

珠江三角洲河网与伶仃洋一、三维水质模型联解研究^{*}

逢 勇, 洪晓瑜, 王 超

(河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 建立了珠江三角洲河网区和伶仃洋的水质耦合数学模型, 采用时段交替法进行一、三维模型的耦合计算。利用统计得到的珠江三角洲 1998 年的污染源排污量资料以及 1998 年 6 月 26 (27 日在伶仃洋同步观测的水质 (COD) 资料对耦合模型的计算结果进行了验证, 结果表明模型: 计算值和实测值基本吻合, 说明该耦合模型可用来描述珠江三角洲河网区和伶仃洋区的耦合水质变化过程。

关键词: 珠江三角洲; 伶仃洋; 水质数学模型; 耦合计算

中图分类号: P331; X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 04-0110-03

珠江三角洲位于中国广东省南部, 是珠江水系西江、北江、东江下游的冲积平原, 珠江三角洲河网区水流通过虎门、蕉门、洪奇门、横门与伶仃洋相连, 香港位于伶仃洋的东南角、澳门位于伶仃洋的西南角, 整个珠江三角洲河网区和伶仃洋区位于粤、港、澳之间, 该区域的水环境等问题历来为粤、港、澳所关注。由于珠江三角洲河网与伶仃洋之间水流相互贯通、连为一体, 故从水流特性出发, 应将珠江三角洲河网和伶仃洋视为整体进行研究, 由于问题的复杂性, 过去基本没有开展过这一方面的研究工作。目前, 该水域水污染问题日益突出, 为了统筹考虑该水域的水环境保护工作, 有必要进行珠江三角洲河网和伶仃洋耦合的水环境数学模型研究工作。本文在珠江三角洲河网水量水质模型^[1]以及珠江三角洲河网和伶仃洋耦合水动力学模型^[2]研究成果基础上, 利用统计得到的珠江三角洲 1998 年的污染源排污量资料以及 1998 年 6 月 26—27 日在伶仃洋同步观测的水质 (COD) 资料对耦合水质模型的计算结果进行了验证, 结果表明模型计算值和实测值基本吻合。

1 一维河网水量水质模型建立及率定

1.1 河网水量水质数学模型

河网水量水质数学模型见文献[1, 2], 模型求解方法见文献[3, 4]。

1.2 模型率定

本模型概化的珠江三角洲河网区范围为: 东起

东江的博罗、增江的麒麟嘴; 北起流溪河的老鸦岗、北江的三水、西江的马口; 西起西江的天河; 南边为伶仃洋的四口门, 从东至西依次是虎门、蕉门、洪奇门和横门, 河网区内共概化河道 180 条, 汉点 112 个, 划分河道断面 575 个, 外边界 16 个, 计算的河网区范围约 2 000 km²。计算区域内的主要河流为: 东江三角州的东江北干流、东江南支流、中堂水道、道窖水道等; 广州河道的流溪河、前航道、后航道、黄埔航道、虎门水道等; 西北江三角州的顺德水道、佛山水道、东平水道、容桂水道、陈村水道、沙湾水道、市桥水道、驷岗水道、潭州水道、小榄水道、鸡鸭水道等。

水质模型中水质 (COD) 降解系数的取值^①范围为 0.1~0.3 d⁻¹。采用 1993 年计算区域内 COD 的污染源资料以及同期的水质监测资料对模型进行了验证, 计算时的时间步长为 5 min, 空间步长为 200~14 000 m 不等。COD 的计算值和实测值的对比见图 1, 计算值和实测值吻合较好。

2 三维水量、水质模型的建立及率定

2.1 模型的建立

三维水量、水质模型见文献[2, 5], 具体求解方法见文献[5—7]。

2.2 计算范围及网格划分

三维模型计算的上边界为伶仃洋的东四口门, 该处水质浓度值由带源项的河网水质模型计算得到; 下边界为淇澳岛—内伶仃岛—赤湾一线, 下边

^{*} 收稿日期: 2003—05—19

基金项目: 中国科学院战略行动计划项目 (KZCX1—SW—12)

作者简介: 逢 勇 (1958 年生), 男, 教授; E-mail: py58@jmail.com.cn

① 中国环境科学院. 珠江三角洲河口典型区域水环境容量开发利用研究. 国家“七五”科技攻关项目, 1990, 11.

界水质浓度值由实测资料内插得到。三维模型计算区域面积约 700 km²，模型计算的水平空间步长为 $\Delta x = \Delta y = 400$ m；垂直方向采用相对座标，分为 3 层；计算时间步长为 1 s。

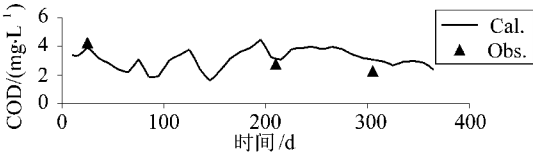


图 1 1993 年平州断面水质 (COD) 计算值和实测值对比图

Fig. 1 Comparison of model output and observed data of water quality (COD) in Pingzhou

3 一、三维水力模型联解及计算结果分析

3.1 连接基本条件

一维与三维模型连接的基本断面共有 4 个，分别为：虎门、蕉门、洪奇门和横门。设一维在第 i 个连接断面上的水质浓度为 $c_i^{(1)}$ ；三维在第 i 个连接断面上的水质浓度 $c_i^{(2)}$ ，($i = 1, 2, 3, 4$)，则连接基本条件是在连接断面上的水质浓度值连续。三维模型边界点接收到的一维模型边界输入值为断面均匀混合值；一维模型的边界点接收到的三维模型边界输入值为相应网格各点的平均值，表示如下：

$$c_i^{(2)}(x, y, z) = c_i^{(1)}$$
$$c_i^{(1)} = \frac{1}{n} c_i^{(2)}(x, y, z)$$

其中 $c_i^{(1)}$ 为河网边界； $c_i^{(2)}$ 为伶仃洋边界， n 为边界点上三维网格点个数。

3.2 连接断面选取

为了使连接断面的计算结果在模型耦合计算时具有一定的响应特性，扩大一维和三维模型的计算范围，使其有一个相交区域，将相交区域的上边界和下边界作为一、三维模型耦合的连接断面，相交区域太大，会使三维模型在河网中的概化网格过于复杂，相交区域太小，达不到消除边界影响的目的，最终确定相交区域为两个河网空间步长，距离为 300 ~ 700 m。

3.3 一、三维模型耦合计算方法

采用时段交替法进行一、三维模型的耦合计算：在初始时段 $0 \sim \Delta T_1$ 进行一维模型计算， ΔT_1 时段末，将一维模型的水质计算结果耦合给三维模型，作为三维模型的边界条件；在 $\Delta T_1 \sim \Delta T_2$ ($\Delta T_2 = \Delta T_1 + \Delta T_1$) 时段进行三维模型计算， ΔT_2 时段末，将三维模型的水质计算结果耦合给一维模型，作为一

维模型的边界条件；在 $\Delta T_2 \sim \Delta T_3$ ($\Delta T_3 = \Delta T_2 + \Delta T_1$) 时段再进行一维模型计算，计算结束后将连接断面处的计算结果再赋给三维模型，如此循环往复，直至计算终止。

3.4 联解计算结果分析

利用统计得到的珠江三角洲 1998 年的污染源排污量资料以及 1998 年 6 月 26—27 日在伶仃洋同步观测的水量、水质 (COD) 资料进行了模型的计算及验证工作，水质 (COD) 计算所需流场值取流态相似的 1978 年 7 月 6 日的流场值。河网与伶仃洋在耦合断面处及 1 号测点 (L1) 和 2 号测点 (L2) 的计算值和实测值的对比见图 2；1998 年 6—7 月在澜石站、五斗站、容奇站和紫洞站测得的 COD 浓度耦合模型的计算结果，分别为 2.5, 2.7, 4.2, 2.7 mg/L，相应的耦合模型算值为 3.3, 3.2, 3.3, 2.6 mg/L。

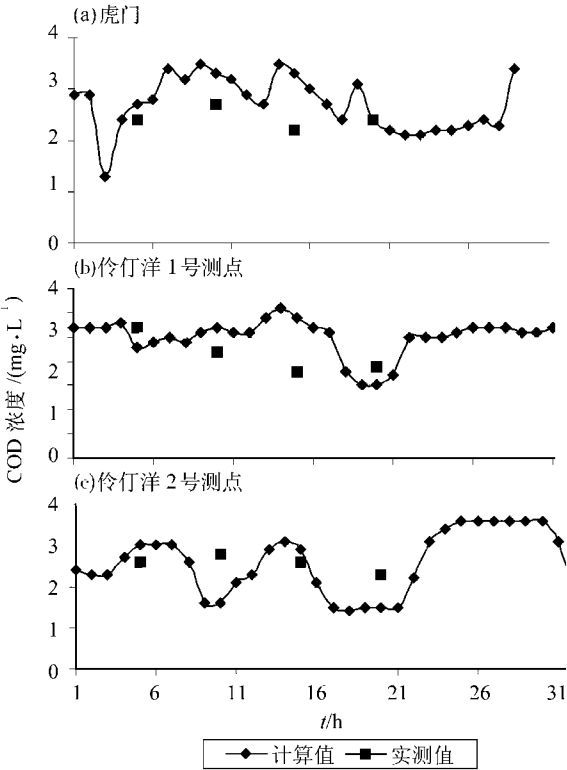


图 2 各测点 COD 浓度计算值与实测值对比图

Fig. 2 Comparison of model and observed COD at Humen, Site 1, 2 in Lingding sea

由图 2 可见，耦合模型计算值和实测值基本吻合，说明该模型可用来描述珠江三角洲河网区和伶仃洋区的耦合水环境过程。

4 结 论

建立了珠江三角洲河网区和伶仃洋的水质耦合数学模型，采用时段交替法进行一、三维模型的耦

合计算。利用统计得到的珠江三角洲 1998 年的污染源排污量资料以及 1998 年 6 月 26—27 日在伶仃洋同步观测的水质 (COD) 资料对耦合模型的计算结果进行了验证, 结果表明: 模型计算值和实测值基本吻合, 说明该耦合模型可用来描述珠江三角洲河网区和伶仃洋区的耦合水质变化过程。

参考文献:

[1] 逢勇, 李学灵. 珠江三角洲河网入伶仃洋污染物通量计算研究 [J]. 水利学报, 2001(9): 40—45.
[2] 逢勇, 黄智华. 珠江三角洲河网与伶仃洋一、三维水动力学模型联解研究 [J]. 河海大学学报, 2004, 32(1): 10—14.

[3] 张二俊. 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学院学报, 1982, 11—14.
[4] 溪梅成. 数值分析方法[M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1995.
[5] LI C W. Numerical investigation of turbulent shallow recirculating flow by a quasi(three— dimensional $k-\epsilon$ model [J]. Int J Numer Methods Fluids, 1996, 23: 485—501.
[6] YANENKO N N. The Method of fractional steps[M]. New York: Springer, 1971.
[7] BENQUE J P, CUNGE J A, FEUILLET J, et al. A new method for tidal current computation [J]. J Waterways Harbours Div, 1981, 108: 396—417.

A Stagger Compntation for Water Quadity with One Dimensional Model for Pearl River Delta and Three Dimensional Model for the Lingding Sea

PANG Yong, HONG Xiao yu, WANG Chao

(Environment Science and Engineering College, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A stagger calculation method is established for the water quality the Pearl River delta and Lingding sea based on a one dimensional mode for the river and a three dimensional model for the sea. The results from the calculation are consistent well with the statistical results obtained from the observational data of water quality in the Pearl River delta and in Lingding Sea in June 26th—27th, 1998. This indicates that this approach can be used to describe the variation process of coupling water quality in the Pearl River delta and Lingding sea.

Key words: the Pearl River delta; Lingding Sea; water quality model; coupling calculation