

电厂温排水中余氯浓度预测

张 燕, 孙英兰

(中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用有限元分步杂交方法, 对胶州湾海域潮流场进行了数值模拟。考虑余氯在水体中的化学反应, 利用前人大量实验成果选取余氯衰减系数, 建立胶州湾余氯的二维输运-扩散模型, 并将此模型应用于青岛市黄岛发电厂三期温排水工程, 预测了温排水中余氯的浓度分布及影响范围, 为电厂冷却水排放口邻近水域的生态环境保护提供依据。

关键词: 温排水; 余氯; 衰减; 数值模拟; 海洋环境

中图分类号: P734.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2007)02-0005-04

在电力工业中, 需要大量的冷却水供冷却塔和冷凝器对发电机组进行冷却。为防止冷凝器附着生物形成绝热层, 影响冷却效果甚至堵塞冷却系统, 需定时向循环冷却水中加入一定量的物质, 以清除管道中附着的藻类微生物。最常采用的是投放氯气 (Cl_2), 从而使冷却水中含有余氯。

余氯对水生生物毒性较大, 主要是破坏水生生物从水中获取溶解氧的能力, 当含有余氯的冷却水注入邻近水域, 将会对受纳水体的生态环境造成影响, 这个问题已引起各国学者的极大关注。

Brook 等^[1] 在 70 年代就针对氯化和非氯化的温排水对浮游植物的影响进行了对比研究, 发现当电厂进行氯处理时, 浮游植物光合作用、呼吸作用受到了抑制, 而停止氯处理时则无影响; Shams El Din 等^[2] 研究了在不同温度和光强条件下自然海水中余氯随时间的变化; 张穗等^[3] 曾对大亚湾核电站冷却水排水口及邻近海域海水中余氯的污染状况进行了调查, 并选择若干养殖经济动物进行了余氯毒性胁迫实验。

目前对温排水中余氯研究多限于实验研究, 但同时大量的实验成果为进行余氯数值预测时参数选取及生物影响评价提供依据。作者基于前人的大量实验成果条件下, 选取合适的余氯衰减系数, 进行电厂温排水中余氯扩散预测, 为工程邻近海域生态环境保护提供依据^[1]。

1 海域潮流数值模拟

利用有限元分步杂交方法, 采用三角形网格对胶州湾海域最具代表性的中潮流场进行数值模拟, 并在此基础上进行污染物输移扩散研究。应用此

方法进行胶州湾潮流场模拟比较成熟, 已有较多文献论述^[4,5], 本文不再赘述。

2 温排水中余氯浓度分布模拟

2.1 经垂向空间平均的物质输运方程

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HCu)}{\partial x} + \frac{\partial(HCv)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(HD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(HD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) = HS_e + HS_i \quad (1)$$

式中, C 为余氯浓度; H 为水深; u, v 为分别对应于 x, y 方向的深度平均流速; D_x, D_y 为 x, y 方向上的扩散系数; S_e 为物理过程源汇项; S_i 为内部化学反应源汇项。

目前余氯衰减机理还不很明确, 许多学者进行了大量研究, 提出了经验和半经验的氯衰减动力学模型^[6]。一般的将余氯衰减假设为一级反应, 其模型如下:

$$\frac{dC}{dt} = -KC$$

式中, C 为余氯浓度; K 为衰减系数。

$$\text{所以 } S_e + S_i = M - KC$$

其中 M 为污染源单位体积的排放速率。

边界条件:

$$\text{陆边界: } D_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (2)$$

收稿日期: 2004-05-13; 修回日期: 2004-10-10

作者简介: 张燕(1979-), 女, 山东德州人, 硕士, 研究方向为环境预测与评价, E-mail: zybetty@126.com

开边界: $C = 0$, 入流段 (3)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0, \text{ 出流段}$$

初始条件: $t = 0; C = 0$ (4)

n 代表法线方向; D_n 为法线方向的扩散系数

2.2 有关参数的确定

2.2.1 余氯衰减系数的确定

余氯通常是指游离性余氯 (HClO^- 和 ClO^-) 与化合性余氯 (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3) 的总和。含氯的冷却水排入海域后, 余氯的浓度除因物理因素, 如海水对流扩散的稀释作用而减少外, 还和其它因素有关, 如与海水中还原性物质发生氧化还原反应及次氯酸光解等, 这种化学和光解作用均可使余氯浓度在水环境中随时间减少。游离性余氯性质不稳定, 衰减快, 而化合性余氯较稳定, 衰减慢。

张穗等^[3]通过对大亚湾核电站冷却水排水口邻近海域进行了调查, 研究了余氯在海水中的衰减规律, 其衰减曲线见图 1。

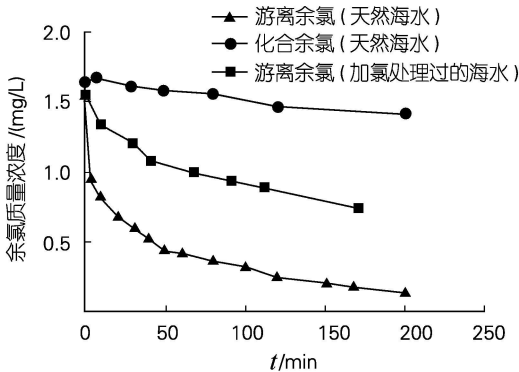


图 1 余氯在海水中的衰减曲线^[3]

Fig. 1 Decline curve of residual chlorine

由图 1 可知化合余氯衰减较慢, 而游离余氯在天然海水中衰减 50% 所用的时间不足 1 h。刚排出的冷却水中, 游离余氯占主要部分, 化合余氯占比例较小, 故可认为此时排出的冷却水中余氯衰减较快。另外, 中国水产科学院曾于 1997 年在华能上海石洞二电厂现场进行了余氯衰减系数的实验, 实验结果表明: 余氯衰减 50% 所用的时间为 0.5 h, 余氯衰减 90% 所用的时间为 1.8 h。参照这两组实验结果, 作者预测时, 余氯的“半衰期”取为 1 h。

作者取余氯衰减 50% 所用的时间为 1 h, 根据许

多学者提出的余氯的一级衰减模型计算得余氯的衰减系数为 0.69。

2.2.2 水平扩散系数的确定

水平方向上的扩散系数采用公式^[7]:

$$D_x = 5.93 \sqrt{gH} |u| / N \quad (5)$$

$$D_y = 5.93 \sqrt{gH} |v| / N \quad (6)$$

式中 N 为底摩擦系数, g 为重力加速度, u, v 为分别对应于 x, y 方向的深度平均流速。

2.3 数值计算

计算域取整个胶州湾海域, 应用有限元分步杂交方法求解, 前半步采用特征线法, 后半步采用集中质量有限元法。设置的三角形网格点共有 4 795 个, 工程海域网格分辨率为 50 m。工程附近海域地形见图 2。

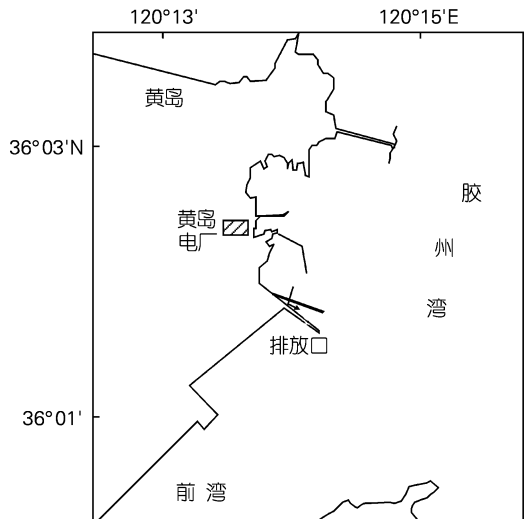


图 2 工程附近海域地形

Fig. 2 Topographical map adjacent to the engineering area

2.4 余氯浓度预测结果

根据电厂提供的资料, 黄岛电厂三期工程燃煤机组容量为 $2 \times 600 \text{ MW}$ 等级, 夏季温排水流量最大为 $38.88 \text{ m}^3/\text{s}$, 出口余氯质量浓度为 $0.42 \sim 1.0 \text{ mg/L}$, 作者预测时从保守角度取排水口余氯质量浓度为 1.0 mg/L 。

质量浓度计算的时间步长为 6 min, 在一个潮周期中每个三角形格点上可获得 120 个数据。择取每个格点上最高瞬时浓度绘制等值线, 即得预测余氯的包络浓度分布。图 3 给出了预测余氯包络浓度分布。

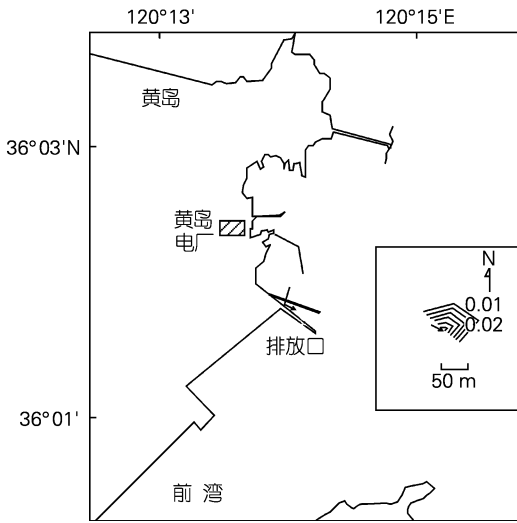


图3 预测余氯包络浓度分布(中潮)

Fig. 3 Concentration distribution of residual chlorine (middle tidal)

作者预测结果表明,余氯质量浓度以排水口处最高,为0.075 mg/L,质量浓度分布以排水口为中心向周围递减,至140 m处降至0.02 mg/L,至160 m处降至0.01 mg/L。超0.02 mg/L最大包络面积为0.011 km²。

2.5 验证

上海华能石洞口二电厂、广东大亚湾核电站排水口附近水域水体中余氯含量的观测表明,含有温排水余氯的接纳水体,余氯含量较低,一年四季的平均值为0.01~0.02 mg/L;靠近排放口的水域,余氯质量浓度较高一般为0.02~0.03 mg/L;离岸300 m外的水域余氯质量浓度通常为≤0.01 mg/L。

作者预测结果亦表明,较高浓度的余氯(≥0.03 mg/L)分布在排水口附近约100 m以内的范围,距离排水口160 m以外的水域,质量浓度≤0.01 mg/L。

类比已运行电厂的现场实际调查结果,无论从浓度的水平分布结构还是影响范围,预测结果均与实际观测结果较符合。

3 余氯对水生生物影响分析

浮游植物是海洋生态系统的基础生产者,而大量的研究表明,进行氯化的冷却水,其排放口邻近海域浮游植物光合作用和呼吸作用受到抑制,初级生产力下降^[8]。

不同生物种类对氯处理的敏感程度有所差别,目前我国还未制定对水生生物的余氯安全浓度标

准,本文引用国外的研究结果。影响余氯毒害作用的重要因素是余氯的浓度水平和作用时间^[9]。Matlice和Zitell^[10-11]根据大量的研究,推导出了具有普遍意义的余氯对海洋生物以及淡水生物的余氯浓度和作用时间的安全阈值。研究表明,对于海洋生物余氯慢性毒性阈值为0.02 mg/L,即余氯质量浓度低于0.02 mg/L时,不论作用时间多长,也不会对水生生物有毒性作用。

从预测结果看,超0.02 mg/L最大包络面积仅为0.011 km²,即超过余氯对海洋生物安全浓度阈值的范围较小,因此认为黄岛电厂三期工程排放余氯对工程邻近海域海洋生物影响较小。

4 结果与讨论

(1) 作者通过前人大量的实验成果,较为合理地确定了余氯衰减系数,建立二维的余氯扩散-运输模型。

(2) 将此模型应用于黄岛电厂三期工程,预测结果表明:冷却水排放口处余氯质量浓度最高为0.075 mg/L,超0.02 mg/L大包络面积为0.011 km²,0.02 mg/L包络线至排放口的最大距离为140 m。

参考文献:

- [1] Brook A J, Baker A L. Chlorination at power plant: impact on phytoplankton productivity [J]. **Science**, 1972, 178: 1 414-1 415.
- [2] Shams El Din A M. On the chlorination of seawater [J]. **Desalination**, 2000, 129: 53-62.
- [3] 张穗, 黄洪辉. 大亚湾核电站余氯排放对邻近海域环境的影响[J]. **海洋环境科学**, 2000, 19(2): 14-18.
- [4] 吴江航, 韩庆书. 计算流体力学的理论方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 243-257.
- [5] 王学昌, 孙长青, 孙英兰, 等. 填海造地对胶州湾水动力环境影响数值研究[J]. **海洋环境科学**, 2000, 19(3): 55-59.
- [6] Grayman W M, Clark R M, Males R M. Modeling distribution system water quality: dynamic approach [J]. **Water Resource Png and Mgmt**, 1998, 114: 295-312.
- [7] 孙文心, 陈时俊. 环境流体力学模型[J]. **山东海洋学院学报**, 1988, 18(2): 19-23.
- [8] Carpenter E J, Peck B B, Ander S J. Cooling water chlorination and productivity of entrained phytoplankton [J]. **Marine Biology**, 1972, 11: 37-40.
- [9] Daniel J, Fisher, Dennis T, et al. The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organism in the presence and absence of

ammonia [J]. *Wat Res*, 1999, **33**(3): 760-768.

eration 1976, **44**(10): 2 284-2 308.

[10] Matlice J S, Zãitel H E. Site specific evaluation of power plant Chlorination[J]. *Journal Water Pollution Control Fed-*

[11] 黄洪辉, 王肇鼎. 电厂温排水中的余氯对邻近水域生态环境的影响[J]. *南海研究与开发*, 1998, **6**(2): 46-58.

Numerical prediction for transport and diffusion of residual chlorine in cooling water drainage of the power plant

ZHANG-Yan, SUN Ying-lan

(College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: May, 13, 2004

Key words: cooling water discharges; residual chlorine; decay; numerical simulation; marine environment

Abstract: The tidal current field of Jiaozhou Bay is numerically simulated using the split steps finite element method. And then, the attenuation coefficient of the residual chlorine is selected based on a good number of experimental results. Finally, a two dimensional model of the transport and diffusion for the residual chlorine in Jiaozhou Bay is established. This numerical model is applied to the cooling water drainage engineering in the Huangdao Power Plant of Qingdao. According to this numerical model, the concentration distribution of the residual chlorine in the cooling water drainage and the area of its influence are numerically predicted, which can provide helpful reference for the ecological environment preservation around the outfall of the cooling water.

(本文编辑: 张培新)