

上海某区污水排海工程环境影响研究

国峰¹, 张海平², 李阳¹, 韦鹤平²

(1. 国家海洋局东海环境监测中心 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海, 200137)

摘要: 污水海洋处置充分利用了海洋的自净能力和巨大的环境容量。本文以金山污水排海工程为例, 采用数值模拟的方法, 建立了杭州湾二维水质模型和金山嘴附近海区局部二维水质模型, 模拟了不同水文条件下杭州湾浓度场分布, 分析污水排海对邻近海域环境产生的影响。对通过放流管深海正常排放、岸边紧急排放和污水未经处理直接深海排放等三种不同的排放工况进行了计算和分析。结果表明, 在所研究的水域的水动力条件下, 紧急排放对近岸海域污染情况较其它两种工况为大; 就所选排放口位置而言, 在事故排放这一最不利工况时对纳污海域的影响也很有限, 不会影响到诸如小金山岛这样敏感水域的水质。

关键词: 污水海洋处置; 数学模拟; 水质

Modeling study on effect of Shanghai wastewater marine discharge on water quality

Guo feng¹, Zhang Haiping², Li Yang¹, Wei Heping²

(1. East Sea Environmental Monitoring Center of State Oceanic Administration PRC,

2. Environmental Science & Engineering School, Tongji University, Shanghai 200137, China)

Abstract: Wastewater marine disposal is a kind of technology that makes full use of huge dilution and assimilation capability of the ocean. Computation and analysis were made for three cases in Jinshan area of Hangzhou Bay by the numerical simulation method. The results showed that the effect on water quality was more significant in emergency case than the other two cases. According to analysis of the water quality near the outfall sea area, even in the most disadvantage case (accident discharge) the effect was still quite limited and would not have influence on the sensitive area such as Little Jinshan inland.

Keywords: wastewater marine disposal; numerical simulation; water quality

1. 前言

河口、海湾或近海具有巨大的环境水体, 良好的水动力条件使其成为接纳和净化污水的理想场所。各沿海城市一直致力于充分利用其得天独厚的自然优势, 推广污水深管道排海工程, 对近海水域的环境容量加以科学利用, 借此解决一部分城市污水处置的负担和经济压力。据不完全统计, 沿海地区污水海洋处置工程 1994 年时规模为 50 万 t/d, 1998 年超过 200 万 t/d, 至 2000 年时已达 500 万 t/d。上海市金山区毗邻杭州湾北岸, 区政府规划将其辖区内部分生活污水及工业污水经过二级处理后排入杭州湾金山嘴海域, 此举必然对排污口邻近海域水质产生一定的影响。受工程单位委托, 本文针对该工程污水排海工程建立了二维数学模型, 模拟了不同排放方案对相邻海域水质产生的影响, 为该排海工程确定了最佳排放

方案。

2. 排海工程概况

金山污水排海工程服务区的污水由 37% 城镇生活污水和 63% 工业废水组成。污水排放前先经过新江污水处理厂 A²/O 二级生化处理, 处理后污水水质达到国家《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 二级排放标准, 即 COD \leq 120mg/L, NH₃-N \leq 25mg/L, 石油类 \leq 10mg/L。

目前的污水排放口为岸边型排放口, 离岸仅仅 62m, 出水管为渐扩喇叭型, 出口口径 1.6m, 口径中心标高 2.3m (吴淞基准), 这种岸边排放方式缺点是污水扩散速度慢, 造成污水混合区范围相对增大, 因此金山区拟建深水管排海工程, 采用潜没多管深水排放方式, 将污水经水泵送至高位井, 再输入到长度为 1174.2m 的放流管, 经直径为 1.6m 的扩散器排至杭州湾金山嘴海域。该项目设计污水排放量 10 万 m³/d, 一期工程污水排放量 5 万 m³/d, 二期工程实施后达到 10 万 m³/d 的规模。

3. 杭州湾二维潮流模型的建立

3.1 杭州湾开边界条件的提取

应用东中国海三维潮流模型计算了岱山岛附近 (122° 15' E, 30° 14' N) 2003 年 8 月和 12 月的潮汐过程线, 用于杭州湾二维潮流模型的外海开边界条件。上游边界条件取澈浦的天文潮预报资料, 南面开边界用镇海天文潮预报资料和岱山计算潮位值进行线性内插, 东面开边界芦潮港实测潮位资料与岱山计算潮位值进行线性内插。

3.2 模拟水域计算网格系统的生成

杭州湾二维潮流模型的计算区域上游边界为澈浦, 下游南面开边界设在镇海—岱山沿线, 东面开边界设在岱山—芦潮港沿线, 东西长 105 公里, 南北长 95 公里。杭州湾研究水域比较开阔, 边界不很复杂, 因此在本二维水动力模型研究中采用有限差分等步长矩形网格。

3.3 计算空间步长及时间步长的选择

空间网格步长: 根据正交曲线网格的生成, 最后获得的正交曲线网格系统中, x, y 方向上的距离步长相同, $\Delta x = \Delta y = 500$ 米, 最终生成的矩形网格数为 209 \times 189 个。

时间步长: $\Delta t = 120$ 秒。

3.4 模型率定与验证

模型率定采用采用隐式交替方向 (ADI) 技术对杭州湾潮流模型进行离散求解, 计算出 2003 年 8 月 1 日至 8 月 31 日期间金山嘴和乍浦两个测点的潮位计算值, 以同期金山嘴实测潮位数据和乍浦天文潮预报资料作为实测值, 将计算值与实测值进行对比, 利用对比结果对模型进行率定。

本文所研究的污水排海项目于2003年12月9-10日在排污海域进行了现场25小时的连续流速和流向调查测试结果用来对模型进行验证，验证结果见图1。

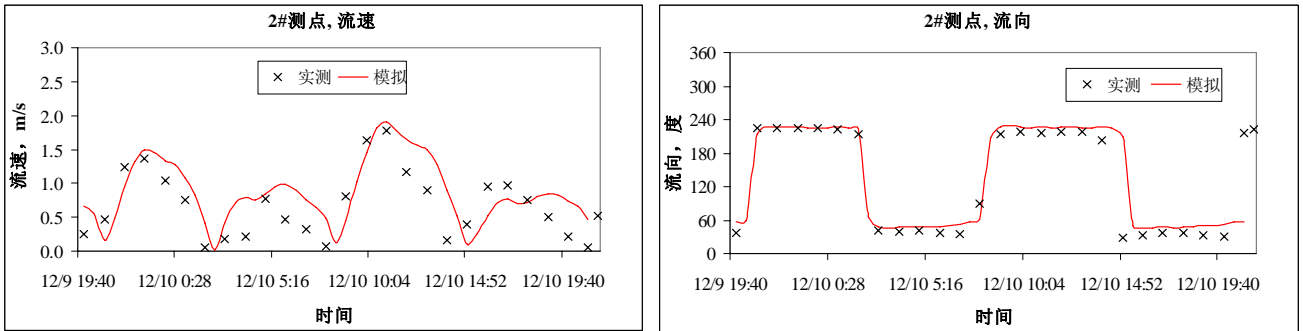


图1 杭州湾潮流模型验证结果，2#测站流速和流向，2003年12月9日-10日

Fig1 Verification result of tide current and direction at Point No.2

4. 金山嘴海区局部数学模型的建立

4.1 潮流模型的建立

考虑到金山污水排海项目的具体要求，本文进一步研究了金山嘴海区（放流管附近）局部潮流模型。通过对局部模型的模拟研究，为金山嘴局部海区的水质模型提供精确的计算基础。该模型采用的基本方程与数值求解方法与杭州湾潮流模型相同。

地形资料根据2001年版金山嘴附近海区的海图（1:2.5万）进行数字化加密处理（图3）。模型计算区域x方向长5.7公里，y方向长5.2公里，距离步长 $\Delta x = \Delta y = 30$ 米，模拟时间步长为10秒。

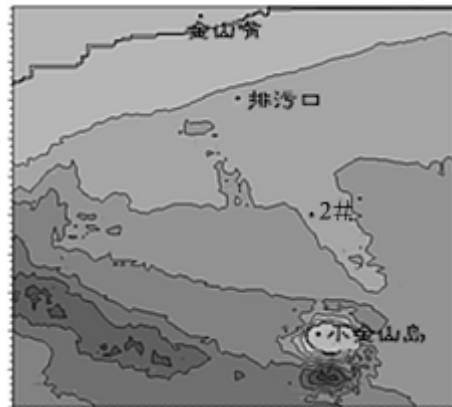


图3 金山嘴海区模型范围及地形处理

Fig3. terrain treatment and range of model around Jinshanzui

4.2 潮流模型验证结果

在上文所述的海域现场水文监测位置中2#测点位于金山嘴海区模型区域内，将其结果用于模型的验证。由于模型网格分辨率极高，能准确反映局部地形条件，因而计算的流速流向与实测值相当吻合。计算结果显示，金山嘴附近海区的涨潮流向基本为 225° ，落潮流向 41° ，但局部潮流方向一定程度上受岛屿、滩涂地形和深槽位置的影响。涨潮流速明显大于落潮流速。

4.3 二维水质模型对流扩散基本方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}\right) - F \cdot h \cdot c + S$$

式中： C 为污染物浓度 (mg/L)； u 、 v 为 x 、 y 方向的速度分量 (m/s)； h 为水深 (m)；

D_x 、 D_y 为 x 、 y 方向的扩散系数 (m²/s)； F 为衰减系数 (d⁻¹)； S 为源漏项 (m³/s/m²)。

u 、 v 和 h 由水动力模型提供。采用的数值解法为三阶有限差分格式的QUICKEST法。设计污水排放量为 10 万t/d，将杭州湾历史监测数据的平均值作为恒定边界条件输入，BOD为 3.5mg/L，COD_{mn} 3.5mg/L，NH₃-N 0.4mg/L，PO₄-P浓度 0.05mg/L。利用分辨率较高的网格，详细模拟污水排海后的近区稀释扩散过程。

4.4 模拟工况

本文对污水通过放流管的四种排放工况进行了数值模拟：(1) 杭州湾现状水质，假定无污水排放；(2) 污水经二级处理后通过放流管排放；(3) 污水经二级处理后经过紧急排放口（岸边）排放；(4) 污水未经处理通过放流管排放。设定污水原水水质浓度为BOD 200mg/L，COD 100mg/L，NH₃-N 25mg/L，PO₄-P 1mg/L。经过二级处理后BOD 30mg/L，COD 60mg/L，NH₃-N 25mg/L，PO₄-P 1mg/L。

5. 结果与讨论

5.1 各项水质指标的模拟结果

对 2003 年 12 月份污水通过不同方式排放的情况进行了数值计算。

表 1 为 12 月份浓度场分布情况的统计。从表中可以看出，污染物浓度增量最为显著的指标是COD。在 2003 年 12 月份的水文条件下，如果是通过放流管排放，即使是在污水处理厂发生事故、污水不经处理直接排海这一最不利的工况条件下，扩散器 0.25km²范围内的平均COD浓度增量也只有 0.094 mg/L，落憩期间瞬间最大增量为 0.253 mg/L。如果是通过紧急排放管在岸边就近排放，可以预计将对局部水环境和附近滩涂造成较大的影响。在排放污水量为 10 万吨/天时，排放口附近 0.25km²范围内的平均COD浓度增量为 0.649mg/L，落憩期间瞬间最大增量达到 5.654mg/L。

表 1 扩散器（或紧急排放口）附近 0.25km²范围浓度变化（2003 年 12 月 1 日—7 日），单位：mg/L
Table1 change of concentration around diffusion conduit at the range of 0.25km²,unit: mg/L

排放条件	浓度变化	BOD	COD	NH ₃ -N	PO ₄ -P
(本底)	平均浓度	3.500	3.500	0.400	0.050
正常排放	平均浓度	3.521	3.545	0.420	0.051
	增量 平均	0.021	0.045	0.020	0.001

		最大	0.058	0.123	0.053	0.004
		平均浓度	3.804	4.149	0.683	0.061
紧急排放	增量	平均	0.304	0.649	0.283	0.011
		最大	2.652	5.654	2.462	0.094
		平均浓度	3.658	3.594	0.420	0.051
事故排放	增量	平均	0.158	0.095	0.020	0.001
		最大	0.427	0.253	0.053	0.004

5.2 BOD 数值模拟结果

图 4 为污水污水通过扩散器排放时的BOD浓度场分布图。由图可以看到，由于污水通过距岸边 1170m 的深海排放(水深 7m)，在落憩这一最不利潮流时刻排放口中心的BOD值在 3.7~3.9 mg/L 范围内。BOD浓度增量超过 0.1 mg/L 的水域面积在 0~0.039km² 范围内变动。

图 5 是污水污水通过紧急排放口排放时的BOD浓度场分布图。污水通过紧急排放口排放时，总体来说稀释条件仍相当不错，在 0.118 km² 的范围内BOD浓度增量仅为 0.50mg/L，但是在落憩的短暂时间内会出现高浓度增量的水域面积，有 0.007km² 的范围内浓度增量将超过 3mg/L（对应的稀释倍数只有 10 倍），可能会对近岸水体和滩涂造成较大的影响。

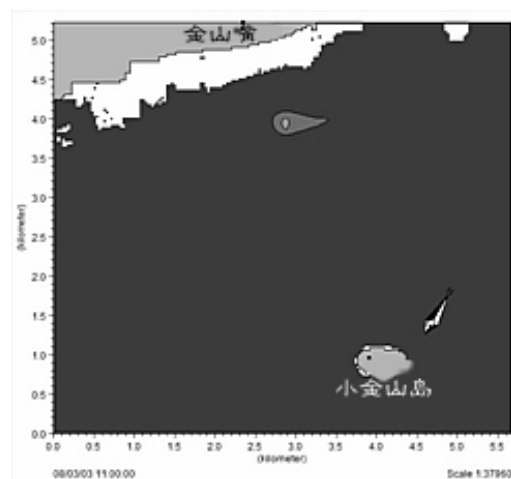


图 4 BOD 浓度分布（扩散器排放，落憩）

**Fig4 distributing of BOD concentration
(by diffusion conduit, low tide)**

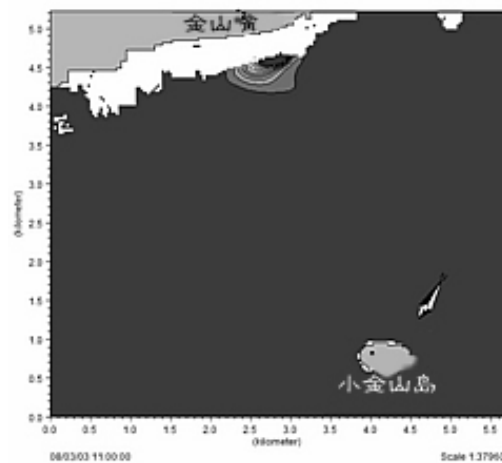


图 5 BOD 浓度分布（紧急排放口排放，落憩）

**Fig5 distributing of BOD concentration
(by emergency outlet, low tide)**

图 6 是污水处理厂事故排放时的BOD浓度场分布图。在本工况条件下，BOD浓度增量超过 0.1mg/L 的水域范围是 1.753km²，对应的初始稀释度高达 300 倍；浓度增量超过 0.5mg/L（实际浓度达到 4.0mg/L）的混合区面积只有 0.16mg/L，表明该区域非常适合选作排放口位置。

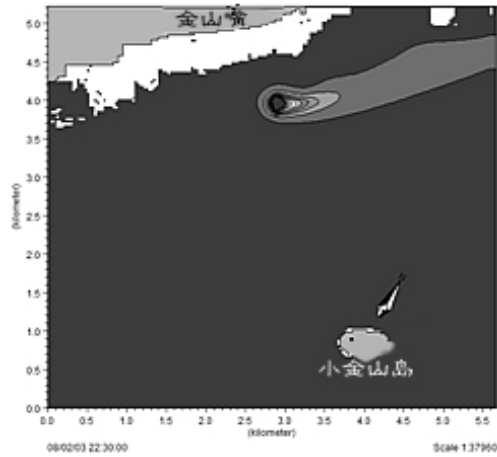


图6 BOD 浓度分布（事故排放，落憩）
Fig6 distributing of BOD concentration
(accident let-out, low tide)

6. 结论

本文采用数值模拟的方法，对杭州湾金山嘴海域污水海洋处置对纳污海域水质影响情况进行了几种不同排放方式时的污染物输运扩散情况的模拟分析。结果表明，由于水动力条件的关系，三种不同工况排放条件下，污水对纳污海域的水质存在着不同程度影响。紧急处理时，由于是岸边排放，水深较浅，流速较慢，排入海域后污染混合区面积相对其它两种工况而言最大。在污水不经处理通过放流管直接排海这一工况条件下，COD浓度增量超过0.5mg/L的混合区面积只有0.17km²，不会对大小金山岛等敏感水域造成明显的可观察到的水质影响。说明模拟中所取的排放口位置是科学的、合理的。

参考文献:

- [1] Ekebjarg, L., Justesen, P. An explicit scheme of advektion-diffusion modelling in two dimensions. *Comp. Meth. App. Mech. Eng.*, 1991:287-297.
- [2] Minghai Hsu, Albert Y. Kuo, Jantai Kuo, et.al. Procedure to Calibrate and Verify Numerical Models of Estuarine of Estuarine Hydrodynamics. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999:166-182
- [3] 杨陇慧, 朱建荣. 长江口杭州湾及邻近海区潮汐潮流场三维数值模拟. *华东师范大学学报（自然科学版）*. 2001, 3: 74-84.
- [4] 陈复, 张永良, 孟伟等. 澳大利亚城市污水海洋处置的借鉴. *环境科学研究*. 1994, 7(5).
- [5] 尹海龙. 黄浦江二维水环境数学模型开发及水质改善措施分析. 同济大学博士学位论文. 2003.
- [6] 许金申 江毓武. 港湾三维水动力和污染物扩散数值模型. *台湾海峡*. 2003, 22(1): 85-91.