



黄海西部 34°N 断面潮生陆架锋的多年变化及跨锋断面的环流结构*

赵保仁 涂登志 毕亚文

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

收稿日期 1991年6月10日

关键词 潮汐锋, 多年变化, 数值模拟, 南黄海

提要 本文分析了苏北浅滩外侧 34°N 断面上潮生陆架锋的多年变化, 指出海上调查期间的日平均风速和大小潮变化是影响陆架锋多年变化的主要因素。本文还用诊断模式给出了横跨锋断面的环流结构。

夏季, 在苏北浅滩外侧几乎每次海洋调查都可以发现海面有冷水分布。早在 60 年代, 毛汉礼等人就注意到这一现象^[1]。根据海洋调查和卫星观测资料, 苏北浅滩外侧冷水区向北可达 34°N 以北, 向南至 32°N 附近区域。由于 34°N 断面较长, 能横跨冷水区, 且积累资料较多, 本文将以此断面为代表, 分析研究苏北浅滩外侧的冷水及潮生陆架锋的多年变化特征。此外我们还以 James 的数值模式, 根据已知的密度分布对那里的纬向环流结构作一诊断性计算。

I. 34°N 断面水文特征

34°N 断面西始 120°45'E; 东至 124°30'E, 大致以 3 085 站(122°E)为界, 该站以西海底比较平坦, 水深 16~22m。3 085 站以东, 海底坡降陡增, 于 124°30'E 水深达 81m 左右。根据文献[2], 3 085 站的层化参量 $\log(H/U^3)$ 为 1.27, 小于临界值 1.8, 3 086 站的层化参量为 2.0。从潮混合角度来看, 夏季 3 085 站及以西海区应为垂直均匀区, 以东海区应为层化区。

5 月, 黄海的层化现象已初步形成, 6~8 月进入强盛期, 从 9 月开始逐渐减弱^[3]。与层化现象相联系的潮生陆架锋和冷水分布一般于

5 月已显雏形, 6~8 月进入强盛期, 9 月因海面降温而逐渐减弱, 10 月海面已很难辨认出潮生锋的存在。作为代表给出 34°N 断面 1979 年 5, 7, 9 月的温度分布(图 1)。

由图 1 可知, 该断面水温分布的显著特征是, (1) 3 085 站以西海区为垂直均匀区, 表、底层之间的温度差一般不超过 1.0°C, 该站以东为层化区。因此, 断面实际的层化状态同层化参量预示的结果完全一致; (2) 在 3 085~3 086 站附近, 等温线常常有明显的上抬现象, 海面温度一般在此达到最低值; (3) 在上述低温区的右侧常常形成明显的温度锋; (4) 该断面上混合层厚度一般变化于 10~15m 之间, 但靠近锋面附近的上混合层厚度一般只有 5m 左右, 甚至更薄; (5) 在断面东部水深较大的地方等温线也有不同程度的上抬现象。

上述断面温度分布特征中, (1)~(4)同潮混合现象直接有关, 特征(5)与黄海本身的环流状态有关。

此外, 34°N 断面的盐度分布也是以 3 085 站为界, 该站以西为垂直均匀区, 以东为层化区。但其它分布特征不象温度分布那样明显, 而且

* 国家自然科学基金项目。

中国科学院海洋研究所调查研究报告 2018 号。

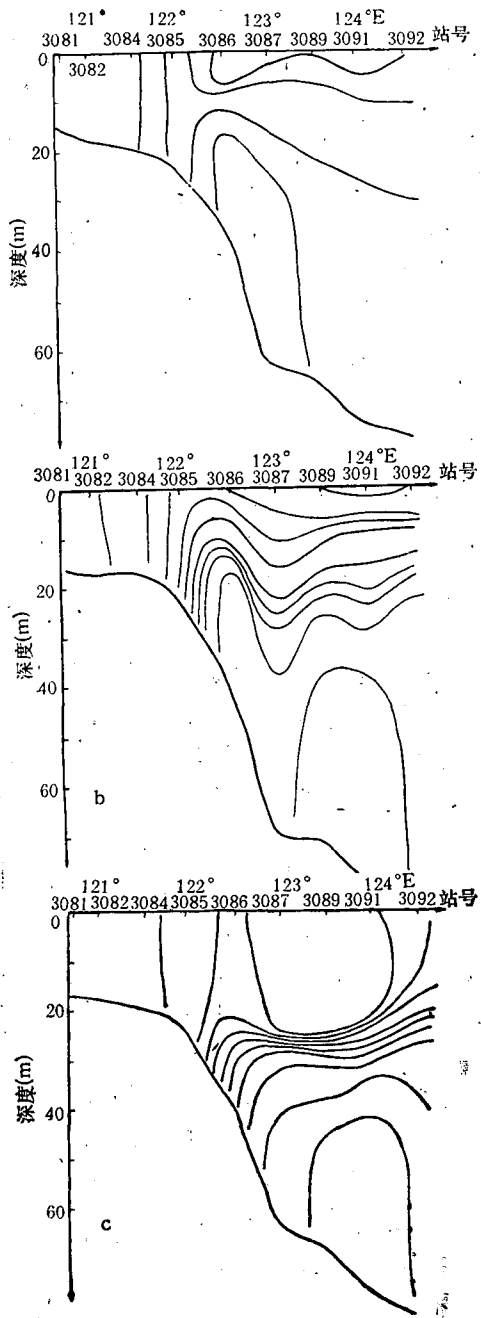


图1 1979年5, 7, 9月份34°N断面温度分布
Fig. 1 Distributions of temperature along the section 34°N, 1979.

a. May, b. July, c. September

由于上层常常受长江冲淡水以及苏北沿岸河口径流的影响, 盐度分布的月变化和年际变化较大。该断面的密度分布与温度分布趋势基本一

致, 表明这里的密度分布受温度分布影响较大。

II. 潮生陆架锋的多年变化

由于断面观测站距较大, 很难从实测资料准确计算出锋面的强度值。然而由于1975~1984年间断面调查的站位基本固定, 因此我们可以用相邻两站的温度差值作为衡量锋面强度的一种指标。34°N断面的海面最低温度通常出现在3085或3086站附近, 我们以海面实测最低温度站为准计算相邻两站间的温度差值, 其结果如图2所示。由图可知, 即使在强层化期, 不同年、月之间的海面锋强弱差异很大。如1984年6月海面温度差达最高值(2.95°C), 但有的月份海面温度差很小, 如1980年7月差值为0.26°C, 且最低温出现在离垂直均匀区较远的3087站, 而1978年8月该断面海面已无低温区可言。这些现象已很难用潮混合的概念来解释。这些例外现象的出现一方面可能与来自海面 and 海底的湍流摩擦条件的变动有关, 另一方面可能与海面日射条件以及当时的环流状态的变化有关。例如, 在1990年7月底的专题调查中, 由于连续数天的高温天气, 苏北浅滩外侧的冷水和陆架锋明显减弱, 并退缩到34°N以南海区, 这时在该断面上便不再观测到海洋锋的存在。

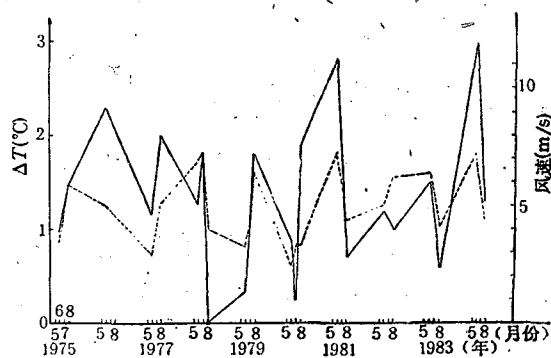


图2 层化强盛期(6~8月)锋面强度的多年变化
Fig. 2 Multi-year variations of front strength during June through August

为了寻求图2所示的锋面强弱变化的原因, 我们分析了海面风速及大小潮变化的影响。

海上风资料很少，且观测精度较差，本文利用与 34°N 断面锋区最近的连云港海洋站的风速资料，该站距 34°N 断面上的锋区约 250km 左右。

取不同天数的日平均风速的平均值为自变量，以表示锋面强度的两站间的面水温差为依变量作相关分析，结果表明调查当日和前一日的风速平均值与上述温度差的线性相关最好，当日平均风速次之。前者的相关系数为 0.64，零相关水平远高于 0.01。后者的相关系数为 0.54，相关水平也高于 0.01。各航次海上调查当日和前一日的平均风速值如图 2 点线所示。

本区的潮流以半日潮为主，潮汐潮流有明显的大小潮变化。为了研究锋区两站间的温度差与大小潮之间的关系，粗略地可以用观测日期与朔望大潮（取半日潮龄为 2d）之间时间差（天数）——潮相为自变量，温度差为依变量，绘成图 3。如果我们略去高风速（2d 的平均风速超过 7.0m/s）时的 3 个资料（×点）和另外两个特别分散的资料（括弧中的黑点），锋面两侧的

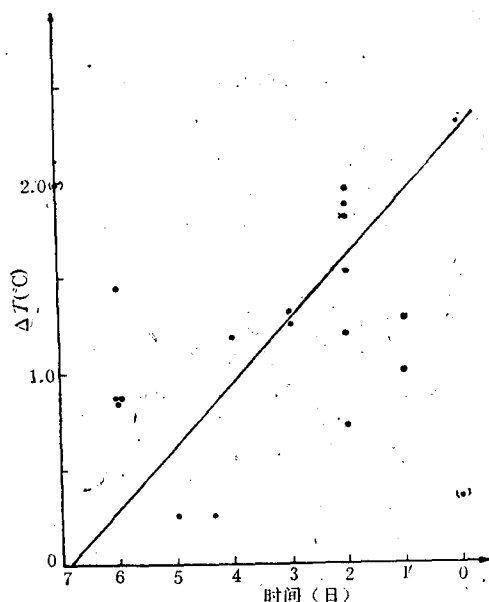


图 3 锋区相邻两站间的面水温差与潮相之间的关系

Fig. 3 The difference of surface temperature between adjacent station across the front versus tidal phase of spring-neap

温度差随大小潮变化而变化的倾向仍然可以清楚地显示出来。这时温度与潮相之间的线性相关系数为 0.54，相关水平高于 0.05。根据 1975~1984 年间的断面调查资料，计算得到锋区相邻两站间的温度差与上述平均风速、大小潮潮相之间的复相关系数为 0.65。

综上所述，风混合与潮混合的共同作用是影响苏北浅滩外侧锋面强弱变化的重要动力因素。

III. 横向环流结构的诊断数值模拟

为了弄清潮生陆架锋在横跨锋面方向的环流结构，根据已知的密度分布，用 James^[6] 的模式对横锋断面上的环流结构作诊断性的数值模拟。

根据海洋锋的特点略去变量在沿锋面方向（y 向）的变化，用直角坐标，取 x 轴为跨锋断面的伸展方向，z 轴垂直向上，控制方程为：

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + w \frac{\partial s}{\partial z} = -f \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial b}{\partial x} + K_H \frac{\partial^2 s}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} (K_v s) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f u + K_H \frac{\partial^2 v}{\partial^2 x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$s = -\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial^2 z} \quad (3)$$

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (4)$$

$$b = g(\rho_0 - \rho) / \rho_0 \quad (5)$$

海面边界条件，z = 0 时有：

$$\rho K_v \frac{\partial u}{\partial z} = \rho K_v \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \\ \phi = 0$$

海底的边界条件，z = -h 时有：u = v = 0, φ = 0。侧向边界离锋区较远，从而可忽略那里的运动对锋区运动的影响。于是侧边界条件为，当 x = 0, L 时有：u = 0, v = 0, φ = 0

诊断计算所模拟的断面是 1984 年 7 月中美合作调查时所设置的断面 V^[3]（在 34°N 断

面附近)。与 34°N 断面相比,该断面在锋区布站较密,且更接近垂直于锋的方向。该次调查所得温度和密度断面见文献[3]图2。

计算中涡动粘滞系数的取法同 James^[6] 的完全一样。取断面平均水深为 50m,断面长度为 220km。计算中潮流的参考流速分别取 0.50m/s 和 0.75m/s,与断面平均的中等潮流流速及大潮流速相接近。为计算稳定,所用的差分格式为 Dufort-Frankel 格式。垂直步长取 2.5m,水平步长取 10km,时间步长为 30s。计算一直进行到稳定状态为止,时间约为 3.5d。

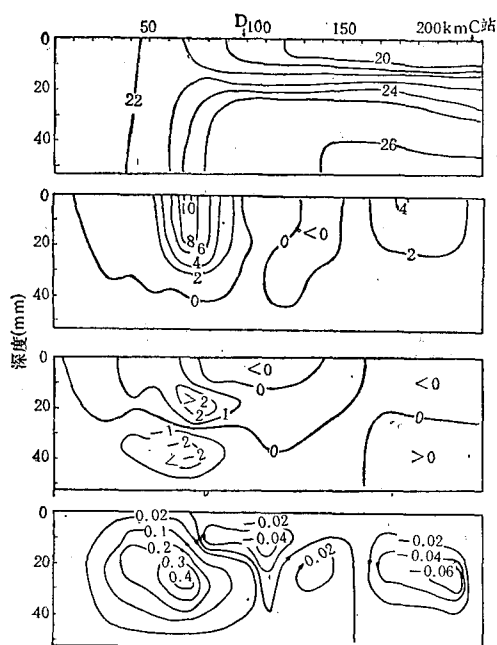


图4 横锋断面的流速结构

a. 密度 σ_t ; b. 沿锋向流速 v ; c. 横向流速 u ;
d. 流函数 ψ

Fig. 4 Current structures across the front
a. density; b. current speed along front, v ; c. current speed across front, u ; d. stream function.

当潮流参考流速为 0.5m/s 时的计算结果如图3所示。计算结果同 James 的基本一致。

从图4b可以看出,在锋面附近有一支向南的沿锋强流,最高流速约为 10cm/s 左右,在断面的右端流向向北,最大流速仅为 4cm/s 左右。从图4c, d 可以看出锋区右侧上层为向岸流,

左侧为离岸流,在锋区形成幅聚区。幅聚以后的海水在摩擦力驱动下,沿跃层向东扩散。在下层,断面大部分地区为向岸流。上层的离岸流和下层的向岸流,均在锋区附近达最大值,并形成较强的反时针环流室。与该垂直环流室相对应,在锋区右侧的上层则存在一个较弱的垂向反时针环流室。两者在锋区形成了常见双环流室分布。此外,在断面右端还有一个较弱的反时针环流室,它可能同黄海中心区的上升流现象有关。

以上数值计算结果,同动力计算结果(文献[3]图7)和海流实测结果基本一致。例如,图

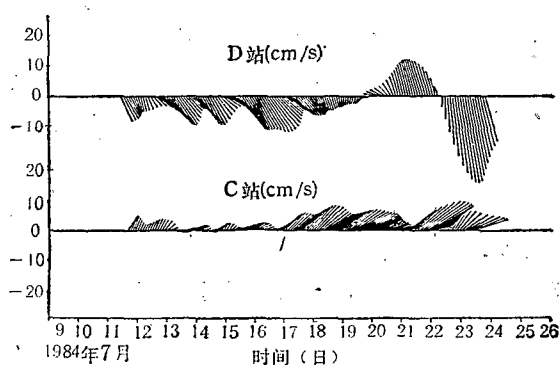


图5 10m层实测余流(1984年7月9日~24日)
Fig. 5 Measured current velocity during July, 9-24, 1984, at 10m level

5为海上调查同期(该断面CTD观测在7月19日进行)10m层的流速时间系列。其中,D站在18站附近,实测流速以东南向为主,C站在16站附近,实测流速为东北向。此外,24h测流所得余流资料表明,夏季在垂直均匀区的上层一般为离岸流,底层一般为向岸流,说明在垂直均匀区,图4所示的垂直环流是存在的。其他垂直环流结构尚需更多的实测结果来证实。

参考文献

- [1] 毛汉礼、任允武、孙国栋,1964。南黄海和东海北部($28^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$)夏季的水文特征以及海水类型(水系)的初步分析。海洋科学集刊 11: 23~77。
- [2] 赵保仁,1985。黄海冷水团锋面与潮混合。海洋与湖沼 16(6): 451~460。
- [3] 赵保仁,1987。南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究。海洋与湖沼 18(3): 217~226。

- [4] 赵保仁, 1987. 黄海潮生陆架锋的分布. 黄渤海海洋 5(2): 16~23.
- [5] 蓝淑芳、顾传成、付乘照, 1985. 渤海、黄海、东海水温垂直结构统计特征分析. 海洋科学集刊 25: 11~

25.

- [6] James, I. D., 1978. A note on the circulation induced by a shallowsea front. *Estuarine and Coastal Marine Science* 7: 197-202.

MULTI-YEAR VARIATIONS OF THE TIDAL FRONT IN THE SECTION 34°N ON THE CONTINENTAL SHELF OF THE WESTERN YELLOW SEA AND NUMERIC MODEL OF THE CIRCULATIONS IN THE SECTION ACROSS THE FRONT

Zhao Baoren, Tu Dengzhi and Bi Yawen

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

Received: June 10, 1991

Key Words: Tidal front, Multi-year variation, Numeric model, Southern Yellow Sea

Abstract

In this paper the multi-year variations of tidal front outside the Subei Shoal in the section 34°N are analyzed. It is obtained that the average wind speed during the investigation day and the day before it and the tidal phase of spring-neap are the main factors affecting them. The current structures across the front are also given in a diagnostic numeric model.