

# 长江扬州段污水处理厂退水影响预测

吴小伟, 赵林林, 谈 立, 经正彤

(江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225002)

**摘要:**为定量预测扬州城区 2 个大型污水处理厂排污口(总规模 46 万  $\text{m}^3/\text{d}$ )尾水排放对水环境的影响,应用 MIKE11 和 MIKE21 水动力水质模型,同时结合城区河网水动力水质模型,选取化学需氧量( $\text{COD}_{\text{cr}}$ )和氨氮为评价指标,分别对尾水正常排放和事故排污进行数值模拟。结果表明:正常排放时,对长江和大运河均无明显影响;当 2 个污水厂均发生事故排污时,大运河整体受到严重污染,长江岸边近 2.4km 水域会受到影响,污染物浓度及影响范围均增大。预测结果量化了污水厂事故排污的影响范围和影响强度,为排污口优化布局和管理提供科学依据。

**关键词:**污水厂退水;感潮江段;水动力-水质模型;定量预测

中图分类号:X522

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)09-0014-04

## Prediction of influence on the recession flow of sewage treatment plant in Yangzhou Section of the Yangtze River

WU Xiaowei, ZHAO Linlin, TAN Li, JING Zhengtong

(Yangzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225002, Jiangsu)

**Abstract:** In order to quantitatively predict the influence of tail water discharge on the water environment of the two large sewage treatment plants in the urban area of Yangzhou (total processing scale of 460000  $\text{m}^3/\text{d}$ ), applying the MIKE11 and MIKE21 hydrodynamic water quality models, combined with the urban river network hydrodynamic water quality model, the chemical oxygen demand ( $\text{COD}_{\text{cr}}$ ) and ammonia nitrogen were selected as the evaluation indicators to simulate the normal tail water discharge and accident discharge. The simulation result showed there was no significant effect under the condition of normal discharge. However, when the two sewage treatment plants both had accidents, the Grand Canal as a whole was seriously polluted, the nearly 2.4km water area along the Yangtze River would be affected, and the pollutant concentration and influence range would be increased. The predicted results quantified the influence scope and intensity of the accident discharge of sewage treatment plant, and provided scientific basis for the optimized layout and management of sewage outlet.

**Key words:** recession flow of sewage treatment plant; tidal reach; hydrodynamic water quality model; quantitative prediction

随着长江流域经济社会的快速发展以及污水接管率的不断提高,长江沿岸有众多污水处理厂尾水通过支流间接入江,流域废污水排放量呈逐年上升趋势<sup>[1]</sup>。污水处理厂对改善区域水环境起到了至关重要的作用,但尾水排放对长江及其支流水质

却会产生不容忽视的影响。严格排污口管理,优化沿江污水处理厂排污口布局,是新形势下做好长江排污口管理的重要举措<sup>[2]</sup>。

扬州市区现状有 2 个污水处理厂(总规模 46 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ),负责收集处理扬州市区所有的工业企

收稿日期:2018-10-15

基金项目:扬州市沿江区域重点河湖水质改善提升方案(专项课题)

作者简介:吴小伟(1980—),男,高级工程师,主要从事水环境监测与分析评价工作。

业废水及生活污水,排污口均位于大运河扬州过渡区,距入江口分别为 1.0 km 和 5.5 km。文献中已有多位学者应用不同模型对潮汐江段的污水影响预测进行了研究<sup>[3-13]</sup>,但是针对扬州城区段的潮位特征及如此大规模的污水排放影响尚未有人预测。本文以扬州市区这 2 个大型污水处理厂为对象,利用 MIKE11 和 MIKE21 水动力水质模型,同时结合城区河网水动力水质模型,预测尾水排放对受纳水域大运河和长江的影响程度,预测结果为加强长江入河排污口管理,保障长江扬州段饮水安全提供科学依据。

## 1 模型构建

大运河为扬州市城区骨干河道,东与淮河入江水道衔接、西与城区众多河道相连、南接长江、北与京杭大运河及邵伯湖贯通。综合考虑排污口所在水域水系特征,选取扬州城区整个大水系为本模型构建的主体。模型组成为:基于 MIKE11 一维水动力水质模型构建的城区河网水动力水质模型和 MIKE21 二维水动力水质模型。MIKE 软件模型便于处理复杂边界条件,具有较好的计算精度<sup>[14-15]</sup>。

### 1.1 一维水动力水质数学模型

#### 1.1.1 水动力模型控制方程组

水动力模型的基本控制方程为 Saint-Venant 方程组,方程组的离散采用 Abbott-Ionescu 六点隐式格式。控制方程组如下:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

式中: $x$  为空间坐标, m;  $t$  为时间坐标, s;  $Q$  为断面流量,  $m^3/s$ ;  $h$  为水位, m;  $A$  为断面过流面积,  $m^2$ ;  $R$  为水力半径, m;  $B_s$  为水面河宽, m;  $q$  为单位河长的旁侧入流流量,  $m^3/s/m$ ;  $C$  为谢才系数;  $g$  为重力加速度,  $m^2/s$ ;  $\alpha$  为垂向速度分布系数。

#### 1.1.2 水质模型控制方程组

水质模型的控制方程为一维对流扩散方程,方程如下:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2 q \quad (3)$$

式中: $x$  为空间坐标, m;  $t$  为时间坐标, s;  $C$  为物质浓度, mg/L;  $A$  为过水断面面积,  $m^2$ ;  $C_2$  为源汇项, mg/L;  $K$  为衰减系数,  $1/d$ ;  $D$  为扩散系数,  $m^2/s$ 。

#### 1.1.3 离散和求解控制方程

离散控制方程采用时间和空间中心隐式格式

进行,控制方程的离散形式如下:

$$\frac{V_j^{n+1/2} C_j^{n+1}}{\Delta t} - \frac{V_j^{n+1/2} C_j^n}{\Delta t} + T_{j+1/2}^{n+1/2} - T_{j-1/2}^{n+1/2} = q_j^{n+1/2} C_j^{n+1/2} - V_j^{n+1/2} KC_j^n \quad (4)$$

式中: $n$  为时间步数;  $j$  为网格节点数;  $\Delta t$  为时间步长;  $C$  为污染物浓度, mg/L;  $T$  为通过控制体的输运量。

### 1.2 二维水动力水质数学模型

长江扬州段为江面较宽,水面宽度远远大于水深。属感潮河段位于潮流界与潮区界之间,常年以顺流为主。

#### 1.2.1 水动力模型

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[ \frac{\partial (g_\eta HU)}{\partial \xi} + \frac{\partial (g_\xi HV)}{\partial \eta} \right] = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial HU}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[ \frac{\partial g_\eta HUU}{\partial \xi} + \frac{\partial g_\xi HUV}{\partial \eta} \right] +$$

$$\frac{HV}{J} \left[ U \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} - V \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} \right] = - \frac{Hg}{g_\xi} \frac{\partial z}{\partial \xi} + \frac{\tau_{s\xi} - \tau_{b\xi}}{\rho} + fHV \quad (6)$$

贴体坐标下的浅水方程为:

$$\frac{\partial HV}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[ \frac{\partial g_\eta HUV}{\partial \xi} + \frac{\partial g_\xi HVV}{\partial \eta} \right] +$$

$$\frac{HU}{J} \left[ V \frac{\partial g_\eta}{\partial \xi} - U \frac{\partial g_\xi}{\partial \eta} \right] = - \frac{Hg}{g_\eta} \frac{\partial z}{\partial \eta} + \frac{\tau_{s\eta} - \tau_{b\eta}}{\rho} + fHU \quad (7)$$

式中: $H$  为水深, m;  $t$  为时间坐标, s;  $\xi, \eta$  分别为经向和纬向坐标, m;  $f$  为柯氏系数;  $U, V$  分别为纵向和横向流速, m/s;  $g$  为重力加速度,  $m^2/s$ ;  $\tau_{s\xi}, \tau_{s\eta}, \tau_{b\xi}, \tau_{b\eta}$  为水面和河床切力分量;  $J, g_\xi, g_\eta$  为坐标变换系数。

#### 1.2.2 水质模型

二维对流扩散方程:

$$\frac{\partial Hc}{\partial t} + \frac{1}{J} \left[ \frac{\partial g_\eta Huc}{\partial \xi} + \frac{\partial g_\xi Hvc}{\partial \eta} \right] =$$

$$\frac{1}{J} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( HD_\xi \frac{g_\eta}{g_\xi} \frac{\partial c}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( HD_\eta \frac{g_\xi}{g_\eta} \frac{\partial c}{\partial \eta} \right) \right] - KHc + S \quad (8)$$

式中: $D_\xi, D_\eta$  分别为纵向和横向的分散系数;  $S$  为污染物的源项或汇项;  $c$  为污染物的浓度, mg/L;  $K$  为污染物降解系数; 其它符号意义同前。

#### 1.2.3 定解条件

(1) 边界条件

岸边界:  $U_n = 0$  (岸边界的法向流速为零); 岸边界的法向浓度梯度为零。

水边界:上游边界及下游边界均采用潮位过程线。

## (2) 初始条件

$u(x, y, 0) = u_0(x, y); v(x, y, 0) = v_0(x, y); z(x, y, 0) = z_0(x, y); C(x, y, 0) = C_0(x, y)$ , 其中  $C_0$  为计算初始时刻各点的浓度值。

## 1.3 城区河网水动力水质数学模型

### 1.3.1 城区河网概化

扬州城区河网密度较高,属于典型的平原河网地区,水系条件优越,江河湖库水系连通性较好。因大运河与城区河网水力联系较强,故将整个城区河网进行模型概化,河网概化结果见图 1。



图 1 城区河网概化图

### 1.3.2 边界条件和初始条件

本次模型率定、检验和计算过程中,上游边界采用流量过程,下游边界采用水位过程。其中入流边界主要是扬州闸,出流边界主要是泗源沟闸和瓜洲闸。

### 1.3.3 时间和步长

通过反复多次调试,本次水动力模型的时间步长选取 30 s,存储时间步长选取 60 min,空间步长选用的范围在 200 ~ 500 m 之间。

## 1.4 水文设计条件

大运河与长江的水量交换受船闸开启制约,该运河段的常年主导流向为自北至南入江,该河段的流量为  $8.84 \text{ m}^3/\text{s}$ 。排污口所在河段上游来水水质近 3 年  $\text{COD}_{\text{cr}}$  的浓度范围为  $10.2 \sim 15.9 \text{ mg/L}$ ,氨氮的浓度范围为  $0.18 \sim 0.76 \text{ mg/L}$ 。本次预测选取  $\text{COD}_{\text{cr}}$  浓度  $15.9 \text{ mg/L}$ ,氨氮浓度  $0.76 \text{ mg/L}$  进行计算。

通过对长江大通站 1950 ~ 2002 年实测最小月平均流量系列进行分析,得到 90% 保证率的最小月平均流量为  $6450 \text{ m}^3/\text{s}$ 。长江上游来水浓度选取近 3 年实测最大值,  $\text{COD}_{\text{cr}}$  浓度  $10.0 \text{ mg/L}$ ,氨氮浓度  $0.24 \text{ mg/L}$ 。

## 1.5 预测范围

本次预测受纳水体为大运河和长江,确定主要

预测计算范围为大运河下游施桥船闸至六圩入江口段 (6 km) 和长江扬镇汽渡至沙道口段 (10 km)。

## 2 排污源强确定

### 2.1 排污口概况

长江扬州城区段主要的排污口为扬州市区的 2 个污水处理厂,汤汪污水处理厂处理规模  $26 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,排污口位于大运河施桥船闸下游 500 m,距入江口约 5.5 km;六圩污水处理厂处理规模  $20 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,排污口位于大运河施桥船闸下游京杭运河大桥北侧 37.5 m,距入江口约 1 km。

### 2.2 正常排放源强

现状 2 个污水处理厂排放均执行一级 A 标准限值,从近 2 年的实测结果来看,汤汪污水处理厂出水水质  $\text{COD}_{\text{cr}}$  最大值为  $41.2 \text{ mg/L}$ ,最小值为  $34.4 \text{ mg/L}$ ,氨氮最大值为  $2.75 \text{ mg/L}$ ,最小值为  $1.39 \text{ mg/L}$ ;下游的六圩污水处理厂  $\text{COD}_{\text{cr}}$  最大值为  $41.8 \text{ mg/L}$ ,最小值为  $35.6 \text{ mg/L}$ ,氨氮最大值为  $2.80 \text{ mg/L}$ ,最小值为  $1.31 \text{ mg/L}$ 。

### 2.3 事故排放源强

根据 2 个污水处理厂现有工程运行流程及污水处理厂突发事件应急预案,现有工程分组运行 (每两组一批),间隔时间 2 h。中控室设有出水在线监测系统,一旦发现出水水质超出设计出水水质,系统自动报警,立即停止进水,潜在超标的污水继续留在池中进入下一处理周期。

本次预测选取 2 种事故情形:一是只有 1 个污水厂发生事故排污,选取规模较大的汤汪污水厂;二是 2 个污水厂均发生事故排污。事故排放源强选取 2 组 SBR 池出水超标,浓度选取略低于进水浓度,  $\text{COD}_{\text{cr}}$   $250 \text{ mg/L}$ ,氨氮  $25 \text{ mg/L}$ ,事故持续时间 2 h。

## 3 水质影响预测

### 3.1 预测结果

在已确定的水文设计条件下,结合预测方案中确定的源强条件,采用 MIKE 软件进行预测计算,不同工况条件下  $\text{COD}_{\text{cr}}$  和氨氮浓度分布情况见图 2。

### 3.2 水质影响分析

大运河扬州过渡区水质目标为 III 类 ( $\text{COD}_{\text{cr}}$  目标值为  $20 \text{ mg/L}$ ,氨氮目标值为  $1.0 \text{ mg/L}$ ),长江水质目标为 II 类 ( $\text{COD}_{\text{cr}}$  目标值为  $15 \text{ mg/L}$ ,氨氮目标值为  $0.5 \text{ mg/L}$ ),超过水质目标的水域定为污染带。

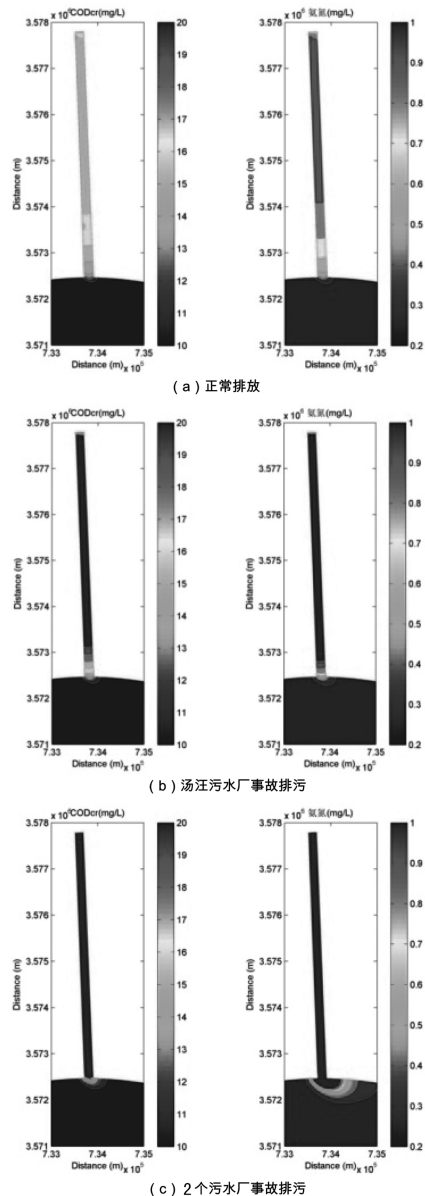


图2 不同工况下  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和氨氮浓度分布图

预测结果表明,现状排污情况下大运河上的污染带为汤汪污水处理厂和六圩污水处理厂排水口 100 m 范围内;长江上的污染带主要集中在近岸边,纵向长度约 300 m,大运河入江口上游 100 m 至下游 200 m 范围内。

仅 1 个污水厂发生事故排污的情况下,污染物对大运河(汤汪污水厂排水口至下游 4.5 km 范围)造成了严重污染;对长江近岸边水域也会带来一定的影响,污染带长度纵向约为 900 m,大运河入江口上游 250 m 至下游 650 m 范围内,横向污染带长度约 200 m。当 2 个污水厂均发生事故排放时,整个大运河水域污染较严重,水体基本丧失原有功能;长江上的污染带长度纵向约 2400 m,大运河入江口

上游 500 m 至下游 1900 m 范围内,横向污染带长度约 700 m。

#### 4 排污口对长江水环境影响

因扬州城区所有污水均接入这 2 个污水处理厂,处理规模较大且 2 个排污口均在大运河入江段。事故排放时大运河水质严重下降,导致高浓度污水排入长江,横向在距岸边 200 ~ 700 m 范围内形成污染带,污染带纵向跨度最长达到 2400 m。因 2 个污水厂总规模达到 46 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,一旦发生事故排放极易在入江口形成污染物高浓度区,影响上下游水环境,破坏局部水生态系统。此外,大运河入江口上游 10.7 km 处为扬州饮用水源区取水口,下游 33 km 处为三经营水源取水口,同时也是南水北调调水水源取水口,事故排污势必对饮水安全带来一定的隐患。因此污水厂应加强严格管理,杜绝事故排污,保证处理设施良好运行。

#### 5 结论

根据长江扬州城区段污水处理厂分布现状,结合城区河网水力水质模型和二维非稳态水流水质模型。利用 MIKE 软件,模拟出扬州城区长江段典型水文条件下的水流过程和相应的排污口污染物输运扩散过程。模型计算精度较高,利用该模型预测排污口退水对环境的影响范围和程度,为排污口优化布局提供技术支撑。

现状排污口尾水排放规模较大(达 46 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ),且均集中在大运河入江段,正常排放时对水环境及饮水安全无明显影响;事故排污时将引起局部污染高浓度区,不利于扩散,长江岸边纵向污染带最严重将至 2.4 km 水域,对长江水环境将造成不容忽视的影响,应杜绝事故排污。

#### 参考文献:

- [1] 邱光胜,王波,黄俊. 新形势下做好长江入河排污口管理的思考[J]. 人民长江, 2017, 48(11): 11-15.
- [2] 涂建峰,王孟,肖文文,等. 长江流域入河排污口管理实践与探讨[J]. 人民长江, 2016, 47(15): 5-8.
- [3] 张龙江,朱维斌. 长江南通段污染带影响因素研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(1): 36-38.
- [4] 李小虎,韩龙喜,吴云波,等. 潮汐河流排污口设置对水质的影响[J]. 水资源保护, 2011, 27(6): 88-91.

(下转第 22 页)

(上接第 17 页)

- [5] 钱小娟, 肖玉兵, 陈艳. 长江南通段大型排污口退水影响预测[J]. 水资源保护, 2013, 29 (2): 48-52.
- [6] 逢勇, 赵棣华, 姚琪, 等. 长江江苏段区域供水水源水质可达性研究[J]. 水科学进展, 2003, 14 (2): 184-188.
- [7] 张丽琼, 崔广柏, 肖俊英. 长江江苏段的水质模拟[J]. 水文, 2002, 22 (3): 10-13.
- [8] 刘颖, 李勇, 欧阳峰, 等. 事故污染源目标分布函数中初始概率的确定方法[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26 (5): 25-28.
- [9] 李曦, 甄黎. 沿江污水处理厂环境影响评价案例分析[J]. 环境科学导刊, 2015, 34 (1): 78-81.
- [10] 杜娟娟, 李兰, 陈攀. 古龙港污水处理厂尾水排放对长江水质影响预测[J]. 人民长江, 2013, 44 (S1): 139-143.
- [11] 张巧玲, 韩龙喜, 李洪晶, 等. 宽浅河流水质模型参数灵敏度的空间变化规律[J]. 水资源保护, 2013, 29 (3): 1-5.
- [12] 丁玲, 吴建强, 逢勇. 长江泰州江段水环境模拟及水质可利用性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33 (1): 24-28.
- [13] 钱小娟, 陈艳, 顾爱辉. 长江口北支段纳污能力分析[J]. 水资源保护, 2012, 28 (3): 64-67.
- [14] 常文婷, 王冠, 韩龙喜. 基于平面二维水质模型的潮汐河流污染源反演[J]. 水资源保护, 2010, 26 (6): 5-8.
- [15] 袁玥, 师懿, 程胜高. 基于二维动态水质模型的长江蕲春段水污染扩散分析[J]. 安全与环境学报, 2016, 16 (1): 312-217.