

浮山湾帆船基地海域水质变化预测及分析

栾忠庆¹, 郝杨¹, 孙优善², 王学昌²

(1. 青岛中油华东院安全环保有限公司, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 在对青岛浮山湾帆船基地海域水质现状分析评价的基础上, 利用二维平流-扩散模型, 选取化学需氧量(Chemical oxygen demand, 简称 COD)作为水质指标因子, 按麦岛污水处理厂改造扩建前、改造扩建后正常运行及改造扩建后事故运行 3 种情况, 对污水排海给帆船基地海域水质带来的影响进行了预测和分析。由 3 种情况预测结果可以看出: 1) 麦岛污水处理厂改造扩建后, 大大改善浮山湾帆船基地周围海域的水质情况; 2) 麦岛污水处理厂改造扩建后, 正常运行情况下入海 COD 对帆船基地海域水质的影响不大, 海水中 COD 浓度未出现超一类海域水质要求的情况; 在事故运行情况下入海 COD 在排污口附近有超一类海域水质的现象, 面积最大为 2 674 m², 未出现超二类以上海域。

关键词: 浮山湾; 水质; 数值模拟

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)06-0052-05

帆船运动是世界各沿海国家和地区最为普及和喜闻乐见的体育活动之一, 而帆船运动海域海水水质的好坏是关系到帆船活动能否顺利进行的重要因素之一。本文以青岛浮山湾帆船基地海域海水水质为研究对象, 选取化学需氧量(以下简称 COD)作为水质指标因子, 在分析参考现状水质的基础上, 建立二维平流-扩散模型, 利用建立的模型, 按麦岛污水处理厂改造扩建前、改造扩建后正常运行及改造扩建后事故运行三种情况, 对污水排海给帆船基地海域水质带来的影响进行预测与分析, 为该海域的水质变化趋势提供理论支持。

1 扩散方程及计算海域

1.1 浓度输运扩散方程

经垂向平均的物质输运方程为^[1]:

$$\frac{\partial(HP)}{\partial t} + \frac{\partial(HPu)}{\partial x} + \frac{\partial(HPv)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(HD_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(HD_y \frac{\partial P}{\partial y} \right) = HS$$

其中, P 为污染物浓度; u 、 v 分别为 x 、 y 向流速分量; D_x 、 D_y 为 x 、 y 向分散系数; H 为总水深; S 为污染源单位时间的排放速率。

$$\text{在陆边界: } D_n \frac{\partial P}{\partial n} = 0$$

$$\text{在开边界: } P = P', P' \text{ 为水界浓度} \quad \text{入流段}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + v_n \frac{\partial P}{\partial n} = 0 \quad \text{出流段}$$

计算采用不规则三角形分步杂交数值求解物质输运方程。

1.2 比赛场地位置及计算网格设置

青岛帆船基地主要活动水域为西起汇泉湾、东至麦岛的前海近岸海域, 东西跨度 10 km, 由海岸向海内延伸的最大距离为 3.5 km, 为了全面地反映该地区海水的运动情况, 本次计算海域包括了整个胶州湾及邻近海域(图 1), 采用的是三角形变边界网格。为了精确反映帆船基地海域的潮流^[2], 对帆船运动所在场地——浮山湾及邻近海域(见图 1, A-B-C-D 区域)的三角形网格进行了加密。本次计算共设网格点数 3 610 个, 最小网格边距为 80 m^[3]。

2 评价海域水质监测结果及污水处理厂改造扩建前入海 COD 浓度计算

2.1 评价海域水质历史监测结果及评价

表 1 给出了帆船基地及附近海域 7 个监测点 2003 年海水 pH、COD、粪大肠菌群数、石油类等 4

收稿日期: 2009-10-12; 修回日期: 2010-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40306019)

作者简介: 栾忠庆(1978-), 男, 山东招远人, 中国海洋大学硕士研究生, 研究方向: 数值模拟, E-mail: luanzq2005@163.com; 王学昌, 通信作者, 电话: 0532-83893109

项重要水质指标的监测结果, 监测点的具体位置见图 2。

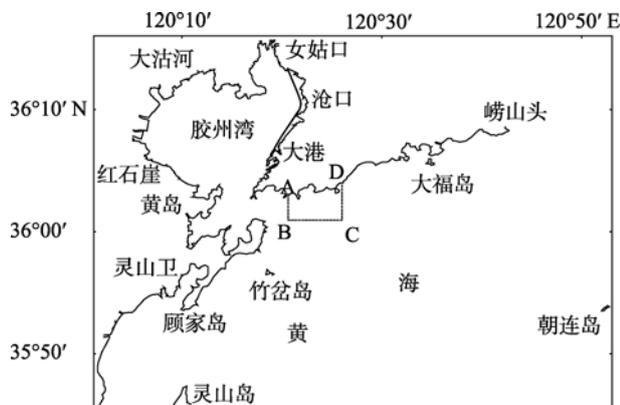


图 1 青岛邻近海域地形图

Fig. 1 Topographical map of Qingdao adjacent sea area

好^[4], 对照海水水质二类水质标准的要求, pH 值、COD 指标达标率均为 100%。石油类和粪大肠菌群在部分点位的部分月份出现超标现象, 其中石油类最大质量浓度为 100 μg/L(出现在浮山湾附近), 粪大肠菌群最大菌群密度为 24 000 个/L(出现在五四广场附近)。石油类监测浓度超标的主要原因是北海船厂在修理和清洗船只时产生的废油排海影响; 粪大肠菌群数超标的主要原因有两个: 一个是经过污水处理厂一级处理后, 处理效果达不到要求, 粪大肠菌群密度仍然大于 24 000 个/L; 二是在五四广场东侧有一条浮山河, 其中部分生活污水未经处理直接排海, 造成部分点位的粪大肠菌群数超标。随着北海船厂的搬迁和帆船基地的建成, 石油类浓度超标问题得到彻底的解决; 在 2004 年底, 浮山河实现了截污, 其中的污水全并网到污水厂的管道, 输送到污水处理厂后集中处理后排放, 这有效地降低了污水中粪大肠菌群数。

由表 1 可以看出, 帆船基地海域水质整体状况良

表 1 帆船基地及附近海域主要水质指标监测结果统计

Tab. 1 The ranges of key water quality parameters in Qingdao Sailing Game area and adjacent waters

检测站位	pH 值		COD		石油类		粪大肠菌群	
	测值范围	达标率 (%)	测值范围 (mg/L)	达标率 (%)	测值范围 (μg/L)	达标率 (%)	测值范围 (个/L)	达标率 (%)
太平湾	8.08 ~ 8.20	100	0.08 ~ 2.24	100	30.2 ~ 30.2	100	20 ~ 700	100
浮山湾	8.08 ~ 8.18	100	0.08 ~ 2.73	100	30.2 ~ 100.0	85.71	20 ~ 3 500	71.43
麦岛西	8.08 ~ 8.20	100	0.08 ~ 2.80	100	30.2 ~ 64.0	85.71	20 ~ 1 300	100
麦岛东	8.05 ~ 8.18	100	0.08 ~ 2.34	100	30.2 ~ 30.2	100	20 ~ 1 300	100
北海船厂	7.95 ~ 8.17	100	0.16 ~ 2.16	100	30.2 ~ 62.0	100	20 ~ 9 200	71.43
五四广场	8.02 ~ 8.18	100	0.08 ~ 2.10	100	30.2 ~ 30.2	100	20 ~ 24 000	85.71
燕儿岛 2#	8.05 ~ 8.17	100	0.08 ~ 2.18	100	30.2 ~ 62.0	85.71	20 ~ 16 000	71.43
GB3097-1997 二类水质标准	7.80 ~ 8.50		3		≤50.0		2000	

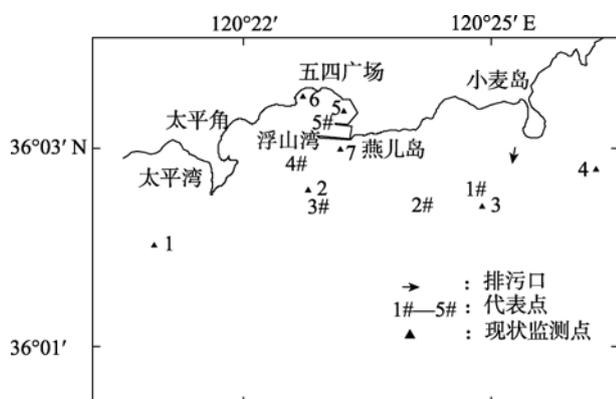


图 2 帆船基地及其附近海域监测点位图

Fig. 2 Map of the monitoring stations in Qingdao Sailing Game area and adjacent waters

2.2 污水处理厂改造扩建前入海污水 COD 浓度计算

随着浮山河截污的成功以及雨水管网建设的完善, 目前对帆船基地海域海水水质影响的主要因素是麦岛污水处理厂的排海污水。为了对比麦岛污水处理厂改造扩建前后该海域水质变化情况, 首先给出了污水处理厂改造扩建前污水排海 COD 扩散情况。

根据 2003 年麦岛污水处理厂废水排放量(麦岛污水处理厂废水排放量为 7.3 万 t/d, COD 入海量为 15.95t/d)和排污口处的实际监测值(表 2), 建立了本海域 COD 浓度扩散数值模型。计算设 1 个排污口, 即麦岛污水处理厂排放口(离岸 1 016 m), 见图 2。

表 2 麦岛污水处理厂改造扩建前出口水质样品监测结果

Tab. 2 Water quality parameters at the outlet of Maidao wastewater treatment plant before reconstruction and expansion

采样日期 (年-月-日)	pH	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	固体悬浮(SS) (mg/L)	粪大肠菌群 (个/L)	石油类 (mg/L)
2004-07-06	7.50	616	268	310	24000	0.2
2004-08-11	7.84	707	284	416	24000	0.1

图 3 是麦岛污水处理厂改造扩建前 COD 在一个潮周期的平均浓度场。由图 3 可以看出, 评价海域 COD 高浓度中心位于污水排放口处, 混合区以外的海水水质 COD 质量浓度小于 3 mg/L, 满足本海域二类功能区的要求。在浮山湾内, 由于距污水处理厂的排放口较远, 入海 COD 经过远距离的稀释扩散后, 对该海域的影响很小, COD 影响浓度小于 0.5 mg/L。

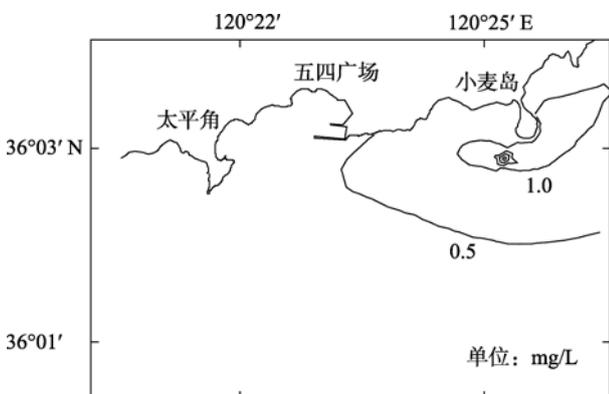


图 3 污水处理厂改造扩建前入海污水 COD 浓度分布图
Fig. 3 COD concentration distribution of discharge from wastewater treatment plant before reconstruction and expansion

3 污水处理厂改造扩建后入海污水 COD 浓度计算

帆船运动是一项环保型运动, 由于运动员在从事这项运动期间, 身体会经常接触海水, 因此该项运动对运动区海水水质有较高的要求^[5]。目前, 国际奥委会还没有出台帆船运动海域海水水质各项主要指标具体要求, 本文参照《海水水质标准》(GB3097-1997)的规定, 对评价海域执行二类水质标准, 标准的具体要求见表 1。

根据青岛市政府规划, 2008 年前海一线已实现彻底截污, 市区产生的污水被全部输送到改造扩建后的麦岛污水厂进行集中处理排放, 麦岛污水处理厂改造扩建至日排污能力 14 万 t, 出水水质执行《城镇污水处理厂污水排放标准》一级标准 B 标准, 即

COD<60 mg/L, 这样改造扩建后的麦岛污水处理厂 COD 入海量仅为 2.8 t/d。利用已建立的 COD 扩散模型, 进行以下两种情况水质预测: 1)污水处理厂正常运行情况下, 入海 COD 质量浓度为 60 mg/L; 2)污水处理厂事故运行情况下, 入海 COD 质量浓度为 600 mg/L。预测结果给出污水处理厂 COD 入海对该海域水质的影响, 叠加海域海水的本底最大值 0.87 mg/L, 便是该海域 COD 的最终影响值。

3.1 正常情况下

图 4 给出了污水处理厂正常情况排污时, 入海 COD 浓度变化分布图。由图可以看出, 当污水处理厂正常运转时, 由于排污口离岸较远, 海域水深较深, 潮流流速较大等原因, 入海 COD 对该海域水质的影响范围很小, COD 最高浓度值出现在排污口附近, 为 1.02 mg/L, 叠加海域海水的本底最大值 0.87 mg/L 后, 为 1.89 mg/L, 排污口混合区以外海水中 COD 浓度增加量均小于 1.0 mg/L。由预测结果可知, 当污水处理厂正常运转时, 海水中 COD 浓度未出现超一类水质海域(一类水质海域要求 COD 不超过 2 mg/L)要求, 海水水质良好。

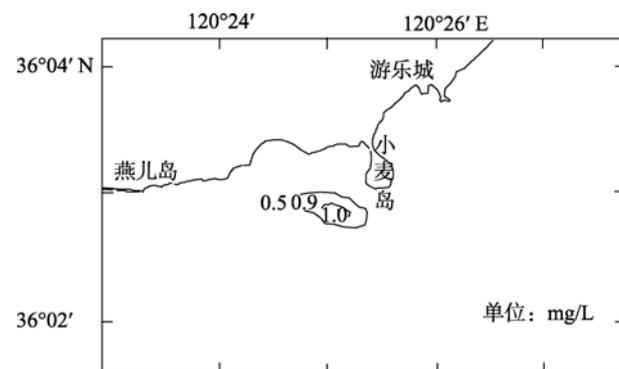


图 4 污水处理厂正常排污入海 COD 浓度分布图
Fig. 4 COD concentration distribution of discharge under normal conditions of wastewater treatment plant

为了清楚地比较麦岛污水处理厂改造扩建前后入海 COD 对该海域海水水质影响情况, 本文特别选取 5 个代表性点(位置如图 2), 给出了代表点

在污水处理厂改造扩建前后, COD 对该海域的影响浓度值(表 3)。

表 3 污水处理厂改造前后入海 COD 在 5 个代表点的浓度值

时间	代表点				
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
改造扩建前	0.63	0.55	0.35	0.31	0.28
改造扩建后	0.21	0.18	0.12	0.10	0.07

由表 3 可以看出, 麦岛污水处理厂改造扩建后, 正常运行的情况下, 由于 COD 入海量的减少, 对相应海域的海水水质的影响明显减小。

3.2 事故运行情况下

图 5 给出了污水处理厂事故情况排污时, 入海 COD 浓度变化分布图。由图可以看出, 在该情况下, 由于入海 COD 浓度的增大, 其对相应海域水质的影响范围和程度都明显加大。这时该海域 COD 最高质量浓度值为 2.32 mg/L, 超一类水域面积为 2 674 m², 未出现超二类以上海域, 满足该海域对海水水质的要求。

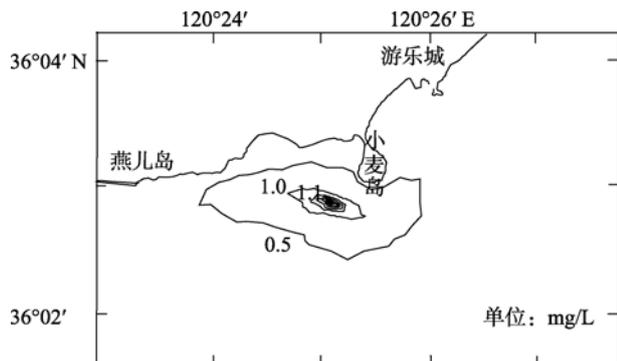


图 5 污水处理厂事故排海 COD 浓度分布图

Fig. 5 COD concentration distribution of discharge under accident conditions for wastewater treatment plant

4 结论

通过分析帆船基地海域水质历史监测结果可以

看出, 由于监测时青岛前海一线没有实现彻底截污, 这对帆船基地海域的水质造成一定的影响, 该海域部分监测因子出现了超标的现象。

对比麦岛污水处理厂改造扩建前后的预测结果可以得出: 1)麦岛污水处理厂改造扩建后, 大大改善了浮山湾周围海域的水质情况; 2)麦岛污水处理厂改造扩建后, 正常运行情况下入海 COD 对该海域水质的影响较小, 海水中 COD 浓度未出现超一类海域水质要求的情况; 在事故运行情况下入海 COD 在排污口附近有超一类海域水质的现象, 面积最大为 2 674 m², 未出现超二类以上海域。说明青岛前海一线彻底截污大大改善了前海海域水质情况, 这为帆船运动提供了良好保障。

参考文献:

- [1] 吴江航, 韩庆书. 计算流体力学的理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 243-258.
- [2] 姜安刚, 王学昌, 吴德星, 等. 胶州湾大沽河口邻近海域海水水质预测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 52-56.
- [3] 郝杨, 孙优善, 栾忠庆, 等. 浮山湾帆船赛场水动力条件数值模拟[J]. 海洋科学, 2009, 33(11): 15-17.
- [4] 于子江, 崔文林, 杨建强. 青岛奥运帆船赛区及邻近海域海水环境质量分析与评价[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(3): 25-26.
- [5] 翁锡全. 体育·环境·健康[M]. 北京: 人民体育出版社, 2004: 313-332.

(下转第 95 页)

Prediction and analysis of water quality changes in Fushan Bay

LUAN Zhong-qing¹, HAO Yang¹, SUN You-shan², WANG Xue-chang²

(1 .Qingdao China Petroleum EDI Safety & Environment Protection Co., Ltd, 266071, Qingdao, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received: Oct., 12, 2009

Key words: Fushan bay; water quality; numerical simulation

Abstract: Based on the assessment of current water quality of Qingdao sailing base, using a two-dimensional diffusion model and Chemical oxygen demand (COD) as the index factor of sea water quality, we analyzed and predicted the impact of discharge on the water quality of Sailing Game area in three situations. After the reconstruction and expansion of Maidao sewage treatment plant, the water quality of Sailing Game area in Fushan Bay had been greatly improved, and the discharge COD had little effect on the water quality of Sailing Game area under normal operating conditions, where the COD concentration was within scope of National Grade I. Under the accident conditions, the COD concentration at the outlet exceeded the standard of National Grade I, the maximum area is 2674m², but there was no area exceeding the standard of National Grade II.

(本文编辑: 张培新)