

文章编号: 1007 9432(2005) 03 0235 03

潮汐水域流速场和温度场的数值模拟研究

郝瑞霞, 齐伟, 李海香, 林树彪
(太原理工大学 水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 结合拟建的深圳前湾电厂冷却水工程实际, 对电厂温排水排入附近海域的流速场和温度场进行了平面二维数值模拟。将流速和潮位的计算结果与实测资料进行了分析比较, 二者吻合良好。在此基础上, 对电厂温排水的温度影响范围及取水温升进行了数值模拟预报, 为工程设计和环境评价提供了依据。

关键词: 潮汐水域; 二维数值模拟; 流速场; 温度场

中图分类号: TV137 **文献标识码:** A

近年来大型电厂相继在沿海地区建立起来。电厂冷却水工程采用表面冷却方式, 将向周围水环境中排放大量的废热。如何合理地进行取排水工程布置, 使电厂取到低温水, 是厂方必须考虑的问题; 同时, 大量废热水排入附近水域所引起的水环境问题也不能忽视。对以上两方面进行研究的基础是对接纳水域温度场和流速场的定量描述。研究此类问题多采用物理模型试验或数值计算两种方法, 而数值计算以费用低、速度快、易改变条件等优点越来越多被采用。

1 数学模型

1.1 基本方程

从不可压缩流体运动的基本方程出发, 忽略物理量沿水深方向的变化, 将其沿水深方向积分, 即求得深度平均的平面二维水流运动方程。

连续性方程:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0.$$

运动方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = & -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - fv - \\ & \frac{gu}{c^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\tau_{sx}}{\rho H} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[HE_x \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \\ & \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HE_y \frac{\partial u}{\partial y} \right]; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = & -g \frac{\partial \xi}{\partial y} + fu - \\ & \frac{gv}{c^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\tau_{sy}}{\rho H} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[HE_x \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \\ & \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HE_y \frac{\partial v}{\partial y} \right]. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HE_y \frac{\partial v}{\partial y} \right]. \\ \text{深度平均的热传输方程:} \\ & \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} \left[HK_x \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \\ & \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left[HK_y \frac{\partial T}{\partial y} \right] - \frac{K_s T}{\rho C_p H}; \\ & H = h_b + \xi; \quad T = T' - T_\infty; \\ & \tau_{sx} = \tau_s \cos \theta, \quad \tau_{sy} = \tau_s \sin \theta, \\ & \tau_s = C_D \rho_a w^2. \end{aligned}$$

式中: $f = 2\omega \sin \Psi$, $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$; ξ 为从平均水面算起的水面高度; h_b 为从平均水面算起的水体深度; H 为水深; t 为时间; ρ 为水的密度; ρ_a 为空气的密度; g 为重力加速度; w 为风速; ω 为地球自转角速度; Ψ 为当地纬度; C_D 为与风速有关的系数; τ_s 为表面风应力; τ_{sx} , τ_{sy} 为表面风应力在 x , y 方向分力; u , v 为水深平均流速; x , y 为坐标; K_x , K_y 为广义热扩散系数; E_x , E_y 为广义涡黏性系数; K_s 为水面散热系数; C_p 为定压比热; T 为水体超温; T' 为水体温度; T_∞ 为自然水温。

1.2 定解条件

1.2.1 初始条件

$$\begin{aligned} u(x, y, 0) &= u(x, y), \\ v(x, y, 0) &= v(x, y), \\ \xi(x, y, 0) &= \xi_0(x, y). \end{aligned}$$

1.2.2 边界条件

陆地边界条件: 采用滑移条件, 即 $v \cdot n = 0$, 潮间

* 收稿日期: 2004 11 08
基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(20021022)
作者简介: 郝瑞霞(1965-), 女, 山西浑源县人, 副教授, 博士, 主要从事水力学、环境流体力学等方面的教学和科研工作。
(Tel)0351-6014621, (E-mail) Hao RuiXia@163.net
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

带采用动边界模拟处理;温度为绝热条件, $\frac{\partial T}{\partial n}=0$ 。

潮流水边界:给出变化过程,即 $\xi(x, y, t)=\xi(t)$,其潮位过程由实测资料推求。流速、温度采用基于对流的外延插值法获得。

取排水口边界:速度和温度由取排水流量和热量守恒推出。

1.3 计算方法

数值计算采用分步杂交法^[1]。该方法采用三角形网格系统,将计算的每一时间步长分成两步进行。前半步采用特征线法,主要考虑对流效应;后半步采用集中质量的有限元法,主要考虑扩散效应。首先计算该水域的流速场,并验证其正确性,在此基础上进行各种取排水工况下温度场的模拟计算。

1.4 参数选取

根据多个冷却水工程数值模拟实践经验和该海域的特点^[2,3],计算参数选取如下:糙率系数 $n=0.02$;水面散热系数 $K_s=48 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;广义涡黏性系数 $E_x=E_y=5 \text{ m}^2/\text{s}$;广义热扩散系数 $K_x=K_y=5\sim 30 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

2 流场验证

2.1 工程简介

深圳前湾燃机电厂将建在珠江口大铲岛上,与妈湾电厂隔水相望,在其上游 4 km 处。电厂本期装机 $3\times 350 \text{ MW}$,冷却水量 $23.4 \text{ m}^3/\text{s}$,规划装机 6

$\times 350 \text{ MW}$,冷却水量 $46.8 \text{ m}^3/\text{s}$,温升均按 8°C 考虑。同时考虑妈湾电厂装机容量 $6\times 300 \text{ MW}$,冷却水量 $72 \text{ m}^3/\text{s}$,温升 8°C 。

2.2 验证资料

验证数据来源于 2002 年 7 月 11 日—8 月 12 日对该电厂临近海域的多点全潮同步观测资料。综合水文观测参考文献[4,5]。

2.3 计算细节

根据工程要求,模拟海域为内伶仃洋大铲岛附近海域,纵向长度约 32 km,计算域覆盖面积约 450 km^2 。采用能适应天然不规则边界的三角形计算网格,并根据不同的地形情况、水流条件和工程布置要求使网格疏密程度不同。全域采用数值计算网格单元 5 436 个。计算结点 2 869 个,计算网格最小垂线长度为 100 m。

2.4 验证结果及分析

根据实测大中小潮进行了潮流的计算,并与计算区域中的 2 个潮位测站和 8 个流速测站的实测资料进行了比较。限于篇幅,文中仅给出了前湾站大小潮位变化过程线(见图 1)和 5 号测点(电厂附近)的流速和流向过程线(见图 2),及大潮涨急时的瞬时流速场(见图 3)。

计算结果表明:

1) 计算所得潮位过程和实际吻合良好。

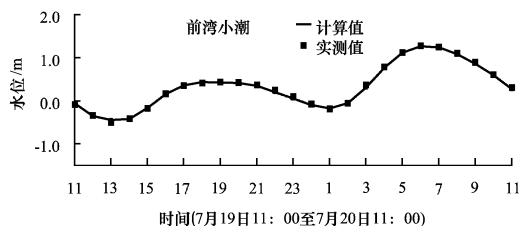
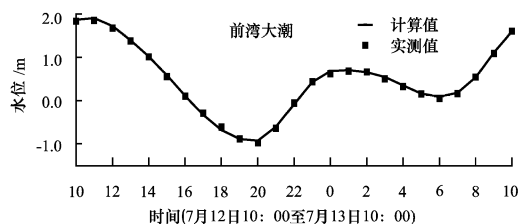


图 1 计算潮位过程线与实测值的比较

2) 计算结果显示前湾电厂附近水域的流动基本上为往复流动,潮流规律也与文献[5,6]中描述一致。

3) 计算所得各流速测点的流速及流向和实测趋势一致。

3 温度场计算结果与分析

限于篇幅,文中只介绍方案比较阶段的研究成果。在方案比较阶段,计算针对两个取排水方案(I为西南排东取,II为西南取东排),对大中小三种实

测潮型进行了电厂装机容量为 $6\times 350 \text{ MW}$ 情况下的温排水计算,同时考虑已建妈湾电厂的装机容量,共 6 组。其中方案 I 大小潮的全潮最大温升包络面积图见图 4,图 5。

计算结果表明:

1) 温度分布规律主要取决于环境水域流场的分布与变化。涨潮时,从排水口排出的热水随涨潮流沿矾石水道流向上游;落潮时,从排水口排出的热水随落潮流向东南流往下游深水区。

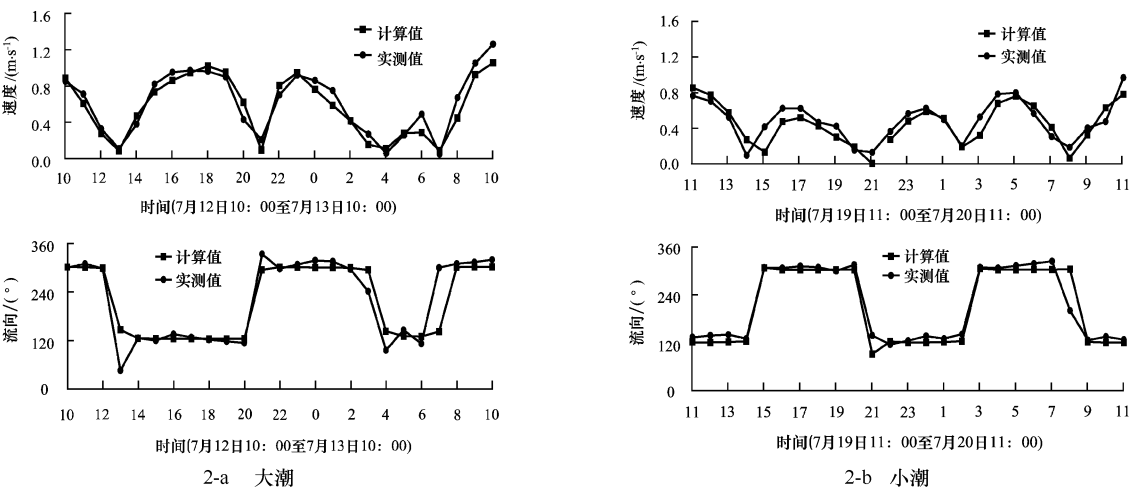


图 2 计算流速与实测流速的比较

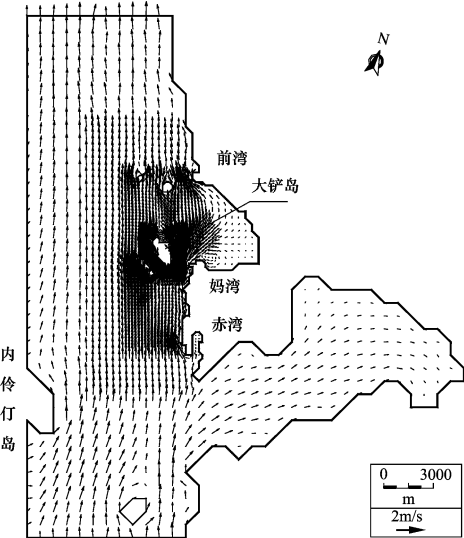


图 3 数值计算全域瞬时流速场(大潮, 涨急)

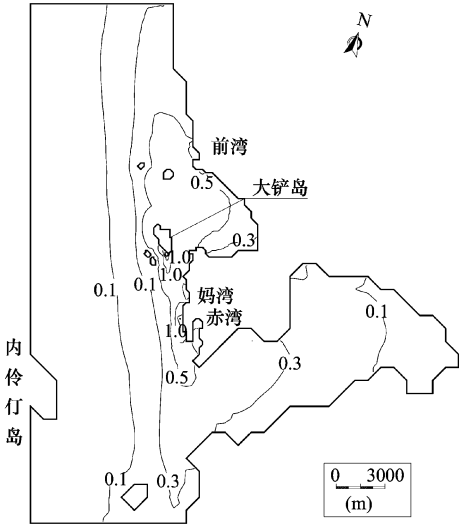


图 4 全潮最大温升等值线包围面积(大潮)

- 2) 计算水域温度场为长条形分布, 大小潮相比, 大潮水流流速大, 热量输移远, 其形状窄而长。
- 3) 方案的不同只影响排水口近区小范围, 对温升面积的影响很小, 特别是低温面积。
- 4) 整体上各方案平均取水温升不大于 0.7℃, 最高温升不大于 1.5℃。方案 I 略优于方案 II, 瞬时约低 0.3℃。
- 5) 各工况全潮最大温升 1.0℃等值线未与妈湾电厂贯通, 0.5℃等值线抵达妈湾电厂。

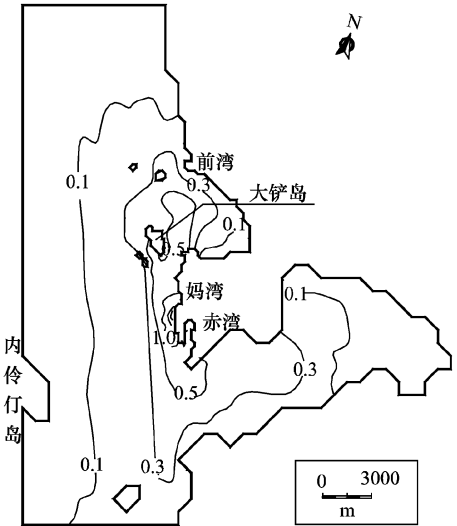


图 5 全潮最大温升等值线包围面积(小潮)

4 结论

- 1) 本文所采用的数学模型可用于大范围水域冷却水工程的潮流和热量输移计算。
- 2) 前湾电厂附近水域水流条件良好, 对热量的稀释、输移和扩散能力较强, 热量不易集中。

(下转第 245 页)

The Application of Matpower in Calculating Spot Price of Power System with Optimal Power Flow

HANG Xiao qing XIAO Yu ZHANG Hai yan

(College of Electrical & Power Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Matpower is a package of Matlab files for solving power flow and optimal power flow problems. According to the theory of spot price and the relation between spot pricing models and the optimal power flow (OPF), this paper discusses how matpower can be used for calculating spot price of power system with optimal power flow. The numerical results of IEEE 14 bus test system are given to demonstrate the feasibility.

Key words: matpower; optimal power flow; spot price

(编辑: 贾丽红)

(上接第 237 页)

参考文献:

- [1] 吴江航. 计算流体力学的理论、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [2] 柴方昆. 珠海电厂冷却水工程数值研究报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 1992.
- [3] 李瑞生, 郝瑞霞. 湛江奥里油发电厂冷却水工程平面二维数值模拟研究报告[R]. 中国: 中国水利水电科学研究院, 2002.
- [4] 国家海洋局南海工程勘察中心. 广东前湾电厂夏季全潮水文测验分析报告—图表集[R]. 2002.
- [5] 国家海洋局南海工程勘察中心. 广东前湾电厂夏季全潮水文测验分析报告[R]. 2002.

Research of Numerical Simulation of Flow Velocity Field and Temperature Field and Its Application in Project

HAO Rui xia, QI wei, LI Hai xiang, LIN Shu biao

(College of Hydraulic Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to the cooling water project of Qianwan Power Station, the two-dimensional plane numerical simulation research in flow velocity field and temperature field of the water space where thermal effluent is drained was done. Comparing calculation result of velocity and tidal phase with the real data, they are merged well. And on the bases, numerical prediction about temperature influence area and intake temperature rise of thermal effluent was made, reference for project design and environmental assessment was provided.

Key words: tidal area; two dimensional numerical simulation; flow velocity field; temperature field

(编辑: 张红霞)