

文章编号: 1674 - 5566(2012)05 - 0816 - 09

## 象山港海洋牧场规划区选址评估的数值模拟研究: 滨海电厂温排水温升的影响

林 军, 章守宇, 龚甫贤

(上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

**摘 要:** 应用海洋数值模式 ECOM-si (estuarine coastal ocean model-semi-implicit), 耦合一个可用于实时计算的太阳辐射强度和海面热通量计算模块, 研究评估了象山港海洋牧场规划海域受两大滨海电厂(国华电厂和乌沙山电厂)温排水的影响程度。受往复流作用, 国华电厂的温排水对海洋牧场区较乌沙山电厂的温排水影响大, 海洋牧场西南侧受温排水影响较东北侧大。计算结果表明不同季节海洋牧场温升范围和分布特征各异, 经分析主要是因为各季节海气温差所导致。春季增温期的温升幅度最大, 可高于 1.0 °C, 且温升范围也最大, 对海洋牧场区的影响也最明显。秋季降温期内温升幅度最小(0.3 °C ~ 0.5 °C), 温升范围也最小。分别处于低温期与高温期的冬季与夏季, 海气温差小, 温升幅度约 0.5 °C ~ 1.0 °C, 温升范围亦居中。

**研究亮点:** 尝试海洋数值模式耦合一个可用于实时计算的太阳辐射强度和海面热通量计算模块, 应用于温排水对象山港海洋牧场区影响的研究, 揭示了温升分布规律及其季节差异的成因, 可为海洋牧场区的生态系统数值模型研究奠定基础。

**关键词:** 象山港; 海洋牧场; 选址评估; 数值模拟; 电厂温排水

**中图分类号:** P 731.2

**文献标志码:** A

海洋牧场的选址作为海洋牧场建设的首要环节, 是一项系统性的复杂工程, 必须考虑当地渔业结构、资源状况、海洋环境条件、已有基础和航运交通等多种要素, 选址的好坏将直接影响海洋牧场建设的成败<sup>[1]</sup>。水温是影响海域生态和环境的重要自然因素, 特别是对海域初级生产力及生态动力学过程的影响尤为明显。2006年1月6日, 象山港宁海峡山网箱养殖区附近海域甚至因温排水影响发生了罕见大面积冬季赤潮, 最大面积扩大至 14 km<sup>2</sup>, 厚度 5 ~ 6 m, 跟踪监测到 18 日, 赤潮方才消亡。可见, 水温对本海域的浮游生态系统具有显著影响, 海洋牧场海域的增殖活动也无时无刻不受海水温度变化的影响。

海洋数值模式现已成为海洋动力学研究领域的一个主要手段, 也被作为海洋牧场与人工鱼礁区规划和管理的重要手段<sup>[2-3]</sup>。本文选用发展

较为成熟、在国内外应用广泛的海洋数值模式 ECOM-si (estuarine coastal ocean model semi-implicit)<sup>[4-7]</sup>, 耦合一个太阳高度和海面热通量计算模块, 研究评估了象山港海洋牧场规划海域(白石山 - 中央山 - 铜山西北侧)受象山港内两大已并网发电的滨海电厂(国华电厂和乌沙山电厂)温排水的影响程度。

### 1 材料与方法

#### 1.1 数值模式设置

数值模型的整体计算网格、模式设置和流场验证同文献[8]。象山港内、尤其是海洋牧场规划区和温排水口附近网格加密至最小尺度 50 ~ 100 m, 图 1 中, S1(海图水深 11 m)和 S2(海图水深 18 m)为水温监测站点; Q1 和 Q2 分别为国华和乌沙山电厂取水口, P1 和 P2 分别为排水口, T1

收稿日期: 2012-06-28 修回日期: 2012-07-01

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放研究基金(MATHAB20120210)

作者简介: 林 军(1977—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为海洋生态动力学、生物海洋学与渔业工程学。E-mail: jlin@shou.edu.cn

通讯作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

为海洋牧场区温升时间序列输出点。模式垂向分为 11 个  $\sigma$  层、取层间厚度相同,均为 0.1。象山港滩地众多,滩地在涨落潮过程中淹没和露出,使得水域面积发生变化从而影响流场的变化和海水间的热量交换。针对象山港海域的这一特点,采用干湿网格判别法在 ECOM-si 模型中实现潮滩边界的移动<sup>[5-6]</sup>。

模式外海开边界采用 11 个主要分潮( $M_2$ 、

$S_2$ 、 $N_2$ 、 $K_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$ 、 $M_4$ 、 $MS_4$ 、 $M_6$ ) 驱动,开边界潮位由下式合成:  $\xi = \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_0 + u)_i - g_i]$ , 含 3 个主要浅水分潮。其中,  $\xi$  为某时刻的潮位,  $H_i$  和  $g_i$  为各分潮的振幅和迟角,  $f_i$ 、 $\sigma_i$ 、 $(V_0 + u)_i$  分别为各分潮的多年变化因子、角速率和天文初相角。

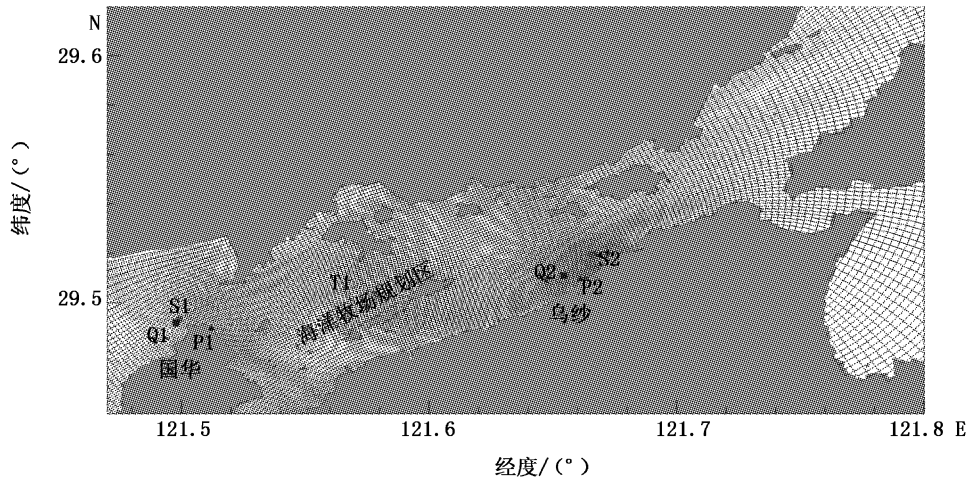


图 1 海洋牧场附近海域局部网格

Fig. 1 Mesh of numerical model adjacent to the marine ranching

## 1.2 太阳高度和海面热通量模型

模式的海面热通量由下式直接计算:  $\Delta Q = Q_s + Q_b + Q_h + Q_e$ 。计算程序移植自 ECOMSED<sup>[9]</sup>, 并建立了与 ECOM-si 程序的数据交换接口。与刘浩和尹宝树<sup>[10]</sup>的方法类似,上述公式可实时计算太阳高度角、太阳辐射强度以及海面热通量。具体公式如下:

$$Q_s = Q_{TOT}(1 - 0.62C + 0.0019\beta)(1 - \alpha) \quad (1)$$

式中:  $C$  为云量;  $Q_{TOT}$  太阳总辐射;  $\beta$  是太阳高度;  $\alpha$  是海面反射率 (albedo);  $Q_{TOT} = Q_{DIR} + Q_{DIFF}$ ;  $Q_{DIR} = Q_T^{SECZ}$ ; 即总辐射为直射散射之和;  $Q_0$  为大气层顶太阳辐射;  $T^{SECZ} = 0.68^{1/COSZEN}$ ,  $COSZEN = \cos(\text{太阳天顶角})$ ;  $Q_{DIFF} = [(1 - A_a)Q_0 - Q_{DIR}]/2$ ;  $Q_0 = \frac{J_0}{a_0} \coszen D_F(\varphi, \lambda)$ ,  $A_a = 0.09$ ;  $\coszen$  为天顶角的  $\cos$  值,  $a$  为地球向量径;  $J_0$  是太阳常数, 取  $1353 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $D_F(\varphi, \lambda)$  为总白昼比, 是经纬度的函数。

$$Q_b = \varepsilon \sigma [(9.37 \times 10^{-6} T_s^6)(1 + 0.17C^2) - T_s^4] \quad (2)$$

$$Q_h = C_T f(w) (T_s - T_a) \quad (3)$$

$$Q_e = f(w) (e_s - e_a) \quad (4)$$

式中:  $\varepsilon$  为水体辐射率 (0.97);  $\sigma$  为斯蒂芬-波兹曼系数  $5.67 \times 10^{-8} (\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4})$ ;  $T_s$  为水温 (K);  $T_a$  为气温 (K);  $e_s(T_a, T_s)$  是气温为  $T_a$ 、水温为  $T_s$  时的饱和水汽压;  $C$  为云量,  $0 \sim 1.0$  计;  $C_T$  为感热传热系数;  $C_a$  为潜热传热系数; 风速函数  $f(w) = 6.9 + 0.34 W^2$ ,  $P$  为大气压 ( $10^{-2}$  帕);  $R$  为相对湿度。

以上气象资料均采用月平均值, 主要来自《渤、黄、东海海洋图集》气象分册<sup>[11]</sup>的数值化资料, 并用双线性插值法内插至计算网格点。国华电厂和乌沙山电厂温排水量分别取  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  和  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ , 冷却水的温升幅度为取水温度增加  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。最后, 以下列公式计算数值模拟的温升:  $T_{\text{温升}} = T_{\text{有温排水}} - T_{\text{无温排水}}$ 。

## 1.3 观测资料

太阳高度角与太阳辐射强度的观测在海拔 10 m 的海岸边进行, 时间为 2011 年 3 月 24 - 25

日,观测地(121°53.521',30°53.242')与象山港海域基本处于同一纬度。水温 CTD 定点(图 1, S1 和 S2)观测在 2010 年 12 月底(小潮)和 2011 年 1 月初(大潮)进行。海洋牧场规划区附近海域的水温大面观测分别于 2011 年 4 月、7 月和 11 月进行,所用仪器为 CTD(Seabird 19-plus)。

## 2 结果

### 2.1 太阳高度与辐射强度观测值与计算值比较

太阳辐射强度的计算主要基于对不同时间和不同地点太阳高度角的正确计算,然后根据云量的大小来计算太阳辐射强度。太阳高度角的测量精度受仪器水平程度、指南针精度以及观测经验等决定。太阳高度角和太阳辐射强度的观测同步进行。观测日期(2011 年 3 月 24-25 日)接近春分日,太阳直射点位于赤道附近,因此,观测点附近的正午太阳高度角应为 60°左右,日出日落时间分别在 6 时与 18 时左右。太阳高度角(图 2)观测结果与模式计算值符合,测量精度基本满足验证所需。

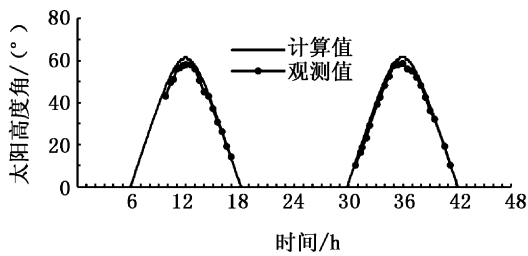


图 2 太阳高度角观测值与计算值对比  
Fig. 2 Comparison of observed and simulated solar height

太阳辐射强度(图 3)观测始于 2011 年 3 月 24 日上午 9 点多,当日天气为多云转晴,24 日上午间或高层云出现,太阳辐射强度基本处于 2 级到 6 级云量下的辐射强度范围;下午云量减少,太阳辐射值接近于 2 级云量下的太阳辐射值。3 月 25 日的天气为晴转多云,上午 11 时之前天气晴朗,观测所得太阳辐射值与 2 级云量下的值非常接近,下午出现云层后,太阳辐射强度值基本处于 2 级到 6 级云量下的辐射强度范围。模式中采用的云量数据来自于《渤海、黄海、东海海洋图集》气候分册中总云量(10 级制)资料的数值化,3 月份海区的平均云量水平接近于 6 级(图 3 中

所示云量值为归一化结果)。

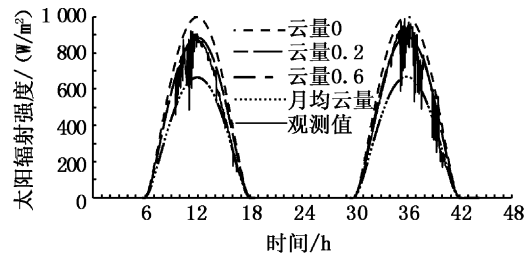


图 3 太阳辐射观测值与计算值对比  
Fig. 3 Comparison of observed and simulated solar radiation

### 2.2 水温定点观测值与计算值比较

2010 年 12 月 29-30 日(小潮)和 2011 年 1 月 4-5 日(大潮)水温定点观测值与计算值的比较分别见图 4 和图 5 所示。S1 站点小潮的水温验证结果好于大潮,S2 站点则大潮略好于小潮。由于所用风场、气温等为月平均值资料,因此无法模拟寒潮天气等大幅降温过程的影响。水温验证结果很大程度上取决于初始温度场的温度。总体上,模拟结果显示模式能实时模拟温排水随潮流周期摆动的影响,可用于对周边海域温升影响评估的数值模拟研究。

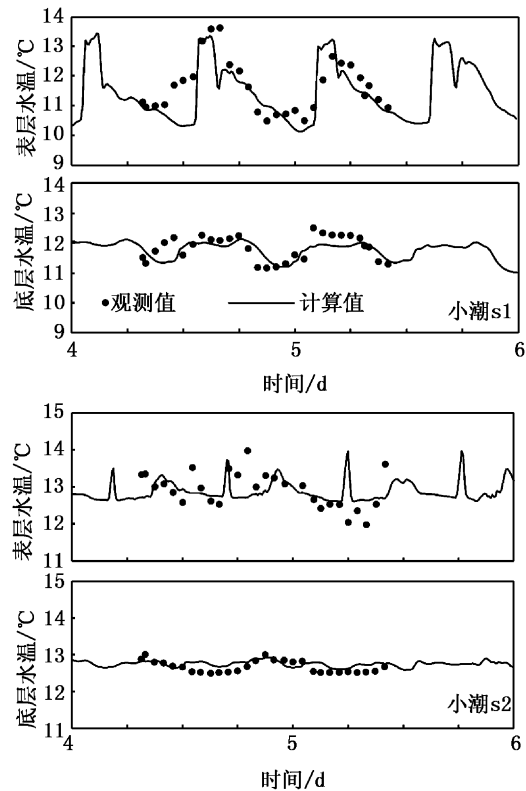


图 4 小潮表底水温定点观测验证  
Fig. 4 Validation of water temperature during neap tide

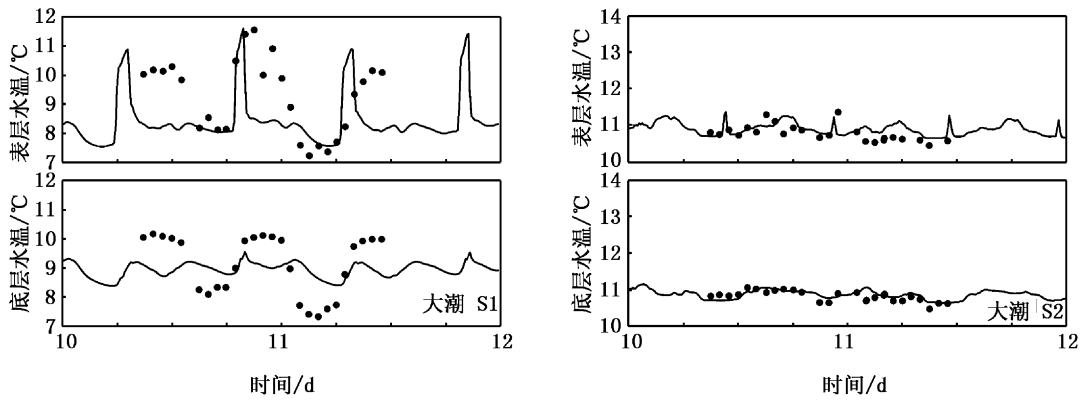


图 5 大潮表层水温定点观测验证  
 Fig. 5 Validation of water temperature during springtide

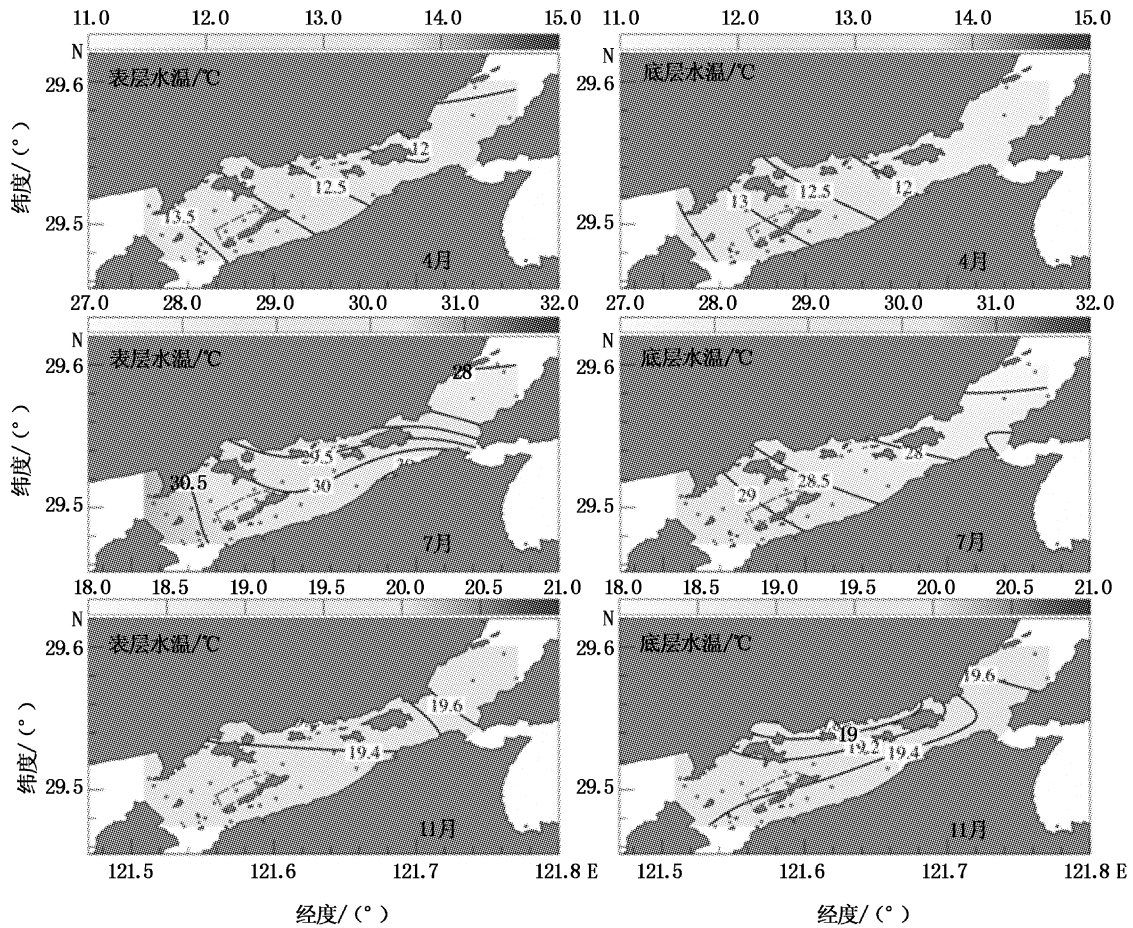


图 6 2011 年 4、7、11 月表层水温观测值  
 Fig. 6 Observed water temperature in April, July and November, 2011

### 2.3 海洋牧场规划区水温季节变化

海洋牧场规划区附近海域的水温大面观测分别于 2011 年 4 月、7 月和 11 月进行,所用仪器为 CTD(seabird 19-plus),调查站点为图 6 中所示

圆点。本文中,分别将 4、7、11 月份的观测资料作为春季、夏季和秋季的代表月份,数值计算结果(图 7)为观测期前后 30 d 内的平均水温值,并在数值计算结果中增加了 1 月平均值作为冬季水温。

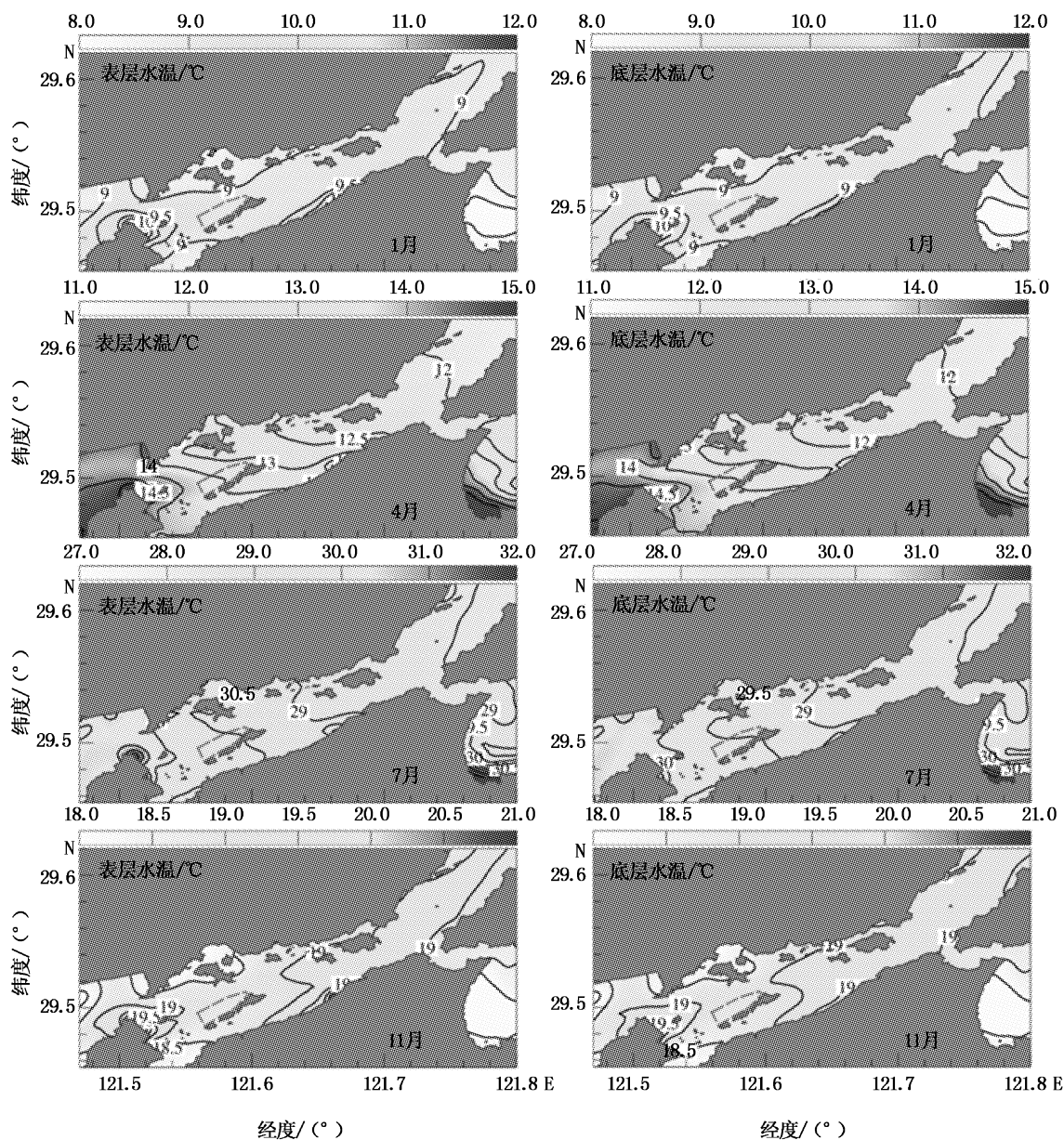


图7 各季节表底层水温计算值  
Fig. 7 Simulated seasonal water temperature

春季(4月)是水温迅速上升的季节,半封闭且水深较浅的港顶海域水温上升较快,可达 $13.5^{\circ}\text{C}$ 以上,较象山港中部和近港口部高 $1.0^{\circ}\text{C}$ 以上。表层水温略高于底层。夏季(7月)普遍水温较高,象山港中部的海洋牧场海域表层水温可达 $30^{\circ}\text{C}$ 以上,底层水温也达到 $29^{\circ}\text{C}$ 左右。水平分布上,与春季类似,封闭且水浅的港顶水温较港口高 $2.0^{\circ}\text{C}$ 左右。秋季(11月),太阳辐射量下降,气温降低,封闭且水浅的港顶水温较港口下降得更快,港顶水温略低于港口,表底层水温均

下降至 $20.0^{\circ}\text{C}$ 以下。上述观测所得水温(图6)的水平分布特征及表底层差异均在数值计算结果(图7)中得到体现,进一步说明本文所用海面热通量及水温计算模块具有较高精度,可胜任本海域电厂温排水排放影响的研究。数值计算结果显示,各季节两大电厂温排水口附近均出现了较周边海域水温高 $1.0\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 以上的温升区。由于温排水均在表层排放,且受浮力效应影响,温水在表层扩展更广,表层的温升区均大于底层。国华电厂的温排水量大,且其温排水口附近

相对更接近港顶,水流速度较小<sup>[8]</sup>,温升幅度与范围要大于乌沙山电厂。象山港海域水深较浅,多数在 20 m 以内,潮汐混合良好,造成表底层温差较小。

#### 2.4 海洋牧场规划区受温排水的影响

在数值模式其它设置完全一致的前提下,计算有温排水条件下的每日水温与无温排水条件下的水温之间的差值,并在时间上作月平均,得到了各季节的温升水平分布(图 8)。海洋牧场规划区附近基本以沿岛屿和岸线方向的往复流为

主,这一特征为 3 个站点的流速流向观测结果<sup>[8]</sup>所证实。海洋牧场区西南角边界与国华电厂排水口距离在 4 km 以上,东北角边界距离乌沙山电厂排水口距离在 5 km 以上。在往复流作用下,国华电厂的温排水对海洋牧场区的西侧部分影响较大。乌沙山电厂的温排水仅分布于港池南岸附近,且受白石山-中央山-铜山一线岛屿的影响,对海洋牧场区的影响较小。海洋牧场海域主要受落潮期间国华电厂温排水的影响,涨潮期间所受两大电厂温排水的影响均较小。

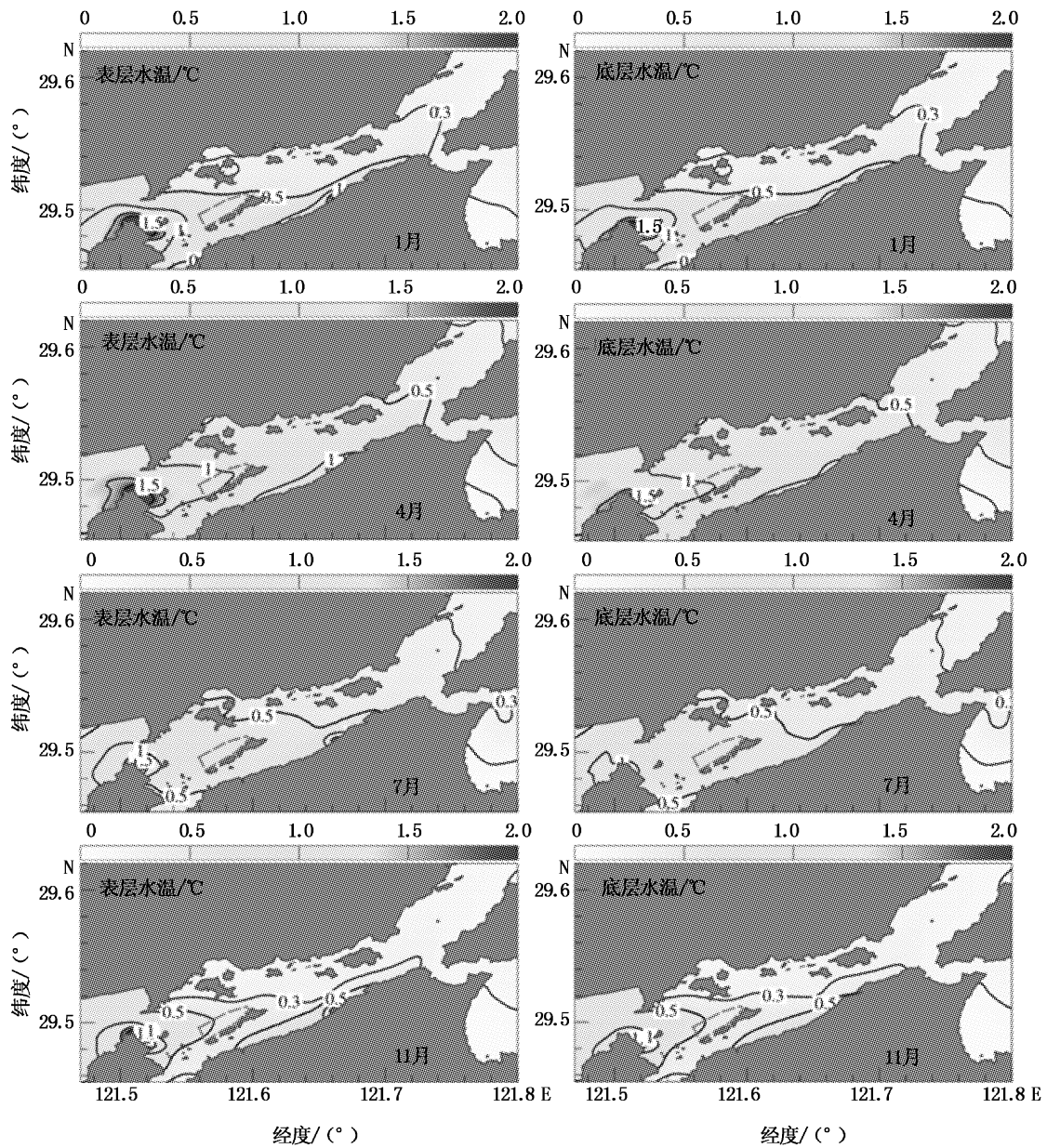


图 8 月平均气象条件下各季节表底层温升计算值

Fig. 8 Simulated seasonal temperature rise under monthly average meteorological conditions

在两大电厂温排水的综合作用下,冬季(1月)海洋牧场区表底层的温升均在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,但不到 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;春季(4月)处于水温的天然增温阶段,表层温升 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的范围超过了海洋牧场区面积的50%,海洋牧场区西南侧的底层温升也达到了 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;夏季(7月)处于普遍高温期,海洋牧场区的增温范围也在 $0.5\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;秋季(11月)处于降温期,海洋牧场区的温升范围在 $0.3\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。各季节的温升范围和分布特征各异,海气温差的季节变化是主要原因。春季增温期,气温高于水温,海面吸热,气温与温排水的温差小,不利于温排水的散热,造成春季的温升范围最大,对海洋牧场区的影响也最明显;秋季降温期内气温小于水温,海面失热,气温与温排水的温差大,有利于温排水的散热,造成秋季的温升范围最小;冬季与夏季分别处于低温期与高温期,海气温差小,温升范围亦居中(图9)。

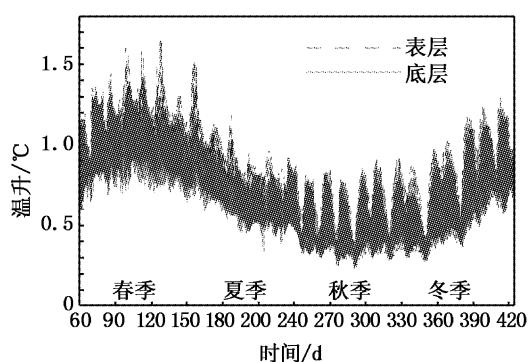


图9 海洋牧场区 T1 站点表底层温升计算值时间序列

Fig. 9 Simulated time series of temperature rise at station T1

### 3 讨论

本文应用海洋数值模式耦合一个可用于实时计算的太阳辐射强度和海面热通量计算模块,研究了电厂温排水对象山港海洋牧场区的影响,揭示了温升分布规律及其季节差异的成因,可为海洋牧场区的生态系统数值模型研究奠定基础。所用模式若有实时的云量、风力、气压、湿度等气象资料支持,即可进行实时的海水温度计算,在方法上比以往的温排水数值模拟研究中仅采用综合散热系数法<sup>[12-13]</sup>或仅考虑感热项<sup>[14]</sup>更合理

全面。当然,今后发展应用完整的区域中尺度气象模式 WRF<sup>[15]</sup>是个方向。

水温是影响海域生态环境的重要环境因子,温排水对海洋生物、生态和环境影响也屡见报道<sup>[16-19]</sup>。以海洋中的生产者浮游植物为例,每一种浮游植物均有自己的最佳生长温度与可适应生长温度范围<sup>[20-23]</sup>。如王宗灵等报道中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)具有较广的温度适应性( $15\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<sup>[20]</sup>;邓光等认为东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)适宜的温度范围是 $15\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最适温度为 $22\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,低于 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和高于 $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时不能进行光合作用<sup>[21]</sup>;王正方等认为海洋原甲藻(*Prorocentrum micans* Ehrenb)最大增殖速率发生在温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在温度 $18\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内适宜生长<sup>[22]</sup>。陈艳拢等认为东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)对水温的耐受范围的下限和上限分别为 $10.2$ 和 $30.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[23]</sup>。上述藻类均为本海域常见种,在春季和初夏等增温季节,温排水的存在可使藻华的发生期提前,甚至发生冬季赤潮过程;夏季高温期,水温超过多数藻类的最佳生长温度,则可使浮游植物生物量下降,水温超过 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的机率增大从而可降低赤潮发生风险;在秋季降温期和冬季低温期,水温低于最佳生长温度,温排水的存在有助于缓解港底水温的下降,一定程度上有助于提高该时期海域的初级生产力。水温的变化不仅影响浮游生物量也影响海域的浮游生物种类构成。初级生产力的变化对海洋牧场区的自然增殖容量具有一定程度的影响,需要应用更多的观测和更为复杂的海洋浮游生态系统数值模型进行深入研究。

本文尚未考虑温排水在循环过程中浮游生物受余氯杀伤造成的生物量下降,也未涉及余氯在海域内的分布对海洋牧场区的影响<sup>[24-25]</sup>,这部分研究将在后续进行。

感谢国家海洋局东海预报中心堵盘军博士、陈晒睿博士给予的帮助;感谢研究生王凯、许强、陈清满、王菲菲、吴祖立等和本科生杨杭亮在观测工作中付出的辛勤劳动。

### 参考文献:

- [1] 许强,刘舜斌,许敏,等. 海洋牧场建设选址的初步研究—以舟山为例[J]. 渔业现代化,2011,38(2): 27-31.
- [2] SEAMAN W. Artificial reef evaluation with application to



- natural marine habitats [M]. Boca Raton: CRC Press, 2000: 51-94.
- [3] 林军,吴辉,章守宇. 非结构网格海洋模式在洞头人工渔礁区选址中的应用[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2009,28(1): 57-62.
- [4] 许晟铁,朱建荣,陈晒春. 长江河口石洞口电厂扩建工程温排水三维数值模拟[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2010(6): 26-34.
- [5] WU H, ZHU J R. Advection scheme with 3rd high-order spatial interpolation at the middle temporal level and its application to saltwater intrusion in the Changjiang Estuary [J]. Ocean Modelling, 2010, 33: 33-51.
- [6] WU H, ZHU J R, SHEN J, et al. Tidal modulation on the Changjiang River plume in summer [J]. Journal of geophysical research,2011,116:21.
- [7] 王聪,林军,陈丕茂,等. 年平均风场作用下大亚湾水交换的数值模拟[J]. 上海海洋大学学报,2009,18(3):351-358.
- [8] 林军,章守宇,龚甫贤. 象山港海洋牧场规划区选址评估的数值模拟研究:水动力条件和颗粒物滞留时间[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(3):452-459.
- [9] HydroQual Inc. A Primer for ECOMSED (Users Manual) [M]. Mahwah, NJ,2002:27-28.
- [10] 刘浩,尹宝树. 一个可用于实时计算的太阳辐射模型[J]. 海洋与湖沼,2006,37(6):493-497.
- [11] 海洋图集编委会. 渤海、黄海、东海海洋图集[M]. 北京:海洋出版社,1991.
- [12] 张慧,孙英兰,余静. 黄岛电厂附近海域热环境容量计算[J]. 海洋环境科学,2009,28(4):430-437.
- [13] 李映丽,孙英兰,余静,等. 华能日照电厂二期扩建工程温排水排水方案优选[J]. 海洋湖沼通报, 2009(3):137-142.
- [14] 曹颖,朱军政. 基于 FVCOM 模式的温排水三维数值模拟研究[J]. 水动力学研究与进展,2009,24(4):431-439.
- [15] 胡松,崔琳琳,刘慧,等. WRF 微物理和边界层组合方案对气旋过境海气适量模拟的敏感性研究[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(3):460-467.
- [16] 徐晓群,曾江宁,曾淦宁,等. 滨海电厂温排水对浮游动物分布的影响[J]. 生态学杂志,2008,27(6): 933-939.
- [17] 林昭进,詹海刚. 大亚湾核电站温排水对邻近水域鱼卵、仔鱼的影响[J]. 热带海洋, 2000,19(6): 44-51.
- [18] 李纲,邓晓琼,朱国平,等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型的建立[J]. 上海海洋大学学报,2011,20(1):108-113.
- [19] 晏磊,朱清澄,张阳,等. 2010 年北太平洋公海秋刀鱼渔场分布及其与表温的关系[J]. 上海海洋大学学报,2012,20(4):609-615.
- [20] 王宗灵,李瑞香,朱明远,等. 半连续培养下东海原甲藻和中肋骨条藻种群生长过程与种间竞争研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 495-503.
- [21] 邓光,耿亚洪,胡鸿钧,等. 几种环境因子对高生物量赤潮甲藻——东海原甲藻光合作用的影响[J]. 海洋科学, 2009, 33(12): 34-39.
- [22] 王正方,张庆,吕海燕. 温度、盐度、光照强度和 pH 对海洋原甲藻增长的效应[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(1): 15-18.
- [23] 陈艳拢,赵冬至,杨建洪,等. 赤潮藻类温度生态幅的定量表达模型研究[J]. 海洋学报, 2009, 31(5): 156-161.
- [24] 江志兵,曾江宁,陈全震,等. 滨海电厂冷却系统温升和加氯对浮游植物联合作用的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2009,29(2): 413-419.
- [25] 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.



## Numerical simulation study on site selection evaluation of marine ranching zone in Xiangshan Bay: Effects of thermal water discharged from coastal power plants

LIN Jun, ZHANG Shou-yu, GONG Fu-xian

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This research applied a numerical marine model ECOM-si (estuarine coastal ocean model-semi-implicit), coupling a real-time computational module of solar radiation intensity and sea surface heat flux, to evaluate effects of thermal water discharged from two coastal power plants (Guohua power plant and Wusha Mountain power plant) of the marine ranching zone in Xiangshan Bay. Affected by alternating tidal current, the effect on marine ranching zone of thermal water discharged from Guohua power plant was more significant than the water from Wusha Mountain power plant. The southwest side of ranching zone was easier to be influenced than the northeast side. Due to the fact that difference in air-water temperature varies as season changes, the simulated data showed that each season had different temperature rise range and distribution characteristics around the ranching zone. During temperature rise period in spring, rise range was the largest, exceeding  $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , its influential scope of temperature rise was the largest and its effect on ranching zone was also the most significant; nevertheless, during cooling period in autumn, temperature rise range was the smallest (within  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} - 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), and its influential scope of temperature rise was also the smallest. Winter and summer each was within low temperature period and within high temperature period, respectively. Differences in sea-air temperature in both of the two seasons were small, temperature rise ranges were about  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} - 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and their influential scopes were mediate.

**Key words:** Xiangshan Bay; marine ranching; site selection evaluation; numerical modeling; discharged thermal water