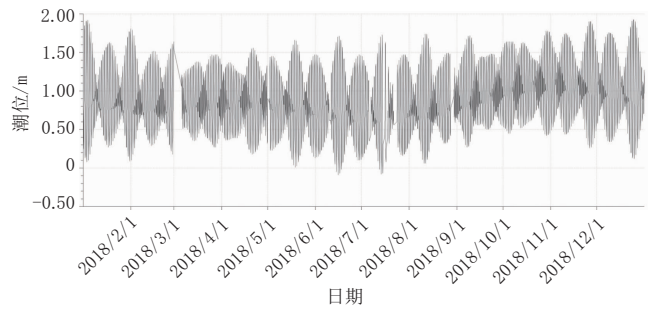


图 4 三亚东河末端出水口的潮位曲线图

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{ot} - Q_{mt})^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{ot} - \overline{Q_{ot}})^2} \quad (2)$$

式中: Q_{ot} 为观测值; Q_{mt} 为模拟值; $\overline{Q_{ot}}$ 为观测值的总平均。

E 取值为负无穷至 1, E 接近 1, 表示模拟值和实测值高度一致, 模拟效果极好。纳什系数介于 0.5~0.6 之间说明模型的质量充分可靠^[4-5], 如果纳什系数介于 0.65~0.86 之间, 则说明模型的质量非常好^[6]。

本次率定工作, 采用纳什效率系数评估河道模拟流量或水位过程线与监测数据的匹配程度, 通过结果反馈, 进一步率定优化模型^[7]。

该模型的纳什系数 $NSE=0.806$, 对西河区域 48 h 内的 COD、 NH_3-N 和 TP 的预测效果较好。受海洋的潮汐影响, 西河的水位随时间变化具有明显的周期性, 详见图 5。

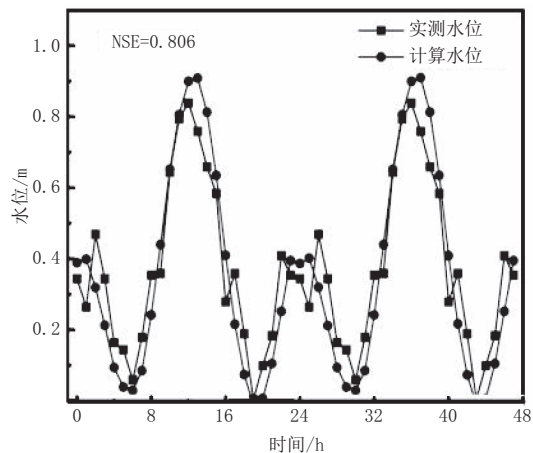


图 5 48 h 内西河的水位纳什系数法率定结果(以西河某时段为例)

5 潮汐对污染物排放的影响分析

潮汐和降雨是沿海城市河流的主要来源。因此, 在分析沿海城市的河流污染特征时, 有必要考虑潮汐的影响因素。

为了研究潮汐对污染物排放的影响, 模型做了 2 个对比工况: 一是入海口有实测潮位顶托; 二是入海口自由出流完全无顶托。将这 2 个工况各自进行模型模拟, 得到入海污染物的对比曲线。

5.1 潮汐对 COD 总量的影响

COD(化学需氧量)是一个重要的水质指标,用于反映水体中有机物的含量,无论是无潮位还是有潮位顶托,2条河流的COD总量都很高,对比西河无潮位时的COD总量5886.4t高于有潮位时的COD总量3785.7t,详见图6。因此,无论是东河还是西河,在有潮位情况下COD总量比无潮位情况下略有上下浮动。这表明潮汐可能对COD污染的扩散和输移产生了一定的影响。

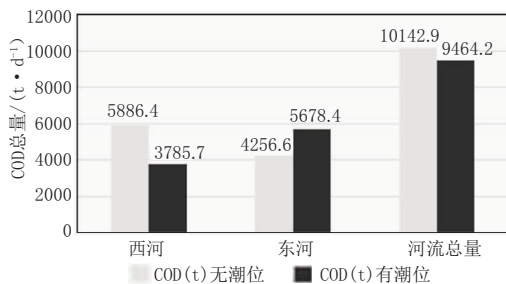


图6 有潮位和无潮位顶托的COD总量(单位:t/a)

5.2 潮汐对 NH₃-N 总量的影响

NH₃-N是衡量水体中有机氮含量的一个指标,其含量反映了水体中氮营养物的水平,对于水体生态系统的健康和稳定性具有重要影响。分析可知,无论是无潮位还是有潮位顶托,2条河流的NH₃-N含量都比较高,详见图7。

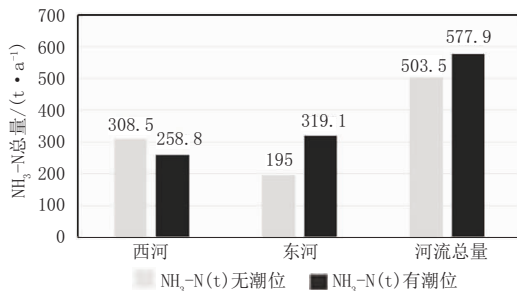


图7 有潮位与无潮位顶托时NH₃-N质量流量(单位:t/a)

这表明河流的水体中存在大量的氮,可能来自于农业、养殖业、城市污水等人类活动,也可能受到附近自然环境的影响。东河在有潮位顶托时的NH₃-N含量比无潮位顶托时要高,而西河则相反,这表明潮汐对河流NH₃-N污染的扩散和输移产生了一定的影响。

5.3 潮汐对 TP 总量的影响

无论是无潮位还是有潮位,两条河流的TP含量都比较高。西河和东河在有潮位时的TP含量对比无潮位时均有上下浮动,详见图8。这表明潮汐可能对河流TP污染的扩散和输移产生了一定的影响。

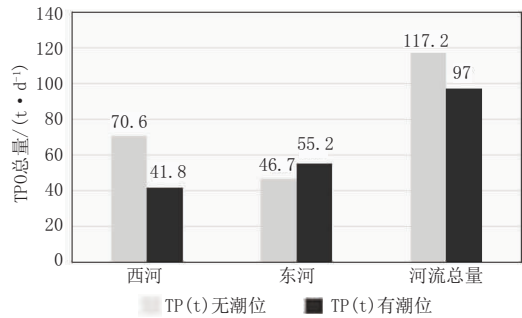


图8 有潮位与无潮位顶托时的TP质量流量(单位:t/a)

6 结论

经模拟分析,在潮位的顶托下,西河的COD、NH₃-N和TP三种污染物总量均低于无潮位顶托时,分别为无潮位顶托时的64%、84%、69%。而东河则相反,潮位顶托时,部分西河的水随潮水流入东河,最终通过东河流入大海。因此东河的COD、NH₃-N和TP三种污染物总量高于无潮位顶托时,分别为无潮位顶托时的133%、164%、118%。潮位顶托下的三亚河的COD、NH₃-N和TP的总量与无潮位顶托时的总量比值分别是93%、115%和83%。潮汐对整年的污染物的释放影响较小。

总体而言,潮汐顶托对整年的污染物排放影响并不大,但是对东河污染物总量影响大于西河。后续综合治理工程中应重点关注东河的水质。

参考文献:

- [1] 吴青梅,罗慧东,孙国萍,等.典型感潮内河涌水质污染特征调查研究[J].环境科学学报,2011,31(10):2210-2216.
- [2] 孙悦,马明磊,李天鸣,等.浅析潮汐式黑臭水体治理及挑战[J].广东化工,2023,50(9):180-181.
- [3] 姚双龙,基于MIKE_FLOOD的城市排水系统模拟方法研究[D].北京:北京工业大学,2012.
- [4] 陈妍,翟俊,杨旻,等.赤水河流域生态状况与变化特征综合评估[J].环境工程,2023,41(4):185-194.
- [5] 何伟,卢奕同.流域生态经济研究综述及展望[J].生态经济,2022,38(11):56-63.
- [6] 吴勇拓,李致家,戚振亚,等.基于水文模型的缺资料小流域设计洪水研究[J/OL].河海大学学报(自然科学版),1-10[2024-06-18].http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1117.TV.20230323.1031.002.html.
- [7] 唐志芳,郑涛,魏旭超,等.排水防涝模型在海绵城市建设效果评估中的应用——以嘉兴市城中片区为例[J].给水排水,2020,56(增刊1):602-608.
- [8] 郭鑫宇,程树辉,厉智成,等.面向流域水环境改善的潮汐河道闸门调度优化研究:以相互独立的圩内河网为例[J].环境工程,2023,41(3):49-56.