



三维温排放数值模拟 在外高桥一期电厂取排水口选址中的应用

肖烈兵, 曹慧江, 楼飞

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 对外高桥电厂建立三维温排放数值模拟, 分析了取、排水口不同方案的温排放平面和垂向分布以及取水口温升随潮汐变化过程, 为电厂取排水口选址方案优化和环境影响评价提供科学依据。

关键词: 取排水; 温排放; 数值模拟

中图分类号: TM 628

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0021-06

Application of three-dimensional warm drain numerical simulation in intake site selection of Waigaoqiao power plant

XIAO Lie-bing, CAO Hui-jiang, LOU Fei

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: This paper establishes the three-dimensional warm drain numerical simulation of Waigaoqiao electric power plant, and analyzes the probable warm drain horizontal distribution and vertical profile distribution, along with the time graph of intake temperature rise varying with the tidal fluctuation after implementation of the scheme, which provides a scientific foundation for scheme optimization and environmental effects evaluation of intake site selection.

Key words: intake; warm drain; numerical simulation

外高桥电厂位于长江口南港中段南岸侧, 属于上海外高桥河段, 距上游吴淞口约为7.5 km, 距下游五号沟约7 km。电厂拥有岸线约1.8 km, 呈东南125°走向, 电厂装机容量为一期4×300 MW, 二期2×900 MW, 三期2×1 000 MW。目前一期电厂取排水循环已呈现逐年恶化状态, 主要表现在: 1) 电厂的煤、灰、脱硫辅料码头和3个取排水口均集中建设在1 800 m的岸线范围内, 一期取水口处水域淤积严重; 2) 一、二、三期循环水取水口相邻在900 m范围内, 且沿岸线走向未成错列布置, 致使相互间发生影响, 一期取水口内侧的排水口和取水口处已部分形成内回流现象。

由于目前一期电厂取排水口附近的码头布置(图1)及地形现状导致电厂高温水体排出后易流

向取水口, 循环水温度异常波动, 已经严重影响到了一期4台300 MW机组的安全、经济运行, 循环水温度如继续升高, 可能导致在用电高峰期带不足负荷, 从而影响机组的安全运行。本文建立三维温排放数值模拟模型, 在对水流和温度场进行验证的前提下, 对不同取排水口方案下温排水扩散范围及电厂取水温度变化进行模拟计算, 为电厂一期取排水口方案优化及环境影响评价和设计提供科学依据。

1 水流温度输运数学模型

20世纪70年代开始, 国内外海洋环境学家们就有关电厂温排水对附近海域的影响进行调查和研究。1984年联合国海洋污染专家组(GESAMP)^[1]

收稿日期: 2012-10-24

作者简介: 肖烈兵(1981—)男, 工程师, 主要从事数模研究。

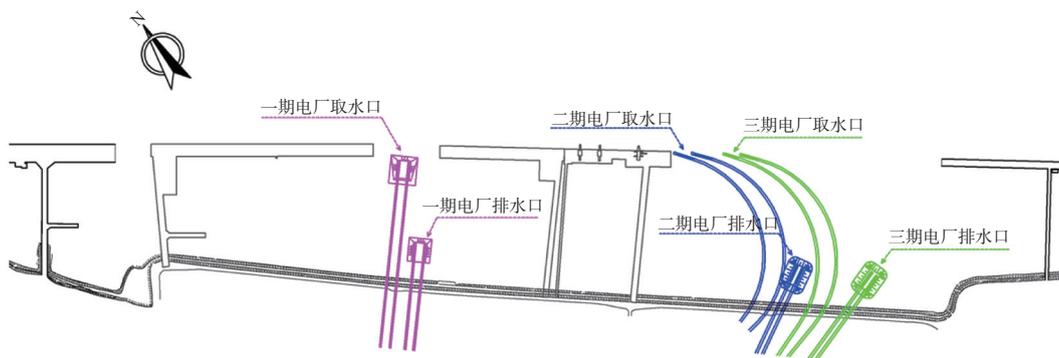


图1 电厂原取排水口位置

对世界各国科学家前十几年在该领域取得的研究成果进行总结。王丽霞等^[2-3]从确定温排水与环境水温的变化关系出发,详细分析了多种影响海洋水温变化的因素,并对近年来热扩散预测方法的研究现状做了回顾。蒋爽等^[4]给出了近年来海水热扩散研究进展的主要文献目录。20世纪中后期,电厂温排水研究大多以数学模型解析解^[5-7]和物理模型试验^[8]为主。随着电子计算机技术和数值计算方法的发展,数值模型计算已成为电厂温排水研究的重要手段。但因为温排放力学机理的复杂性以及滨海动力条件的复杂性,温排放数值模型仍处在发展过程中,描述温排水运动一般规律的理论为时均化的 $N-S$ 方程和温度输移扩散方程,其控制方程有两种,即二维模型方程和三维模型方程。电厂温排水数值模拟研究起始于20世纪70年代中期,数值模型具有投资小、周期短且不存在物理模型中模型相似问题等优越性。多年来人们系统地开展了温排水输移扩散的数学模型研究,提出了多种较为实用、有效的理论模型和计算方法。

本文采用三维温排放数学模型对外高桥电厂水域温度场进行模拟,为电厂取排水口选址方案优化比选和环境影响评价提供科学依据。

1.1 基本方程

水流方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} + \frac{\partial(wu)}{\partial z} = f\bar{v} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-z}^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_x + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial z} = -f\bar{u} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_{-z}^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_y + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad (3)$$

温度输运方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (4)$$

式中: t 为时间; x, y, z 为Cartesian坐标系; η 为水面相对于计算平面的水位; h 为计算平面下的静止水深; u, v, w 分别为流速在 x, y, z 方向上的分量; p_a 为当地大气压; ρ 为水密度, ρ_0 为参考水密度; $f=2\Omega \sin \varphi$ 为Coriolis参量(其中 $\Omega=0.729 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 为地球自转角速率, φ 为地理纬度); $f\bar{v}$ 和 $f\bar{u}$ 为地球自转引起的加速度; $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 为辐射应力分量; $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$ 为水平黏滞应力项; S 为源汇项, (u_s, v_s) 源汇项水流流速; T 为温度; D_v 为垂向扩散系数; \hat{H} 为与大气交换的源项; T_s 为源的温度; F 是水平扩散项。

1.2 模型范围

模型计算范围为电厂所在长江口南港水域,模型上下游边界由实测潮位提供。模型采用三角形和矩形相结合的无结构网格形式^[1-2],电厂取排水口布置所在局部水域网格最小步长为10 m,共有约25 000个网格单元。

1.3 模型验证

利用实测水文资料和实测温度资料分别对水流和温度场进行验证,长兴码头潮位测点位于电厂对岸。验证点位置见图2,流速、流向验证点位置位于南港中下段。验证结果分别见图3~5。

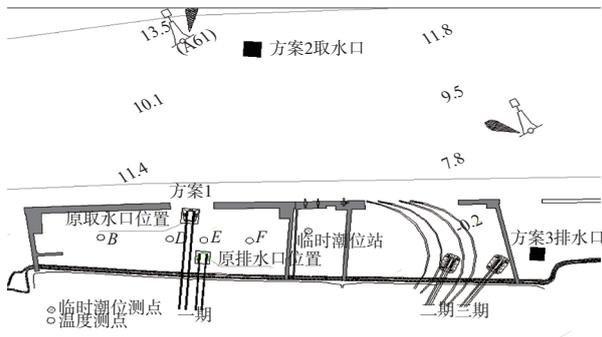
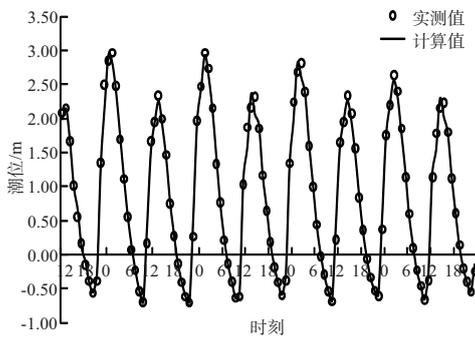
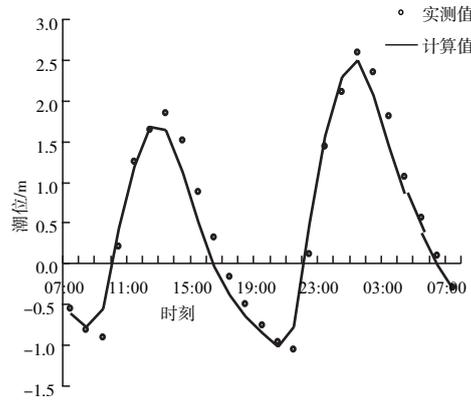


图2 模型验证点位布置

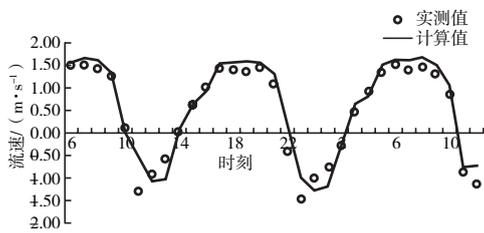


a) 长兴码头

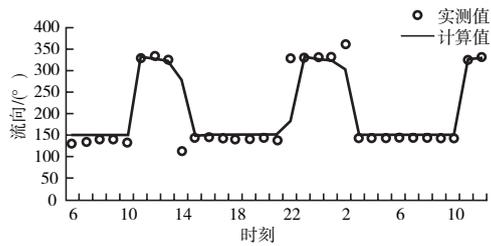


b) 电厂潮位观测站

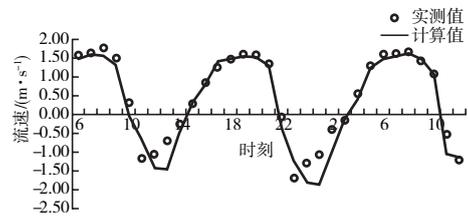
图3 潮位验证



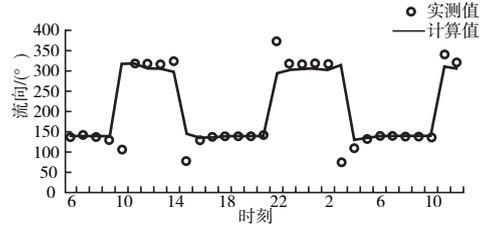
a) ng₂流速



b) ng₂流向

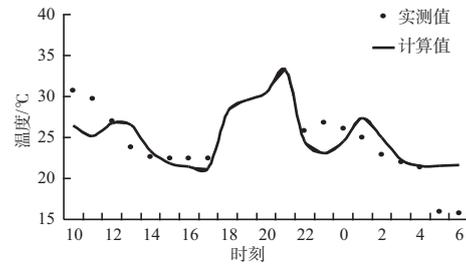


c) ng₃流速

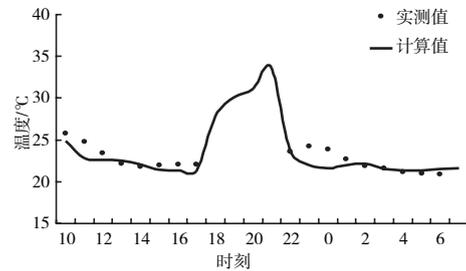


d) ng₃流向

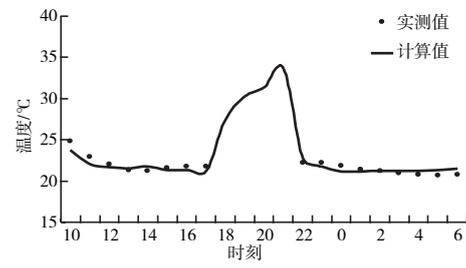
图4 流速、流向验证



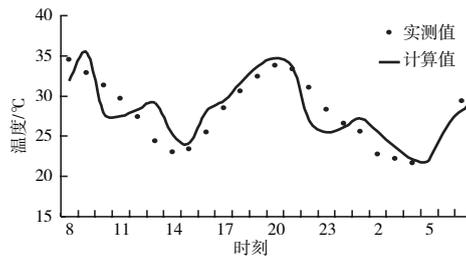
a) B (表层)



b) B (中层)



c) B (底层)



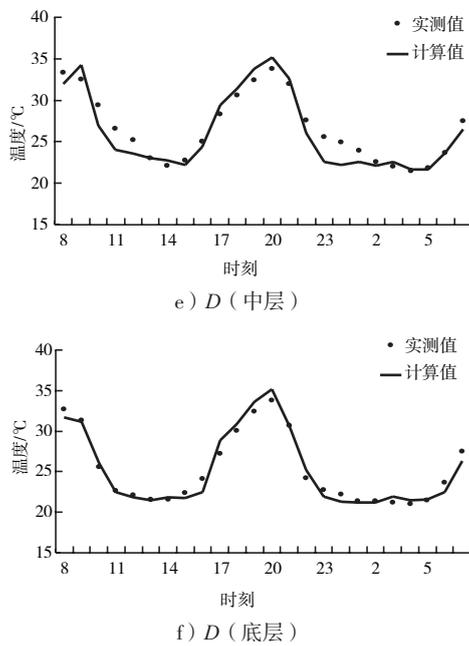


图5 三维温度验证

从水流和温度验证结果来看，数值模拟计算结果与实测值吻合较好，较好地反映了电厂所在水域的流场特征和温排放扩散规律，说明模型可以用来进行取排水口方案优化研究。

2 取排水口方案设置

根据取排水口设置需求及周边环境，分别对一期取、排水口位置进行优化，进行了本底方案、取水口外移、排水口沿岸东移3个方案的模拟计算。具体取排水口方案设置见表1和图2。

表1 数模计算取排水口方案

方案编号	风向	风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	排水口位置	取水口位置	取排水流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	取排水温升/ $^{\circ}C$
1	南风	8	保持现状位置	保持现状位置	一期: 52	10
					二期: 65	
					三期: 65	
2	南风	8	保持现状位置	取水口外移600 m	一期: 52	10
				二期: 65		
				三期: 65		
3	南风	8	沿岸东移1150 m	保持现状位置	一期: 52	10
				二期: 65		
				三期: 65		

3 温排放影响

各方案高、低平潮时刻的温排放扩散范围和空间温升分布以及各取水口温升时间过程线变化见图6~8，各方案实施后随潮位变化的各取水口取水温升时间过程线见图9。

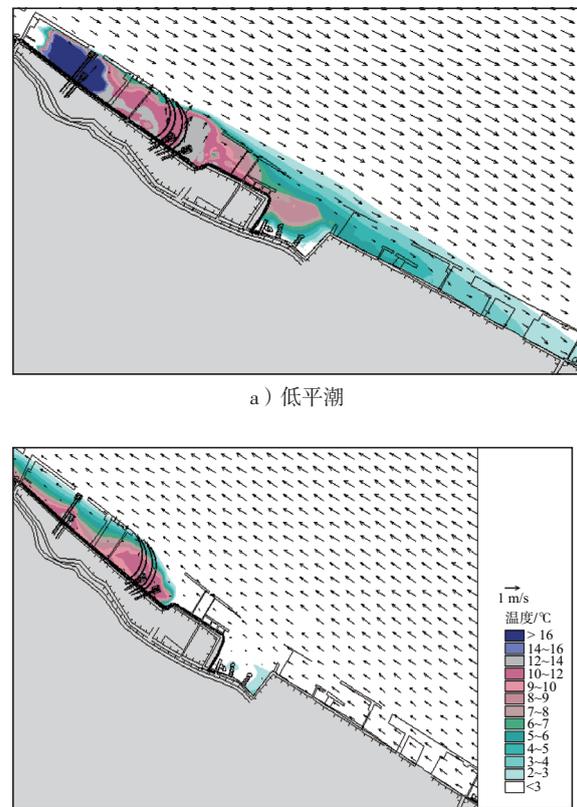


图6 方案1温升平面分布

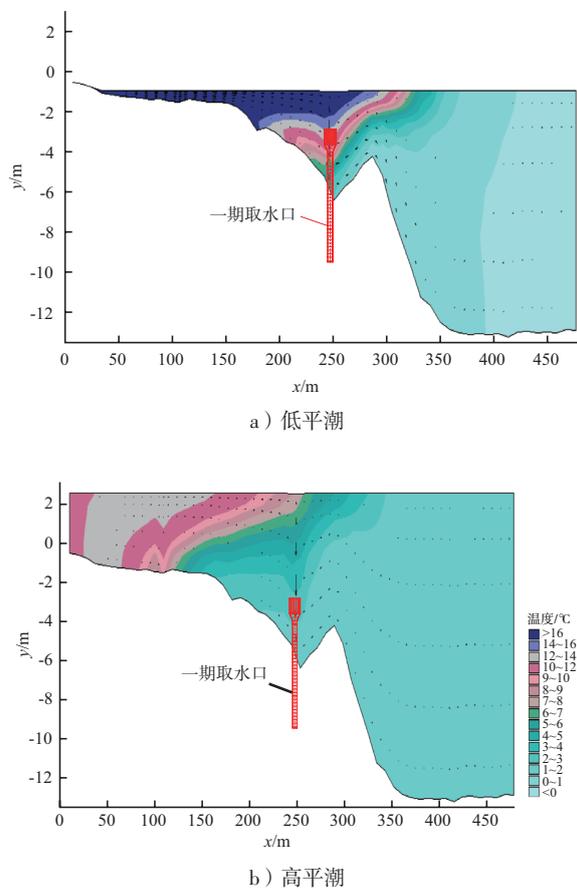
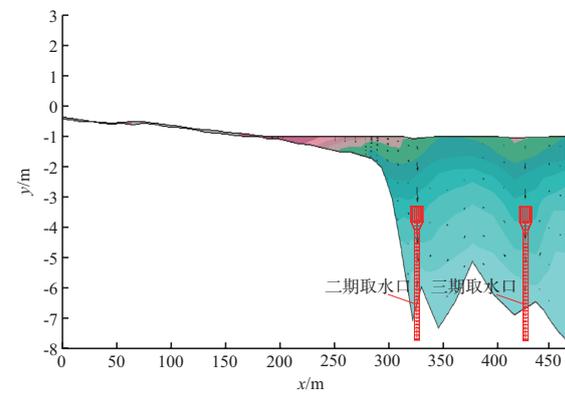
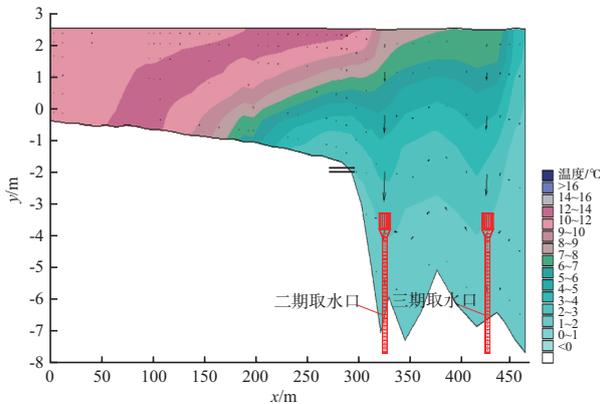


图7 方案1一期取水口断面温升垂向剖面分布

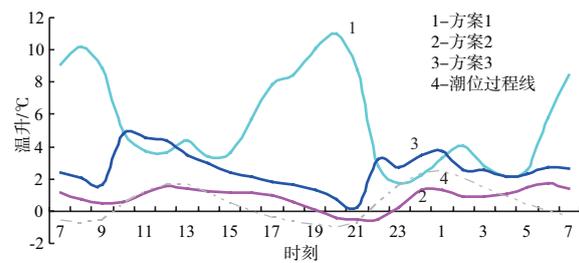


a) 低平潮

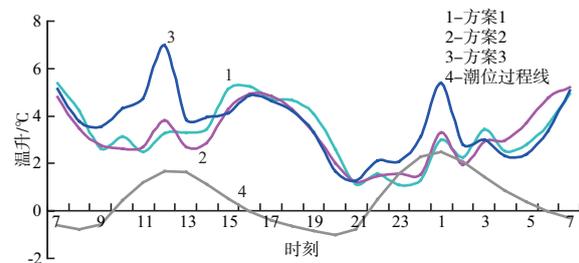


b) 高平潮

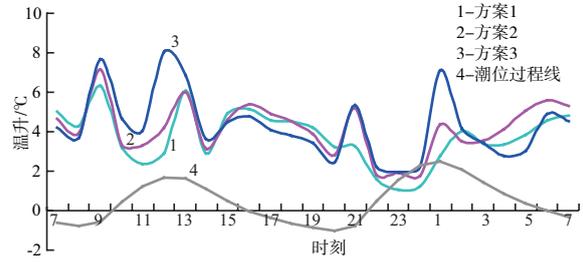
图8 方案1二、三期取水口断面温升垂向剖面分布



a) 一期



b) 二期



c) 三期

图9 取水口温升过程线

4 计算结果分析

从方案1温升平面分布图来看, 排水口排出的高温水体基本贴近岸边沿边滩分别向上下游发展, 其温升值逐渐降低, 影响区宽度逐渐展宽并最终形成冷热水锋面。高平潮期, 一期取水口温升在4 °C以下, 取排水口运行正常; 低平潮期, 热水带宽度分布离岸距离可达300 m, 此时段一期取水口附近水域基本被热水覆盖, 取水最大温升在10 °C以上, 取排水口运行状态严重恶化。此外, 方案1时二、三期取水口水域在各时段温升均较低, 取水温升在6 °C以下。

从各方案取水口温升时间过程线可以看出, 方案2即取水口外移很好地解决了一期取水口温升高的问题, 热水短路现象消失, 取水口全潮取水温升低于2 °C; 二、三期取水口取水温升与方案1相比基本不变, 取水口外移对二、三期取水基本没有影响。此外, 将取水口外移也避免了取水口易于淤积的现象。

方案3将排水口移至二、三期取排水口下游, 增加一期取、排水口之间的距离, 减少了一期取、排水口之间超热水体的内循环。一期取水口全潮取水温升均较低, 取水最大温升小于5 °C, 比现状情况下取水温升大大降低。但由于将排水口移至二、三期取排水口下游附近, 在高平潮期一期排水口所排出的高温水体与二、三期排水口所排水混合, 使得热水带宽度加大, 直接使得二、三期取水温升提高, 二期和三期取水口最大温升分别达7 °C和8 °C, 方案3对二、三期取排水口运行状态产生不利影响。

5 结论

1) 电厂温排水是一种带有较高热量的水流, 所挟带的热量进入受纳水体后一方面随着水流迁移扩散, 一方面从水气界面散发损耗。本文通过建立三维温度模型, 通过水流和温度验证表明该模型能较好地模拟出电厂附近水域水流和温排放扩散的规律, 可以用来进行取排水口方案优化比选, 这为类似水域温排放的数值模拟和取排水口方案优化比选提供了一种较为高效、实用的解决途径。

2) 通过数学模拟计算分析, 综合考虑各方案对取水口影响, 方案2将取水口外移后一期取水水温升相对最低, 不存在一期取排水口之间的热水短路现象, 取水口防淤、防热水短路都有大大改善, 此外, 该方案对下游二、三期取水口基本没有影响。方案3解决了一期取水口温升高的问题, 但在高平潮期一期排水口排出的热水与二、三期排出的热水混合并扩散至二、三期取水口附近, 对二、三期取水口温升造成一定影响。因此, 推荐方案2作为优化方案。

参考文献:

[1] GESAMP. Thermal discharges in the marine environment[R]. Roma: UHEP Regional Seas Reports and Studies, 1984: 1-44.

[2] 王丽霞, 孙英兰, 田晖. 热扩散预测方法研究概况: 影响海洋水温的因素[J]. 海洋科学, 1997(5): 24-25.

[3] 王丽霞, 孙英兰, 田晖. 热扩散预测方法研究概况: 热扩散的研究现状[J]. 海洋科学, 1997(6): 16-17.

[4] 蒋爽, 端木琳, 王树刚. 海水热扩散研究进展与新问题分析[J]. 能源环境保护: 2006, 20(5): 5-9.

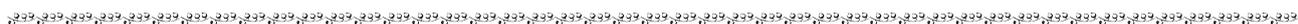
[5] 李孟国. 三角形网格在水动力水环境数学模型中的应用[J]. 水利水运工程学报, 2001 (3): 59-64.

[6] 何国建, 汪德灌, 刘晓波. 定边界点二维正交曲线网格的数值生成方法[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004(2): 16-19.

[7] 谢亚力, 黄世昌. Mike21软件在宁海电厂温排放数值模拟中的应用[J]. 浙江水利科技, 2005(5): 47-49.

[8] 陈惠泉, 许玉麟, 贺益英. 火、核电厂冷却水试验研究50年的进展和体验[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2008(4): 288-298.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第20页)

面的配套规章。强化规划实施监管, 严格内河港口岸线使用审批; 加大港航执法力度, 规范执法行为, 积极推进依法行政。实施科技专项研究计划, 加快制定内河限制性航道、信息化设施等标准规范, 加快节能、环保标准化船型研发。

4.4 改进基础工作, 深化行业改革

加强数据采集、综合统计、队伍建设等基础工作, 提高决策科学性和基层执行力。深化行政审批制度改革, 推行告知承诺和并联审批制度, 提高审批效率。推进航道建设和维护机制改革, 引入市场竞争机制, 鼓励国有企业积极承担内河集疏运设施建设、运行和维护等工作。按照权责

统一、强化效能、分级管理的原则, 形成市、区(县) 两级分工明确、条块清晰的内河港航管理体制, 深化港航管理体制变革。

参考文献:

[1] 薄坤, 祝毅然. 上海内河运输发展研究[J]. 水运管理, 2009, 31(6): 10-12, 26.

[2] 国发[2011]2 号国务院关于加快长江等内河水运发展的意见[R].

[3] 陈虹, 车军, 全东梅, 等. 上海市“十二五”内河高等级航道建设规划[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)