

基于 POM 模型的后石电厂附近海域热环境容量计算

蔡龙炎^{1,2}, 王 敏², 朱木兰¹, 李 颖³

(1. 厦门理工学院 水资源环境研究所, 福建 厦门 361024; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 福州市海洋与渔业局, 福建 福州 350001)

摘要: 阐述了热环境容量的含义, 并在 POM 模型的基础上建立了热传输模型, 考虑了热能在垂直方向上的扩散。采用模型试算法计算了后石电厂附近海域的热环境容量和剩余热环境容量, 结果表明, 后石电厂附近海域的热环境容量为 $1\,496(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 一、二期工程的剩余热环境容量为 $350.2(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 在允许的排放范围; 三期扩建后的剩余热环境容量为 $-413.6(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 超过该海域的热环境容量。研究结果可为电厂扩建及其附近海域生态环境保护提供参考依据。

关键词: 热环境容量; 温排水; POM 模型; 后石电厂; 热传输

中图分类号: X26 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)07-0070-06

doi: 10.11759/hyxx20130526001

近年来, 随着社会经济的不断发展, 各行业对电能的需求与日俱增, 火/核电厂得到了快速的发展, 主要表现为电厂的改建、扩建和增容。火/核电厂发电过程中, 需要大量的冷却水以冷却各种机组, 基于经济和便利等因素的考量, 电厂选址大多靠近河流、海湾、河口和湖泊等水域。冷却水排水的温度比进水的温度一般上升约 $8\sim 12\text{C}$ 。虽然现在科技先进, 但是电厂的热转化效率仍较低, 只有约 40% 的能量在发电过程中转化为电能, 其余的能量均成了废热^[1]。且温排水大多采用直排水体方式, 大量的废热已给接纳水体带来了不容忽视的生态环境问题^[2-8]。

水体热传输的计算方法已得到了广泛的发展。关于电厂的温排水的数值模拟, 如, McGuirk 等^[9]、杨芳丽等^[10]和蔺秋生等^[11]已经进行了一些二维数值模拟研究。然而温排水进入接纳水体后, 由于温差所产生的浮力效应, 温排水趋于上层运移, 呈现明显的垂向温度不同分布情况。因此建立三维热传输模型才能更好地了解温升的空间分布特征。近年来, 温排水三维数值模拟研究发展迅速^[12-14], 周莉华^[12]和汪一航等^[13]分别利用 POM 模型对温排水的三维扩散进行了研究, 但两者都为基于结构网格的计算, 不能较好地拟合水平形状复杂的地形, 不利于计算精度的提高。

因此本文从热环境容量控制的角度, 在 POM 模型的基础上, 水平上以曲线坐标拟合地形, 建立了三维热传输模型, 并利用模型试算法计算了后石电

厂附近海域的热环境容量和剩余环境容量, 旨在为电厂扩建和接纳水体的生态环境保护提供科学的参考依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

后石电厂位于福建省漳州市龙海后石村, 经纬度为 $118^{\circ}07'E, 24^{\circ}18'N$, 距漳州市约 56 km, 水路距厦门约 9 km。电厂面积约 178hm^2 , 现工程装机规模为 $6\times 600\text{MW}$, 电厂燃煤主要依靠海运, 码头位于台湾海峡西海岸的大门港出海口。随着社会对电能需求的不断增大, 电厂将进行三期扩建, 规划总装机规模为 $10\times 600\text{MW}$ 。现冷却水量约 $130.2\text{m}^3/\text{s}$ (6 台机组, 每台机组冷却水量约 $21.7\text{m}^3/\text{s}$, 预计全部建成后冷却水量将达到约 $217.0\text{m}^3/\text{s}$ (10 台机组), 冷却水温升约 8.8C 。

漳州市地处福建省最南端, 气候温和, 属南亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 21.4C , 年日照时数 1833 h, 无霜期 360 d, 平均降雨量 1573.7 mm。研究区域最炎热的月份为每年 7、8 和 9 三个月, 在保证率 $p=10\%$ 时的自然水温为 29.3C , 多年最高水

收稿日期: 2013-05-26; 修回日期: 2013-10-16

基金项目: 留学回国人员科研启动基金项目; 厦门理工学院引进人才科学技术研究(YKJ06010R(2))

蔡龙炎(1983-), 男, 福建泉州人, 博士研究生, 研究方向为水环境评价与预测, E-mail: hz4433@sina.com 朱木兰, 通信作者, 电话: 0592-6291253, E-mail: zhuml@xmut.edu.cn.

温为 31.4℃, 最低水温为 10℃。受九龙江径流影响, 该区盐度垂向分布从表层至底层逐渐增大, 表层盐度约为 28‰, 底层盐度约为 31‰。

1.2 POM 模型

1.2.1 数学模型

POM 主要由 Blumberg 和 Mellor 等设计^[15], 模式采用 σ 坐标。 σ 坐标系下的三维原始方程如下:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial DU}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad (3)$$

(1)式为连续方程, (2)和(3)式分别为 x 、 y 方向的动量方程。 U 、 V 分别是海流的东、北分量, K_M 是垂向黏性系数, ρ_0 是参考密度, ρ' 是垂向积分过程 σ' 位置的密度。 $\rho(S, T, P) = \rho(S, T, 0) + 10^4 \frac{P}{C^2} \left(1 - 0.2 \frac{P}{C^2} \right)$, P 为压强, $\rho(S, T, 0)$ 为压强等于零的密度。根据 UNESCO 公式计算: $C = 1449.1 + 1.34(S - 35) + 4.55T - 0.045T^2 + 0.0821P$ 。

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial tud}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad (4)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad (5)$$

(4)和(5)式分别为热输运和盐度输运方程。 T 是温度, S 是盐度, R 是短波辐射, K_H 为垂向热扩散系数。

垂向紊动黏性系数 K_M 和扩散系数 K_H 、 K_q 的定义如下:

$$K_M = qlS_M \quad (6)$$

$$K_H = qlS_H \quad (7)$$

$$K_q = qlS_q \quad (8)$$

S_M 、 S_H 、 S_q 为稳定性函数, 可由下列代数式求解:

$$S_H [1 - (3A_2 B_2 + 18A_1 A_2)G_H] = A_2 [1 - 6A_1/B_1] \quad (9)$$

$$S_M [1 - 9A_1 A_2 G_H] - S_H [(18A_1 2 + 9A_1 A_2)G_H] = A_1 [1 - 3C_1 - 6A_1/B_1] \quad (10)$$

$$G_H = \frac{\ell^2}{q^2} \frac{g}{\rho_0} \left[\frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial p}{\partial z} \right] \quad (11)$$

$$S_q = 0.20 \quad (12)$$

式子中 A_1 、 B_1 、 A_1 、 B_2 、 C_1 为经验常数, 分别取值为 $A_1=0.92$, $B_1=16.6$, $A_1=0.74$, $B_2=10.1$, $C_1=0.08$ 。通过对计算结果的分析发现, 原模型中垂向热扩散系数偏小, 导致水温分层不明显。因此, 本文对垂向热扩散系数进行了修正^[12, 16]: $K_M = 0.7K^{1/2}l$; $K_H = K_M/\sigma_T$, 其中, K 为紊动能, l 为长度尺度, σ_T 为 Prandtl 数, 一般可取定值为 0.9, 但考虑到浮力使湍流导热减少的程度比使湍流黏性减少的程度更大, 对 Prandtl 数作了如下调整^[17]:

$$\sigma_T / \sigma_{T0} = (1 + 3.33R_i)^{1.5} / (1 + 10R_i)^{0.5} \quad (13)$$

$$R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} / \left(\frac{\partial u_i}{\partial z} \right)^2 \quad (i=1, 2) \quad (14)$$

式中: σ_T 为有浮力时的 Prandtl 数, σ_{T0} 为无浮力时的 Prandtl 数, R 为梯度 Richardson 数, ρ 为水体密度, g 为重力加速度。

从大洋表面进入水体的短波辐射:

$$R = SC(\sin \alpha \delta^{\csc \alpha} + 0.91 - \delta^{\csc \alpha})(1 - 0.71n)(1 - \beta) \quad (15)$$

其中: C 为太阳辐射常数(大气层表面的太阳辐射), 取值为 1 370 W/m²; $\delta=0.85$ 为空气传输系数; α 为太阳高度角; n 在 0~1, 代表云量; β 为漫反射系数。

1.2.2 边界条件

电厂位置和模型计算区域(118.100~118.245 E, 24.260~24.345 N)如图 1 所示。西边界为闭边界, 其余三个边界为开边界。闭边界控制条件: 流速边界取为不可穿透边界, 即法向流速为零。固边界和底边界取为绝热边界。采用了普林斯顿的网格程序插值为 8 100 的水平曲线网格, 并在岛屿和岸边界以及地形急剧变化区域适当加密网格, 垂直方向上分为 7 σ 层。

开边界潮汐所引起的水位过程采用日本的全球模型(NAOTIDE)的天文潮调和常数, 包含 M_2 、 S_2 、 N_2 、 $2N_2$ 、 Nu_2 、 Mu_2 、 T_2 、 L_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1 、 M_1 、 J_1 、 OQ_1 的主要 16 个分潮, 以周期性余弦函数形式输入, 即

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \cos(\sigma_i t + V_{0i} - g_i) \quad i=1, 2, 3, 4 \dots 16 \quad (16)$$

式中: H_i (振幅), g_i (迟角), σ_i (角速度), i (分潮), V_{0i} (天文初相角)。

流速边界采用 Flather 开边界条件:

$$\bar{v}_{n,b} = \bar{v}_{ext} \pm \sqrt{\frac{g}{D}} (\eta_b - \eta_{ext}) \quad (17)$$

式中: n 为空间变量, $\bar{v}_{n,b}$ 为模拟的边界网格点上的法向流速值, η_b 为上一时刻模型边界网格点上计算的水位值, η_{ext} 和 \bar{v}_{ext} 为外部给出的水位值和法向流速值。Flather 边界的法相速度通过重力波位相速度来调节, 以保证计算的稳定性和强迫的正确性。

模型其他主要参数设置如下: 外模时间步长 $dte=0.5$, 外模时间步数 $isplit=30$, 用于计算底摩擦的 von Karman's 常数和底部粗糙度 $kappa=0.4$, $Z0b=0.01$, Smagorinsky 扩散系数 $horcon=0.2$, 时间滤波系数 $smoth=0.10$, 表面倾斜项权重系数 $alpha=0.225$ 。

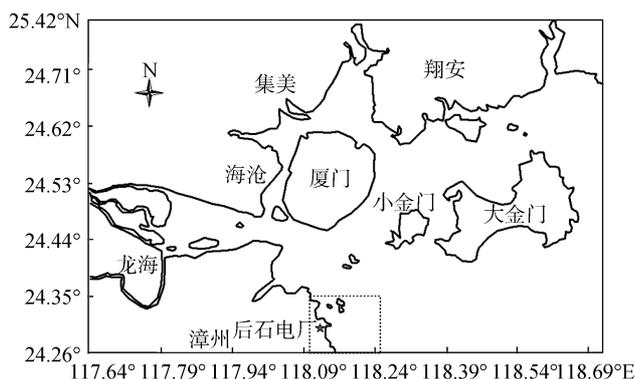


图1 电厂位置()及模型计算区域(虚线范围)
Fig.1 Power Plant location and the simulated area

1.3 热传输模型

在 POM 三维模型的基础上, 其根据 σ 坐标下的温度扩散方程, 加入热源项建立了一个三维热污染物传输模型。采用的是在网格加入源强的方法进行热污染扩散计算的控制。源强计算公式如下:

$$T_2 = T_1 + \frac{Q_s \times T_s \times \Delta t}{S \times D} \quad (18)$$

式中: T_1 为加入源强前的温度($^{\circ}\text{C}$), T_2 加入源强后的温度($^{\circ}\text{C}$), Q_s 为取排水口的吸排放流量(m^3/s), T_s 为排水口的初始温升($^{\circ}\text{C}$), S 为加入源强的网格的面积(m^2), D 为加入源强的网格点的水深(m), Δt 为内部模时间步长。

一般对于温度较大的水体, 水面散热也是热扩散的一个重要途径之一。在实际应用中, 通常由于缺乏完整的基础数据, 水面综合散热系数一般难以确定。本文采用 Gunnerberg 经验公式计算水面综合散热系数, 其计算结果可以较好地反映水面的热交换

情况。

Gunnerberg 计算公式如下所示:

$$K_s = 2.2 \times 10^{-7} (T_s + 273.15)^3 + 10^{-3} (1.5 + 1.12U) \times [(2501.7 - 2.366T_s) \frac{25509}{(T_s + 239.7)^2} \times 10 - \frac{7.56T_s}{(T_s + 239.7)} + 1621] \quad (19)$$

式中: U 为风速, 单位为: m/s ; T_s 为水面温度, 单位为: $^{\circ}\text{C}$, 包括环境水温和网格计算温升, 因此水面综合散热系数在每个时间步、每个网格点均不同, 并非为一定常数。从(19)式中可看出, 对散热系数影响最大的因素是风速和水温。基于安全考虑, 本文不计风应力的影响, 即不考虑强迫对流对水温的影响, 由此计算得出的 K_s 值会相对保守。

1.4 热环境容量及其计算方法

1.4.1 热环境容量

环境容量最早是由日本学者于 20 世纪 60 年代末提出的^[18]。环境容量的研究对象一般都为 COD、营养盐、重金属等污染物, 而关于热环境容量的研究较少。海域热环境容量的含义为: 某一海区在规定的目标下, 一定海域范围内所容纳的热量 (即温升与排水量的乘积), 也即满足海区环境标准要求要求的最大允许热负荷。

1.4.2 计算方法

热污染不同于其他污染物, 没有浓度和质量的概念, 从环境管理的角度和污染控制的实际意义上考虑, 热污染控制更重视的是污染范围的控制。本研究采用目前较为常用的一种水环境容量计算方法即模型试错法对后石电厂温排放海域的热环境容量进行计算, 其过程为: 将污染源代入水环境容量模型计算, 并根据情况对污染源源强进行调节, 当计算得到的断面温升与水质目标一致时污染源的大小即为热水环境容量。由于模型试错法是在现有的排污和规划排污的基础上进行污染源调试的, 因此在水环境容量分配及污染源削减量确定方面具有重要的现实意义。

1.4.3 热污染控制目标和热混合区的确定

我国现有的《污水综合排放标准》中, 尚无关于温排水的排放标准和相关规定。因此本文参考了《海水水质标准》(GB3097-1997)中有关温升的规定, 确定本研究热混合区边界的水质热污染控制目标为 4°C 。

热混合区的确定是热环境容量计算的一个关键问题。研究表明, 一般情况下热电厂温排水引起的 4°C

的温升范围局限于约距排水口 0.5 km 范围内^[19]。根据后石电厂的热排放量及该海域的水动力条件以及地形特征, 确定本研究的混合区为排水口附近海域长约 0.65 km、宽约 0.45 km 的海域范围。

2 结果与分析

2.1 潮流验证

根据流速实测数据对研究海域的流速过程进行了对比验证^[20], 监测点的位置见图 2。计算值与实测值吻合比较好, 可为温排水的扩散提供可靠的潮流条件, 结果如图 3-6 所示。温升验证结果较为理想, 结果见我们已发表论文^[21]。

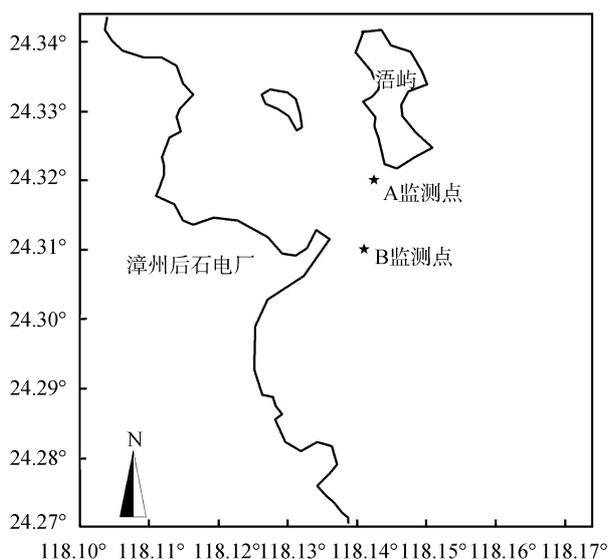


图 2 监测点位置
Fig.2 Monitoring sites

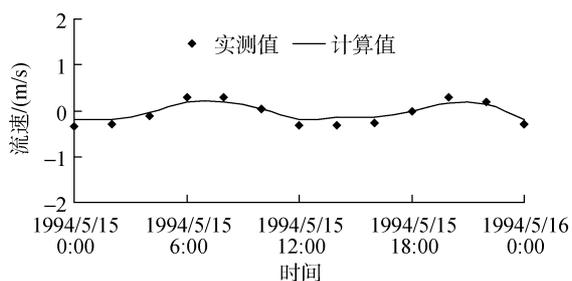


图 3 A 监测点流速验证
Fig.3 The flow velocity validation at A site

2.2 热环境容量

本研究以一、二期的源强 $130.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 为起点, 采用模型试算法, 逐步改变 $W(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 直到混合区表层边界处的温升达到确定的水质热污染控制目标,

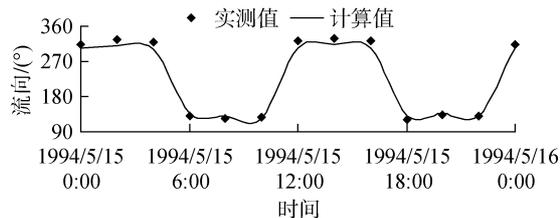


图 4 A 监测点流向验证
Fig.4 The flow direction validation at A site

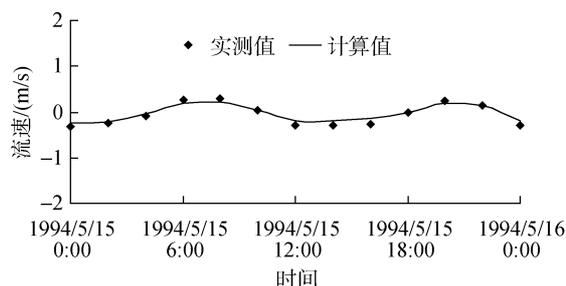


图 5 B 监测点流速验证
Fig.5 The flow velocity validation at B site

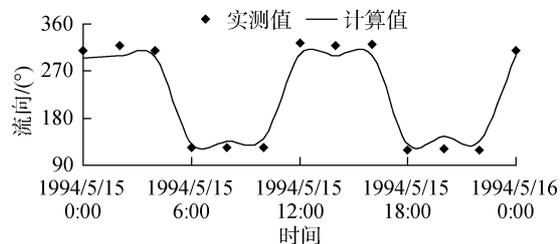


图 6 B 监测点流向验证
Fig.6 The flow direction validation at B site

即温升 4 C 时, 即认为该源强为所求热环境容量。通过试算得到后石电厂排污口附近海域热环境容量为 $1496(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$ 。

2.3 剩余环境容量

从表 1 可知, 一、二期工程的热排放量为 $1145.8 (\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 剩余热环境容量为 $350.2(\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$ 。一、二期工程的热排放量占用了后石电厂排污口海域的热环境容量的 76.59%, 还有 23.41% 的剩余热环境容量。这表明一、二期工程温排水的排放量在允许的范围, 并不会对研究海域的生态环境造成严重的破坏。从表 2 可知, 三期工程的热排放量为 $1909.6 (\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$, 剩余热环境容量为 $-413.6 (\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$ 。三期扩建后的热排放量占用了后石电厂排污口海域的热环境容量的 127%, 剩余热环境容量为 -27%。这表明三期工程温排水的排放量已经超过该海域的热环境容量, 将造成排污口附近海域严重的热污染。

表 1 一、二期工程热环境容量计算结果

Tab.1 The thermal environmental capacity of first and second phase of the project

项目	计算结果(($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3$)/s)	比例(%)
热环境容量	1 496	100
一、二期工程热排放量	1 145.8	76.59
剩余热环境容量	350.2	23.41

表 2 三期工程热环境容量计算结果

Tab.2 The thermal environmental capacity after three phase of the project

项目	计算结果(($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3$)/s)	比例(%)
热环境容量	1 496	100
一、二、三期工程热排放量	1 909.6	127
剩余热环境容量	-413.6	-27

3 结论及建议

本文在POM模型的基础上建立了热环境容量模型,并计算了后石电厂附近海域的热环境容量,结果表明:其热环境容量为 $1\,496(^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$,一、二期工程的的剩余热环境容量为 $350.2(^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$,三期扩建后的剩余热环境容量为 $-413.6(^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3)/\text{s}$,超过该海域的热环境容量。

根据本文的研究结论,为更好地保护研究海域的生态和环境,必须采取适当的保护措施。目前温排水采取的处理方式为直排水体,研究表明这将给水体环境造成严重的热污染。温排水的处理方式主要有两种:直排和冷却塔技术。冷却塔技术对废热同样具有良好的降温作用^[22-24]。根据本文的研究结果建议后石电厂的温排水的处理方式采用直排和冷却塔降温相结合的方式进行处理,可先经冷却塔降温到可排的温度,再通过排水口排入接纳水体。

参考文献:

[1] 邹金安,林明森.热污染在潮汐作用下对海域水质影响预报模型[J].海洋通报,1998,17(4):55-62.
 [2] Choi D H, Park J S, Hwang C Y, et al. Effects of thermal effluents from a power station on bacteria and heterotrophic nanoflagellates in coastal waters [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 229: 1-10.
 [3] Bamber R M, Seaby R M H. The effects of power station entrainment passage on three species of marine planktonic crustacean, *Acartia tonsa* (Copepoda), *Crangon crangon* (Decapoda) and *Homarus gammarus*

(Decapoda) [J]. Marine Environmental Research, 2004, 57: 281-294.
 [4] Poornima E H, Rajadurai M, Rao V N R, et al. Use of coastal waters as condenser coolant in electric power plants: Impact on phytoplankton and primary productivity[J]. Journal of Thermal Biology, 2006, 31: 556-564.
 [5] Selvin Pitchaikani J, Ananthan G, Sudhakar M. Studies on the Effect of Coolant Water Effluent of Tuticorin Thermal Power Station on Hydro Biological Characteristics of Tuticorin Coastal Waters, South East Coast of India [J]. Current Research Journal of Biological Sciences, 2010, 2(2): 118-123.
 [6] 黄燕,张明波,徐长江.对几类电厂取(排)水影响水环境问题的探讨[J].人民长江,2008,39(17):13-14.
 [7] 於凡,张永兴,曹颖.全球变暖背景下核电站温排水对海洋生态系统的影响[J].海洋湖沼通报,2010,(2):155-161.
 [8] 李映丽.滨海电厂对海洋生态价值影响研究[D].青岛:中国海洋大学,2010.
 [9] McGuirk J J, Rodi W A. Depth averaged Mathematical Model for Near Field of Side Discharges into Open Channel Flow [J]. Fluid Mech, 1978(86): 761-781.
 [10] 杨芳丽,谢作涛,张小峰,等.非正交曲线坐标系平面二维电厂温排水模拟[J].水利水运工程学报,2005,(2):36-40.
 [11] 蔺秋生,金琨,黄莉.电厂温排水影响数学模型研究及应用[J].长江科学院院报,2009,26(1):29-32.
 [12] 周莉华.基于POM模型的天生港电厂温排水三维数值模拟研究[D].青岛:河海大学,2006.
 [13] 汪一航,魏泽勋,王永刚,等.潮汐潮流三维数值模拟在庄河电厂温排水问题中的应用[J].海洋通报,2006,25(1):8-15.
 [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):432-439.
 [15] Blumberg A F, Mellor G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation[A]. Heaps-NS. Three Dimensional Coastal Ocean Models [C]. American Geophysical Union, 1987: 1-16.
 [16] Rodi W, Spalding D B. A two-parameter model of turbulence and its application to free jets. Warme-

- undstoffbertragung, 1970, 3(2), 85-95.
- [17] 郝瑞霞, 韩新生. 潮汐水域电厂温排水的水流和热传输准三维数值模拟[J]. 水利学报, 2004, (8): 66-70.
- [18] 葛明, 王修林, 阎菊, 等. 胶州湾营养盐环境容量计算[J]. 海洋科学, 2003, 3 (27): 36-42.
- [19] 余宙文. 海洋温排水环境影响评估的若干问题[C]// 电厂温排水环境影响研讨会论文集. 北京: 国家环境保护总局环境工程评估中心, 2006: 10-14.
- [20] 徐啸, 匡翠萍, 顾杰. 漳州后石电厂温排水数学模型[J]. 台湾海峡, 1998, 17(2): 195-200.
- [21] Zhu M L, Cai L Y, Cao W Z, et al. A Three-Dimensional Numerical Simulation of Heat Transport in the Coastal Areas of the Houshi Power Plant [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 356-360: 2718-2724.
- [22] Kim J K, Savulescu L, Smith R. Design of cooling systems for effluent temperature reduction[J]. *Chemical Engineering Science*, 2001, 56 (5): 1811-1830.
- [23] Ataei A., Panjeshahi M H., Gharaie M, et al. New Method for Designing an Optimum Distributed Cooling System for Effluent Thermal Treatment [J]. *Int.J. Environ. Res.* 2009, 3(2): 155-166.
- [24] Panjeshahi M H, Gharaie M, Ataei A. Debottlenecking procedure of effluent thermal treatment system[J]. *Energy*, 2010, 35: 5202-5208.

Calculation of thermal environmental capacity of sea around Houshi Power Plant based on Princeton Ocean Model

CAI Long-yan^{1, 2}, WANG-Min², ZHU Mu-lan¹, LI-Ying³

(1. Water Resources and Environmental Institute, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Ocean and fisheries bureau of Fuzhou, Fuzhou, 350001, China)

Received: May, 26, 2013

Key words: Thermal environmental capacity; Warm water drainage; POM model; Houshi Power Plant; Heat transport

Abstract: The connotation of the thermal environmental capacity was defined; the numerical thermal diffusion model was also established in this study based on Princeton Ocean Model (POM), and the diffusion of thermal energy in the vertical direction. The thermal and the residual environmental capacity in the sea area nearby Houshi Power Plant were calculated using the numerical model. The results showed that the thermal environmental capacity was $11496(\text{°C} \cdot \text{m}^3/\text{s})$. The residual environmental capacity of first and second phase of the project was $350.2(\text{°C} \cdot \text{m}^3/\text{s})$, which was in the range of emissions. After three phases of the project, the residual environmental capacity was $-413.6(\text{°C} \cdot \text{m}^3/\text{s})$, which will exceeded the thermal environmental capacity. Our results provide a reference for plant expansion and ecological environment protection of the adjacent waters.

(本文编辑: 康亦兼)