

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.005

珠江口盐度锋面对营养物质和生物的影响

黄少彬¹, 李开明², 姜国强², 陆俊卿²

(1. 深圳环境科学研究院, 广东 深圳 518000; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655)

摘要 利用 MIKE 3 的非结构网格水动力数学模型对珠江河口流场、温度场和盐度场进行数值模拟及对比分析。结果表明, 河口锋面对水体中营养物质的输送起阻碍作用, 从而使生物在锋面附近有特定的分布形式, 即锋面使得营养物质、生物在其两侧积聚形成高值区, 物质难以通过锋面进行输送。

关键词 水动力模拟; 盐度锋面; 营养物质; 珠江口

中图分类号: P343.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)02-0018-08

Influence of salinity fronts on nutrition substance and biology in Pearl River estuary

HUANG Shao-bin¹, LI Kai-ming², JIANG Guo-qiang², LU Jun-qing²

(1. Shenzhen Academy of Environmental Science, Shenzhen 518000, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China)

Abstract: The flow pattern, temperature, and salinity field in the Pearl River estuary were simulated and analyzed with the hydrodynamic numerical model MIKE 3 using an unstructured mesh. The results indicated that the salinity front would hinder nutrient substance transportation, and the organism had a special distribution pattern around the salinity front, namely, the nutrient substance and the organism formed high concentration zones at both sides of the salinity front, and the substance was not easily transported though the salinity front.

Key words: hydrodynamic simulation; salinity front; nutrient substance; Pearl River estuary

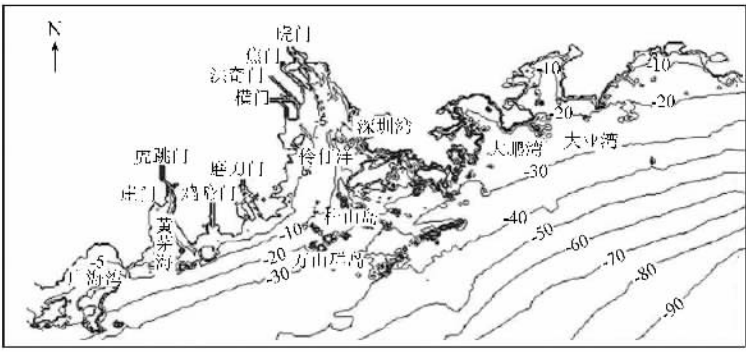
珠江口是一个陆海相互作用显著的区域:一方面, 珠江流域中的淡水、泥沙和大量营养盐通过 8 大门口输入到南海的内海甚至外海;另一方面, 海洋则通过浪潮流、海水入侵及大气环流等多种途径不断作用于陆地。本研究海域范围包括珠江口 8 大门口及涉及的近岸海域、大亚湾海域和广海湾海域。具体范围见图 1。

1 盐度锋面机制

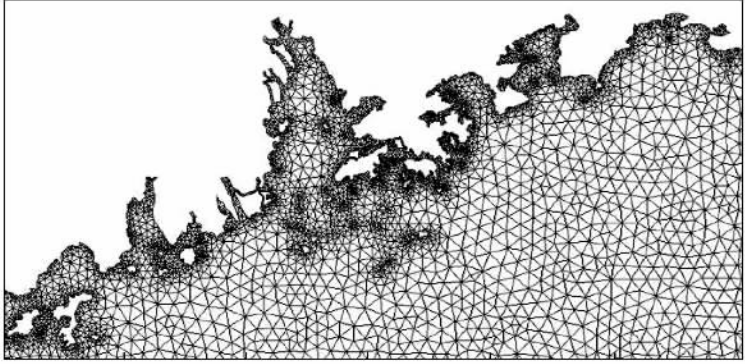
河口锋面的形成, 总的来说是由于地形、潮汐作用等原因, 海水入侵河口, 在海水与径流的作用下使得河口地区出现盐度、温度或密度等值线密集的水体。这些水体存在于物理、化学特性明显不同的水体之间, 狭窄而且理化性质突变, 因此称为锋面。

盐度锋面指的是由于河口冲淡水在大陆架近岸产生的低盐水与高盐海水之间的急剧过渡带^[1]。根据低盐水的垂直分布, 低盐锋面可以分为近表锋面和底表锋面 2 种^[1]。近表锋面是低盐锋面在表层水体分布, 这是由于淡水冲入海以后垂向上没有跟海水混合一致, 在表面形成盐水的剧变带。底表锋面是淡水与海水在垂向上有混合, 低盐锋面表底相连, 因此该锋面与底边界动力学过程有关^[2]。

在国内, 锋面的研究从 20 世纪 80 年代开始。长江河口的锋面研究是国内最早开展的锋面研究^[3]。随后, 苏纪兰等^[4]也对杭州湾锋面进行研究。温生辉等^[5]提出“退潮流隔”是厦门港退潮锋面形成的动力机制。朱建荣等^[6]也通过数值模拟和实际观测结合, 分析河口冲淡水和羽状锋的关系。郑建平



(a) 研究区域(单位:m)



(b) 模型网格化区域

图1 模型研究范围及网格化区域

等^[7-8]分析了河口淡水对盐度乃至生物产生的影响,以海河河口及近岸海域为对象,建立入海径流与盐度的回归关系。

珠江口的河口锋面研究相对较少,庄伟等^[9]通过表层温度、盐度的观测结果,结合卫星遥感图像对珠江口外盐度锋的结构和变化进行了分析,并对温度、盐度锋面强度的判断标准提出了自己的见解。贾良文等^[10]根据同步水文观测资料,对磨刀门的潮动力、盐度变化及密度差进行了相关研究。朱雅敏等^[11]利用机制分解法对内伶仃洋河口湾内东槽的3个完整潮周期的资料进行分析计算,阐释了珠江口内伶仃洋河口湾盐度运输的贡献项及各自的影响。陈水森等^[12]利用此经验模型估算出珠江口相应的咸潮入侵最大距离。

2 模型建立及其离散

2.1 控制方程

笔者采用文献[13]中的数学模型,对区域的流场、温度场和盐度场进行模拟。以笛卡尔坐标系 (x, y, z) 建立在静止海面上东向、北向、垂直向上3个方向分别为 x 轴、 y 轴和 z 轴的正方向的三维模型。

2.1.1 浅水方程

该模型基于 Navier-Stokes 方程给出三维浅水方

程。其中,区域连续方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

雷诺动力方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial (uu)}{\partial x} + \frac{\partial (vu)}{\partial y} + \frac{\partial (wu)}{\partial z} = & fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \\ & \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \\ & F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_i \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial (vv)}{\partial y} + \frac{\partial (uv)}{\partial x} + \frac{\partial (wv)}{\partial z} = & -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \\ & \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \\ & F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_i \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\rho g = - \frac{\partial p_a}{\partial z} \quad (4)$$

其中 x, y 方向上的梯度压力关系项

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (5)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (6)$$

式中: ρ_0 为海水密度常数; ρ 为实际密度; g 为重力加速度; p_a 为大气压力; f 为科氏力; η 为表面水位; h 为水深; $s_{yx}, s_{yy}, s_{xx}, s_{xy}$ 为辐射应力分量; u, v, w

分别为 x 、 y 、 z 方向上的流速 ; A 为水平黏滞系数。

2.1.2 盐度传输方程

盐度 s 遵循以下传输方程 :

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\alpha(us)}{\partial x} + \frac{\alpha(vs)}{\partial y} + \frac{\alpha(ws)}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s \quad (7)$$

其中水平扩散项

$$F_s = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial s}{\partial y} \right) \quad (8)$$

式中 : D_v 为垂向紊动扩散系数 ; s_s 为源汇项 ; D_h 为水平扩散系数。

2.2 初始条件和边界条件

上述方程组为时间、空间上的变量 ,作为数学物理的适定问题 ,还必须给出初始条件和边界条件。

2.2.1 初始条件

设区域内的动力(流场和水位)初值为 0 ,即 :

$$\begin{cases} u(x, y, z, 0) = 0 \\ v(x, y, z, 0) = 0 \\ w(x, y, z, 0) = 0 \\ \eta(x, y, 0) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

2.2.2 边界条件

边界条件包括 8 个口门的上边界条件以及珠江口近岸的海域下边界条件 ,以及垂向上的海面至海底的边界条件。

2.2.2.1 开边界条件

该模型的开边界条件分为河口的上边界条件和外海的下边界条件 2 种。对于上边界条件采用水位边界条件 ;对于外开下边界 ,以潮位过程作为边界条件。

盐度的边界条件可以分为河口和外海 2 种。河口的边界条件设为相应的值 ;外海的边界条件为 :

$$\frac{\partial s}{\partial z} + U_n \frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (10)$$

其中 : n 为垂直于边界的方向 ; U_n 为垂直于边界方向的流通量。

2.2.2.2 垂向边界条件

在自由海面 ($z = \eta(x, y)$) 处 :

$$\rho_0 K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{ox}, \tau_{oy}) \quad (11)$$

$$\rho_0 K_H \frac{\partial S}{\partial z} = \dot{S} \quad (12)$$

$$q^2 = B_1^{2/3} u_{\tau s}^2 \quad (13)$$

$$q^2 l = 0 \quad (14)$$

$$w = u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (15)$$

式中 (τ_{ox}, τ_{oy}) 为海面风应力 ; K_M 为海面摩擦系数 ; K_H 为水深 H 的摩擦系数 ; \dot{S} 为海水污染物表面

通量 ; q 为流量 ; l 为距海底距离 ; B_1 为经验系数 ; $u_{\tau s}$ 为由风应力引起的摩擦速度。

在底边界 ($z = H(x, y)$) 处 :

$$\rho_0 K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (16)$$

$$q^2 = B_1^{2/3} u_{\tau b}^2 \quad (17)$$

$$q^2 l = 0 \quad (18)$$

$$w_b = -u_b \frac{\partial H}{\partial x} - v_b \frac{\partial H}{\partial y} \quad (19)$$

式中 : $H(x, y)$ 为海底地形高程 (τ_{bx}, τ_{by}) 为底摩擦应力 ; u_b, v_b, w_b 分别为 x 轴、 y 轴和 z 轴方向上底边界流速 ; $u_{\tau b}$ 为由底摩擦应力引起的摩擦速度。

2.3 离散格式

本模型水平面上采用非结构网格 ,垂向上用结构化网格形成三维空间上的多个三角形或四边形为表面的多棱体或长方体。差分格式采用有限体积法 ,即结果变量 u, y 和 ζ 位于单元中心 ;跨边界通量垂直于单元。

由于使用显示迎风网格 ,时间步长 C_{LF} 要求严格满足 $C_{LF} < 1$ 。

$$C_{LF} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (20)$$

三维浅水方程和盐度传输方程归一化后可以写成以下形式 :

$$\frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}_x^I}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}_y^I}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{F}_\sigma^I}{\partial \sigma} + \frac{\partial \mathbf{F}_x^V}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}_y^V}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{F}_\sigma^V}{\partial \sigma} = \mathbf{S} \quad (21)$$

其中

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} h \\ h\bar{u} \\ h\bar{v} \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_x^I = \begin{bmatrix} h \\ hu^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \\ huw \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F}_x^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_y^V = \begin{bmatrix} 0 \\ hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ hA \left(2 \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F}_y^I = \begin{bmatrix} h\bar{v} \\ huw \\ hw^2 + \frac{1}{2}g(h^2 - d^2) \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_\sigma^V = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{v_t}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \\ \frac{v_t}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_\sigma^I = \begin{bmatrix} hw \\ h\omega u \\ h\omega v \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ g\eta \frac{\partial d}{\partial x} + f\bar{h} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{\rho_0} \int_z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + hu_s \\ g\eta \frac{\partial d}{\partial y} - f\bar{h} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{\rho_0} \int_z \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + hv_s \end{bmatrix}$$

对于归一化后的方程,在每一个单元上积分,根据高斯定理,将面积分化为线积分:

$$\int_{A_i} \frac{\partial Q}{\partial t} d\Omega + \int_{\Gamma_i} (F \cdot n) ds = \int_{A_i} S(Q) d\Omega \quad (22)$$

进一步简化后得到:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial t} + \frac{1}{A} \sum_j^{NS} F \cdot n \Delta \Gamma_j = S_i \quad (23)$$

式中: Q_i 和 S_i 分别为 Q 和 S 在第 i 单元和单元质心上的平均值; NS 为旁侧单元数; n_j 为在 j 侧的外法向量; $\Delta \Gamma_j$ 为在 j 界面的长度/面积。

一阶和二阶格式都可以应用在空间离散化。

至此,所有问题归结于如何求解跨边界通量 F ,这是有限体积方法的核心所在。法向通量的计算目前常用的途径是通过在沿外法向建立单元水力模型,并求解一维黎曼问题而得到。

在时间积分中,三维控制方程为半隐式时间积分方程,由水平隐式项 G_h 、垂向对流半隐式项 G_v^c 和垂向黏滞半隐式项 G_v^v 组合,一般形式记为:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \alpha(Q) = G_h + G_v^c(Q) + G_v^v(Q) \quad (24)$$

其中,下标 h 、 v 分别代表水平上和垂向上的离散分布。则三维浅水方程为:

$$Q_{n+1} - \frac{1}{2} \Delta t (\alpha(Q_{n+1}) + \alpha(Q_n)) = Q_n + \Delta t G_h(Q_n) \quad (25)$$

水平上用一阶显式 Euler 方法,垂向上用二阶隐式梯形法则。而盐度传输方程为:

$$Q_{n+1} - \frac{1}{2} \Delta t (\alpha(Q_{n+1}) + \alpha(Q_n)) = Q_n + \Delta t G_h(Q_n) + \Delta t G_v^c(Q_n) \quad (26)$$

其中,水平和垂向对流项用一阶显式 Euler 方法,垂向黏滞项用二阶隐式梯形法则。

2.4 潮间带水陆动边界处理方法

对于潮间带动边界问题(干湿面)处理方法,深度浅时,问题需要重新计算;仅当深度很浅时,单元从计算中剔除。重新计算时,设置动量通量为零,只考虑质量通量。单元的深度需测定,并分为干、部分干或湿3种。满足如下两个条件的单元面确定为湿:①一面的水深低于干水深阈值 h_d ,另一面的水深高于水淹阈值 h_f ;②在水深低于干水深阈值 h_d 面的静水深与另一面表面高程之和大于零。

干单元:如果水深单元低于干水深阈值 h_d ,并且单元是非湿边界时,单元确定为干单元。

部分干单元:如果水深大于干深度 h_d 而小于湿水深 h_w ,或者水深小于干水深阈值 h_d ,而且单元面一面是湿边界时,动量通量设置为零,只计算质量通量。

湿单元:水深大于湿水深 h_w 。此时,动量通量和质量通量均需计算。

湿水深 h_w 必须大于干深 h_d ,而且水淹深 h_f 必须满足: $h_d < h_f < h_w$ 。其中, $h_d = 0.005 \text{ m}$, $h_f = 0.05 \text{ m}$, $h_w = 0.1 \text{ m}$ 。

3 数值模拟及验证

3.1 模拟区域

模拟区域产生的不规则网格单元有10485个,节点个数有6658个。其中,主要研究区域为伶仃洋海区。

3.2 模型验证

珠江口数值模型运算时间为6月1日0:00至7月9日21:20,每20min输出1次结果。边界条件包括上下边界的潮位、盐度、温度、上边界流量。流场初始条件设为0。盐度和温度的初始条件通过试算在达到稳定后定为模型的初始条件。

对于模型的验证,鉴于珠江口内伶仃洋为研究重点,因此,在离虎门40km处、深圳湾以及伶仃洋湾口3处布置测站;在珠江口近海上下川岛、惠东双月湾布设2个测站。其中,在E41、E38站点分别进行连续26h的水动力观测,每1h测1次潮位和流速、流向;在A1、Z01站位进行连续72h以上潮位观测;A4进行100h以上的潮位观测。模拟结果与实测结果相比,显示潮位拟合较好,相对误差均小于9%;流速、流向拟合上,E38流速、流向模拟值与实测值相对误差均小于15%,E41流速、流向模拟值与实测值相对误差均小于50%。可以作为后面分析的水动力数据,具体模拟与实测结果对比见图2。

4 结果分析

通过验证证明模型准确性后,以珠江流域8大口门2006年6—7月水位作为模拟区域上边界,2006年6—7月外海潮位作为下边界,以及给定盐度的初始值,最终模拟出研究区域的流场(图3)、盐度场(图4)、伶仃洋内重点研究区域锋面处的流速垂直分布(图5)。

由图3可见,大潮落急的最大流速可达到2m/s,最小流速也有0.15m/s以上,平均流速可达0.29m/s。整个落潮过程水体向南运动,部分地区有南向偏西的运动;大潮涨急的最大流速可达到1.2m/s,最小流速在0.08m/s以上,平均流速可达0.14m/s。整个落潮过程水体向北运动,但相比大潮落急的流场,流速相对较小,小潮落急的最大流速可达到1.4m/s,最小流速在0.08m/s以上,平均流速可达0.12m/s。整个落潮过程水体向南运动,相比大潮落急的流场,

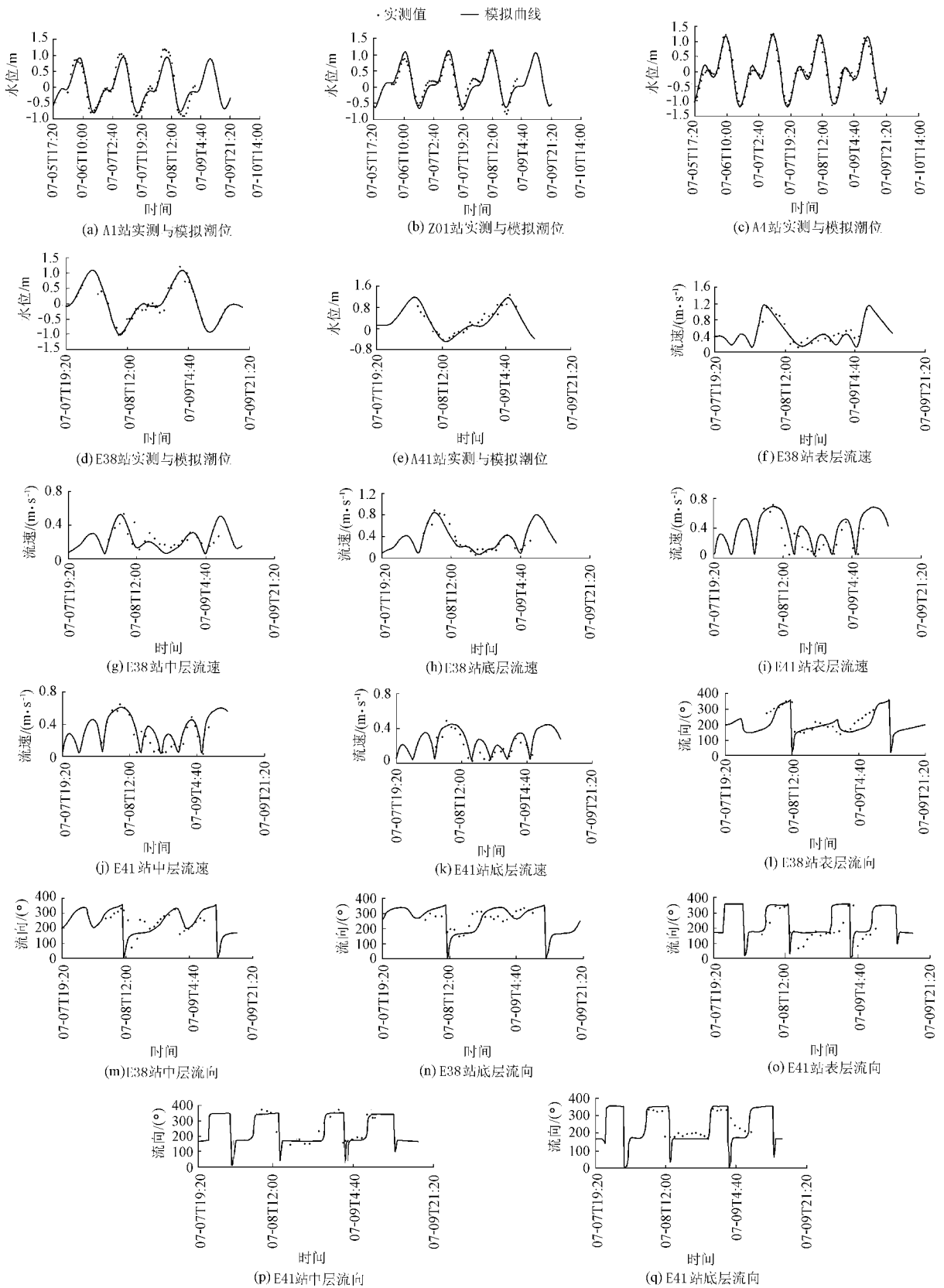


图 2 各测站潮位、流速、流向验证

流速相对较小,但运动过程相似,大潮涨急的最大流速可达 0.96 m/s,最小流速在 0.08 m/s 左右,平均流速为 0.15 m/s。伶仃洋的平均流速为 0.24 m/s。

图 4 为珠江口及毗邻海域模拟时间内大潮涨

平、落平和小潮涨平、落平盐度表层分布图,可以看出,在内伶仃洋中由于潮波作用,盐度梯度随潮汐的涨落南北移动,而磨刀门、黄茅海海域由于面积相对伶仃洋较小,而且磨刀门、崖门径流作用强(图 3),

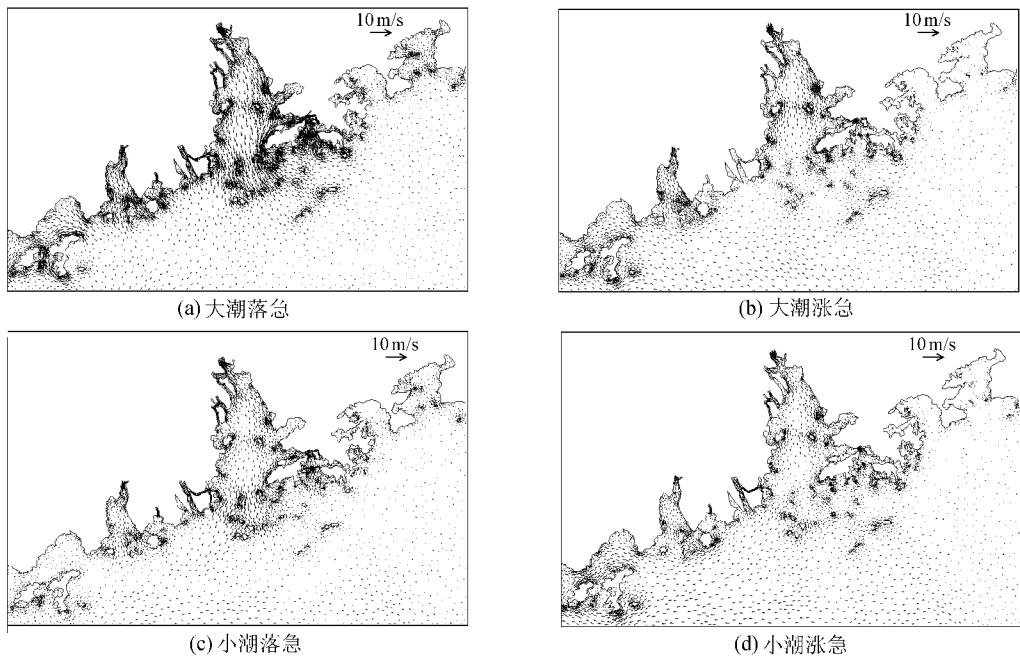


图 3 珠江口海域流场分布

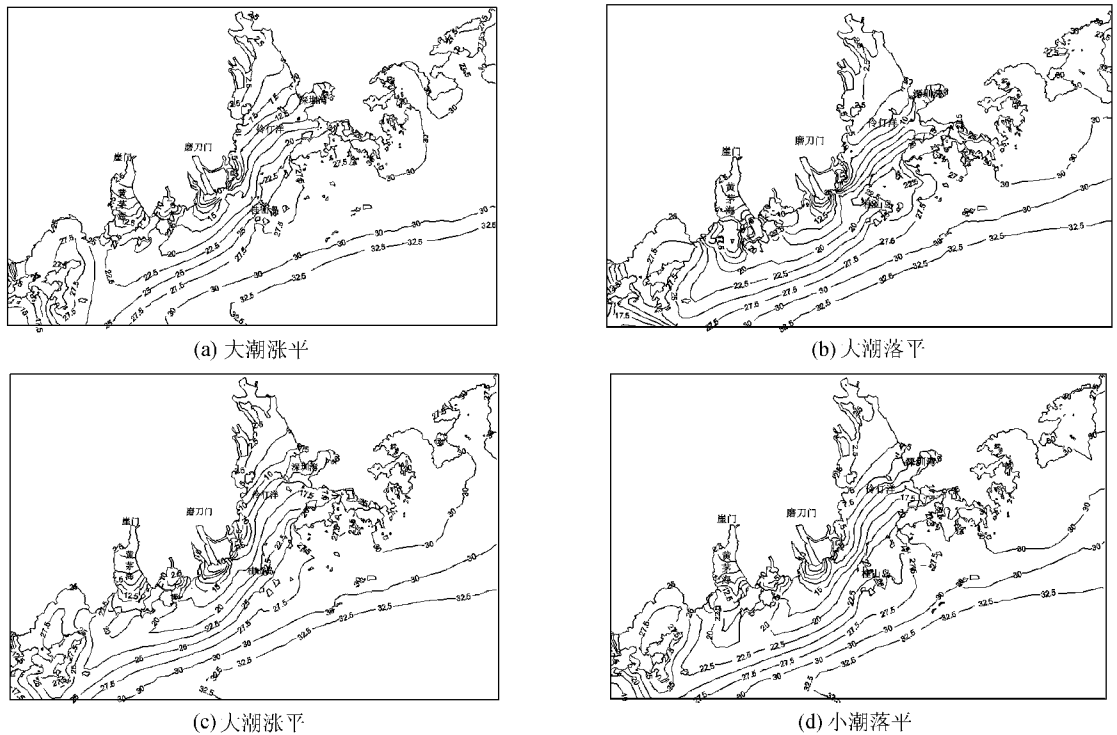


图 4 模拟盐度场

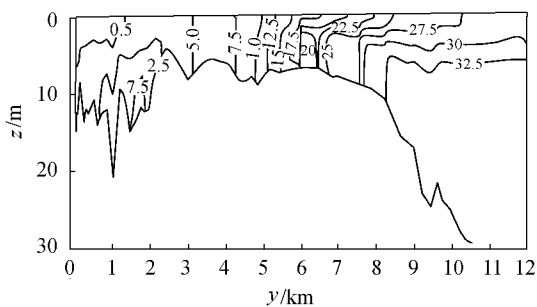


图 5 垂向盐度锋面

因此这两个区域的盐度梯度变化不大。由于从深圳河对外海域至桂山岛海域的范围内,盐度梯度受到潮汐涨潮、退潮的作用南北移动,而且梯度变化较大,故把该区域确定为珠江口潮汐混合锋面区域。

图 5 为珠江口由虎门经桂山岛至珠江口外海的盐度锋面剖面图。珠江口从虎门经过内伶仃岛左侧,穿过桂山岛至外海的垂向盐度锋面存在着空间变化,从虎门到 40 km 处,由于河口冲淡水在大陆架近岸产生的低盐水与高盐海水相遇,形成急剧过渡

带,垂向上产生混合,出现低盐锋面。盐度范围在 1 ~ 10 PSU 之间。40 km 至 80 km 之间,在底摩擦力作用下,水体流速垂向上形成切变,潮汐能量大大损耗,稳定的垂直层所产生的位能被紊流的动能抵消,潮汐带动的海水与淡水进行混合,在层化水与混合水之间出现潮汐混合锋面,盐度在 15 ~ 30 PSU 之间。80 km 到 120 km 之间,在河口淡水向外海下泄到达海洋陆架的斜坡处,盐度相对较低的河流淡水与外海潮波作用进来的相对高盐度海水相互混合,形成陆架斜坡上盐度变化较为剧烈的过渡带,即斜坡锋面,盐度范围在 13 ~ 30 PSU 之间。

笔者分析所需数据,由《珠江口及毗邻海域碧海行动计划》项目提供,根据 2006—2007 年《珠江口及邻近海域生态环境现状调查》资料,选取其中与笔者模拟时间 2006 年 6—7 月同步实测的珠江口伶仃洋海域溶解氧、无机氮和叶绿素 a 的分布图(图 6~9)进行对比。

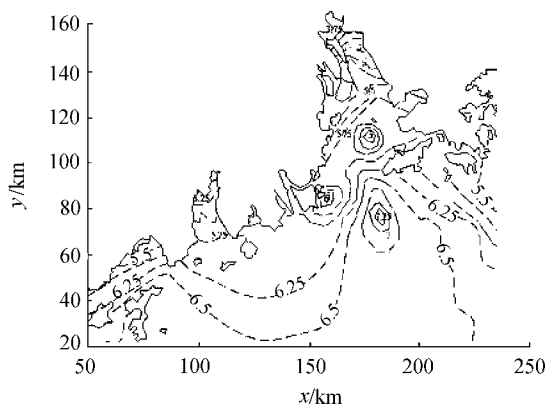


图 6 溶解氧质量浓度分布(单位 mg/L)

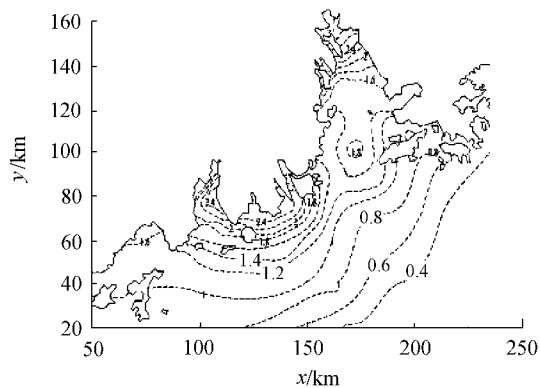


图 7 无机氮质量浓度分布(单位 mg/L)

总之,珠江口锋面形成后对于其周围的水体而言,相当于一处保留带或动力学意义上的障碍墙,阻隔了周围水体的物质、能量的交换与传递,从而在锋面的两侧形成截然不同的物理化学性质,甚至不同的生态环境。因此,它在珠江口河口动力变化过程中起着重要的作用。

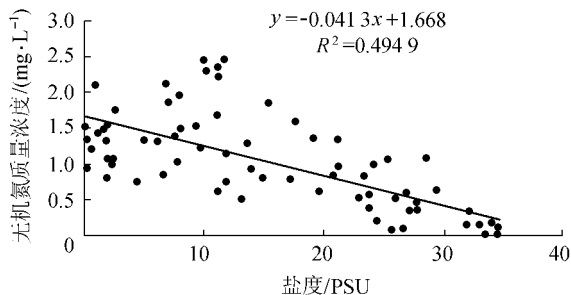


图 8 无机氮质量浓度与盐度关系

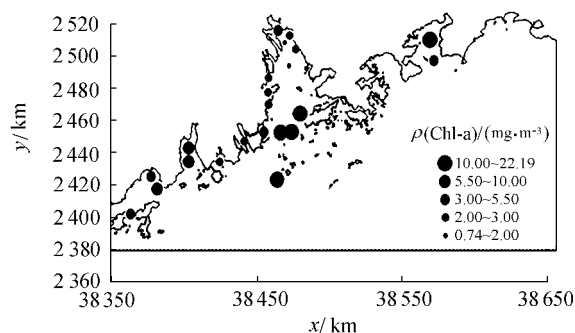


图 9 叶绿素 a 分布

从图 6~9 和模拟结果的分析中,得到以下几点认识:

a. 珠江口溶解氧的质量浓度从河口向外海变化范围在 4.44 ~ 8.04 mg/L 之间,平均为 6.13 mg/L。其中在 E41 号站出现溶解氧质量浓度高值区,E40 号站出现低值区。E40 到 E41 号站的范围正是盐度锋面中低盐锋面到潮汐混合锋面的过渡区域。E41 号站上由于受到低盐锋面的阻隔,物质交换受到阻碍,因此,两侧均出现高值区;E40 号站是位于潮汐混合锋面的区域,涨潮和落潮作用明显,因此虽然本身存在着锋面阻碍,但由于锋面在涨落潮过程中移动,反而使得物质能够在该区域进行交换,加上该站位叶绿素含量相对较高,浮游植物在这里可以形成良好的生物生产循环,因此出现低值区。

b. 珠江口无机氮质量浓度从河口向外海变化范围在 0.18 ~ 2.18 mg/L 之间,平均为 1.37 mg/L,并且呈现由河口湾内向河口湾外递减的趋势。无机氮是影响珠江口水质的主要污染物之一,在图 8 中,无机氮质量浓度与盐度呈现显著的负相关性,这说明珠江口海域无机氮主要是河流入海的贡献,其分布主要受到沿岸入海河流径流以及外海洋流强烈混合作用及其相互消长为主,对于化学、生物作用影响相对不明显。无机氮污染物在东四门的排放比例为虎门最高,对于径流量占珠江口各口门最大比例的口门来说,无机氮可以通过虎门较强的物质输送能力,输移到较远海域。

c. 珠江口及毗邻海域的叶绿素质量浓度为

0.74 ~ 22.49 mg/m³。从空间分布上看, 桂山岛、万山群岛附近海域叶绿素 a 质量浓度最高, 而内伶仃洋海域最低。总体来说, 叶绿素 a 质量浓度较高区域集中在斜坡锋面处。

d. 珠江口物质、生物的分布特点是河流动力作用、潮汐动力作用、生态系统因素(包括太阳辐射强度、水体透明度、水体生物量和生物种类等)、温度、盐度、密度等因素综合作用影响的。其中盐度锋面的存在, 使得珠江口物质分布和输移扩散有其自身的特点。物质在锋面附近的量会比其他水域的量要多, 盐度的层化对物质的输移起到一定的阻碍作用。

参考文献:

[1] 陈长胜. 海洋生态系统动力学与模型 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 133-134, 136, 168-169.

[2] CHAPMAN D C, LENTZ S J. Trapping of a coastal density front by the bottom boundary layer [J]. Journal of Physical Oceanography, 1994, 24: 1464-1479.

[3] 胡方西, 胡辉, 谷国全. 长江河口盐度锋 [J]. 海洋与湖沼, 1995(S1): 23-31.

[4] 苏纪兰, 王康善, 李炎. 杭州湾的锋面及其物质运输 [C]//苏纪兰. 中国海洋学文集(二). 北京: 海洋出版社,

1992: 1-12.

[5] 温生辉, 汤军健, 黄自强, 等. 厦门港退潮锋面的动力分析 [J]. 台湾海峡, 1999, 18(4): 437-444.

[6] 朱建荣, 傅德健, 昊辉, 等. 河口最大浑浊带形成的动力模式和数值试验 [J]. 海洋工程, 2004, 22(1): 66-73.

[7] 郑建平, 王芳, 华祖林, 等. 海河河口生态需水量研究 [J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 518-521.

[8] 李春初. 高盐陆架水入侵影响我国河口概况与问题 [J]. 海洋科学, 1990(3): 56-59.

[9] 庄伟, 胡建宇, 贺志刚, 等. 2000年7-8月台湾海峡南部至珠江口附近海域表层温、盐度分析 [J]. 热带海洋学报, 2003, 22(4): 68-76.

[10] 贾良文, 吴超羽, 任杰, 等. 珠江口磨刀门枯季水文特征及河口动力过程 [J]. 水科学进展, 2006(1): 82-88.

[11] 朱雅敏, 陈子. 珠江口内伶仃洋河口盐度输运机理 [J]. 海洋通报, 2008, 27(1): 29-34.

[12] 陈水森, 方立刚, 李宏丽, 等. 珠江口咸潮入侵分析与经验模型: 以磨刀门水道为例 [J]. 水科学进展, 2007(5): 751-755.

[13] Danish Hydraulic Institute. Mike 21 & Mike 3 Flow Model FM-Hydrodynamic and Transport Module. Scientific Documentation [Z]. Denmark: DHI Water & Environment, 2008: 29-37.

(收稿日期: 2010-09-29 编辑: 徐娟)

《水资源保护》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和中国水利学会环境水利研究会主办的科学技术期刊, 创刊于1985年, 双月刊。国内外公开发行人, 国内统一连续出版物号: CN32-1356/TV。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究、应用技术、工程措施、综述、综合述评、专题讲座、国外动态、书刊评介、科技简讯、水资源管理、评价、监测、优化配置、节水技术、水环境污染控制等方面的文章。近年来, 重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向, 新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象: 与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号: 28-298, 双月刊, 每期定价8元, 全年共48元, 每逢单月30日出版。可在全国各地邮局订阅, 也可直接与编辑部联系订阅。

地址: 南京市西康路1号 河海大学《水资源保护》编辑部

邮编: 210098

电话: (025) 83786642

传真: (025) 83786642

E-mail: bh@hhu.edu.cn

网址: kkb.hhu.edu.cn/bh/index_bh.htm