

长江口叶绿素分布特征和营养盐来源数值模拟研究

杨德周^{1,2}, 尹宝树¹, 俞志明¹, 白涛^{1,2}, 刘兴泉¹

(1 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用 POM (Princeton Ocean Model) 模型在长江口及其邻近海域建立了三维斜压动力学模式, 该模式开边界处考虑了潮汐、潮流、台湾暖流、沿岸流和长江径流。模式成功地模拟了长江口及其邻近海域的潮汐特征和环流特征。此外 2004 年 11 月的实测数据分析结果表明在观测区域的水下河谷西侧位置的强表面羽状锋内, 存在着高叶绿素 a 浓度分布。为了分析长江口外存在的高叶绿素浓度分布和长江口的营养盐输入的相关关系, 进行了两次数值试验: (1) 给定长江口的径流量和径流输入的营养盐, 把长江口的输入作为营养盐输入的惟一源; (2) 在开边界处, 根据实测资料给定营养盐的输入, 同时考虑径流营养盐输入。在 (1)、(2) 两种情况下, 把硝酸盐作为保守物质, 进行了平流扩散数值试验。模式的模拟结果和实测资料的对比分析表明: 沿岸流、台湾暖流的营养盐输入和上升流从底部输入的营养盐是此高叶绿素浓度区营养盐的重要来源。

关键词: POM; 长江口; 台湾暖流; 叶绿素 a

中图分类号: P734.4+5

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2009)01-0010-10

1 引言

赤潮的形成主要受生物、物理和化学过程复杂的相互作用控制, 但是影响赤潮发生的最主要的原因还是海洋水体的富营养化^[1]。长江口及其邻近海域具有重要的地理位置、敏感的生态特性。赤潮现象的频繁发生表明了该区域水质环境的日益恶化^[2], 其中富营养化物质来源于人类生活产生的废水、污水和废物。工业废水中的有机物、无机盐, 农业生产施的化肥以及养殖废水中的营养盐和有机物, 都有可能随污水流入长江, 最终汇入大海, 导致近海的富营养化。中国科学院海洋研究所应用 CTD、多参数环境监测系统 YSI6600 等现代化的观测设备, 于 2004 年 11 月对南起 30°5'N, 北至 32°0'N 和 123°2'E 以西的长江口外海域的盐度、温度、溶解氧、pH 值和叶绿素进行了多学科综合观测, 走航观测了 41 个站点(见图 4)。

用 CTD 观测盐度、温度和水深, 用多参数环境监测系统 YSI6600 观测盐度、温度、浊度、溶解氧、pH 值和叶绿素。本文根据 2004 年 11 月的实测资料, 分别给定长江径流的营养盐输入和开边界营养输入, 并把营养盐作为保守物质进行平流扩散数值模拟研究。

在数值模拟的基础上结合这次观测资料对比分析长江口及其邻近海域富营养化发生的动力成因。采用数值模拟方法正确模拟该区主要的动力过程不仅具有挑战性, 而且一直是国内外科学家研究的热点问题, 也是深刻认识该区复杂多变的生态环境问题的基础^[3-4]。

2 模式的建立及验证

本研究采用 POM 模式模拟研究长江口及其邻近海域的水动力状况。作为一个基于原始方程的三维斜压海洋模式, POM 自 Blumberg 和 Mellor 建立

收稿日期: 2008-08-07; 修订日期: 2008-12-13。

基金项目: 中科院创新项目(KZCX2-YW-201, KZCX3-SW-232, KZCX2-YW-208-03)。

作者简介: 杨德周(1979), 男, 山东省青岛市人, 博士, 研究方向: 近海动力过程。E-mail: yangdezhou@ms.qdio.ac.cn

以来,不断被各国学者加以完善与应用,国内也有不少基于 POM 进行的潮汐潮流数值模拟研究^[5-6],均比较成功。鉴于 POM 已在国内外得到广泛应用,模式的详情这里不再赘述。简单来说,POM 在垂直方向采用 σ 坐标,水平方向采用任意正交曲线坐标,变量配置采用 Arakawa-C 网格,时间积分采用了内、外模态过程分裂算法,将海洋中的外重力波过程和内重力波过程分离求解以节省计算时间。

由于研究海区(29.5 ~ 33 N, 121 ~ 124 E)的岸线曲折,海底地形复杂(图 1),为了既能反映研究海区环流和温度、盐度结构的水平分布和变化,又能反映浅水区和深水区环流和温盐垂直分布和变化,故水平网格和垂直分层都较细。将研究海区 29.5 ~ 33 N、121 ~ 124 E 分成 121 × 186 个网格节点,水平网格距为 1 × 1,垂向采用 σ 坐标,自海面至海底共分为 35 层。

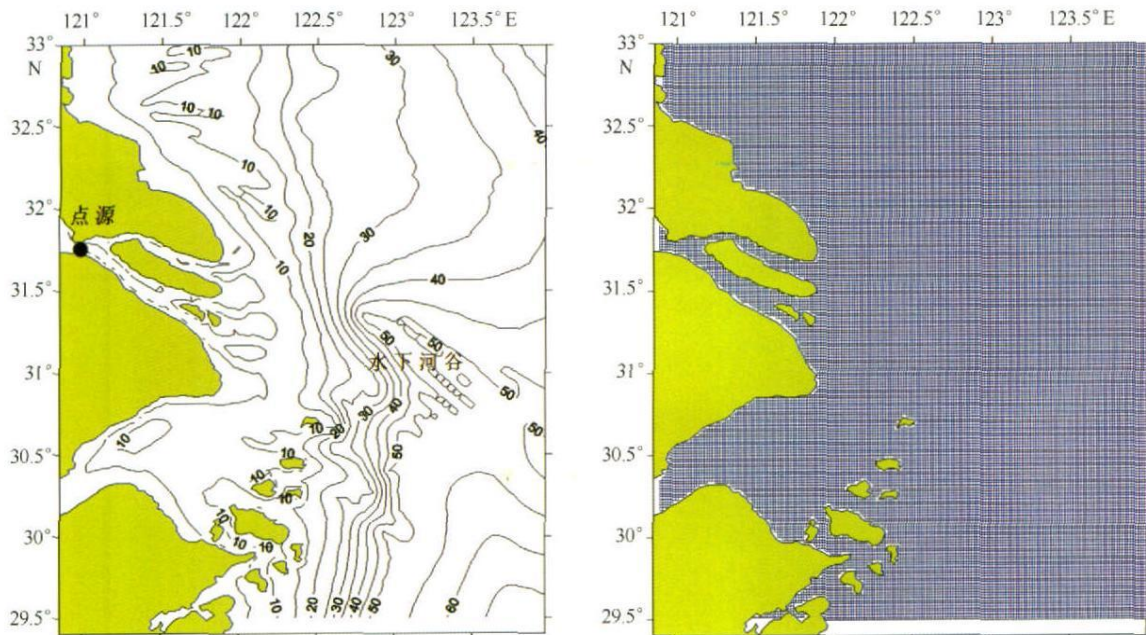


图 1 计算区域水深分布(m)和计算网格

边界条件 长江口及其邻近区域有北、南、东三面开边界,受到台湾暖流、苏北沿岸流等的影响,西边界有长江径流的输入,使研究海域又受到长江冲淡水的影响。北、南、东开边界处的流速边界条件采用 Flather 辐射边界条件^[7]: $u_n = u_c + w_T + \sqrt{g/H} (\tau - \tau_n)$, u_n 是深度平均的流速, n 为开边界处的法向方向, u_c 为边界的环流速度参考刘兴泉等^[8]与 Xia 等^[9]模式结果的水体积通量插值得到。刘兴泉等^[8]与 Xia 等^[9]的结果没有考虑潮汐潮流的作用,故在环流的基础上加上潮汐潮流强迫, w_T 为潮流速度由水开边界上的潮流调和常数计算给出,为海面起伏, τ 为开边界处的潮位。开边界处的潮位考虑了 4 个主要分潮 K_1 , O_1 , M_2 , S_2 : $\tau = \sum f_i H_i \cos[\omega_i t + (\phi_i + \omega_i)t - g_i]$, f_i 为交点因子, ω_i 为订正角, ϕ_i 为格林威治初始相位, ω_i 为角频率, g_i 为迟角, H_i 为振幅,下标 i 表示分潮数,此处取值 1~

4。开边界处的温度、盐度边界条件采用 Orlandskii^[10]的辐射边界条件,该边界条件中的边界处温度、盐度值由朱建荣^[3]、刘兴泉等^[8]与 Xia 等^[9]的模式结果并参考渤海、黄海、东海海洋图集^[11]的资料和实测资料得到。海表面温度、盐度采用法向热通量为零的边界条件,海表面处的温度、盐度初始条件通过 2004 年 11 月的实测温度、盐度资料插值并参考渤海、黄海、东海海洋图集^[11]的资料得到。研究海区的海面风应力由 2004 年的 NCEP 再分析风场计算得到,该风场的时间分辨率为 6 h。长江口径流量采用大通观测站 2004 年 11 月的月平均流量资料,径流量边界条件的给定采用 Kourafalou^[12-13]的方法,即将河流视为点源,并假设径流动量在动量方程的贡献可以忽略不计,径流只是释放在顶层,并且在顶层保持不变,其他层为零。将河口当成点源处理,这样,河流冲淡水径直排放到点源网格点上的 σ 顶层并引起水位的

变化, 具体公式为 $\frac{d}{dt} = \frac{Q(t)}{x y}$, 其中, d 代表水位, x 和 y 是单位网格的长度和宽度, z 是 sigma 顶层的厚度, $Q(t)$ 是随时间变化的河流径流量, 也是该模型惟一需要输入的参数。

潮汐验证

在获取 2004 年 11 月稳定流场的基础上开始潮汐预报模式的计算, 即考虑交点因子和订正角随时间的变化。潮汐的计算从 2004 年 10 月开始, 根据计算海域的空间尺度和速度的量纲之比可得, 模式

继续运行 1 个月即可获得潮汐和环流共同作用的稳定流场分布。为了检验所建立的三维斜压模式的合理性, 对计算得到的海面高度资料进行调和与分析, 得到 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 各个分潮的调和常数, 绘制成等振幅线(虚线)和等迟角线(实线)并和 渤海、黄海、东海海洋图集^[11]的结果进行了对比(图 2、图 3)。结合本研究所关心的区域, 选取了 6 个潮位站(图 2a 中的小黑点), 与潮汐模拟结果进行比较(见表 1), 以验证模拟的可靠性。结果表明计算的潮汐和实测资料比较吻合(见图 2、图 3), 各分潮振幅的平

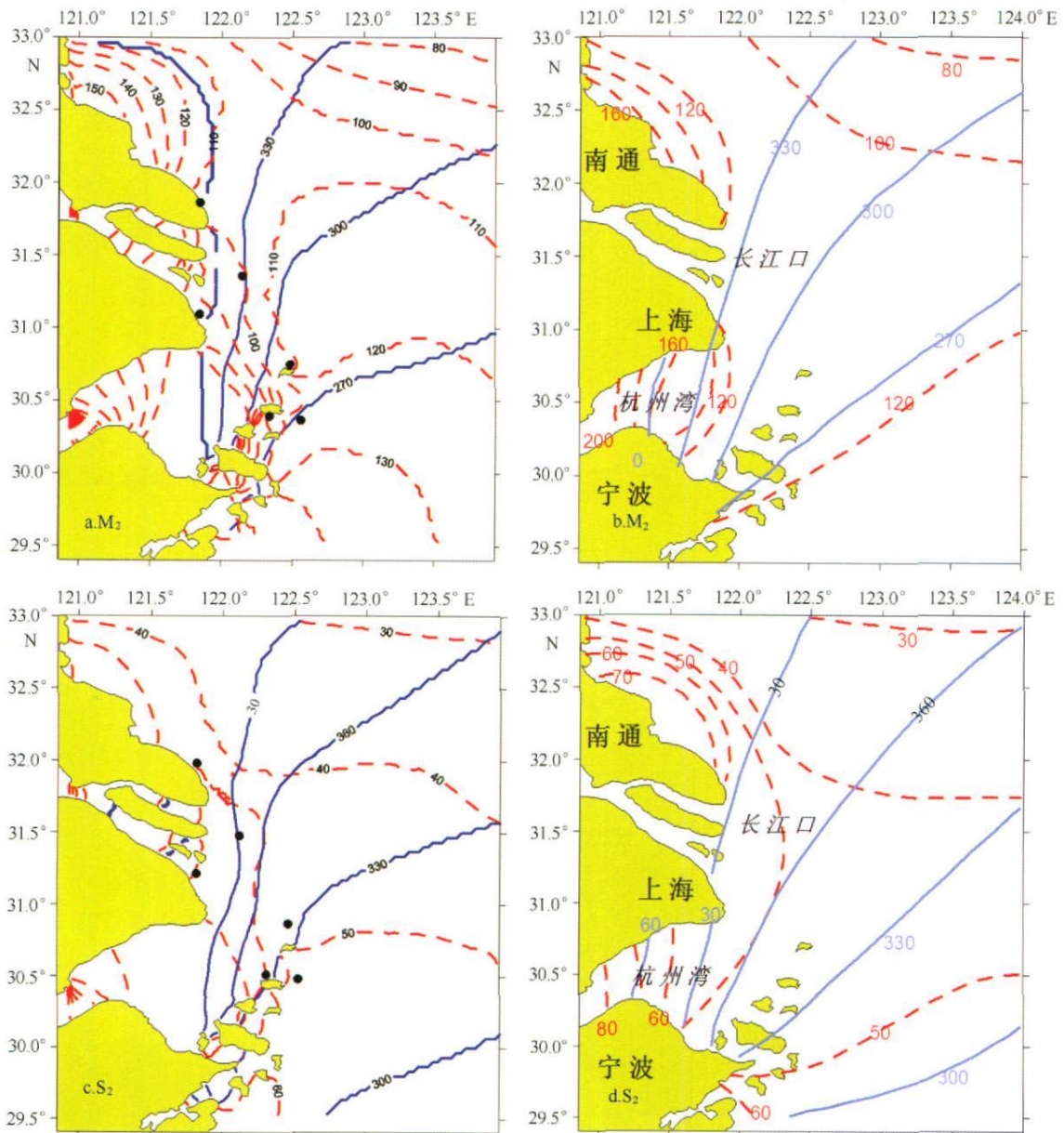


图 2 模式计算得到的 M_2 分潮(a)、 S_2 分潮(c)的同潮图, 扫描自 渤海、黄海、东海海洋图集^[11]的 M_2 分潮(b)、 S_2 分潮(d)同潮图。虚线表示等振幅线(单位: cm), 实线表示等迟角线[单位: ()]。a, c 图中的小黑点为验潮站位置

均相对误差控制在 5% 以内, 迟角的平均相对误差

也都在 8 之内, 见表 1, 模拟精度可以接受。

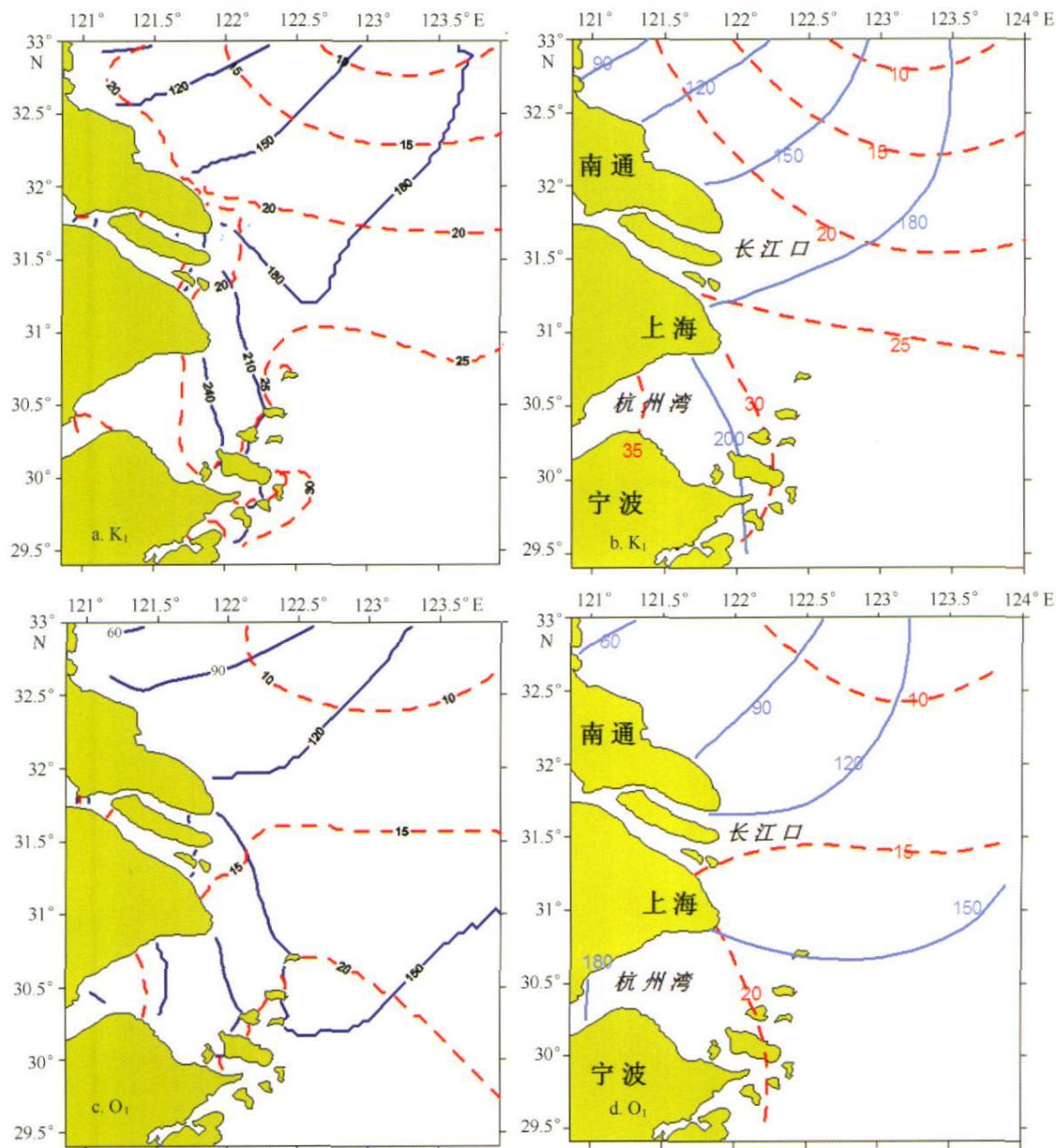


图 3 模式计算得到的 K_1 分潮(a)、 O_1 分潮(c)的同潮图, 扫描自 渤海、黄海、东海海洋图集^[11]的 O_1 分潮(b)、 K_1 分潮(d)同潮图。虚线表示等振幅线(单位: cm), 实线表示等迟角线[单位: ()]

表 1 潮汐调和常数计算误差(各项误差均为各验潮站绝对误差的平均值)

分潮	振幅误差 F	振幅相对误差 / %	迟角误差 / ()
M_2	4.9	3.0	3.0
S_2	2.1	4.1	5.4
O_1	0.5	3.2	6.1
K_1	0.6	4.4	5.1

3 2004 年 11 月叶绿素 a 浓度分布及其动力成因分析

从 2004 年 11 月观测资料的表层盐度水平分布(图 4)可以看出, 台湾暖流沿长江口外水下河谷带来的高盐水和长江冲淡水混合, 生成强度较大的羽状锋, 在长江口外(122.5 ~ 123.1 E)呈西北-东南

向延伸(图 4)。在观测区域的东北侧,由高盐的台湾暖流水占据(图 4)。表层叶绿素 a 浓度的最大值出现在羽状锋区内刚好对应于低盐区中心的位置,叶绿素 a 的分布以低盐中心为圆心,呈圆形向外扩展(图 4)。叶绿素 a 是由海洋中的浮游植物组成,为海洋初级生产力,当其浓度超过 20 g/dm^3 时水色改变,赤潮发生。浮游植物通过光合作用释放氧、吸收二氧化碳,二氧化碳呈酸性,吸收二氧化碳会使海水的碱性增大, pH 值升高。由溶氧和 pH 值的水平和垂向分布可以看到,高溶氧和高 pH 值

的分布区域基本与叶绿素 a 的分布区域一致。在表层高浓度叶绿素 a 的区域存在着强的盐跃层和温跃层,限制了表层高含量氧向下层扩散。另外,表层浮游植物光合作用产生的大量颗粒有机碳向下层输送,并在底层进行化学和生物氧化,使得底层溶氧的浓度小于 7 mg/dm^3 ,上述过程可造成底层氧的亏损^[15]。多参数环境监测系统 YSI6600 测量叶绿素、溶氧和 pH 值的 3 个探头是独立工作的,它们生态系统之间的相互印证说明了使用该仪器测量长江口外海区的生态系统是成功的。

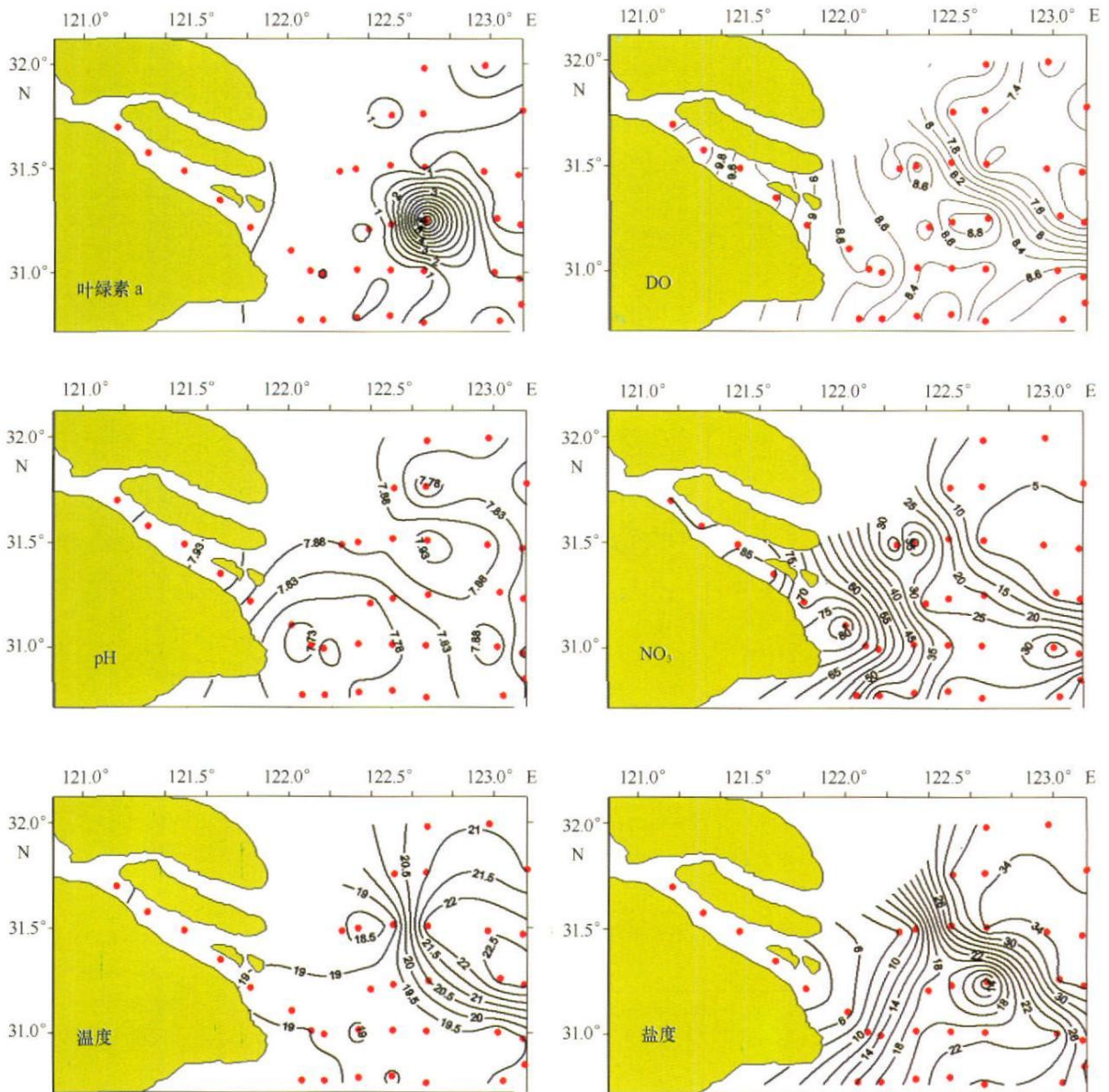


图 4 表层盐度、温度、硝酸盐(NO_3^-)浓度(mmol/m^3)、叶绿素 a 浓度(g/dm^3)、溶氧(DO)浓度(mg/dm^3)和 pH 值水平分布
黑点表示走航测点

从沿长江口北侧 31.3°N 的观测断面(见图 5)看, 长江冲淡水的核心位于该断面 122.75°E 处, 形成显著的羽状锋, 表层最低盐度约为 20, 深度约 6 m 左右, 东侧羽状锋加深。秋季长江河流水温比海水温度低, 长江冲淡水入海后仍以低温的形式体现, 低温中心位于该断面 122.3°E 处, 最低

温度小于 20°C , 不过该低温中心比低盐中心西移了经度 0.45° , 温度锋同样向西倾斜。在该断面倾斜底坡上, 34, 32, 30 等盐度线和 22.5°C , 22.0°C , 21.0°C 等温度线向上翘, 表明在该处存在上升流现象, 而嵎泗渔场正好位于该上升流区附近。

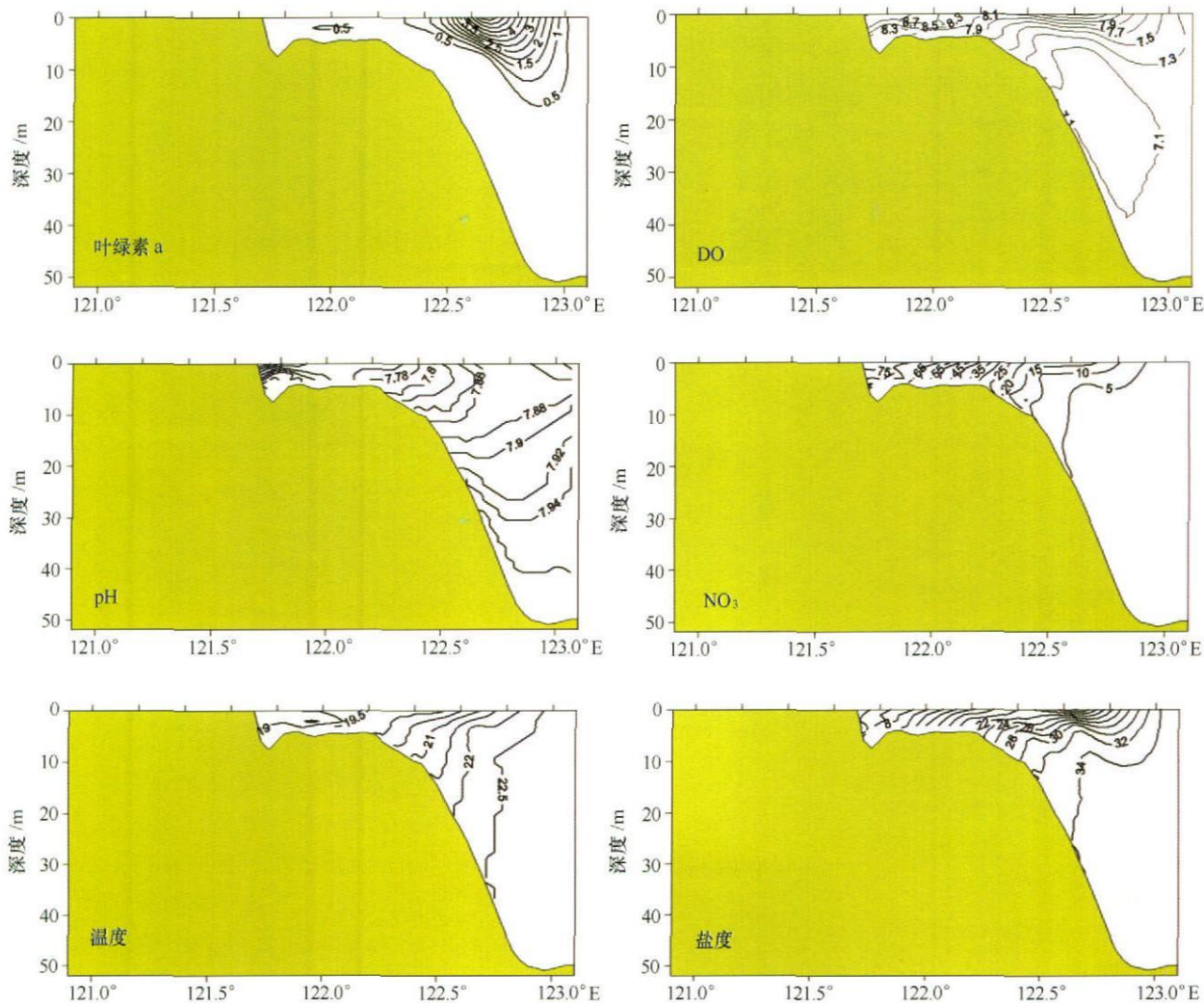


图 5 位于 31.3°N 的断面处的盐度、温度、硝酸盐(NO_3)浓度(mmol/m^3)、叶绿素 a 浓度(g/dm^3)、溶氧(DO)浓度(mg/dm^3)和 pH 值的垂向分布

与夏季长江口外高叶绿素 a 分布在表层和台湾暖流温跃层内不同^[1], 秋季高叶绿素 a 浓度只是分布在表层 10 m 以内的羽状锋内(见图 5)。叶绿素 a 暴长, 必须有充足的营养盐和光照, 由于悬浮泥沙大部分沉降在羽状锋的西侧, 羽状锋区内良好的光透性有利于加强光合作用。夏季长江口外海区相应的赤潮就是由水体的富营养化产生的, 其面积广、强

度大^[1]。为了研究秋季导致该高浓度叶绿素 a 的营养盐的来源, 设计了富营养化动力试验。

4 富营养化动力试验

为了研究该区域长江口径流输入的营养盐入海后的分布特征, 建立以硝酸盐为代表的营养盐富营养化模型, 该模型不考虑生物的消耗 即把硝酸

盐作为保守物质。水动力模型采用三维斜压 POM 模式,硝酸盐平流、扩散过程的控制方程为(σ 坐标下):

$$\frac{ND}{t} + \frac{NUD}{x} + \frac{NVD}{y} + \frac{N}{\sigma} = - \left[\frac{K_H}{D} \frac{N}{\sigma} \right] + F_N + N_{riv},$$

式中, N 表示营养盐, N_{riv} 为长江径流输入的营养盐, 此处的营养盐取为硝酸盐, 其浓度根据 2004 年 11 月份的观测资料给定为 81 mol/dm^3 。开边界上营养盐的边界条件采用 Orlandskii^[10] 的辐射边界条件, 海面的营养盐通量取为零。初始和边界条件的温度、盐度分布和水动力分析部分相同。营养盐的点源取在长江口的 120.9°E 的西边界上, 见图 6 点源的位置。

为了弄清楚叶绿素高值区(见图 6)的硝酸盐来源进行了两个数值试验:(1)只考虑长江径流的营养盐输入;(2)同时考虑开边界和长江径流的营养盐输入。

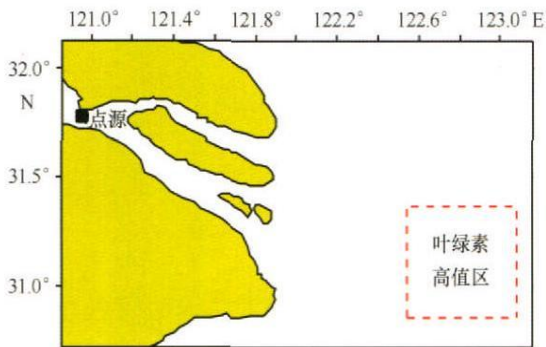


图 6 秋季叶绿素高浓度区(图中虚线方框的位置), 黑点为点源

试验一, 只考虑长江口径流作为营养盐的输入。模式在稳定的潮流和环流的流场的基础上运行 1 个月, 得到稳定的硝酸盐浓度分布(见图 7)。从模拟结果可以看到, 2004 年 11 月份长江冲淡水出口门后, 主轴旋即向东北、东南方向伸展(见图 7)。以往研究结果表明长江冲淡水在向外扩展时, 在近口门附近受口外羽状锋阻挡, 分两股扩展, 一股朝东南, 一股朝东北偏北, 两股的相对强弱受径流的影响, 径流量大则向东南扩展的一股强, 径流量小则朝东北偏北扩展的一股强。2004 年 11 月的观测资料表明长江大通站径流量为 $18300 \text{ m}^3/\text{s}$, 比大通站近 40 a 来 11 月份平均值 $24000 \text{ m}^3/\text{s}$ 小 $5700 \text{ m}^3/\text{s}$, 径流量偏小有利于长江冲淡水朝东北偏北方向扩展, 数

值试验也证实东北偏北股强(见图 7)。数值试验表明, 122.0°E 以西的区域, 模式模拟的硝酸盐分布和实测资料分布基本一致, 该区域的浓度主要集中在 80 mol/L 以上, 其浓度分布以长江口口门为中心向外逐渐降低, 其向东北方向扩展明显大于东南方向的扩展。然而 122.5°E 以东区域, 硝酸盐的浓度小于 5 mol/dm^3 , 这和观测到的 122.5°E 以东区域存在 $20 \sim 30 \text{ mol/dm}^3$ 的硝酸盐大面积分布具有很大差异, 这种差别在 31.4°N 以南、 122.5°E 以东区域尤为明显。为了研究导致这个差别的原因我们设计了试验二。

试验二, 为了验证边界硝酸盐的输入对该区域硝酸盐分布的影响, 在开边界上给定 2004 年 11 月观测到的硝酸盐浓度, 与此同时也给定长江口径流硝酸盐的输入。模式在稳定的潮流和环流的流场的基础上运行 1 个月, 得到长江口径流和边界硝酸盐输入共同作用下的稳定的硝酸盐浓度分布(见图 7b)。模式结果表明, 与试验一相比, 边界硝酸盐的输入使硝酸盐等值线分布更加和实测的硝酸盐浓度分布(见图 4)相符合。模拟结果准确模拟出了实测资料东北区域低硝酸盐浓度分布特征, 从图 4 可知该区域主要是台湾暖流的高盐水, 对比图 7a 可以看出长江口径流输入的硝酸盐平流扩散不到该区域, 故该区域的硝酸盐主要是台湾暖流平流输运带来(硝酸盐浓度约为 10 mol/L)。该处硝酸盐的浓度低的原因在于长江口外强羽状锋限制了长江径流营养盐的进一步向东运移。模式结果同时模拟出了存在于以 31.0°N , 122.8°E 为中心区域的硝酸盐封闭结构(见图 7b)。该特征和观测资料得到的硝酸盐封闭结构(见图 4)吻合, 从这个角度也表明了模式模拟的准确性。从图 5 的实测资料结果可以看出该区域可能存在着上升流, 为了验证这个观点, 模式输出了该断面的垂向速度分布。该垂向速度矢量图(见图 7c)表明此处确实存在着上升流。垂向速度包括潮致上升流^[9]和台湾暖流、长江冲淡水和风这 3 个传统意义上的上升流诱发因子诱发的上升流; 该处的垂向速度根据水平和垂直的尺度之比进行了放大。此外垂向速度经过潮流的调和剔除了潮流的影响, 保留了潮致上升流。模式结果和实测资料都表明是上升流的存在导致了该处存在硝酸盐的封闭结构, 但是模式模拟的中心区硝酸盐浓度明显偏低即小于 10 mol/dm^3 , 而实测资料表明该处的硝酸盐浓度大于 30 mol/dm^3 (见图 4)。

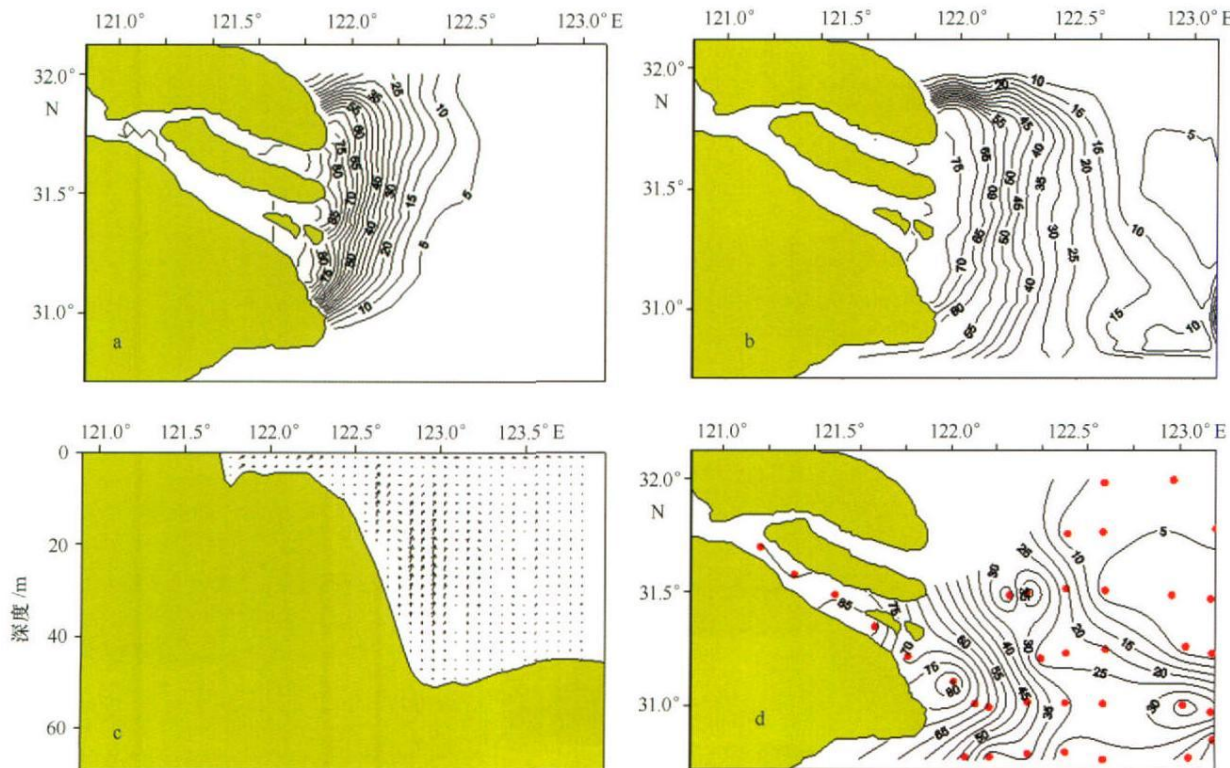


图7 只有长江口径流作为营养盐的输入时,硝酸盐的分布(a);同时考虑长江口径流营养盐输入和开边界上的营养盐输入时,硝酸盐的分布(b);31.3°N断面的流速矢量图(c);2004年11月份实测硝酸盐分布(d)(代表观测位置)
(单位: mol/dm^3)

为了分析研究叶绿素高值区(见图6)的营养盐的来源,我们分别计算出了试验一、二和航次观测资料算出来的叶绿素高值区(图6)10 m层内的硝酸盐的含量,见表2。

表2 叶绿素高值区硝酸盐含量

数值试验	叶绿素高值区硝酸盐含量/ mol
试验一(径流输入)	0.1×10^8
试验二(径流和开边界输入)	4.5×10^8
航次观测值	7.9×10^8

试验二没有考虑生态过程的氮的消耗,叶绿素高值区的硝酸盐浓度应该更大才对,试验二的结果是因为模式当中没有考虑海底营养盐的输入。我们在模式中设定海底的营养盐通量为零,这就导致上升流无法把海底营养盐输入海洋上层,从而使上层硝酸盐的浓度偏低(见图7和图4)。此外硝酸盐的浓度偏低很多,也说明了上升流的营养盐输入的重要性。此时模式结果反映的硝酸盐的分布主要源于开边界沿岸流、台湾暖流等输入的营养盐,因为试验

一表明长江口径流的营养盐输入对该区域影响很小。根据试验一、二模拟得到的结果和航次观测值,可以推算出上升流导致营养盐输入为 $10 \text{ mol}/\text{dm}^3$ 左右。

5 讨论和结论

2004年11月的观测结果表明,秋季长江冲淡水出口门后和台湾暖流相遇形成强的羽状锋,在此羽状锋区域存在高的叶绿素a浓度分布,针对该高叶绿素浓度的营养盐来源设计了两个数值试验。对比试验二的结果和实测资料图4,可以发现尽管没有考虑生态过程的消耗,仅仅通过考虑边界输入的硝酸盐和长江口径流硝酸盐输入,就可以模拟出基本的硝酸盐浓度分布特征,而只考虑长江口径流硝酸盐的输入(试验一),模拟结果和实测资料差距很大,不能反映出该区域的硝酸盐分布的特征。数值模拟试验的结果和实测资料的对比分析表明:从对该叶绿素高浓度区的营养盐贡献的角度来看,沿岸流、台湾暖流等的营养盐输入和上升流从海底输入的营养盐比长江径流输入的营养盐贡献要大。对该

区域的高叶绿素 a 浓度的营养盐贡献中, 长江口径流输入并不是最重要的, 综合试验一、二和航次观测值对比可知, 沿岸流、台湾暖流营养盐贡献与上升流

的营养盐贡献相当。

沈志良老师提供了 2004 年 11 月的流量观测资料, 特此致谢。

参考文献:

- [1] 朱建荣 长江口外海区叶绿素 a 浓度分布及其动力成因分析[J] 中国科学(D 辑), 2004, 34(8): 757-762
- [2] ZHANG J, ZHANG Z F, LIU S M, et al Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration[J] Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13: 1099-1105
- [3] 朱建荣 夏季长江口外水下河谷西侧上升流产生的动力机制[J] 科学通报, 2003, 48(23): 2488-2492
- [4] 吕新刚, 乔方利, 夏长水, 等 长江口外及浙江沿岸夏季上升流的潮生机制[J] 中国科学(D 辑), 2007, 37(1): 133-144
- [5] 万振文, 乔方利, 袁业立. 渤、黄、东海三维潮波运动数值模拟[J] 海洋与湖沼, 1998, 29(6): 611-616
- [6] 吕新刚, 沙文钰. 台湾海峡 M₂ 分潮的三维数值模拟[J] 黄渤海海洋, 1999, 17(3): 16-25
- [7] MARCHESIELLO P, JAMES C M, ALEXANDER S Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models[J] Ocean Modeling, 2001, 3: 1-20
- [8] 刘兴泉, 尹宝树, 侯一筠 长江口及其邻近海区环流和温、盐结构动力学研究: 定解条件与研究方案[J] 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 81-89
- [9] XIA C, QIAO F, ZHANG Q, et al Numerical modeling of the quasi-global ocean circulation based on POM[J]. J Hydrodyn, Ser B, 2004, 16(5): 537-543
- [10] ORLANSKI A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows[J] Journal of Computational Physics, 1976, 21: 251-269
- [11] 海洋图集编委会 渤海、黄海、东海海洋图集 水文分册[M] 北京: 海洋出版社, 1992: 83-168
- [12] KOURAFALOU V H, OEY L Y, WANG J D. The fate of river discharge on the continental shelf: 1 Modeling the river plume and inner shelf coastal current[J] Journal of Geophysical Research 1996, 101(C2): 3415-3434
- [13] KOURAFALOU V H River plume development in semi-enclosed Mediterranean regions: North Adriatic Sea and northwestern Aegean Sea[J] Journal of Marine Systems, 2001, 30: 181-205
- [14] JOSEPH Pedlosky Geophysical Fluid Dynamics[M] New York: Springer-Verlag New York Inc, 1979: 182-183
- [15] 李道季, 张经, 黄大吉, 等 长江口外氧的亏损[J] 中国科学(D 辑), 2002, 32(8): 1-8
- [16] UMLAUF L, BURCHARD H A generic length-scale equation for geophysical turbulence models[J] J M Arine Res, 2003, 61: 235-265

Study on the character of distribution of chlorophyll-a off the Changjiang River and its sources of nutrients

YANG De-zhou^{1,2}, YIN Bao-shu¹, YU Zhì-ming¹, LIU Xing-quan¹

(1 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: We succeeded in implementing baroclinic 3D ocean model POM (Princeton ocean model) in Changjiang River mouth and its adjacent area to simulate the tide, tide current, Taiwan Warm Current, and Taiwan Coastal Current. An interdisciplinary comprehensive survey was conducted in November 2004 with modern measurement instruments off the Changjiang River. The analysis of the observation data shows that there exist high chlorophyll-a (Chl-a) concentration area in the surface plume on the west side of the submerged river valley (SRV) off the Changjiang mouth. For analyzing the nutrients sources of the high Chl-a concentration area, two numerical experiments were carried on. In one experiment, the nutrient load via the Changjiang River is considered as the only one input of nutrients. On the other hand, the nu-

trient load via the Changjiang River and the nutrient input from the open boundaries are coupled together to simulate the nutrients distribution. In the two experiments, the nutrients were considered as conservative mass and were calculated under diffusion and advection processes by tide, tide current, Taiwan Warm Current, and coastal current. In addition, nitrate was representative of nutrients in the simulation. Based on the analysis of the field observation data off the Changjiang River mouth in November 2004 and the calculated results of the 3D numerical model experiments, it indicates that the nutrients of the high Chl-*a* concentration area comes from two sources. One is the input of nutrients by the upwelling on the west side of the submerged river valley off the Changjiang River mouth, which accounts for 1/2 of the total amount. The other one is the input of fishery in Shengsi and Taiwan Warm Current transport, which accounts for the same amount as the first one.

Key words: POM; Changjiang River mouth; Taiwan Warm Current; chlorophyll-*a*