

LNG项目排水中余氯对近岸海域水环境影响的数值模拟

张奕, 韩龙喜, 陈博, 高琦
(河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 根据 LNG 项目排水受纳水域潮流特征以及不同季节的设计典型水文条件,利用二维水动力模型模拟了江苏近岸辐射状沙脊群浅海区的潮流场,并以此作为模拟冷排水中余氯在受纳海域迁移转化的时间变化、空间分布特征的水动力条件,同时考虑余氯在水体中的衰减效应,建立余氯二维对流-扩散模型,预测受纳水域余氯浓度空间分布、时间变化特征。根据海洋生物余氯慢性毒性阈值,定量分析了含氯排水对近岸海域水环境的影响范围,结果表明:LNG项目冷排水中余氯对近岸海域水环境影响较小。

关键词: LNG; 余氯; 数值模拟; 生态环境; 近岸海域

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2016)02-0114-04

Numerical simulation of effect of residual chlorine water from discharge of LNG project on water environment

ZHANG Yi, HAN Longxi, CHEN Bo, GAO Qi
(College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the tidal current characteristics of drainage and receiving water in LNG project and the typical hydrological conditions of design in different seasons, the paper used a two-dimensional hydrodynamic model to simulate the tidal current field of water receiving residual chlorine in cold water discharge in radial sand ridge group of shallow sea area of Jiangsu maritime space. As the hydrodynamic conditions in the simulation of cold water mobility and transfer of residual chlorine in the reception area of time and space distribution characteristics, it established a two dimensional model of the transport and diffusion for the residual chlorine to predict the receiving waters residual chlorine concentration distribution and analyze its environmental impact in considering the residual chlorine in water body of attenuation effect at the same time. Finally, the scope of influence caused by the chlorine water drainage in the chlorine water's sphere was analyzed quantitatively according to the chronic toxicity threshold line of residual chlorine. Results show that the residual chlorine in cold drainage of LNG project has less impact on the water environment in offshore area.

Key words: LNG project; residual chlorine; numerical simulation; ecological environment; offshore area

在我国能源结构中,天然气等优质能源所占比重较低,能源结构明显不合理。近年来,天然气作为一种新兴能源,正成为我国能源战略的重要一环,其在中国各行各业使用的比重逐年提高。在国家“两种能源”战略的指导下,中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司3大石油公司在江苏、辽宁、广东等沿海地区开始建设液

化天然气(LNG)接收站,为进口天然气做准备。项目实施在一定程度上促进以LNG为代表的清洁能源的应用,调整能源结构,缓解改善地区能源消耗对环境的污染程度,提高地区发展的环境承载能力^[1]。但由此也产生了以含氯冷排水为主的新的水环境污染问题。

为清除LNG接收站生产过程中管道上附着的

藻类微生物,需向循环水中加入一定量的氯气(Cl_2),从而使排放出的水中含有余氯。余氯对水生生物毒性较大,当含有余氯的冷却水排入邻近水域,将会对受纳水体的生态环境造成影响。Brook 等^[2]通过对比研究含氯化物和不含氯化物的温排水对浮游植物影响,发现含氯废水排入海洋后,抑制了浮游植物光合作用、呼吸作用;曾江宁等^[3]通过对余氯对浮游动植物、贝类、鱼类影响的分析,得出余氯对海洋鱼类影响比较明显的结论。

吐尔逊阿依·木依提等^[4]通过二维数值模拟,分析电厂含氯冷却水排入长江后对其水环境的影响;张燕等^[5]利用有限元分步杂交方法对胶州湾电厂附近海域进行模拟,预测排水中余氯的浓度分布及影响范围;徐兆礼等^[6]分析火(核)电厂、LNG 接收站排放的含余氯废水对海洋生物的影响;毕闻彬等^[7]通过模拟预测胶南发电厂温排水中余氯排海后在海洋中的浓度分布。但以上研究并未对余氯影响最大可能范围做出预测。

本文以 LNG 项目中的冷排水问题为例,根据排水受纳水域夏季潮流普遍大于冬季潮流的特征^[8],分别设计水文条件,利用二维水动力模型对冷排水余氯受纳水域江苏近岸辐射状沙脊群浅海区进行模拟,并以此作为模拟冷排水中余氯在受纳海域迁移转化的时间变化、空间分布特征的水动力条件,同时考虑余氯在水体中的衰减效应,建立余氯二维对流-扩散模型,预测受纳水域余氯浓度空间分布、时间变化特征,重点对余氯质量浓度影响最大范围做出预测,即在整个模拟时段中余氯浓度增量等值线选取的是某一位置不同时刻出现的最大浓度值,从而为最大限度地保证 LNG 项目冷却水排放口邻近水域的生态环境安全提供依据。

1 水动力模拟

水动力模型模拟江苏近岸辐射状沙脊群浅海区(图 1)的潮流场,南北范围为 $31^{\circ}58'N \sim 33^{\circ}14'N$,间距为 152 km;东西范围为 $120^{\circ}46'E \sim 121^{\circ}51'E$,宽度横跨 102 km,计算区域的总面积约 9 850 km^2 ,采用无结构三角网格来离散计算区域进行水动力模拟,此方法目前比较成熟,已有较多文献论述^[9-10],本文不再赘述。

LNG 项目附近海域最显著的地貌特征是坡度极平缓的潮间带和浅海辐射沙洲。地形直接影响模拟海域的水动力情况,从而影响污染物的迁移扩散情况。

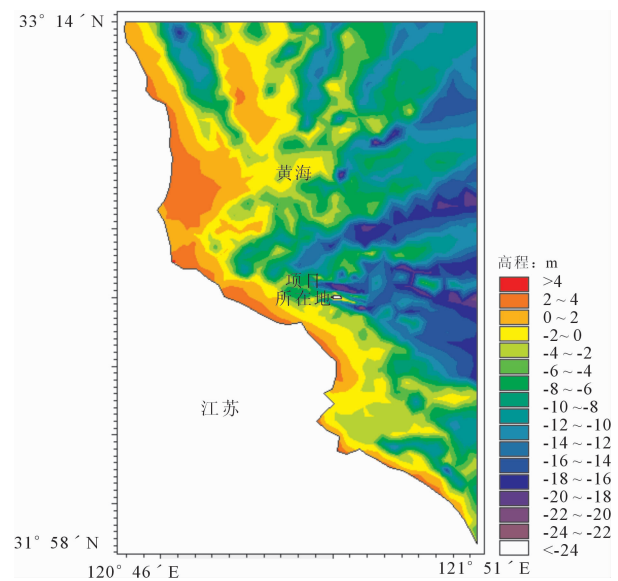


图 1 LNG 项目附近海域地形

2 冷排水中余氯浓度分布模拟

2.1 余氯二维对流-扩散模型

对于余氯在海水中的对流扩散问题,现将海水视为不可压流体,那么余氯在二维非均匀流中的对流扩散基本方程可以表示为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) - K\rho + S \tag{1}$$

式中: ρ 为余氯浓度, kg/m^3 ; t 为时间, s ; x, y 为纵向和横向距离, m ; u, v 为纵向和横向垂线平均流速, m/s ; E_x 为纵向扩散系数, m^2/s ; E_y 为横向扩散系数, m^2/s ; K 为衰减系数, s^{-1} ; S 为污染物源强, kg/m^3 。

2.2 定解条件

边界条件

陆边界: $D_n \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

开边界: $\rho = 0$, 入流段

$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_n \frac{\partial \rho}{\partial n} = 0$, 出流段

式中: n 为法线方向; D_n 为法线方向的扩散系数, m^2/s 。

初始条件

$t = 0; \rho = 0$

2.3 参数及源强的确定

2.3.1 扩散系数 天然海域普遍具有不均匀的流速场,扩散系数是一个重要而不易确定的参数,它常

常带有经验系数的性质,本文采用的扩散系数计算公式为:

$$E_x = \alpha_x hu_* \tag{2}$$

$$E_y = \alpha_y hu_x \tag{3}$$

式中: h 为水深,m; u_* 为摩阻流速($u_* = \sqrt{ghj}$, j 为水力坡度),m/s; α_x, α_y 为经验系数,分别取为4.0,0.5。

2.3.2 衰减系数 由于余氯在海洋中的衰减过程尚不十分明确,一般通过实验确定其衰减系数。刘兰芬等^[11]结合现场实验与实验室实验,对余氯衰减时间进行定量研究,结果显示,在上海某电厂排放现场海域、实验室有阳光、实验室无阳光3种情况下,余氯衰减50%所用时间分别为0.5、2.0、18 h,衰减90%所用时间分别为1.8、22、56 h;张穗等^[12]通过调查大亚湾核电站冷却水排水口邻近海域,得到不同化合形态的余氯在海水中的衰减曲线。

一般将余氯衰减假设为一级反应,其模型如下:

$$\frac{dC}{dt} = -KC \tag{4}$$

式中: C 为余氯浓度,kg/m³; K 为衰减系数,s⁻¹。

参照这几组实验结果,本文中余氯的半衰期取为1 h,根据余氯的一级衰减模型计算得余氯的衰减系数为0.69。

2.3.3 污染物源强 根据资料,某LNG接收站项目营运期排放的冷排水源强为10.35 m³/s,出口余氯质量浓度为0.0002 kg/m³,因此余氯的排放强度为0.0021 kg/s。

2.4 余氯浓度预测结果

本文采用上述模型及其定解条件,考虑最不利影响,分别在冬、夏季两种典型水文条件下进行完整潮周期的模拟,预测余氯的质量浓度增量。冬季和夏季余氯最大浓度增量等值线包络线分别如图2和图3所示,排口表面水域余氯混合带平面尺寸如表1和2所示。

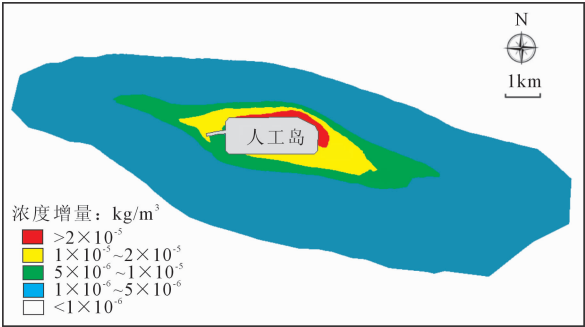


图2 冬季排口表面水域余氯浓度增量等值线

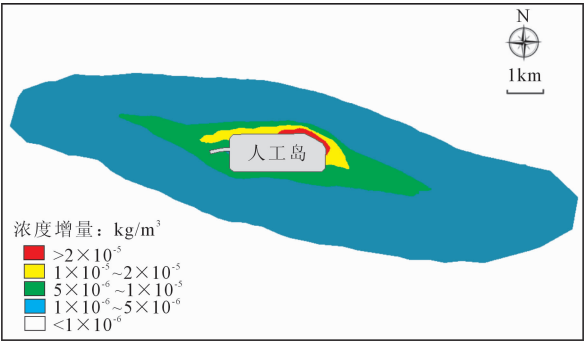


图3 夏季排口表面水域余氯浓度增量等值线

表1 冬季排口表面水域余氯混合带平面尺寸

项目	余氯各浓度/(kg·m ⁻³)		
	≥2×10 ⁻⁵	≥1×10 ⁻⁵	≥5×10 ⁻⁶
总长度/m	2900	6200	9700
最大宽度/m	500	1300	1900
面积/km ²	0.752	3.41	10.48

表2 夏季排口表面水域余氯混合带平面尺寸

项目	余氯各浓度/(kg·m ⁻³)		
	≥2×10 ⁻⁵	≥1×10 ⁻⁵	≥5×10 ⁻⁶
总长度/m	1550	4400	8800
最大宽度/m	180	580	1800
面积/km ²	0.273	1.58	7.84

3 余氯对近岸海域水环境影响分析

浮游植物是海洋生态系统的基础生产者。Carpenter等^[13]研究发现,含氯废水排放口邻近水域浮游植物光合作用和呼吸作用受到抑制。Fisher等^[14]通过研究,得出不同生物种类对氯处理的敏感程度有所差别,影响余氯毒害作用的重要因素是余氯的浓度水平和作用时间的结论。然而,目前我国尚未制定对水生生物的余氯安全浓度标准,本研究时参照国外学者的研究结果。Matlice等^[15]推导出了具有普遍意义的海洋生物余氯慢性毒性阈值,其值为2×10⁻⁵ kg/m³,即余氯质量浓度低于2×10⁻⁵ kg/m³时,不论作用时间多长,也不会对水生生物有毒性作用。从本文的预测结果看,项目营运期可能对海洋生物产生影响的污染带范围为:冬季污染带近似为一长度为2 900 m、宽度为500 m、面积为0.752 km²的带状范围;夏季污染带近似为一长度为1 550 m、宽度为180 m、面积为0.273 km²的带状范围。本文预测结果为不利水文条件下出现的质量浓度最大值,此最大值仅在瞬间出现,在一个完整

的潮流过程中,水体中余氯质量浓度的平均值远小于最大值,故 LNG 项目冷排水中余氯对近岸海域水环境影响较小。

4 结 论

(1)模拟结果表明,项目冷排水中余氯在江苏近岸海域中的浓度分布空间范围较小,较高质量浓度的余氯分布在排水口附近的区域。

(2)根据海洋生物余氯慢性毒性阈线($2 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$),得到可能对海洋生物产生影响的污染带范围:冬季污染带近似为一长度为 2 900 m、宽度为 500 m、面积为 0.752 km^2 的带状范围;夏季污染带近似为一长度为 1 550 m、宽度为 180 m、面积为 0.273 km^2 的带状范围。

(3)预测结果为不利水文条件下出现的余氯质量浓度最大值,即在整个模拟时段中,余氯浓度增量等值线选取的是某一位置不同时刻出现的最大浓度值,此最大值仅在瞬间出现,在一个完整的潮流过程中,水体中余氯质量浓度的平均值远小于最大值。加上模拟结果显示,冷排水中余氯在环境水体中的质量浓度最大值增量亦较小,因此,此项目对近岸海域水环境影响较小。

(4)本文未考虑冷排水进入天然水体后,由于温差产生的密度流对余氯迁移扩散的影响,后续的研究中可以就这一方面进一步讨论。

参考文献:

- [1] 王华北. 我国 LNG 工业发展及应用研究[D]. 大庆: 大庆石油学院,2009.
- [2] Brook A J, Baker A L. Chlorination at power plant: impact on phytoplankton productivity [J]. Science, 1972, 178 (4042):1414 - 1415.
- [3] 曾江宁, 陈全震, 郑 平, 等. 余氯对水生生物的影响[J]. 生态学报,2005,25(10):2717 - 2724.
- [4] 吐尔逊阿依·木依提, 韩龙喜, 金坚. 电厂温排水余氯对水环境影响的数值模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版),2008,36(4):475 - 478.
- [5] 张 燕, 孙英兰. 电厂温排水中余氯浓度预测[J]. 海洋科学,2007,31(2):5 - 8.
- [6] 徐兆礼, 李 鸣, 张光玉, 等. 涉海电站取排水口工程设计环保措施[J]. 海洋环境科学,2011,30(2):234 - 238.
- [7] 毕闻彬, 孙英兰. 余氯排海浓度预测及渔业损失计算[J]. 海洋湖沼通报,2009(1):57 - 60.
- [8] 张存勇. 连云港近岸海域潮流动力特征[J]. 水运工程,2012(9):30 - 34.
- [9] 张学庆, 孙英兰. 胶南近岸海域三维潮流数值模拟[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2005,35(4):579 - 582.
- [10] 王学昌, 孙长青, 孙英兰, 等. 填海造地对胶州湾水动力环境影响的数值研究[J]. 海洋环境科学,2000,19(3):55 - 59.
- [11] 刘兰芬, 郝 红, 鲁光四. 电厂温排水中余氯衰减规律及其影响因素的实验研究[J]. 水利学报,2004(5):94 - 98.
- [12] 张 穗, 黄洪辉, 陈浩如, 等. 大亚湾核电站余氯排放对邻近海域环境的影响[J]. 海洋环境科学,2000,19(2):14 - 18.
- [13] Carpenter E J, Peck B B, Ander S J. Cooling water chlorination and productivity of entrained phytoplankton [J]. Marine Biology, 1972,16(1):37 - 40.
- [14] Fisher D J, Burton D T, Yonkos L T, et al. The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organism in the presence and absence of ammonia [J]. Water Research, 1999,33(3):760 - 768.
- [15] Matlice J S, Zittlel H E. Site - specific evaluation of power plant Chlorination [J]. Journal Water Pollution Control Federation, 1976,48(10):2284 - 2308.