

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.021

潮汐河流排污口设置对水质的影响

李小虎¹, 韩龙喜², 吴云波¹, 焦 涛¹, 孙兆海¹

(1. 江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 以扬州市青山污水处理厂长江排污口的设置为例, 根据潮汐河流的水动力、污染物输移特征, 采用正交曲线网格离散计算区域, 采用有限体积法离散控制方程, 建立了非稳态平面二维水动力、水质数学模型, 采用 90% 保证率下的枯水设计径流量与大潮、小潮典型潮位过程的组合作为设计水文条件, 模拟分析了典型水文条件下, 污水排放对纳污水体水环境的影响, 旨在为排污口设置提供技术依据。

关键词 潮汐河流 排污口设置 二维水质模型

中图分类号 X506 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)06-0088-04

Influence of setup of drain outlet for tidal river on water quality

LI Xiao-hu¹, HAN Long-xi², WU Yun-bo¹, JIAO Tao¹, SUN Zhao-hai¹

(1. Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China; 2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : According to the hydrological and pollutant transport characteristics of tidal rivers, a 2-D unsteady water quality mathematical model was established by means of discretization of the computing region with the orthogonal curvilinear grid and discretization of the control equation with the finite volume method. A case study was conducted on the setup of the drain outlet of the Yangtze River at Qingshan Sewage Treatment Plant in Yangzhou City. The designed hydrological condition considered the combination of the low flow at a 90% guarantee rate and the typical courses of spring tide and neap tide. Under these typical hydrological conditions, the influence of pollutant drainage on the Yangtze River was simulated, providing a technical basis for the setup of drain outlets.

Key words : tidal river; setup of drain outlet; 2-D water quality model

随着社会、经济的快速发展, 排入江河湖库的废污水量不断增加, 污水排放口数量也相应的随之增加。污水排放口在受纳水域的空间设置合理与否, 直接影响受纳水体上、下游敏感目标的水环境质量^[1]。为了进一步加强排污口的监督管理, 保护和改善水资源环境, 实现水资源的可持续利用, 根据相关法律法规, 需要对入河排污口的设置进行科学论证^[2]。本文以扬州青山污水处理厂长江排污口设置为例, 通过建立非稳态平面二维水动力、水质数学模型, 模拟分析典型水文条件下污水排放对纳污水体水环境的影响, 旨在为排污口设置提供技术依据。

1 二维水动力、水质数学模型

1.1 控制方程组

采用沿水深平均的二维浅水方程来模拟受纳水域的水动力特征, 并采用平面二维对流扩散方程来模拟受纳水域污染物迁移转化特征, 建立的控制方程组为

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial H\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial H\bar{v}}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H\bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial H\bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial H\bar{u}}{\partial y} &= f\bar{v}H - gH \frac{\partial z}{\partial x} + \\ \frac{\tau_{xw}}{\rho} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(H\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(H\nu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\frac{\partial H\bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial H\bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -f\bar{u}H - gH \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\tau_{yw}}{\rho} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(H\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(H\nu_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial Hc}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial Hc}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x H \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y H \frac{\partial c}{\partial y} \right) - kHc + W \quad (4)$$

式中： x 为纵向距离； y 为横向距离； t 为时间； $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分别为纵向和横向的垂向平均流速； τ_{xw} 、 τ_{yw} 分别为沿纵向和横向的风应力； τ_{xb} 、 τ_{yb} 分别为沿纵向和横向的河床底应力； ρ 为水体密度； g 为重力加速度； ν_t 为紊动黏性系数； f 为柯氏力系数； H 为水深； z 为水位； h 为基准面到床面的距离， $H = z + h$ ； c 为污染物垂线平均浓度值； k 为降解系数，取为 0.1 d^{-1} ； W 为源项； D_x 为纵向分散系数； D_y 为横向分散系数。

1.2 定解条件

a. 初始条件。初始时刻计算区域水位取下游边界水位，流速、浓度增量取 0。

b. 边界条件。水动力边界条件为：上边界给定流量过程，下边界给定水位过程（图 1 和图 2），岸边界流速采用相对无滑动假设，岸边滩按动边界处理^[3]。

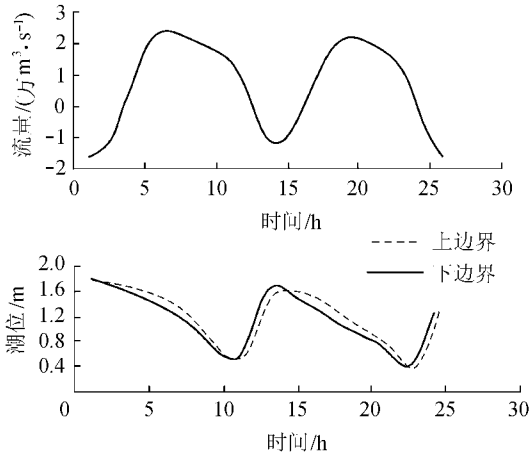


图 1 大潮上边界流量过程及下边界水位过程

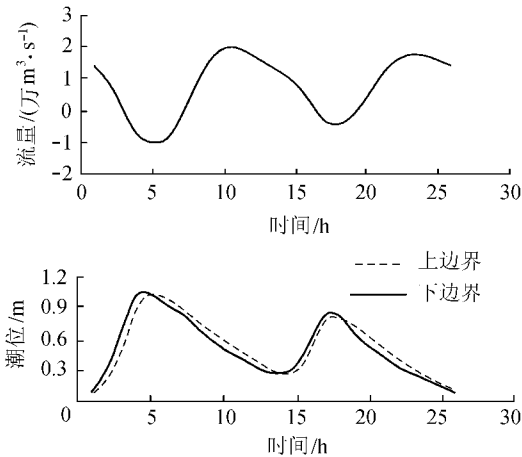


图 2 小潮上边界流量过程及下边界水位过程

水质边界条件为：入流边界浓度增量取 0，出流边界采用第 2 类边界条件，即浓度增量的法向导数为 0。

1.3 控制方程的离散及求解

采用 SIMPLER 计算程式^[4-5]，对水动力方程与水质方程进行耦合求解。

1.4 模型验证

选用均匀流二维扩散时间连续源的解析解对模型进行验证。解析解形式如下：

$$c(x, y) = \frac{m}{\sqrt{4\pi u E_y x}} \exp\left[-\frac{y^2 u}{4 E_y x}\right] \quad (5)$$

式中： m 为单位时间入河流量； u 为纵向流速； E_y 为横向扩散系数。

通过对比，模型计算结果与解析解吻合较好，表明较好地模拟了均匀流水质浓度分布。同样该模型也可用于模拟潮汐河流水质浓度分布。

2 扬州市青山污水处理厂概况及模拟工况

江苏省扬州市青山污水处理厂计划分 3 期实施，一期工程（2007 年）建成 $2.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 污水处理装置，中期工程（2010 年）建成后将达到 $5.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的处理规模，最终建成 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 污水处理装置（2020 年）。青山污水处理厂主要处理化学工业园和青山镇的生活污水、工业废水，使废污水经处理达到 DB 32939—2006《化学工业主要水污染物排放标准》中集中式工业污水处理厂一级标准和 GB 8978—1996《污水综合排放标准》表 4 中一级标准后排放。尾水沿沿江高等级公路向东，穿越潘家河、烟灯河及胥浦河后，沿胥浦河河堤在仪化公司废水排江口西侧 10 m 处排入长江。排污口位于胥浦河入江口下游 200 m，与堤肩垂直距离为 150 m。

采用 90% 保证率下的枯水设计流量与大、小潮典型潮位过程的组合作为设计水文条件，分析 2 万 t/d 废水排放情况下水质浓度的时空变化情况。

3 水动力模拟与分析

3.1 研究区域及网格布置

计算河道总长约 1.15 km ，平均河宽约 1.5 km 。采用正交曲线网格离散计算水域，共布设 346（纵向） $\times$ 75（横向）个节点，平均空间步长为 $20 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ，对排放口近岸网格适当加密。网格布置如图 3 所示。采用 1:10 000 的水下地形等值线图，读取各个计算节点的河底高程。

3.2 流场分析

大潮涨、落急时刻流速场见图 4 和图 5，小潮涨、落急时刻流速场见图 6 和图 7。模拟结果显示，由于冬季径流量较小，排污河段出现明显的涨落潮，与该河段水文特征吻合。排水口附近水流流向顺

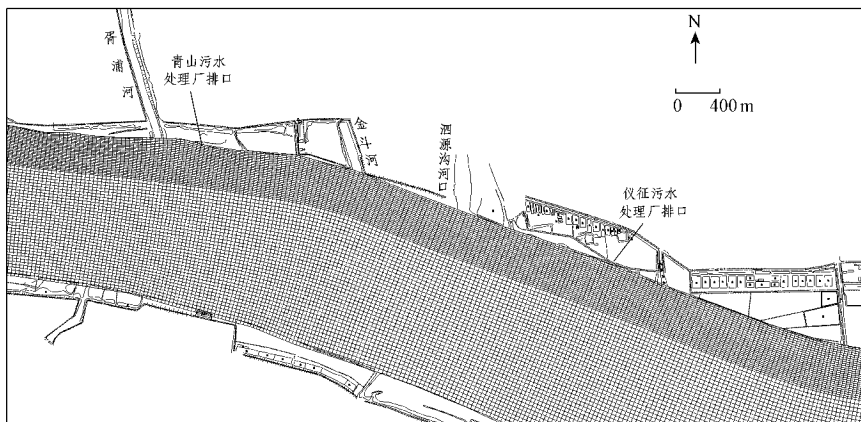


图3 计算网格布置图

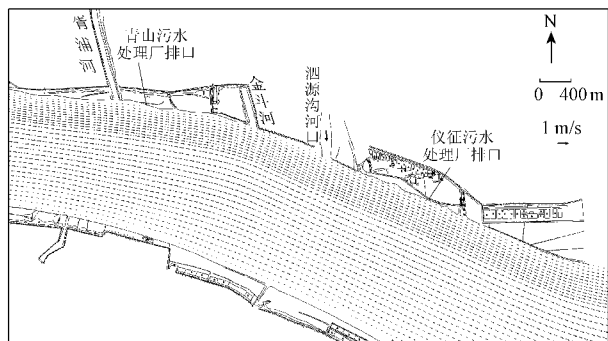


图4 大潮落急流场

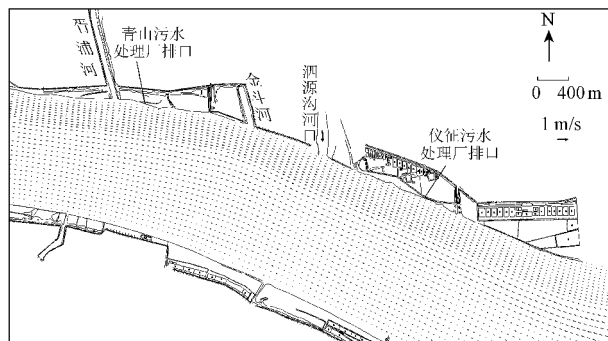


图7 小潮落急流场

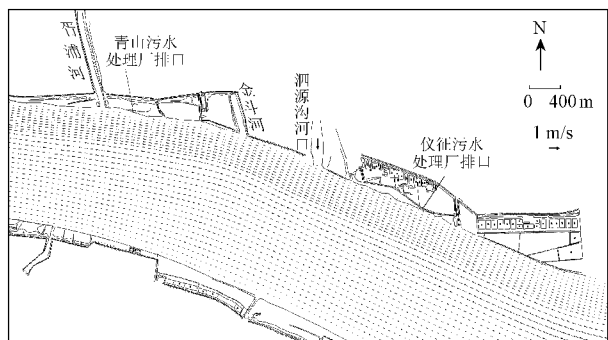


图5 大潮涨急流场

直,基本平行于岸线;无论大、小潮,其涨急和落急时刻的主槽流速均较大;涨憩和落憩时刻的岸边流速处于正逆交替阶段,岸边流速接近于零;主流槽较为稳定,涨、落变化不大。

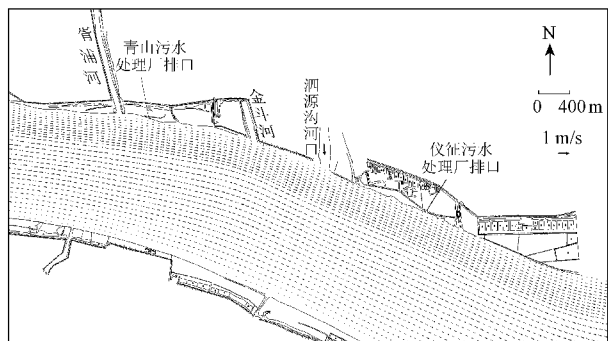


图6 小潮落急流场

4 排污口设置对水质影响的分析

4.1 污染物浓度增量模拟分析

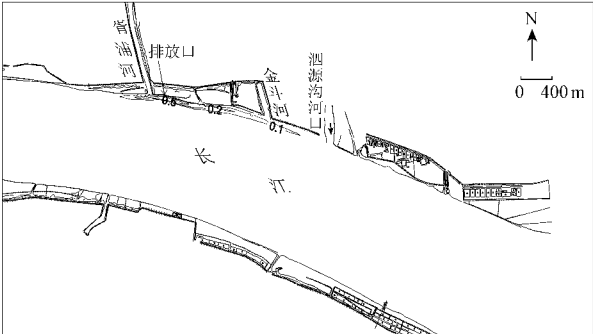
正常排放时,源强按设计出水水质估算,COD、苯排放量分别为 1.6 t/d、2 kg/d;事故排放时,COD、苯排放量分别为 4 t/d、10 kg/d。

模拟结果表明,计算区域水流涨落交替出现,呈明显的双向流特征。经处理后的尾水排入水体后,污染物随同水体作对流运输的同时,由于水流的紊动特性,污染物质同时沿横向扩散运输。随着流程的增加,由于扩散及自净的共同作用,污染物浓度不断减小。尤其小潮时的河流流速小,河流扩散能力较小,污染物较大潮时更不易扩散。

正常排放时,大、小潮排污口水域的 COD 浓度增量等值线空间分布情况分别见图 8 和图 9。模拟结果表明,大潮时,COD 质量浓度增量大于 0.5 mg/L 的分布范围约为纵向 585 m、横向 35 m;COD 质量浓度增量大于 0.1 mg/L 的分布范围为纵向 2 800 m、横向 80 m。仪征取水口水源保护区下边界断面距岸边 50 m 处的 COD 质量浓度增量仅为 0.002 mg/L、仪征取水口断面距岸边 50 m 处 COD 质量浓度增量为 0。这表明排放的污水对仪征取水口水源保护区影响极小,对仪征市及仪化公司取水口水质没有影响。小潮时,COD 质量浓度增量大于 0.5 mg/L 的分布范围约为纵向 1 000 m、横向 50 m;COD 质量浓度增量大于 0.1 mg/L 的分布范围约为纵向 4 000 m,横向 100 m。

表 1 COD 和苯质量浓度增量分布特征

断面	距岸 垂线/m	大潮			小潮		
		事故排放	正常排放	事故排放	事故排放	正常排放	事故排放
		$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{苯})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{苯})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{苯})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{苯})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
上游 500 m	20	0.270	0.000 14	0.000 68	0.338	0.000 17	0.000 84
	50	0.145	0.000 07	0.000 36	0.160	0.000 08	0.000 40
	100	0.033	0.000 02	0.000 08	0.030	0.000 02	0.000 08
上游 1 000 m	20	0.103	0.000 05	0.000 26	0.120	0.000 06	0.000 30
	50	0.085	0.000 04	0.000 21	0.088	0.000 04	0.000 22
	100	0.030	0.000 02	0.000 08	0.025	0.000 01	0.000 06
上游 2 000 m	20	0.010	0.000 01	0.000 03	0.015	0.000 01	0.000 04
	50	0.028	0.000 01	0.000 07	0.023	0.000 01	0.000 06
	100	0.028	0.000 01	0.000 07	0.015	0.000 01	0.000 04
上游 4 500 m	20	0.002	0	0	0	0	0
仪征水源保	50	0.004	0	0	0	0	0
护区下边界	100	0.003	0	0	0	0	0
下游 500 m	20	1.235	0.000 62	0.003 09	2.085	0.001 04	0.005 21
	50	0.303	0.000 15	0.000 76	0.468	0.000 23	0.001 17
	100	0.048	0.000 02	0.000 12	0.050	0.000 03	0.000 13
下游 1 000 m	20	0.453	0.000 23	0.001 13	0.755	0.000 38	0.001 89
	50	0.148	0.000 07	0.000 37	0.220	0.000 11	0.000 55
	100	0.025	0.000 01	0.000 06	0.023	0.000 01	0.000 06
下游 2 000 m	20	0.240	0.000 12	0.000 60	0.363	0.000 18	0.000 91
	50	0.228	0.000 11	0.000 57	0.310	0.000 16	0.000 78
	100	0.070	0.000 04	0.000 18	0.070	0.000 04	0.000 18



协调管理能力较弱,对于地区、部门之间产生的分歧,只能协商解决,很难就最终的解决方案做出决策,在落实执行方面也缺乏充分的约束机制。

方案2是利用太湖流域管理局在跨省界水资源管理、水环境综合治理等方面的职能和经验,协调处理沿湖地区之间、部门之间在淀山湖管理方面的分歧,实现流域管理和行政区域管理相结合,体现了相关各方责、权、利的合理分配。但方案2涉及淀山湖的管理权限调整,实行起来会有一定的行政阻力,协调授权时间较长,同时,短期内也将极大增加流域管理机构的工作量。

方案3中,淀山水污染防治办公室作为法定的行政主体,具有法律法规赋予的管理职权,其协调能力、决策效力和执行效果都将提高,成为真正的决策管理机构,从而建立起权威、高效、协调的区域统一管理体制。但成立淀山水污染防治办公室要完成淀山湖上下游各地的利益和职责的协商和谈判,这需要一定的时间,同时,作为法定的行政主体列入国家的行政序列存在一定困难,因为政府是否愿意成立这样的机构还是一个问題。

4 建 议

任何新制度的实施,都是对已有制度的改变和挑战,涉及权力和利益的重新分配,往往会遇到一定的阻力。在淀山湖跨省管理体制的改革中,建议可由易至难,充分利用已有的太湖流域水环境综合治理省部际联席会议制度平台,尽快建立淀山湖联席会议制度,先搭建协商平台,形成协调解决问题机

制。在联席会议制度实施一定时间后,对其效果进行评估,若效果不理想,可实施方案2,采取交由利益各方都能接受的第三方太湖流域管理局实施统一管理的方式。从长远来看,成立淀山水污染防治办公室,建立权威、高效、协调的管理体制,从整个区域、流域的角度来考虑淀山湖的开发、利用与保护,不仅是淀山湖管理体制改革发展方向,也是跨省界湖泊管理体制改革的必然选择。

参考文献：

[1] 程曦,李小平. 淀山湖氮磷营养物 20 年变化及其藻类增长响应[J]. 湖泊科学,2008,20(4) :409-419.
[2] 路云霞,吴长年,黄戟,等. 由‘ 无锡太湖水华事件 ’论太湖富营养化的防治[J]. 生态经济,2008(2) :154-157.
[3] 陶希东. 美加五大湖地区水质管理体制 :经验与启示[J]. 社会科学,2009(6) :25-32.
[4] 王秋静,耿晓娜,林栋. 日本琵琶湖治理的工程措施对太湖的启示[J]. 水利经济,2005,23(5) :41-44.
[5] 熊向阳. 建立流域管理与行政区域管理相结合的水资源管理体制的相关问题探讨[J]. 水利发展研究,2006,6(6) :4-9.
[6] 齐佳音,李怀祖,陆新元. 中国水资源管理问题及对策[J]. 中国人口·资源与环境,2000,10(4) :63-66.
[7] 冯彦,杨志峰. 我国水管理中的问题与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(4) :37-41.
[8] 王勇. 论流域水环境保护的府际治理协调机制[J]. 社会科学,2009(3) :26-35.
[9] 陈荷生. 面向 21 世纪的太湖流域水资源统一管理[J]. 水利水电科技进展,2000,20(3) :2-5.

(收稿日期 2010-07-27 编辑 彭桃英)

(上接第 91 页)与本底浓度叠加后满足 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》功能区要求的Ⅱ类水标准值,因此,与现状水质叠加后,尾水排放对仪征工业用水区、仪征市取水口及仪化取水口的水质影响较小。

5 结 语

根据潮汐河流的水动力、污染物输移特征,采用正交曲线网格离散计算区域,采用有限体积法离散控制方程,建立了非稳态平面二维水动力、水质数学模型,模拟了典型水文条件下排污口设置对纳污水体的影响。模拟结果表明,潮汐河流受上游来水、下游潮汐的双重影响,水流呈周期性涨落,排污口附近的污染物随着水流往复回荡。分析典型设计水文条

件下的污水排放对纳污水体水环境的影响,可为排污口设置论证提供技术依据。

参考文献：

[1] 黄程,邓春光,李晓,等. 涪陵污水处理厂排污口的污染带特性分析[J]. 中国给水排水[J],2009,25(2) :105-108.
[2] 李旭春,孔庆辉. 入河排污口设置论证存在的问题[J]. 东北水利水电,2008,26(3) :57-58.
[3] 常文婷. 非稳态水流环境中污染物中污染源反演[D]. 南京 河海大学,2008.
[4] 韩龙喜. 求解守恒形式的二维浅水方程的 SIMPLE 类程式[J]. 水利学报,2000(7) :91-95.
[5] 金忠青. N-S 方程的数值解和紊流模型[M]. 南京 河海大学出版社,1989 :112-132.

(收稿日期 2010-05-26 编辑 彭桃英)