

热扩散预测方法研究概况*

II. 热扩散的研究现状

SURVEY OF PREDICTING METHOD OF COASTAL THERMAL DIFFUSION II. REVIEW OF THERMAL DIFFUSION

王丽霞 孙英兰 田 晖

(青岛海洋大学 266003)

*

1 二维热扩散预测方法

经典的二维流体动力学模型,在解决一些大洋问题、近海的水位和瞬时输运问题确实是有效的,所以至今在某些方面还沿用不衰。近年来,二维海洋流体动力学模型被广泛地用于热扩散的研究中,主要是用来预测热扩散远区的温升分布。例如:李燕初等^[1]采用二维 ADI 法数值计算了电厂排放的冷却水对远区的影响;中国科学院南海海洋研究所^①利用二维有限体积法计算了海口火电厂排放的冷却水对海域环境的影响;河海大学^②运用 EDF-LNH 开发的二维有限元方法模拟计算大亚湾核电站排放的废热水对远区的影响;Ri ou^[7]建立了一种二维模型,将计算域分成两层,考虑了海气间的相互作用及风的作用,模拟计算了英国北部近岸海域的温升分布;水利水电科学研究院^③利用破开算法建立了二维模型,对浅滩水域边界采用窄缝法来模拟计算秦山核电站冷却水排放对远区的影响;青岛海洋大学^④利用二维分步杂交法计算了石臼电厂和海南八所电厂温排水对海域环境的影响等。二维热扩散预测模型已日趋完善,适应于预测热扩散远区及垂向混合比较均匀海域的温升分布。

由于二维海洋流体动力学模型有其本身的局限性,如无法知晓水平流速沿深度的变化、不含垂直流速分量无法模拟垂向分布等,因而二维热扩散预测方法也存在某些的局限性,如不能模拟热扩散近区的温升垂直分布,即无法模拟温排水近区废热水与周围环境水体的卷吸稀释混合现象。为了精确地模拟热扩散近区的温升分布,必须进行三维热扩散预测方法的研究,三维热扩散预测方法很大程度上同样取决于三维流体动力学模型的研究。

2 三维热扩散预测方法

随着理论和实践的发展和高速大容量计算机的出現,自 70 年代以来,三维海洋流体动力学的数值计算

逐渐开展起来,如变换坐标下三维有限差分方法、分层的平均模式、谱方法^[5]、流速分解法^[2]等。三维热扩散数值模型的建立不仅取决于三维数值方法的好坏,而且很大程度上在于湍流的参数化方法上,众多的研究者经验地给定湍粘性系数为常数或某一简单的代数表达式,然而为了尽可能地消除对湍粘性系数经验选取的人为性,人们也应用了湍模式理论,如 Prandtl 混合长度理论,湍动能模型, $\kappa\text{-}\epsilon$ 模型。

在国内将三维流体动力学数值模型用于热扩散的研究中还较少,因此,三维热扩散的模拟方法仍属于探索的阶段,特别是热扩散近区的研究引起国内外学者的极大重视。国内大多学者都是采用物理模型实验来进行热扩散近区的研究,如河海大学^⑤、水利水电科学研究院^⑥等利用物理模型实验来模拟温排水近区的温升分布。物理模型实验方法在实际工作中费用昂贵而得不到广泛应用,因此三维热扩散的数值计算在国内急需解决。国外的大多学者则是先采用数值实验和水利学实验相结合的方法来进行热扩散的研究,即用水利学实验来检验数值模型的精度,然后将所建数值模型用于温排水的实际工作中。如 Launder^[6]和 McGuirk 根据 $\kappa\text{-}\epsilon$ 湍流理论采用有限差分法建立三维热扩散近区数值模型,此模型的适用范围是废水排到静止的湖里;Darras, M. 根据 Prandtl 混合长度理论采用有限差分的分裂算法建立了热扩散近区的三维

* “八五”国家科技攻关项目 85-903-08-05-04。

① 中国科学院南海海洋研究所,1988。海口火电厂二期工程环境影响报告海洋水环境影响分报告。

② 河海大学,1988。大亚湾核电站排放的废热水对远区的影响。

③ 水利水电科学研究院,1990。秦山核电站冷却水排放对远区及中区的影响。

④ 青岛海洋大学,1995。八所电厂新建工程海域水环境影响评价报告书。

⑤ 河海大学,1988。大亚湾核电站排放的废热水对近区的影响。

⑥ 水利水电科学研究院,1990。秦山核电站冷却水排放对近区的影响。

收稿日期:1996年10月14日

数值模型,此模型忽略海气间的相互作用;Wada 对岸边和深海两种排放方式的热扩散进行比较详细的研究,热扩散的远区采用传统的二维模型进行计算,并且在实际工作中得到了比较成功的应用,热扩散的近区则是采用水利学实验与数值模拟实验相结合的方法建立了热扩散的三维平均流数值模型和 κ - ϵ 湍流模型,三维平均流数值模型引入 Prandtl's 混合长度理论,将排放口近区的湍粘性系数与密度射流的轴线中心线速度、扩展半径联系起来;湍流模型中为了表示湍流的粘性,以 κ (湍动能)和 ϵ (湍能耗散)作为湍流的特征量,并将平均流模型和湍流模型的计算结果进行了比较,得出 κ - ϵ 湍流模型的精度高于平均流模型。

在“八五”期间,热扩散预测方法的研究是国家科技攻关项目“近海污染预测技术研究”专题的一部分工作。研究的主要内容是不同规模的温排水对附近海域引起升温程度与范围的预测方法。建立了两套三维热扩散预测模型^①,在热扩散的近区根据二阶湍流理论建立了 κ - ϵ 湍流模型,在热扩散远区根据一阶湍流理论建立了三维热扩散预测模型。这两套模型均考虑了热、盐效应和密度的空间变化,并运用湍流理论确定湍粘性,提高了模拟精度。将此二模型应用于青岛黄岛电厂的温排水工程,得到了比较满意的结果。

3 海面综合散热系数

水温预测的另一个重要问题是海面综合散热系数的正确选择,在“七五”期间,原水电部将“水面蒸发与散热系数研究”立为重点课题,组织中科院,水力电力部水利水电科学研究院冷却水研究所等 10 个单位组成研究协作组,对该课题做了深入研究,提出了适应我国的计算水面蒸发和散热系数的全国通用公式,但该公式只适用于内陆纳污水域(陈惠泉,毛世民等)^②。对海面的综合散热系数的研究,我国张准教授于 1981 年基于大气边界层的动量、感热和水汽通量的基本方程,利用空气动力学理论,讨论了贴海面动量、感热和水汽输运的参数化问题^[3]。实际应用中,由于基础数据的缺乏,有人习惯于根据不同季节、不同海域将该系数取为 10~100 W/°C 之间的不同的常数值,但多数人利用国外的研究成果,选用较为简单的经验公式来计算,如 Gras 和 Gunnerberg 公式或其他经验公式。

4 结束语

二维和三维热扩散预测方法的研究及计算为热污染的进一步研究提供了许多宝贵的经验和方法,特别是 κ - ϵ 湍流模型对热扩散近区的预测起到了重要的作

用,基本上模拟出温排水近区的热扩散过程,充分展现出排放口附近高温升水与周围环境水体的卷吸稀释现象。但是热扩散的预测方法仍然有许多急待解决的问题,如:(1)上面提出的三维模型只适应于热扩散近区的研究,对于热扩散远区仍然采用二维模型进行预测研究,因而对整个海域而言,存在三维模型与传统二维模型的衔接问题,即近区与远区的衔接有待于进一步的研究。(2)在热扩散的研究中还可以探索一种全场模拟方法,从而避免区域划分和模型衔接所引起的困难。(3)海面综合散热系数与水温、气温、湿度、风速等多种因素有关,目前大多研究者都是选用经验公式来计算,经验公式带有很大的主观性,所以海面综合散热系数的选取有待于进一步探讨。(4)海表温度的变化不仅与潮汐运动和海水性质有关,还受太阳辐射及大气环流的强迫场所左右^[4],特别是近岸海域海水温度变化除了上述因素外,还受浅水分潮和近岸地形等因素的影响,因而近岸海水温度的预测也是热扩散预测方法研究中的一个重要课题。

参考文献

- [1] 李燕初等,1988. 台湾海峡 7(3): 235~240.
- [2] 孙文心等,1981. 山东海洋学院学报 11(1): 34~40.
- [3] 张准,1981. 海洋文集 4(1): 15~22.
- [4] 王赐震等,1990. 海洋与湖沼 21(5): 416~424.
- [5] Heaps, N. S., 1972. *Men. Soc. Sci. Liege* 2: 143.
- [6] Launder, B. E., 1975. *J. Fluid Mech.* 67: 569-587.
- [7] Riou, J., 1989. *Hydrocol* 2: 19-31.

① 青岛海洋大学,1995. 热污染对海洋环境影响及预测研究。

② 陈惠泉、毛世民等,1990. 水面蒸发与散热系数研究——全国通用公式,水利水电科学研究院冷却水研究所研究报告。