

# 黄河三角洲岸线变迁对莱州湾流场 和对虾早期栖息地的影响

黄大吉<sup>1</sup>, 苏纪兰<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局 海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室; 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 用高分辨率的三维陆架海模式对黄河三角洲岸线变迁前后渤海流场进行了数值模拟, 探讨了环流对对虾卵子和幼体的输运作用. 结果表明, 三角洲岸线变迁只对黄河口附近环流, 尤其是莱州湾流场有较大的影响, 而对其他区域的环流影响很小. 三角洲岸线变迁前, 莱州湾主要呈一反气旋环流, 水体从莱州湾的东部进入, 在湾内呈顺时针方向运动, 从湾的西北部流出. 目前, 受三角洲岸线外伸的影响, 在黄河口出现一对显著的岬角旋涡对, 东南部的流场与岸线变迁相反, 为顺着岸流出湾外. 这些环流主要是潮与局部地形相互作用所致. 风和斜压作用会影响环流的强弱, 但其分布格局相似. 三角洲岸线变迁前, 对虾的卵子和幼体受环流的输运, 被带至莱州湾的西部近岸, 与历史上的对虾早期栖息地相吻合. 三角洲岸线变迁后, 位于西北部的对虾的卵子和幼体被黄河口南部的岬角旋涡捕陷于流涡内, 而位于东南部的对虾的卵子和幼体则被捕陷于刁龙嘴附近的流涡中, 不利于对虾仔幼在莱州湾生长. 研究结果从一个侧面说明了近年来莱州湾对虾早期栖息地逐渐消失的原因.

**关键词:** 黄河三角洲岸线变迁; 渤海; 莱州湾; 环流; 对虾

中图分类号: X145; P722.4

文献标识码: A

文章编号: 0253- 4193(2002) 06- 0104- 08

## 1 引言

黄河自 1976 年 5 月人工改道从清水沟流路入海<sup>[1]</sup>, 三角洲岸线年平均向海推进 0.08~0.30 km, 河道出口沙嘴年平均向海延伸 3 km, 造陆 23 km<sup>2</sup>. 目前, 卫星图片显示的黄河口三角洲的陆海分界线已深入莱州湾(见图 1). 有关渤海海洋水文的研究已有不少, 赵保仁等<sup>[2]</sup>根据 20 世纪 80 年代以来实测海流资料, 分析了渤海环流和潮余流的分布特征; 大量的研究工

收稿日期: 2001- 04- 20; 修订日期: 2002- 02- 25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49790010, 40076010); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043701).

作者简介: 黄大吉(1962-), 男, 浙江省奉化市人, 研究员, 博士, 从事海洋动力过程研究.

作是通过数值模拟进行的<sup>[3~9]</sup>;黄河三角洲岸线变迁对渤海水动力环境影响的研究较少,黄祖珂<sup>[10]</sup>研究了岸线变迁对潮波运动的影响,指出岸线变迁对半日分潮的无潮点位置影响较大,对日分潮影响不大;乐肯堂和周参武<sup>[11]</sup>研究了黄河口的变迁对其滨海大陆架区潮流和余流变化的影响,指出黄河尾间的改道和流路的频繁摆动是黄河口滨海区余流场复杂多变的主要原因。历史上,莱州湾是渤海的3个(莱州湾、渤海湾、辽东湾)主要对虾早期栖息地之一。近年来,由于种种原由,莱州湾的对虾早期栖息地逐渐消失。这里采用高分辨率的陆架海模式(HAMSOM),对黄河三角洲岸线变迁前后渤海,尤其是莱州湾的环流变异进行研究,并从环流输运的角度,探讨三角洲岸线变迁对莱州湾对虾早期栖息地的影响。

## 2 模式

对本文所用的模式——HAMSOM 黄大吉等<sup>[3,4]</sup>已作了详细的介绍,这里不再赘述,不同于前者处有以下两点:(1)为了更好地反映局部地形变化对流场的影响,本文采用 $2' \times 2'$ 的细网格;(2)由于水平网格较细,模拟的时间步长取为200 s。

## 3 结果和讨论

### 3.1 潮余流变异

首先我们探讨黄河三角洲岸线变迁对渤海环流的影响。这里以潮余流为例进行讨论;图2,3分别为三角洲岸线变迁前后,渤海表层和底层的潮余流分布图。除渤海湾和辽东湾的潮余流有较明显的三维结构外,其余区域垂向各层潮余流的结构相似,流速大小从表到底逐渐减弱。比较两图可知,三角洲岸线变迁对潮余流的影响仅局限于黄河口附近,其中莱州湾所受的影响最大,其他区域几乎没有受到其影响。由于采用了高分辨率模式,渤海潮余流的一些详细结构得以反映,这里为其略作赘述,作为对渤海潮余流研究的补充。渤海的潮余流除局部区域外,其流速一般在5 cm/s以下;渤海湾和辽东湾的表层潮余流基本呈从湾内流向湾外之势;渤海湾的北部、辽东湾鲅鱼圈与长兴岛联线以北,其底层潮余流与表层相向,从湾口流向湾顶;在岸线变化剧烈的近岸区,有一系列的流涡,辽东半岛沿岸尤其显著,这些流涡常成对出现,以老铁山水道北端的岬角旋涡对为最强;老铁山水道西侧,潮余流基本从南流至北,并伴有3个小尺度的气旋式流涡,这可能与分布其间的岛屿林立及海底地形变化剧烈有关;渤海中部的潮余流很弱。

莱州湾的潮余流变异很大,三角洲岸线入侵莱州之前(见图2),莱州湾湾内大部分区域的余流很小,一般小于5 cm/s,黄河口和刁嘴附近余流较大;除在刁嘴附近有一局部流涡外,莱

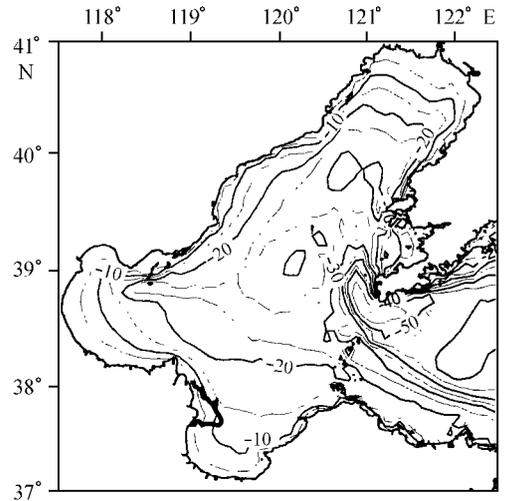


图1 模拟研究区域(黄河口外的粗线是1997年卫星显示的陆海分界线)(单位:m)

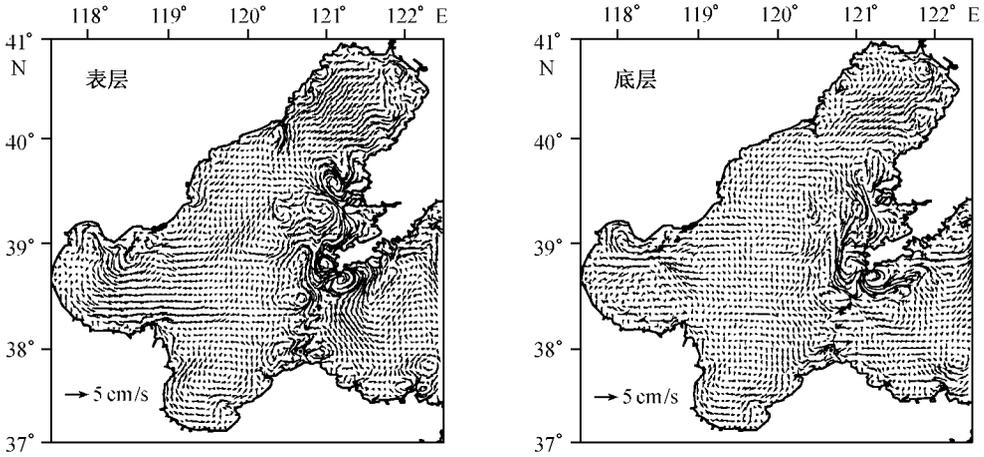


图2 黄河口岸线变迁前潮余流

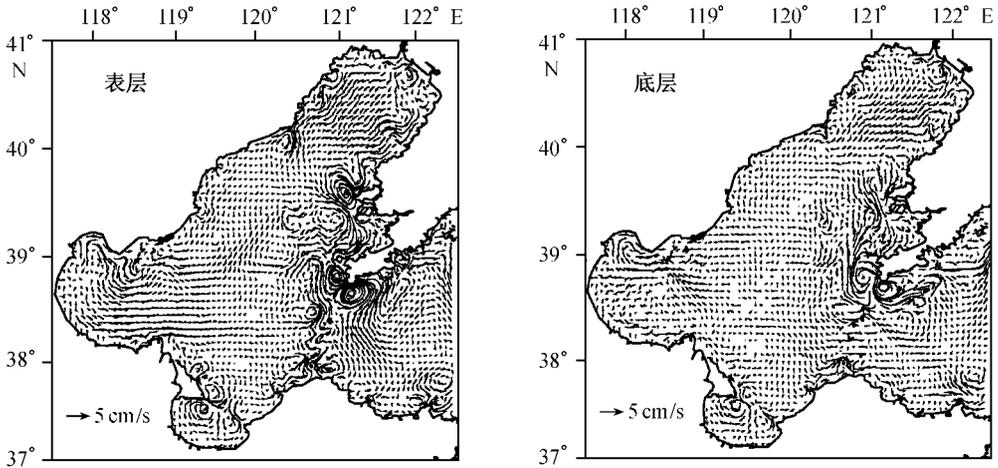


图3 黄河口岸线变迁后潮余流

州湾潮余流基本呈半封闭的反气旋势态:流动从湾口的东北部进入,在湾内沿着岸线方向作顺时针的流动,从湾的西北部流出,在湾口中部有较弱的东向流动,与湾内流动构成一反气旋环流.三角洲岸线入侵莱州湾后(图3),在地形与潮运动的相互作用下,莱州湾的潮余流,除刁龙嘴附近一局部流涡尚存在外,其余区域的潮余流发生了根本性的变化.黄河口附近出现一岬角旋涡对,其中湾内侧的顺时针流涡较强,流速在 $5\text{ cm/s}$ 左右;黄河口北部呈现一些小尺度的流涡;莱州湾东部的流速方向与三角洲岸线变迁前相反,为从湾内顺着岸流出湾的流动.模拟所得的结果与实际观测到的黄河口余流3个系统<sup>[1]</sup>(黄河口以南顺时针环流系统、黄河口以北逆时针环流系统、五号桩海域顺时针环流系统)相一致;春、夏、秋季的实测余流不尽相同,流速也比模拟结果要强,这是因为实测余流还受风和径流的影响.

在风、斜压作用情形下,模拟结果表明,黄河三角洲岸线变迁对渤海环流的影响也主要局

限于莱州湾. 因此, 虽然我们模拟得到了整个渤海的三维流场, 但只对莱州湾流进行比较讨论, 来探讨三角洲岸线变迁对环流的影响.

### 3.2 风生环流

根据 28 a(1978~1995 年) 日本气象厅出版的每日二次天气图, 统计分析得到渤海一年四季的平均风场分布如图 4, 这里用 2 月、5 月、8 月和 11 月, 来分别代表冬、春、夏和秋四季主要月份. 渤海的风场冬强夏弱. 根据这些风场, 模拟得到的风生环流表明, 莱州湾只有在强风(冬季)作用下, 其风生环流具有明显的三维结构(见图 5, 6), 表层及沿岸浅水区均为顺风向的流动, 湾中央深水区上、下层流向相反, 上层为顺风向流动, 下层为逆风向的补偿流. 在弱风季节, 风生环流很弱, 上、下层环流结构一致, 下层流速比上层弱, 其环流与潮流一致(图略).

三角洲岸线变迁后, 风生环流的差别较大, 集中表现在黄河口附近, 岸线变迁造成的岬角流涡起着重要的作用, 除非风很强, 不同风场所致的风生环流, 对岬角旋涡对影响虽然不同, 但只改变其强弱, 而对其结构影响较小.

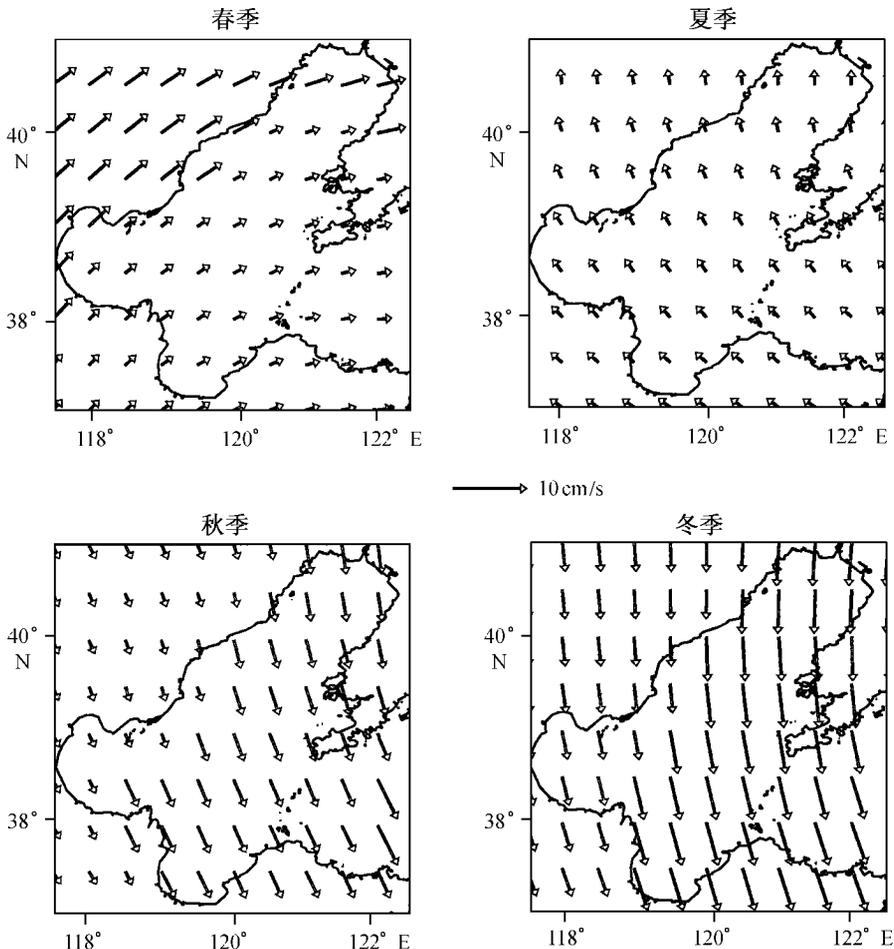


图4 渤海四季的平均风场

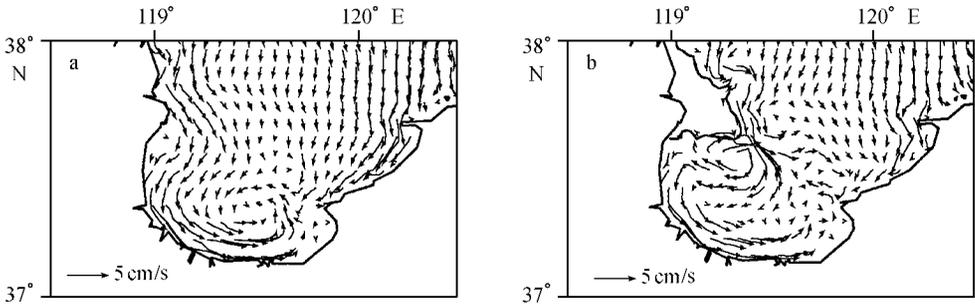


图 5 冬季风生环流(表层)

a. 岸线变迁前, b. 岸线变迁后

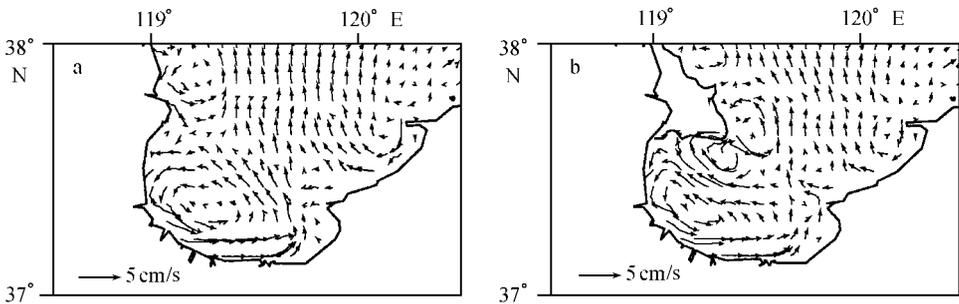


图 6 冬季风生环流(底层)

a. 岸线变迁前, b. 岸线变迁后

### 3.3 斜压环流

由于莱州湾水深较浅,斜压作用不是很强,故它们对环流的影响较小,其环流结构与潮流及风生环流结构相似。

### 3.4 对虾卵子和幼体的运输

根据邓景耀等<sup>[12]</sup>,中国对虾每年 5 月上、中旬在渤海浅水区域产卵、孵化和生长。营浮游生活的卵子和幼体的水平运动主要受环流控制,卵子及幼体(3 个阶段)的表、底层分布比例及其历时如表 1。为了探讨环流对卵子和幼体的运输,根据它们表、底层的分布规律,在每个网格水柱上放置两类(A, B)质点,假定它们在 23 d 左右时间内分别处于不同的水层被环流所携带(见表 2)。

表 1 卵子和幼体的表、底层分布比例及其历时

生长阶段	卵子	无节幼体	蚤状幼体	康虾幼体
分布比例(表比底)	13.5 64.4	54.6 45.5	55.6 44.4	23.9 76.1
历时/h	50	110	200	200

在 5 月平均风场(见图 4)和潮流的共同作用下, A 类和 B 类质点的移轨迹如图 7, 8。三角洲岸线变迁前 A 和 B 两类质点被运输的轨迹基本相似。从图 7a, 8a 可知, 三角洲岸线变迁前, 位于莱州湾的大部分对虾卵子和幼体被环流携带到莱州湾的西部近岸, 以潍河口为界, 西部为

表2 卵子和幼体所处的层次及其历时

生长阶段	卵子	无节幼体	蚤状幼体	康虾幼体
A类质点	底层	表层	表层	底层
B类质点	底层	底层	底层	底层
历时/h	50	110	200	200

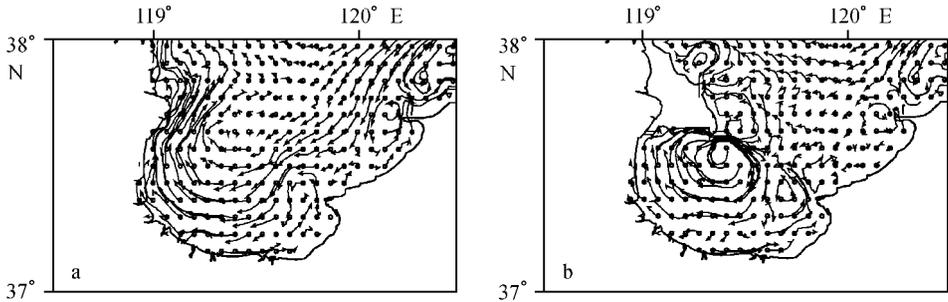


图7 A类质点的运输轨迹

a. 岸线变迁前, b. 岸线变迁后

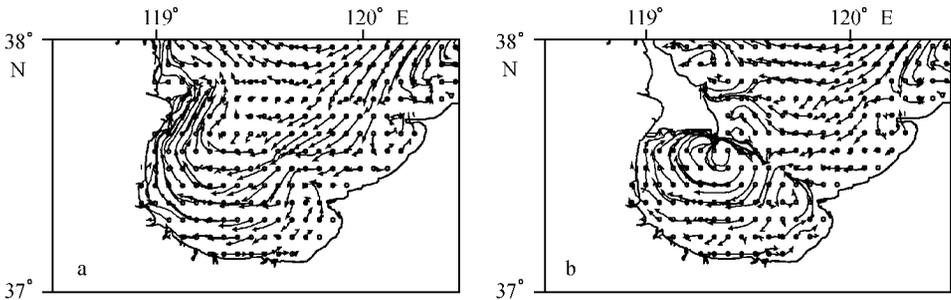


图8 B类质点的运输轨迹

a. 岸线变迁前, b. 岸线变迁后

对虾卵子和幼体的密集区, 东部则稀少. 这与历史上多年的调查结果所得的对虾早期栖息地分布相吻合<sup>[12]</sup>. 三角洲岸线变迁后, 对虾卵子和幼体被环流的运输的格局发生了根本的变化. 以黄河口与刁龙嘴连线为界, 连线以外, 对虾卵子和幼体无法进入莱州湾内; 连线以内, 西北部区域的对虾卵子和幼体被黄河口的岬角旋涡捕陷于流涡中, 东南部区域的对虾卵子和幼体则被刁龙嘴附近的岬角旋涡捕陷于流涡中, 对虾卵子和幼体基本上无法抵达近岸河口区域, 从而阻碍了仔虾在近岸河口区的索饵生长, 致使对虾早期栖息地的逐渐消失, 后者与近年来调查结果也相符.

近40 a来渤海秋汛对虾平均渔获量<sup>[14]</sup>, 可以分为4个不同的时期(见图9): 对虾渔业开始兴起的时期(1962~1972年), 渤海秋汛对虾渔业的平均渔获量为10 658 t; 对虾渔业盛期(1973~1981年), 渤海秋汛对虾平均渔获量为25 448 t; 20世纪80年代初至90年代初(1982~1990年), 渤海秋汛对虾的平均渔获量基本上与60年代持平(10 543 t); 对虾渔业衰落期

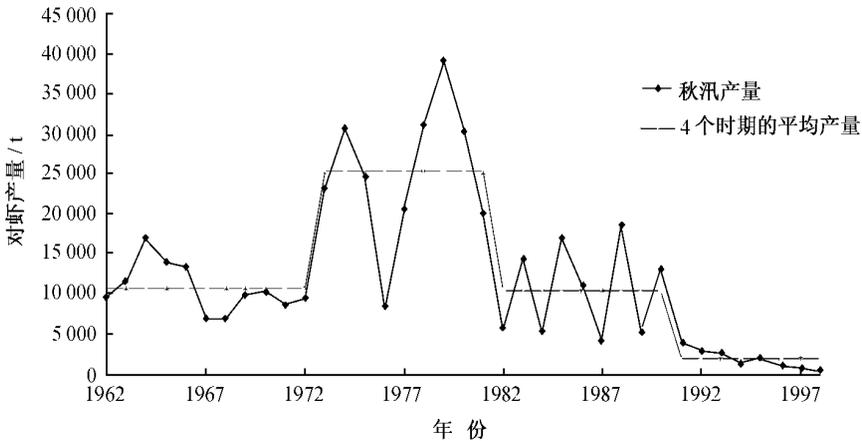


图9 渤海秋汛对虾产量及其年间变化

(1991~1998年),渤海对虾的补充量大幅度下降,秋汛平均渔获量仅为2 022 t,90年代后期则不足1 000 t,渤海秋汛对虾渔业因补充量锐减而衰落。邓景耀和庄志猛研究指出,对虾亲体数量是种群补充量波动的决定性因素,栖息地环境条件的变化对补充量也有十分显著的综合影响,对虾的发生量和环境参数(降水量、黄河径流量、盐度、大风、日照)对对虾补充量的控制程度高达99% ( $R^2 = 0.989$ ,  $\alpha < 0.0001$ )。

对虾早期栖息地的消失,虽然与众多因素,如黄河径流的减少及断流、河流的污染和近海水域的水质恶化等诸多因素有关,而并不仅仅由环流变异这一因素所致。从我们的模拟结果来分析,黄河三角洲岸线的变迁所导致的州湾环流的变异,可能是其中的物理原因之一。

## 4 结语

本文研究了黄河三角洲岸线变迁对渤海,尤其是对莱州湾流场变异的影响,及其对对虾卵子和幼体运输的作用。结果表明,黄河三角洲岸线变迁对渤海环流的影响主要体现在黄河口附近,尤其是对莱州湾的环流影响较大,在地形和潮运动的相互作用下,在黄河口附近形成一显著的岬角旋涡对,在莱州湾的环流中起着主要的作用。莱州湾水深浅,受风的影响较大,而受斜压作用较小,环流的强弱受潮、风和斜压的共同支配,但其基本分布格局与潮余流相似。黄河三角洲岸线变迁引起的环流,将对虾的卵子和幼体捕陷于黄河口的流涡或刁龙嘴附近的岬角旋涡中。

## 参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第十四分册(重要河口)[M]. 北京: 海洋出版社, 1998, 799.
- [2] 赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖泊, 1995, 26(5): 466—473.
- [3] 窦振兴, 张存智, 张砚峰. 渤海风海流的数值计算[J]. 海洋学报, 1986, 8(5): 527—533.
- [4] 缪经榜, 刘兴泉. 北黄海和渤海冬季环流动力学数值实验[J]. 海洋学报, 1989, 11(1): 15—22.
- [5] 郑连远. 三维潮致拉格朗日余流的数值计算及其在渤海中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(1): 39—49.
- [6] 王辉, 苏志清, 冯士, 等. 渤海三维风生-热盐-潮致Lagrange余流数值计算[J]. 海洋学报, 1993, 15(1):

9—21.

- [7] 黄大吉, 陈宗镛, 苏纪兰. 三维陆架海模式在渤海中的应用 I. 潮流、风生环流及其相互作用[J]. 海洋学报, 1996, 18(5): 1—13.
- [8] 黄大吉, 陈宗镛, 苏纪兰. 三维陆架海模式在渤海中的应用 II. 温度的季节性变化[J]. 海洋学报, 1996, 18(6): 8—17.
- [9] 赵保仁, 曹德明. 渤海冬季环流形成机制动力学分析及数值研究[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(1): 86—96.
- [10] 黄祖珂. 渤海的潮波系统及其变迁[J]. 青岛海洋大学学报, 1991, 21(2): 1—12.
- [11] 乐肯堂, 周参武. 黄河口的变迁对滨海大陆架区流场变化的影响[J]. 海洋科学集刊, 1995, 36: 93—109.
- [12] 邓景耀, 叶昌臣, 刘永昌. 渤黄海的对虾及其资源管理[M]. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [13] 李泽刚. 黄河口附近海区水文要素基本特征[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 20—28.
- [14] 邓景耀, 庄志猛. 中国对虾的种群动态特征[A]. 苏纪兰, 唐启升等. 中国海洋生态系统动力学研究 II. 渤海生态系统动力学过程[C]. 北京: 科学出版社, 2002. 445.

## The effects of the Huanghe River Delta on the circulation and transportation of larvae

HUANG Da-ji<sup>1</sup>, SU Ji-lan<sup>1</sup>

(1. Laboratory of the Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, State Oceanic Administration; Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** The Huanghe River has run the current path since its last change of path in 1976. The river delta intrudes into the Laizhou Bay significantly. The effects of the Huanghe River Delta on the circulation and transportation of the eggs and larvae were investigated with a fine resolution 3-D shelf ocean model (HAMSOM). The effects are local but very significant. Before the intrusion of delta, the anti-cyclonic circulation dominates in the Laizhou Bay. At present, the circulation is totally different from that before the intrusion. A pair of headland eddies at the Huanghe River mouth is very significant. The change of the circulation is mainly due to the interaction between tides and bathymetry. Wind and baroclinic forcings also play an important role on the circulation, but the basic pattern remains. The eggs and larvae are transported towards the west part of bay before the intrusion of delta, which coincides with the historical nursery ground. At present, the eggs and larvae are trapped in the headland eddies, which has disadvantage on the later stage of larvae. The results may explain to some extent for the lost of the nursery ground of *Peneus Chinensis*.