

黄海西南部陆架锋区锋断面环流数值模拟^①

毕亚文 赵保仁

(中国科学院海洋研究所, 青岛266071)

收稿日期 1992年5月20日

关键词 诊断模式, 陆架锋, 黄海

浅水陆架锋是近岸混合区与外海层化区的分界面, 对近海海雾形成、渔业生产及污染扩散有重要影响。赵保仁^[1]根据实测 SST 资料利用 Simpson-Hunter 参量提出黄海沿岸区域存在潮混合控制的浅水陆架锋, 他还进一步指出^[2], 黄海沿陆架锋与冷水团边界区是黄海的主要上升流区, 即锋面上升流区, 夏季黄海西部沿岸存在沿冷水团锋面南下的强流。James 用这一诊断模型讨论过锋区环流情况, Garret 等^[6]用的是半诊断模型。他们均得出垂直于锋面的断面内在锋区附近存在着双环流结构。

本文以 James 的二维诊断模型方程为基础, 根据1984年中美合作调查资料诊断模拟了黄海西部34°N 线附近跨锋断面的环流结构。与 James 和 Garret 等不同的是, 我们采用实测密度场, 考虑了地形影响, 并考察不同的侧边界条件对断面环流结构的影响, 进而探讨环流结构的形成机制。

1 诊断模型

本模型假设海水不可压, 刚性表面, 沿锋方向物理量均匀分布, 即 $\frac{\partial}{\partial y} = 0$, 并采用 Boussinesq 近似。我们不考虑表面风应力作用, 但在可变垂直涡动粘性系数 A_v 的构造中考虑了风和潮流的混合效应^[5]。

取海面为 $z=0$, 海底为 $z=-h(x)$, 沿 x, y, z 方向的速度分量分别为 u, v, w 。控制方程为 (1), (2), (3), (4)。

海洋科学, 1993年11月, 第6期

$$L(u) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + Ah \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial u}{\partial z}) \quad (1)$$

$$L(v) = -fu + Ah \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial v}{\partial z}) \quad (2)$$

$$L(w) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + B + A_h \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial w}{\partial z}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

其中: $L(\sigma) = u \frac{\partial \sigma}{\partial x} + w \frac{\partial \sigma}{\partial z}$, $B = g(\rho - \rho_0)/\rho_0$ 为浮力项, ρ_0 为平均密度, p = 总压力 + $\rho_0 g z$ 。

对方程(4)引入流函数 $\psi(x, z)$ 有:

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, w = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (5)$$

引入涡度: $s = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z}$, 设 $w \ll u$ 则有:

$$s = -\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \quad (6)$$

对(3)与(1)分别取交叉导数再合并为:

$$L(s) = -f \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial B}{\partial x} + Ah \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} (A_v \frac{\partial s}{\partial z}) \quad (7)$$

若密度场已知, 在合适的边界条件即可求解方程(2), (5), (6), (7)。边界条件: $z=0, \psi=0$,

$(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z}) = 0, w = u \frac{\partial \xi}{\partial x} = 0$, 其中 ξ 为海面高度。

$$z = -h(x) \quad \psi = 0, (u, v) = 0$$

$$x = 0 \quad \psi = 0, v = 0, \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

$$x = L \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0, \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

有限差分格式及 A_v 的构造采用 James 的方

① 国家基金课题的一部分。

法^[3], Ah 取为常数。 $A_v = A_0 [1 + n\sigma Ri / (n - 1)]^{-(n-1)}$

$$A_0 = -1.59 \times 10^{-3} hV + 4.3 \times 10^{-4} hVW^2$$

其中, Ri 为 Chardson 数, n, σ 为经验常数, 本文取 $n=1.57, \sigma=0.3, V, W$ 分别为潮流流速和风速。由于在密度场调整中风应力已起了作用, 因此在诊断模型中风应力取为零, 但考虑风和潮流的混合作用, 计算中构造 A_v 所采用的潮流流速为 $V=0.5\text{m/s}$, 这大体同该断面的平均 M_2 分潮振幅相接近, 风速取 $W=6\text{m/s}$, 与断面附近的月平均风速相当。其它计算参数为: $\Delta x=10\text{km}, \Delta z=2.5\text{km}, \Delta t=60\text{s}, Ah=100\text{m}^2/\text{s}$, 计算出 $A_0=0.05\text{m}^2/\text{s}$ 。

2 结果分析

以1984年7月中美合作调查时所设置的断面V为模拟对象, 站位见文献2。该断面的地转流分布图1^[2], 密度分布见图2a, 模拟计算结果见图2b, c, d, e。

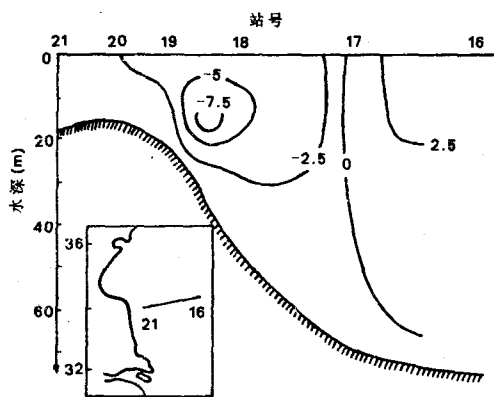


图1 断面V的地转流分布

Fig. 1 Geostrophic current speed in Section V

由图2b看出, 跨锋流速最大值位于陡坡90 km处, 上层离岸, 底层向岸。在浅水混合区底层向岸, 表层离岸。在层化区115~150 km处, 表层离岸, 底层向岸, 在150~200 km处相反。结合流函数分布(图2e)可看出, 整个断面除了两个显著的环流室之外还存在着其他环流室, 这

比James^[3]与Garrett等^[6]所得的双环结构要复杂。

由图2d可知, 在80 km的陡坡处为上升流区, 最大值达 $1.9 \times 10^{-3}\text{cm/s}$, 其外侧(约在100 km处)为同量级的下降流区, 其它区域垂直流速至少小一个量级。

由图2c看出, 在90 km陡坡上沿锋存在一支南下的强流(为负值), 最大流速达7.3 cm/s, 其两侧为反向回流, 量值较小。此外, 断面右端的层化区内还存在着另一支较强的向北流(正值), 最大流速为3.9 cm/s。

赵保仁^[2]曾使用温盐资料指出沿黄海陆架锋与冷水团边界是黄海锋面上升流区, 南黄海西部沿岸流是沿锋面南下的强流。文献^[3]的漂流浮标轨迹图表明, 在模拟断面的右端, 黄海上层存在向北的流动。这些特征用本文的方法均给出了很好的模拟结果。模型所得的 v 分布图(图2c)与用同密度资料所得的地转流分布(图1)基本一致, 细节的差别是由摩擦造成的, 摩擦也使模型的结果 v 的最大绝对值略小于地转流的最大绝对值。

3 讨论

作者曾作过不考虑地形影响(平底)的数值实验^[4], 其流场结构和本文的结果类似, 但有如下明显的差别。(1)取平底时最大 u, v 值位于70 km处, 而本文的结果向外移到90 km处, 显然这是地形的限制造成的。本文的结果比取平底时略小, 这是由于水深变浅摩擦较大所致。由于地形的限制使上升流区与下降流区变小而流速则明显增大。

作者采用不同潮流流速进行数值实验以检验锋区附近潮流变化对流场的影响, 结果表明环流结构与图2类似, 只是对流速的大小有影响。取90 km和180 km处沿锋南下与北上的两支流的绝对值为特征流速, 由表可知, 潮流流速增大沿锋流的特征流速减小, 其原因是潮流流速大对海水混合作用强, 摩擦力增大, 因而流场流速减小, 反之亦然。

如文献^[4], 当外海一侧的边界取固壁条件
MARINE SCIENCES, No. 6, Nov., 1993

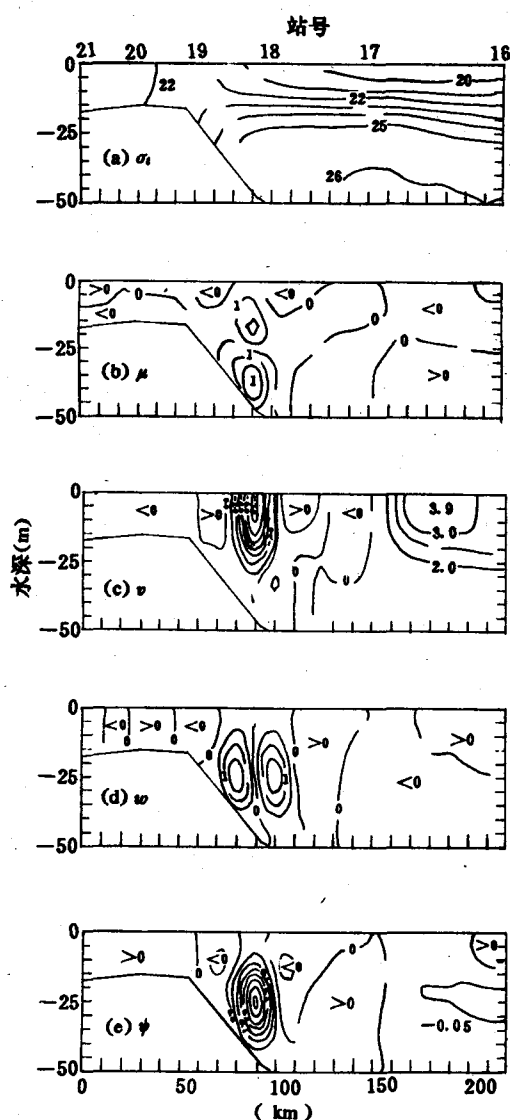


图2 断面环流结构

Fig. 2 Current structure of cross section front

a. 密度 σ_t ; b. 跨锋速度 u (cm/s); c. 沿锋速度 v (cm/s);
d. 垂直速度 w ($\times 10^{-3}$ cm/s); e. 流函数 ψ (m^2/s).

时,流场只在该边界处略有不同,但不影响流场内部的结构和大小。因此,对这一边界的取法要求并不高,但该模型给出的条件更接近实际情况。

产生锋面上升的机制,作者认为有两方面的原因,(1)斜压在锋面处产生了较强的向南流动,而分层流体的分层界面存在内摩擦^[6]。由于

海洋科学,1993年11月,第6期

分层流体的内埃克曼效应,向南的速度 v 在分层流体界面以上产生离岸的通量,在界面下层则产生向岸通量。由于上层有较强的离岸通量(90km处),这样就在70~90km处产生了上升流作为补偿。同样,110km处的向北的沿锋流诱导出向岸的上层流,因此在90~110km产生了较强的辐聚区。(2)海底陡坡使补偿流限制在较小的范围内从而增大了上升流速。

表 不同潮流流速对特征流速的影响

Tab. 1 Effect of tide velocities to typical velocity

风 速 (m/s)	潮 流 (m/s)	沿锋特征速度(cm/s)	
		向 南	向 北
6	0.5	7.4	3.9
	0.7	6.7	3.8
	1.0	5.5	3.3

参考文献

- [1] 赵保仁,1985.海洋与湖沼 16(6),451~460.
- [2] 赵保仁,1987.海洋与湖沼 18(3),217~226.
- [3] 赵保仁等,1991.海洋与湖沼 22(2),132~139.
- [4] 赵保仁、涂登志、毕亚文,1992.海洋科学 2,41~45.
- [5] James, I. D., 1978. *Estuarine and Coastal Marine Science* 7: 197-202.
- [6] Garrett, C. J. R. & J. W. Loder, 1981. Dynamical aspects of shallow sea fronts. *phil. Tran. R. Soc. Lond.* A302, 563-518.

NUMERICAL SIMULATION OF CROSS FRONT IN THE SHELF FRONT AREA OF SOUTH-WESTERN YELLOW SEA

Bi Yawen and Zhao Baoren

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Received: May, 20, 1992.

Key Words: Diagnostic model, Continental shelf front, The Yellow Sea

Abstract

This paper is to diagnostically simulated the circulation structure across the front near 34°N in the western Yellow Sea, in which field data measured in 1984 are employed. In this diagnostic model, the effects of topography, tide and wind are considered. Results show that (1) there is a southern jet on the slope along the front, of which the velocity maximum is 7.3 cm/s, (2) upwelling and downwelling exist in the front region, which can reach 10^{-3} cm/s, (3) in the stratified region, there is a northern current smaller than the southern jet, (4) the stream function in the section is of multi-cells pattern. Comparison between simulated results and measured data indicates that the circulation across the front is well simulated. The mechanism of upwelling in the front region is also explained.