一种冷却海水排放的三维温度模拟方法

周莉华,姚 琪,古丽扎

(河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:采用 GLLVHT 模型对江苏 LNG 项目冷海水排放温度场进行模拟计算,预测其环境影响。并针对南通海域的具体情况采用不同计算方案进行计算,根据结果分析可知影响程度最大的方案是:温降大于 0.5℃的面积最大约为 0.93 km^2;影响程度最小的方案:温降大于 0.5℃的面积最大约为 0.89 km^2。根据计算结果,同时考虑到技术、经济因素,在保证安全情况下推荐采用排口 1 处表面排放。

关键词:三维数值模拟;液化石油气冷排水;GLLVHT

中图分类号:X52 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2006)06-0038-03

A three-dimensional temperature simulation method for discharge of cooled seawater

ZHOU Li-hua, YAO Qi, GU Li-za

(*School of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: GLLVHT model was applied to the simulation of temperature distribution of cooled water discharge of Jiangsu LNG project for the prediction of environmental influences. Based on the discussion of different discharge conditions in Nantong coastal area, we know that, the regions where temperature drop is more than 0.5℃ is about 0.93km^2 in the scheme with maximal impact on the water environment and 0.89km^2 in the scheme with minimum impact. Taking the technical and economic factors into consideration, we put forward our proposals that the surface discharge may be located at the receiving station.

Key words: three-dimensional numerical simulation; cooled water discharge of liquefied petroleum gas; GLLVHT

为了充分利用国际资源、满足经济发展的需要,江苏省计划引进液化天然气作为该地区天然气气源,拟在南通市洋口港附近建设 LNG 接收站。液化石油气冷却水排放将对附近海域环境产生影响,为此,笔者采用 GLLVHT 模型[1]对冷却水排放温度影响进行了数值模拟研究。

江苏 LNG 项目拟在接收站处建一人工岛,位于江苏省如东县海滨辐射沙洲的西太阳沙,西距小洋口港约 15 km,西南距吕四港约 50 km、距如东县城约 30 km。采用开架式海水气化器对液化石油气进行气化,流量为 28 067 m^3/h,冷排水与海水温差 2~4℃。

项目位于如东太阳沙岛附近海域,属于辐射沙洲的南半部分,近岸地区多为宽阔的淤泥质海滩,有许多的涨落潮水沟,滩槽相间,水流情况复杂。海滩潮间带的平均宽度为 10 km,其坡度为 0.1%~0.12%,在沙洲并陆段甚至可达 30 km。而水下 5 m 外的地形相对较为平坦,水流结构也较近岸地区为单一。

如东近海水域平均水温最低为 2 月份,月平均水温表层为 4.9℃,底层为 5.1℃。平均水温最高月份出现在 8 月份,表层为 27.4℃,底层为 24.2℃。

1 计算模型机理及验证

1.1 控制方程[2-3]

a. 水动力方程

假设流体均匀不可压,垂直方向上服从静水压力分布。采用笛卡儿直角坐标系,x 轴和 y 轴位于平均水平面上,x 轴向东为正,y 轴向北为正,z 轴向下为正,得三维水动力学方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} =$$

作者简介:周莉华(1981—),女,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为环境评价与规划。E-mail:zhoulihua504@sohu.com

$$g\frac{\partial z'}{\partial x}+fv-\frac{g}{\rho}\int_{z'}^{z}\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)\partial z+A_h\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right]+A_z\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=$$

$$g\frac{\partial z'}{\partial y}-fu-\frac{g}{\rho}\int_{z'}^{z}\left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)\partial z+A_h\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right]+A_z\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

$$p_a=g\int_{z}^{z'}\rho\mathrm{d}z$$

$$\frac{\partial z'}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=\frac{\partial z}{\partial t}$$

$$f=2\omega\sin\theta$$

式中：u、v、w 分别为 x、y、z 轴方向上的流速分量；z' 为表面高程，z 为海床高程；ρ 为水体密度；A_z、A_h 分别为垂直和水平涡动粘滞系数；f 为柯氏参数；ω 为地球自转的速度；θ 为当地纬度；g 为重力加速度；p_a 为水的压强；p、q 分别为 x、y 方向上的单宽流量。

b. 温度扩散方程

$$\frac{\partial\Delta T}{\partial t}+u\frac{\partial\Delta T}{\partial x}+v\frac{\partial\Delta T}{\partial y}+w\frac{\partial\Delta T}{\partial z}=$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hK_x\frac{\partial\Delta T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hK_y\frac{\partial\Delta T}{\partial y}\right)+$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(hK_z\frac{\partial\Delta T}{\partial z}\right)+S_1-\frac{K_s\Delta T}{\rho C_\rho}$$

$$\Delta T=T-T_e\qquad S_1=Q\Delta T_0$$

式中：ΔT 为温降；T 为冷排水水温；T_e 为自然水温；h 为全水深，即水面到水底的距离；K_x、K_y、K_z 为水体的热扩散系数，取 10.0 m^2/s；C_ρ 为水体的比热（kcal/kg·℃）；S_1 为冷源，Q 为排放量；ΔT_0 为设计的排放温降；K_s 为表面温度交换系数。

1.2 初边值条件及计算区域

a. 流场定解条件

初始条件

$$h(x,y,z;0)=h_0(x,y,z)$$

$$u(x,y,z;0)=v(x,y,z;0)=w(x,y,z;0)=0$$

边界条件

岸边界：$v_n(x,y,z,t)=0$（岸边界的法向流速为零）

水边界：$h=h(t)$（已知水边界点上的潮位过程）

b. 温度场的边界条件

水边界：

入流边界 $\Delta T=0$

出流边界 $\dfrac{\partial\Delta T}{\partial n}=0$

陆边界：

$$\frac{\partial\Delta T}{\partial n}=0$$

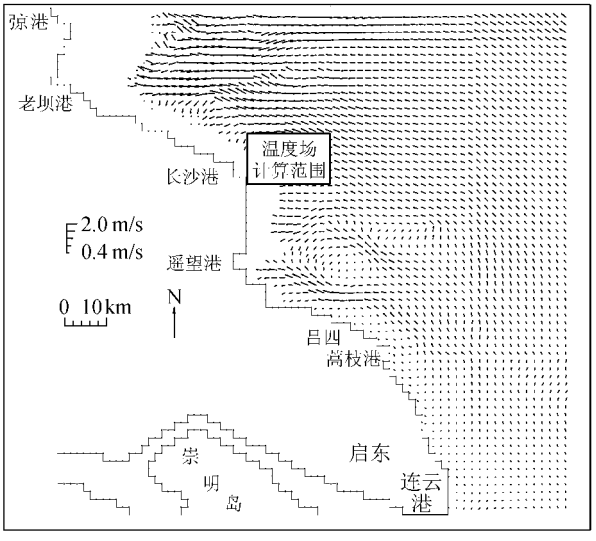
式中 n 为边界法向。

计算海域北起□港南至吕四镇，南北间距约为 116 km；东西范围为 120°50′E ~ 122°0′E，宽度横跨 152 km，计算域的总面积约 1.8 万 km^2。

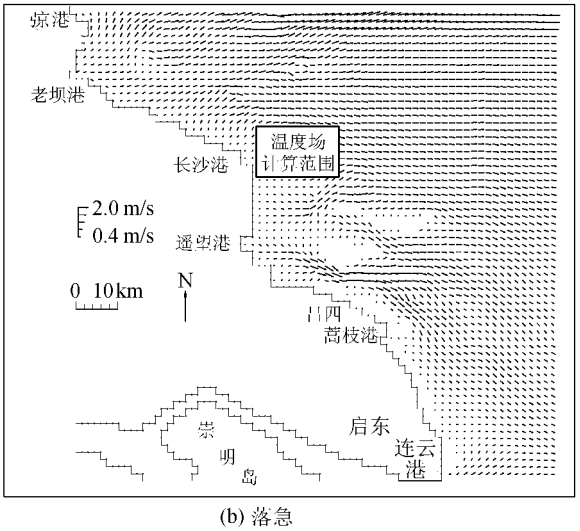
1.3 模型验证

GLLVHT 模型采用矩形计算网格布置，本次验证以 312.5 m × 369 m 与 100 m × 123 m 两种不同大小网格分别进行模拟。根据海域水文气象特性及以往计算工作经验，考虑风应力对流场的影响，各参数经反复调试后取值为：底部摩擦 Chezy 系数为 35 $m^{1/2}/s$，x、y 方向风速均为 3.0 m/s，表面温度交换系数 K_s 为 35 W/(m^2·℃)；表面平衡温度 20℃[4-5]。

在西太阳沙设 2 个水文测验点分别监测大、小潮时的水文情况。经计算验证可知，无论小潮和大潮，整个海域计算流态与实际流态基本相符。大潮涨、落急 2 种设计水流条件模拟流场见图 1。



(a) 涨急



(b) 落急

图 1 大潮流场

2 预测计算方案以及结果

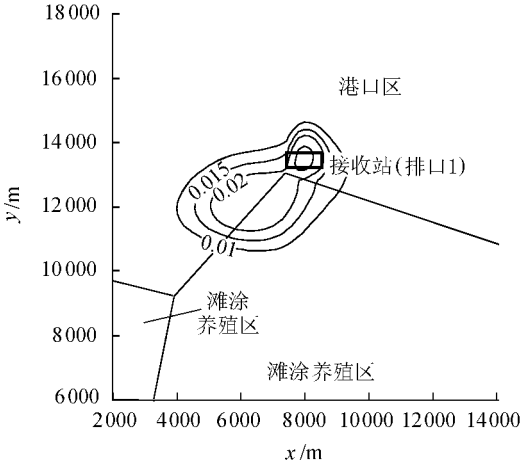
预测营运期不同取、排水位置冷排水对海域温

度环境的影响范围及程度。计算方案见表 1。

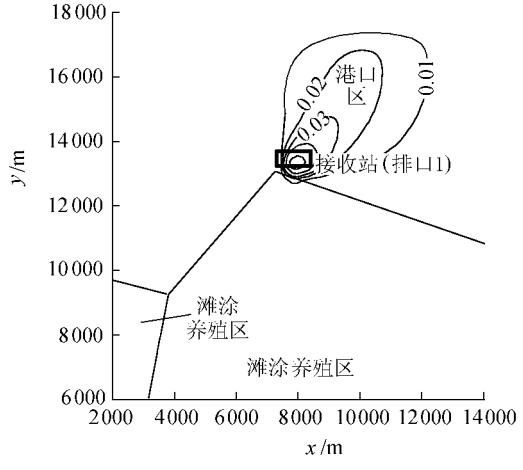
表 1　计算方案

方案	温降/℃	排放口位置	排放方式	方案	温降/℃	排放口位置	排放方式
1	5	接收站(排口 1)	表面	3	5	码头(排口 2)	表面
2	5	接收站(排口 1)	底部	4	5	码头(排口 2)	底部

一般情况下,大潮期的涨、落潮流对污染物的迁移稀释能力比小潮期强,为保守起见,本次评价计算小潮期冷海水排放对整个海域的影响和程度。小潮期冷海水排放量为 28 067 m^3/h,计算结果以及局部区域的等温降线见图 2,3。



(a) 涨急



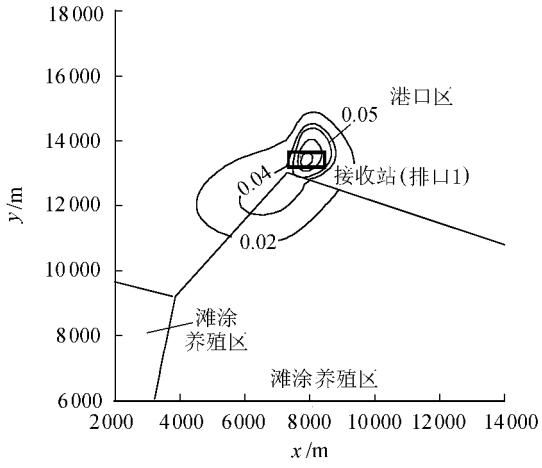
(b) 落急

图 2　方案 1 的等温降线

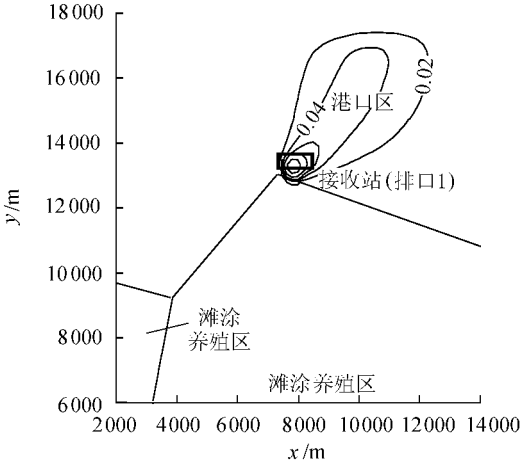
从预测结果及等温降线分布图可以看出,冷海水排放后,在排放口附近海域将形成一个温降区域。落急时,等温降线呈舌状向排放口北侧深水的方向分布;在涨急时,冷海水随着潮流向西南迁移扩散。

3　结　语

结果分析表明:影响程度最大的为方案 2,落急时,其温降大于 0.5℃的面积约为 0.93 km^2;在涨急时,温降大于0.5℃的面积约为0.92km^2;取水口处的温降最大为 0.41℃。影响程度最小的为方案 3,落急时,温降大于 0.5℃的面积约为 0.89 km^2;在涨急时,温降大于 0.5℃的面积约为 0.85 km^2;取水口处的温降最大为 0.01℃,可忽略不计。但本项目由于考虑到技术经济因素,在保证安全情况下推荐采用方案 1,即排口 1 处表面排放。



(a) 涨急



(b) 落急

图 3　方案 2 的等温降线

参考文献:

[1] VENKAT S K, EDWARD M B, ASCE M, et al. Hydrodynamic modeling of coastal LNG cooling water discharge[J]. Energy Engrg, 2003, 129(1): 16-31.

[2] JOHN E E. Waterbody hydrodynamic and water quality modeling [M]. New York: American Society of Civil Engineers, 2002: 155-163.

[3] 逄勇,濮培民. 太湖风生流三维数值模拟试验[J]. 地理学报, 1996, 51(4): 328-332.

[4] PANTANKER S V. Numerical heat transfer and fluid flow[M]. New York: Hemisphere Publishingcorporation and MCGraw-Hill Book Company, 1980: 131-150.

[5] 张书农,童亮. 室内水面散热系数的实验研究[J],水资源保护, 1986(1): 19-23.

(收稿日期:2005-03-30　编辑:舒　建)