

长江泰州江段水环境模拟及水质可利用性分析

丁 玲 吴建强 逢 勇

(河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 利用点源连续排放的解析解对 FDS 格式二维水流水质模型精度进行分析 ,应用 FDS 格式二维水流水质模型对长江泰州江段的流态及污染带分布进行模拟并建立了排污混合带长度与排污量的响应关系曲线 ,同时根据模拟结果对泰州江段岸线水质状况进行了分析 .结果表明 :入江水道口向上游 3.6 ~ 7.2 km 段内及三江营至泰州引江河口段的水质状况良好 ,可以用作供水水源地的取水口 ;古马干河至如太运河河口段水质较差 ,需对沿岸排污口及沿线相应的污染源进行治理 .

关键词 长江泰州江段 水环境数值模拟 水质可利用性

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2005)01-0024-05

长江目前水质较好 ,但长江的水环境形势不容乐观 ,因长江沿岸地区城镇密集 ,大量工业废水、生活污水和港口码头废水排入长江水域 ,使沿江部分水域形成近岸污染带 ,水质呈逐年下降趋势 .如果不及时做好长江沿岸地区水源地的规划与保护工作 ,将很难保证今后该地区经济的可持续发展 .利用数学模型进行水环境数值模拟和预测已成为研究水环境问题的重要手段^[1,2] .为了动态地了解泰州地区岸线的水质状况并为该地区水源地规划与保护提供科学依据 ,本文首先用二维数学模型对长江泰州江段的流态及污染带分布进行模拟 ,然后根据模拟结果建立排污混合带长度与排污量的响应关系曲线并对泰州江段岸线的水质状况进行分析 .

1 研究区域

研究区域为长江江苏段五峰山至轮船沙的一段水域 ,全长约 48 km .该段泰州岸线上有 2 个供水水源地 ,即高港永安洲镇岸线内的泰州三水厂和高港永安洲镇同兴村的泰兴三水厂 ,如图 1 所示 .

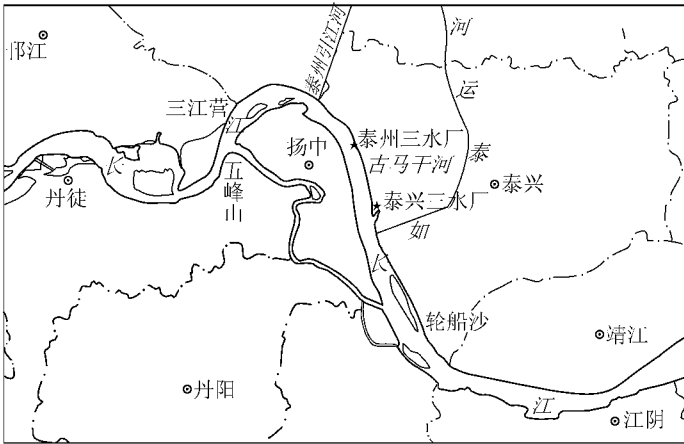


图 1 研究区域

Fig.1 Location of studied area

2 数学模型

2.1 控制方程

二维浅水方程和对流-扩散方程的守恒形式可表达为^[3]

∂q/∂t + ∂f(q)/∂x + ∂g(q)/∂y = b(q) (1)

q = (h ,hu ,hv ,hρ)

f(q) = (hu ,hu² + gh²/2 ,huv ,huρ)ᵀ

g(q) = (hv ,huv ,hv² + gh²/2 ,hvρ)ᵀ

b(q) = (0 ,gh(S₀ₓ - Sₓ) ,gh(S₀ᵧ - Sᵧ) ,∇(Dᵢ ∇(hρ)) + S/A - Khρ)ᵀ

式中 :q——守恒物理量 ;f(q)——x 向通量 ;g(q)——y 向通量 ;u ,v——x ,y 向垂线平均流速分量 ;h——水深 ;b(q)——源汇项 ;ρ——污染物的垂线平均质量浓度 ;S——源汇项 ;K——降解系数 ;A——单元面积 ;g——重力加速度 .

2.2 方程离散

对任意单元 Ω ,采用有限体积法对方程进行离散 ,得离散后的表达式^[3]

A Δq/Δt = - ∑_{j=1}^m T(Φ)⁻¹ f(q)lᵢ + b*(q) (2)

式中 :m——单元边总数 ;lᵢ——单元第 j 边的长度 ;T(Φ)⁻¹——坐标旋转逆变换矩阵 ;f(q)——法向通量 ,可通过解局部一维黎曼初值问题的外法向数值通量 f_LR 得到 ,本文用 FDS 格式计算该跨越控制体界面的法向数值通量 .

2.3 FDS 格式法向数值通量

局部一维黎曼初值问题可表达为^[3]

∂q̄/∂t + ∂f(q̄)/∂x̄ = 0 q̄ = q_L(x̄ < 0 ,t = 0) q̄ = q_R(x̄ > 0 ,t = 0)

采用 FDS 格式^[4] ,在任意区间上对通量差进行分裂^[5] ,则跨单元界面的法向数值通量 f 可分解为

f_LR = 1/2 [f_L(q̄) + f_R(q̄) - ∑_{i=1}^4 |λ̄_i| ᾱ_i R̄_i] (3)

λ̄_1 = ū + c̄ λ̄_2 = ū λ̄_3 = ū - c̄ λ̄_4 = ū

ᾱ_1 = 1/2c [(hu)_L - (hu)_R - λ̄_3 (h_L - h_R)]

ᾱ_2 = (hv)_L - (hv)_R - v̄ (h_L - h_R)

ᾱ_3 = (h_L - h_R) - ᾱ_1 ᾱ_4 = (hρ)_L - (hρ)_R - ρ̄ (h_L - h_R)

R̄ = (R̄_1 ,R̄_2 ,R̄_3 ,R̄_4) = [1 0 1 0 ; ū + c̄ 0 ū - c̄ 0 ; v̄ 1 v̄ 0 ; ρ̄ 0 ρ̄ 1]

3 FDS 格式精度分析

为了确保所用的二维水环境数学模型能较精确地模拟污染物质的输运过程 ,以理想条件(光滑平底 ,恒定均匀流)下点源稳定连续排放的简化模型对格式的计算精度进行验证 .

设计一平底矩形水槽 ,槽边某处有一稳定连续点源 ,排放源强为 15 g/s .解析解和数值解均采用相同的水力条件和水质参数 ,槽内水流恒定均匀 ,流速为 0.2 m/s ,紊动扩散系数 D = 0.1 m²/s .在槽内布置均匀的矩形网格 ,网格大小为 10 m × 10 m .二维对流-扩散连续源恒定状态的解析解为^[6]

ρ(x ,y) = m / (ū √(4πD x / ū)) exp[- y² ū / (4Dx)] (4)

式中 :m——排放源强 ;ū——纵向时均流速 .

分别用式(4)和模型一阶格式数值解进行计算,2种方法下距槽边5 m和15 m处污染物浓度随 x 方向距离变化情况如图2所示。从图2可见,数值解和解析解计算结果的相对误差在5%以下,这说明FDS格式具有较高的计算精度,可用于污染物稳定排放时的数值计算。

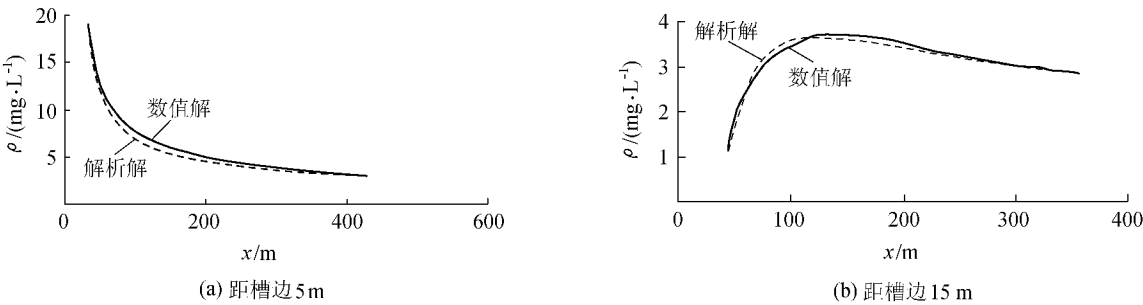


图2 数值解与解析解的比较

Fig.2 Comparison of numerical and analytic solutions

4 水环境数值模拟

4.1 网格布置

为了较好地拟合边界及水下地形,采用无结构网格并将泰州江段剖分为4 792个单元,5 242个节点,如图3所示。

4.2 排污口概化

根据泰州江段沿岸的工业污染源分布、污水处理厂分布以及入江支流的排污情况,将泰州沿线的污染源概化为扬子药业集团、古马干河、泰兴污水厂、泰兴化工开发区污水厂4个排污口。

4.3 参数选取

参照长江南京八卦洲段、靖江段、南通段的参数率定验证成果^[7],泰州江段主槽区单元初始糙率取为0.022,有芦苇等植物的江心洲糙率取为0.04。纵向及横向扩散系数分别取为60 m²/s和0.6 m²/s, COD_{Mn}衰减系数确定为0.3 d⁻¹。

4.4 计算结果

4.4.1 流速场数值模拟

泰州江段为感潮河段,本文分别对涨急、落急这2个特征时刻进行了水流模拟,结果见图4。从计算结果可知,流场空间分布基本合理,干流流速大于支流流速,主航道流速大于浅滩流速,江心洲流速很小。

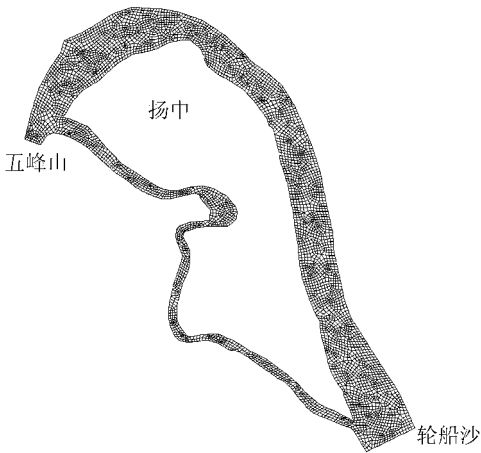


图3 研究区域网格

Fig.3 Grid of studied area

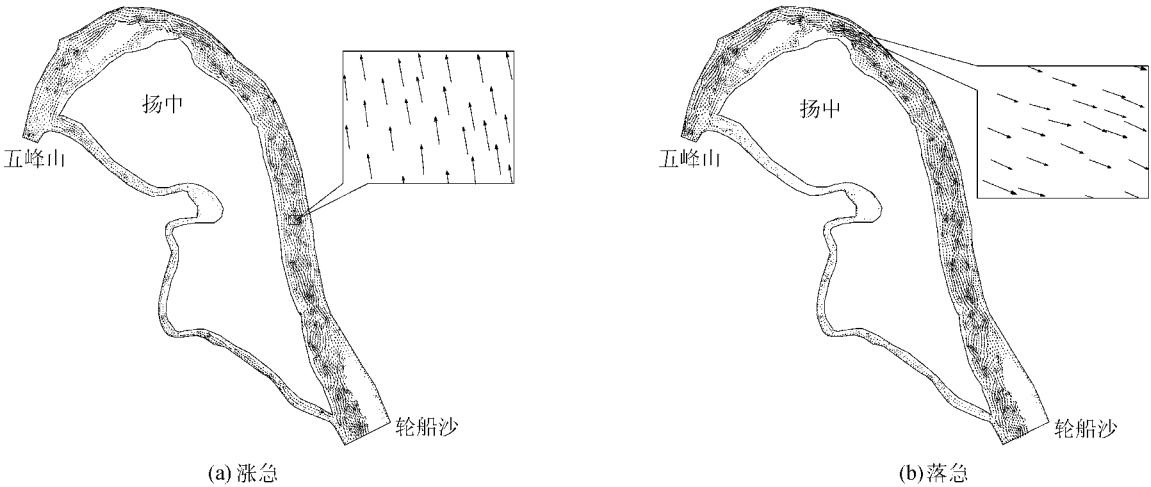


图4 泰州江段涨、落急流场及其局部放大

Fig.4 Tidal flow fields for Taizhou section and local amplification

4.4.2 排污混合带计算结果

对各概化排污口进行了排污混合带计算. 其中计算因子为 COD_{Mn} , 排污混合带定义为质量浓度增量大于 0.05 mg/L 的区域. 计算结果如图 5 所示.

4.4.3 排污混合带长度与排污量关系的建立

排污混合带的范围与排污口污染物的排放量、水文条件等都有关系. 建立排污口混合带长度与排污量关系曲线, 可以动态地了解排污口排污量变化对上、下游水质的影响程度. 因此, 设现状排污量为 P_0 , 并分别计算了 $0.5 P_0$, $1.0 P_0$, $1.5 P_0$, $2.0 P_0$, $2.5 P_0$ 条件下的排污混合带长度, 同时建立了各概化排污口排污量与混合带长度的关系曲线, 如图 6 所示.

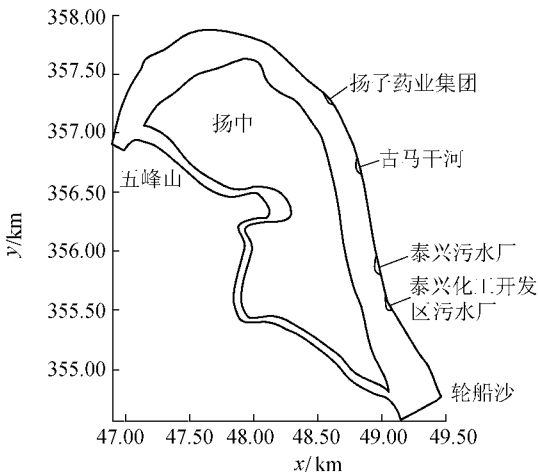


图 5 泰州江段污染带分布
Fig.5 Pollution zone of Taizhou section

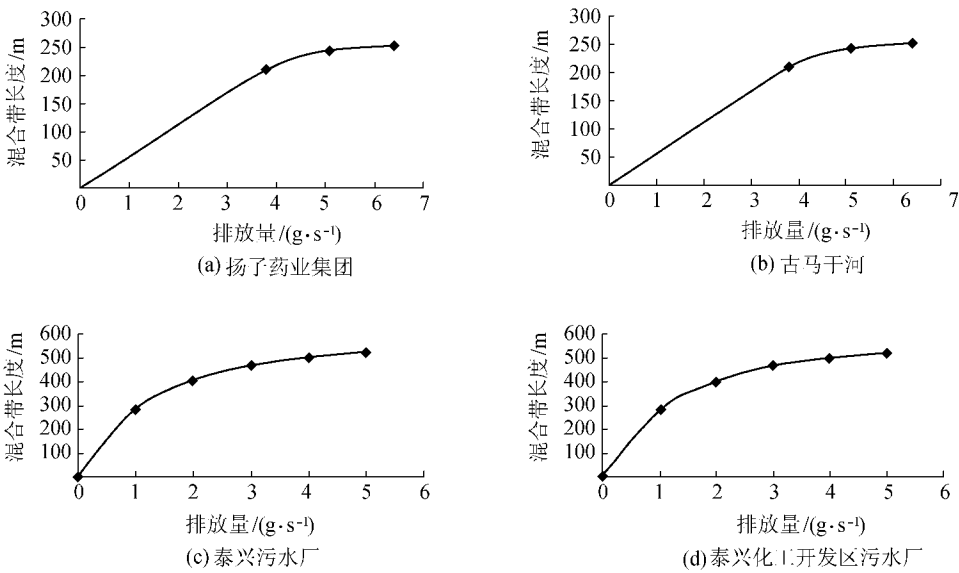


图 6 各排污口排放量与混合带长度关系曲线
Fig.6 Relationship between discharge amount and length of pollution zone at each discharge outlet

5 泰州江段岸线水质状况分析

入江水道口向上游 $3.6 \sim 7.2 \text{ km}$ 段内, 由于周边地区及上下游工业污染源很少, 周围无大的城镇, 生活污染源也不多, 水质状况良好.

三江营至泰州引江河口岸线段总长 14 km , 主要排污口为扬子药业集团排污口. 据计算, 扬子药业集团排污口产生的混合带长度约为 100 m , 对该段水质影响不大. 另外, 其下游的主要引江河支流的水质较好, 基本接近Ⅲ类水. 因此, 该段水质总体良好, 可用作供水水源地的取水口.

古马干河至如太运河河口段附近有 3 个排污口, 分别为古马干河、泰州污水处理厂和泰兴化工开发区污水处理厂排污口. 据计算, 这 3 个排污口产生的混合带长度分别为 402 m , 651 m , 405 m . 对该段水质有一定影响. 若要将该段用作供水水源地取水口, 则需对这 3 个排污口及沿线相应的污染源进行治理.

6 结 论

a. 用一理想条件下的简化模型对 FDS 格式二维水流水质模型的精度进行了分析, 结果显示, FDS 格式二维水流水质模型具有较高的精度, 能较好地模拟污染物的输运过程.

b. 利用 FDS 格式二维水流水质模型对长江泰州沿岸污染带的分布进行了模拟,并建立了排污混合带长度与排放量的响应关系曲线。

c. 模拟的污染带分布结果显示:泰州江段入江水道口向上游 3.6 ~ 7.2 km 段内及三江营至泰州引江河口段的水质状况良好,可以用作供水水源地的取水口;古马干河至如太运河河口段水质较差,若要将该段用作供水水源地的取水口,则需对沿岸排污口及沿线相应的污染源进行治理。

参考文献:

- [1] 逢勇,程炜,赵玉萍.鹤地水库文官至石角段水环境容量研究[J].河海大学学报(自然科学版),2003,31(1):76—79.
- [2] 韩龙喜,姚琪,张健.南通水系片水环境容量及污染综合治理研究[J].河海大学学报,1998,26(1):114—118.
- [3] 赵棣华.平面二维水流-水质有限体积法及黎曼近似解模型[J].水科学进展,2000,11(4):368—373.
- [4] ROE P L. Approximate Riemann solvers, parameter vectors, and difference schemes[J]. JCP, 1981, 43: 357—371.
- [5] ZHAO D H, SHEN H W. Approximate Riemann solvers in FVM for 2-D hydraulic shock wave modelling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(12): 692—702.
- [6] 张书农.环境水力学[M].南京:河海大学出版社,1988.67—70.
- [7] 逢勇.长江江苏段区域供水水源地水质可达性研究[J].水科学进展,2003,14(2):184—188.

Numerical simulation of water environment along Taizhou section of Yangtze River and usability analysis of water quality along the bank line

DING Ling, WU Jian-qiang, PANG Yong

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: The precision of the 2-D water flow and water quality model in the form FDS form was analyzed by use of the analytical solution for the continuous discharge of point-source pollution. Based on the analysis, the model was used for simulation of the flow pattern and pollution zone distribution for the Taizhou section of the Yangtze River, and the curve reflecting the relationship between the length of the pollution zone and the pollutant discharge was derived. The simulated results show that the water quality of the 3.6—7.2 km section from the river inlet towards the upstream and the section from Sanjiangying to the river mouth for water diversion in Taizhou City is satisfactory, and can be used as water supply sources, while the water quality from the Gumagan River to the mouth of the Rutai Canal is relatively bad, thus, some measures should be taken to control the discharge outlets and pollution sources along the river section.

Key words: Taizhou section of the Yangtze River; numerical simulation of water environment; usability of water quality