

苏北浅滩外侧浅水锋的观测与分析*

赵保仁 涂登志 毕亚文

(中国科学院海洋研究所)

关于黄海的潮混合和浅水锋现象,中国和韩国的学者已有一些报道(赵保仁, 1987a, b; 赵保仁等, 1992; Lie, H-J., 1989)。卫星图片和有关水文观测资料表明, 夏季, 黄海的浅水锋主要分布在苏北浅滩外侧、山东半岛的成山角—石岛近海、渤海海峡、西朝鲜湾和江华湾湾口附近及朝鲜半岛西南部近海。

为了深入了解黄海苏北浅滩外侧浅水锋的分布和水文结构, 我们于 1990 年 7 月 29 日至 8 月 1 日对该区域进行了一次水文和水化学的专项调查。本文根据这次调查所得的水文资料, 对苏北浅滩外侧的海面冷水和浅水锋的分布特征以及锋区的环流结构进行简要论述。

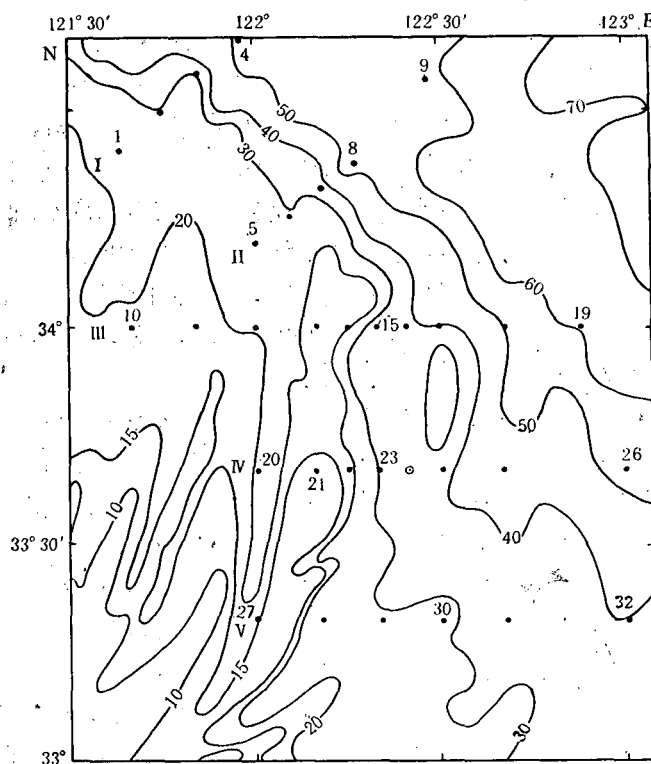


图 1 调查站位和水深分布 (m)

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2144 号。本课题系国家自然科学基金资助项目, 48970262 号。卫星遥感资料由国家海洋局海洋环境预报中心提供, 王新怡同志绘图, 在此一并致谢。

收稿日期: 1991 年 11 月 29 日。

苏北近海的浅水锋常出现在苏北浅滩外侧的陡坡附近(赵保仁, 1987a)。本次调查在这一区域设了5个断面, 32个大面站和1个连续站。锋区附近的最小站距约4海里(5' 经距)左右。调查区域的水深分布和站位如图1所示。这一海区的地形分布特点是海底坡度较大, $34^{\circ}10'N$ 以北海底陡坡在30—40m等深线之间, $34^{\circ}10'N$ 线以南海底陡坡在20—30m等深线之间, 陡坡处坡度达 4×10^{-3} 左右。此外, 在 $122^{\circ}10'E$ 线附近, 还有一向北伸展的沙脊。观测结果表明, 苏北浅滩外侧浅水锋现象与地形特征关系密切。

一、锋区的温、盐度分布特征

1. 平面分布

1, 10, 20m层及底层的温度分布见图2。从图2a可以看出, 在表层(1m)的 $122^{\circ}10'E$ 线附近有一冷水区, 等深线表明该冷水区正好位于海底沙脊上(水深小于20m), 并按等深线延伸的方向呈舌状向北方向伸展。观测到的表层最低温度为 $23^{\circ}C$, 与同站底层温度仅相差 $0.43^{\circ}C$, 这里是风、潮混合形成的充分混合区。在调查海区的西北角, 20—30m等深线之间的海面还存在着另一低温区, 最低温度为 $26.48^{\circ}C$, 较底层高 $3.44^{\circ}C$, 为弱层化区。在上述两低温区的东侧水深较大, 表层水温在 $27^{\circ}C$ 以上; 两侧为浅水高温区, 表层水温可达 $28^{\circ}C$ 以上。图2a的等温线分布密度表明, 在上述海底沙脊之上的冷水区的外围, 等温线比较密集, 显然存在着温度锋(锯齿线表示锋面位置)。作者认为, 这里的温度锋与西欧大陆架上的同类锋面略有不同, 后者一般只在冷水区的外侧形成锋面, 而在该冷水区的两侧均形成明显的锋面, 这主要与特有的水下沙脊地形有关。

从图2b可知, 10m层的水温分布与表层差别较大。这里的冷水范围明显扩大, 且不再位于海底沙脊之上, 而是向东部水深较大的水域偏移。位于南部的冷水区移到40m等深线附近, 其冷中心水温与底层同站水温仅差 $0.73^{\circ}C$ 。位于西北部的冷水区向东推移到30—40m等深线附近, 冷中心水温较底层高 $5.56^{\circ}C$ 。由此可见, 南部锋区外侧的底层冷水向上抬升的现象较北部更为明显。

20m层(图2c)的等温线分布与表层及10m层又有较大差别, 这里等温线的分布已同等深线的走向基本一致。与表层和10m层的两个低温区相比, 20m层的低温区进一步向东偏移, 且已连成一片, 在40—50m等深线处构成一宽度不大的低温带, 其温度值与底层的水温已经非常接近。20m层的低温带宽度变化在10—30n mile之间。

底层等温线的走向与等深线基本一致。底层水温分布的总趋势为西部浅水区水温较高, 东部深水区温度较低。黄海冷水团边界, 即底层锋面大体沿海底陡坡的上界分布, 北部水域在20—30m等深线之间, 南部在30—40m等深线之间。

表层(1m)盐度分布趋势(图3a)与温度分布差别较大, 其主要表现为在调查海区的南、北部分别出现了低盐水的入侵现象。从下节中的断面分布图可知, 北部的低盐水厚度较大, 约10m左右, 测到的最低盐度为29.91; 南部的低盐水厚度较小, 仅4m左右, 测到的最低盐度为29.93。从水平分布范围和盐度特征来看, 北部低盐水可能与苏北沿岸的入海径流有关, 而南部低盐水可能受来自南部的长江冲淡水的影响。由于表层淡水的存在, 输入了较大的浮力, 从而显著影响了它们所在区域的混合和层化状态。

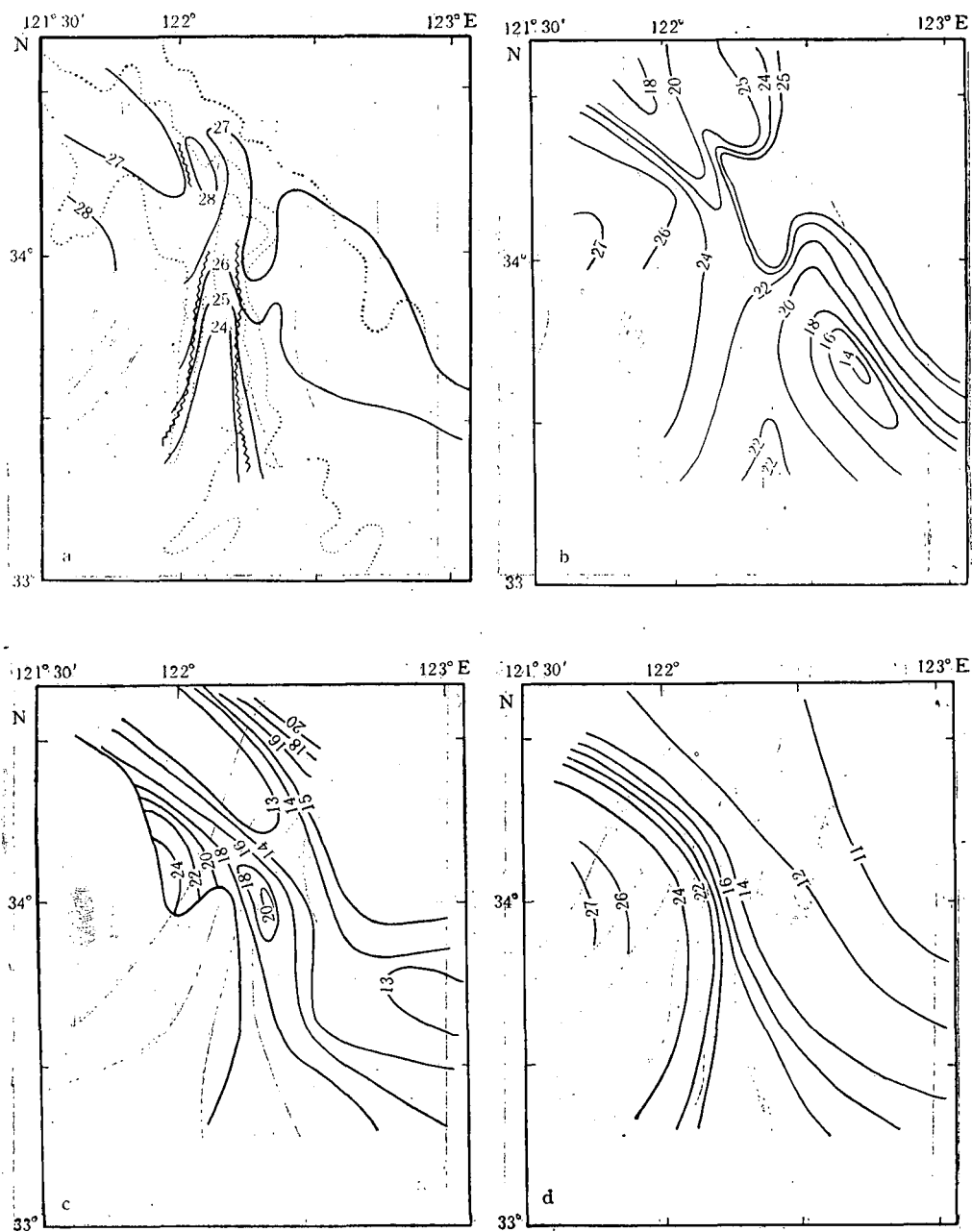


图2 温度平面分布(°C)

a. 表层 (1m); b. 10m 层; c. 20m 层; d. 底层

(图 2a 中的点线为等深线)

10m, 20m 层及底层的盐度分布与相应层次的温度分布趋势比较接近。如在 10m 层, 与两个低温区相应的为高盐区; 在 20m 层, 与低温带位置相应的地区为一高盐带, 其位置和形状与低温带极为一致。

在海上观测期间, 我们还分别收到两幅 NOAA 卫星图片, 得到了更大范围内的海面

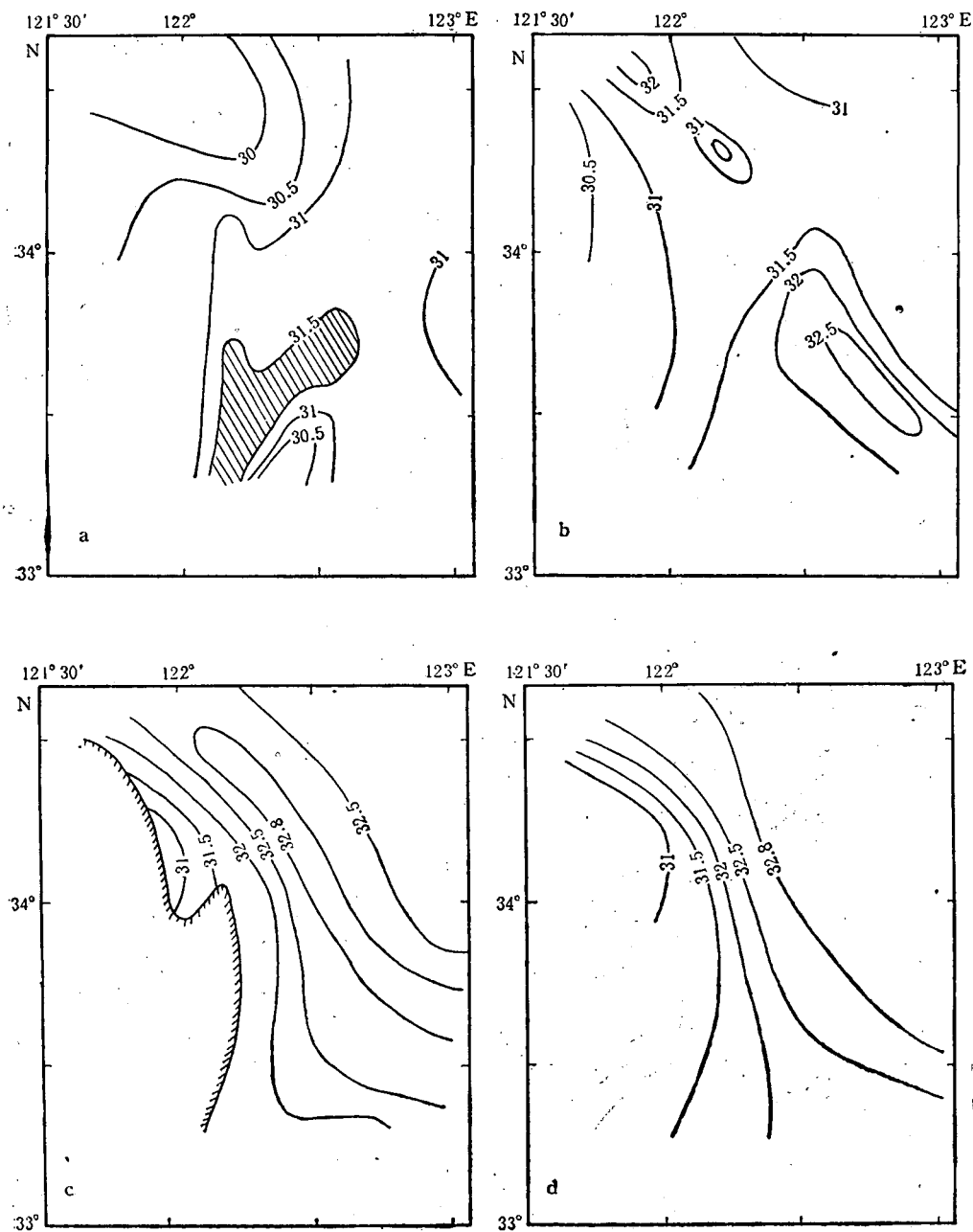


图3 表层(1m), 10m, 20m 层及底层的盐度分布

a. 表层; b. 10m; c. 20m 层; d. 底层

水温分布资料, 图4即为经大气校正并按 $3'$ 经纬格取样得到的海面卫星遥感温度分布图。由图4a可知, 7月28日在 33°N 线以北, 122°E 线附近有一向北伸展的低温区, 其位置和范围以及低温区两侧的温度锋分布均与图2a中所示一致, 这表明卫星遥感和海面测量之间有较好的一致性。从图4a还可以看到, 在海区东南部存在着另一低温区及其相应

的锋面分布。图 4b 为 8 月 1 日海面卫星遥感温度分布图,与图 4a 相比,图中所示的海面温度普遍升高 2—3℃,位于 122°E 线附近的低温区依然存在,但范围扩大,强度明显变弱,锋区附近的温度梯度显著变小。这些事实表明,苏北浅滩附近的海面冷水和锋面分布有较大的时空变化。作者根据 34°N 断面温度资料分析了该断面海面冷水及锋面强度的多年变化的某些特征(赵保仁等,1992),深入研究这些变化将有助于进一步了解风、潮混合机制及浅水锋的形成和变异规律。

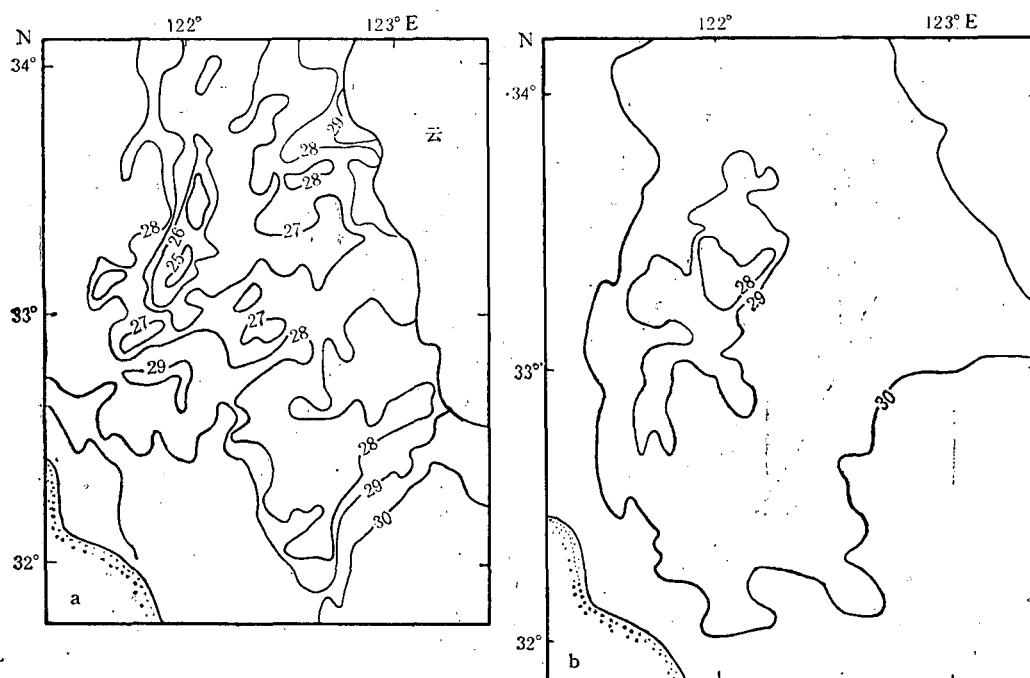


图 4 NOAA 卫星海面遥感温度分布(℃)

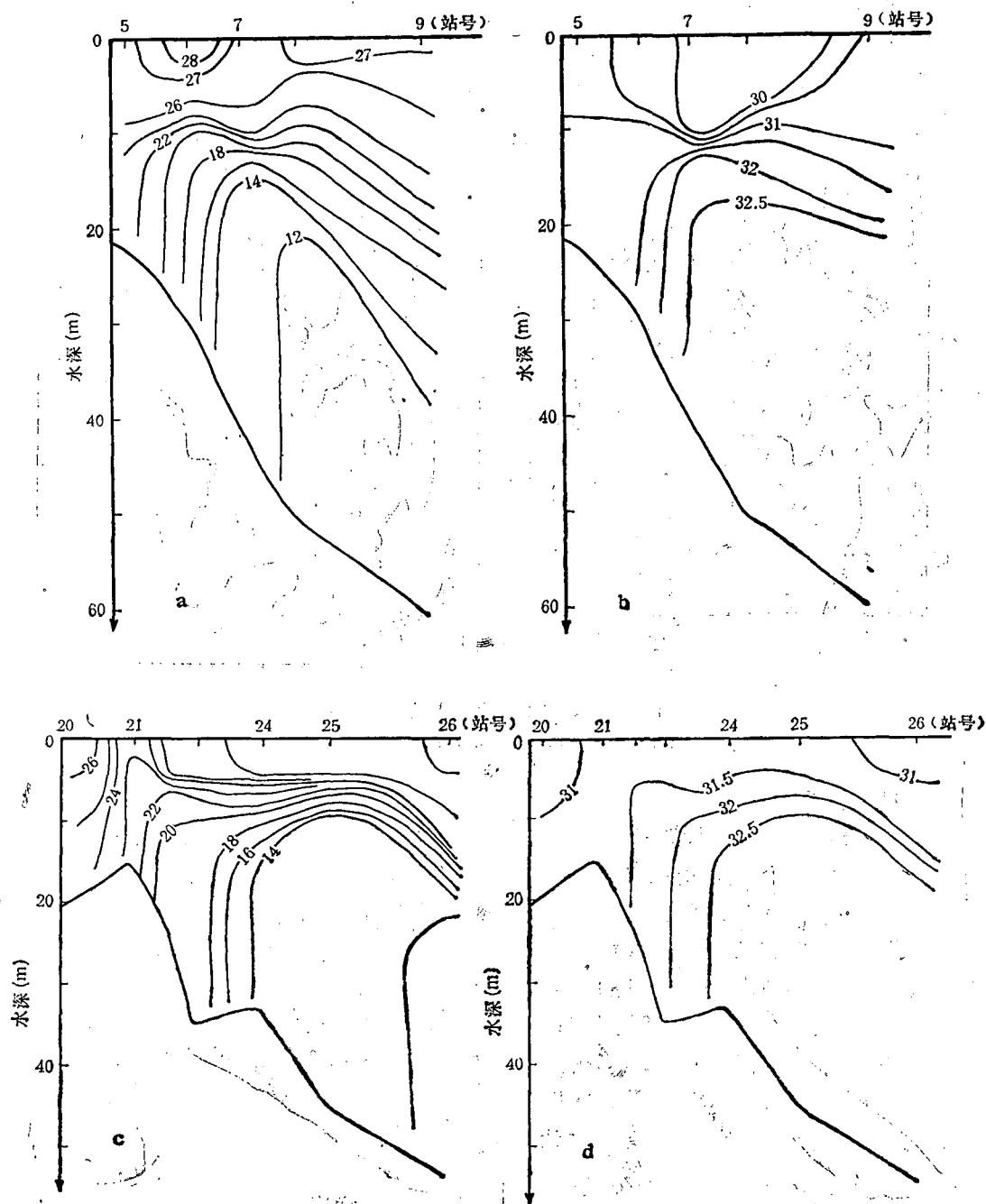
a. 1990 年 7 月 28 日; b. 1990 年 8 月 1 日

2. 断面分布

为着重阐明浅水锋区的断面温、盐度结构及上层低盐水输入对层化状态的影响,我们选用 II, IV, V 三个断面的温、盐度分布,如图 5 所示。

图 5a, b 表明, II 断面温、盐度分布有如下明显特征: 上层有厚达 10m 左右的低盐水区,断面最左端的 5 站海面水温达最低值,为 26.97℃,较底层水温高 3.18℃,为弱层化区。随着水深的变浅,跃层以下的等值线有明显的上抬趋势,但由于受上层低盐水的影响,下层高盐冷水的上抬倾向达到 10m 层附近时便很快消失了。作者认为,该断面上层低盐水的出现,对断面浅水锋的形成有显著的抑制作用。试考虑上层低盐水引起的浮力输入,以断面中的第 7 站为例,此站低盐水厚达 11m 左右,其平均盐度约为 29.90,较其下层高盐水的盐度低 2.30 左右。当水温为 25℃,盐度为 30 时,盐度变化对密度的影响大约是温度变化对密度影响的 2.5 倍。因此,上述低盐层所引起的浮力输入等于水温较下层高 5.75℃ 时的浮力输入,这大约相当于从海面输入 $2.47 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ 的额外热量;若以

7月底8月初该区域的海面热平衡净输入量 $1.48 \times 10^7 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 计算(中国科学院海洋所、地理所, 1977), 这相当于 17 天的海面净热量输入。显然, 这一额外的低盐水输入所引起的浮力增加是风、潮混合难以逾越的障碍, 从而将严重影响该区域浅水锋的形成和水体的层化状态。事实上, 在本次调查中, 34°N 线以北锋面极弱, 调查中没有发现充分混合区; 相反, 在 1984 年 7 月的调查中, 锋面十分显著, 但没有低盐水的入侵现象。



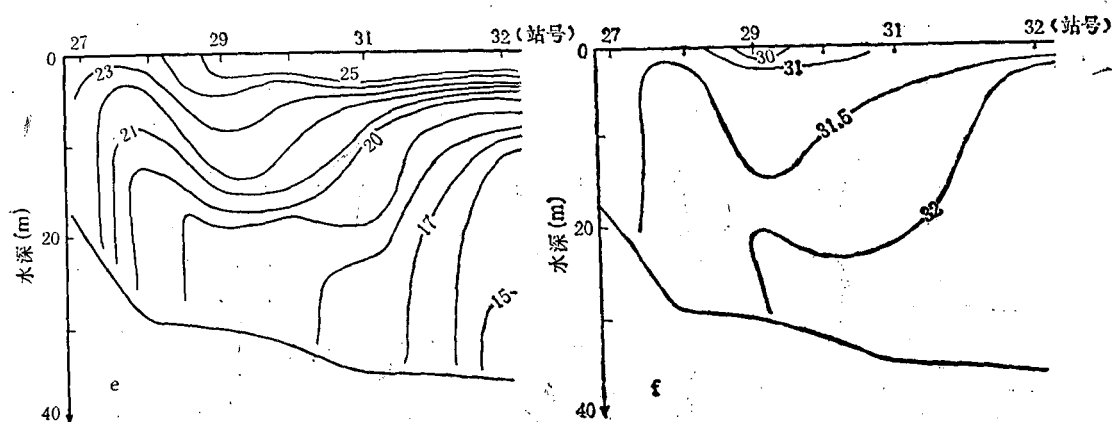


图 5 温、盐度断面分布

a. II 断面温度($^{\circ}\text{C}$); b. II 断面盐度; c. IV 断面温度($^{\circ}\text{C}$); d. IV 断面盐度;
e. V 断面温度($^{\circ}\text{C}$); f. V 断面盐度

图 5c,d 表明,在 IV 断面中,21 站水深最浅,为充分混合区,这里表、底层之间的温度差仅为 0.43°C ,盐度差为 0.09。该站以东海底坡度较陡,为显著层化区;该站以西的 20 站水深略有增大,为弱层化区。21 站断面表层水温达最低值,盐度和密度达最大值。以 21 站为中心的冷水区东、西两侧的温度水平梯度分别达 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 和 $0.18^{\circ}\text{C}/\text{km}$,形成较显著的锋面。该断面等值线有明显的抬升现象,离开锋区向东等值线略呈下沉趋势,再往东,于 25 站附近温、盐度等值线又有明显的上抬趋势。

由图 5e,f 可知, V 断面左端的 27 站为垂直均匀区,其右侧为层化区,海面温度于 27 站和 28 站附近达最低值,锋面在 28 站和 29 站之间,温度梯度达 $0.11/\text{km}$ 。该断面等值线在冷水区附近的抬升现象比 IV 断面更为显著,而在紧靠其右侧的层化区的等值线的下沉现象也比 IV 断面更为突出。从下节可知,上述等值线在锋区附近的上升和下沉现象同那里特有的锋区环流有关。

二、锋区的环流结构

1. 地转流场

根据测得的温、盐度值,我们用 1980 年国际海水状态方程计算了调查海区各站的动力高度值,和各断面相邻两站的地转流速值。计算时取测得的最深站的海底为动力零面,对其它各站依次作浅水校正。图 6 给出了用上述方法得到的表层 (1m) 和 10m 层动力高度分布图,图中质量场的分布表明,在 40—50m 等深线之间的动力高度场为一低槽区。40m 等深线以西海区的动力高度线与等深线大体平行,从而可以说明海水存在着自西北流向东南方向的水平运动。50m 等深线以东,动力高度线表示的海水运动方向正好与其相反,为自东南向西北方向的水平运动。由图 2,3 可知,上述低槽区的位置大体同 10—20m 层中的低温、高盐区相一致。

图 7 给出了跨锋断面(IV 断面)的地转流速分布,与相应的温度断面(图 5)相比较可

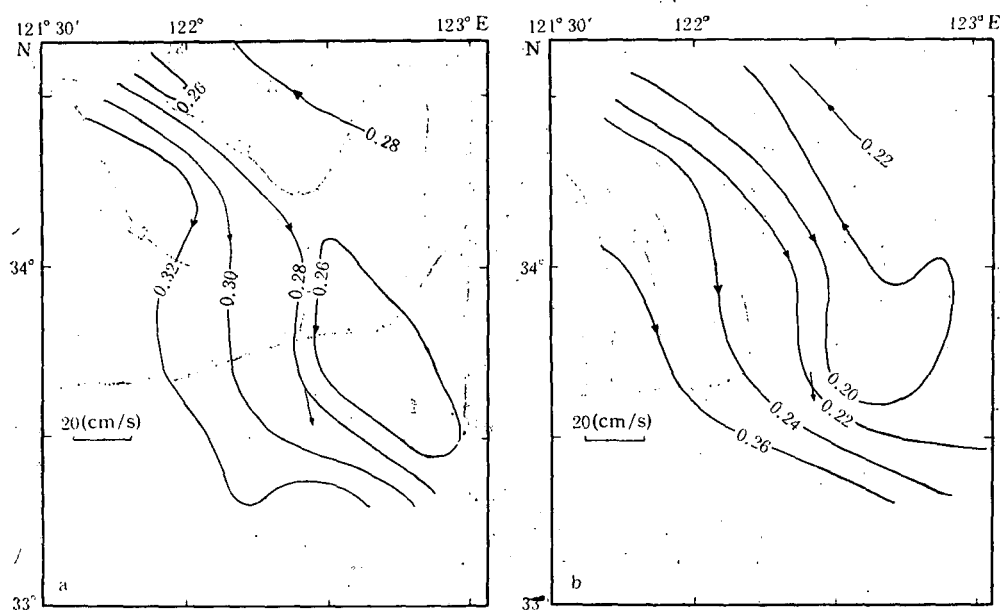


图6 表层(a)和10m层(b)动力高度分布(单位: 动力米)

(图中箭头分别表示5m层和10m层的实测余流值)

知,锋区附近为流向偏南的高流速区,在次表层地转流速达最大值。在断面右端,地转流向北。地转流速的这些分布特征与作者以前的研究结果十分一致(赵保仁,1987a)。

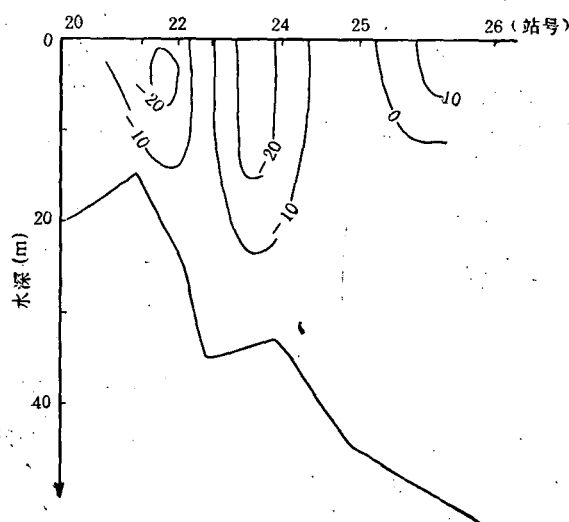


图7 IV断面地转流速分布(cm/s)

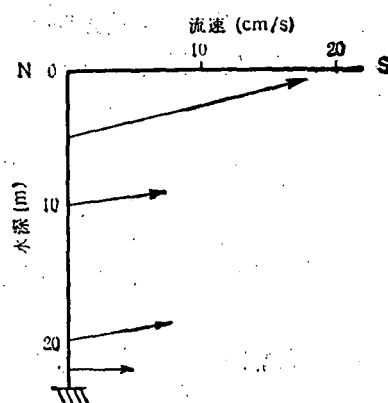


图8 锋区附近的实测余流

2. 实测流速

为了解锋区附近的流动情况,在IV断面的23站和24站之间,我们设置了一个连续站,测流25h,取得了5m,10m,20m层和底层的余流资料,如图8所示。10m层的海流资

料为安得拉海流计测得,其他各层均使用印刷海流计。由图 8 可知,该站实测余流除 5m 层为 SSE 方向外,其他均为 S 向,底层流速最小,并有微弱的偏西分量。苏北沿海的海岸线为 NNW 走向,上述实测流方向表明,上层海流方向大体与海岸平行,而底层流的趋岸现象比较明显。与测流区域等深线的走向相比较,底层流跨越等深线向浅水区一侧流动的现象也是存在的。图 8 中的实测流速值还表明,5m 层的流速显著偏高,然而观测期间海面十分平静,风速很小,流速受风的影响不大,因此 5m 层的高流速值很可能与锋区强流有关。

实测余流与地转流速相比可以看出,实测流速值普遍小于地转流速值,但其方向与动力高度线的方向比较一致(图 6),这一结果与我们以前得到的结论是一致的(赵保仁, 1987a)。因此,我们认为,在南黄海西部地转流的方向尚能代表实际流场的方向。

根据苏北浅滩外跨锋断面的密度场(1984 年 7 月),我们进行的诊断模式的数值计算(赵保仁等,1992)结果表明,锋区为双室环流,在锋区附近的浅层存在着一个强流区,此强流的左半部(浅水区)为上升流区,右半部(深水区)为下降流区。图 5c—f 中的温、盐度等值线在锋区附近的上抬和下沉现象,正是这一垂直环流存在的明显反映,而前述 5m 层实测余流速度明显偏高也可能是锋区存在强流的证明。

三、结 论

(1) 1990 年 7 月的海上调查和卫星遥感资料均表明,在苏北浅滩外侧的海底沙脊处存在着海面冷水和浅水锋现象,从而说明那里的海底陡坡及水下沙脊对海面冷水和浅水锋的分布变化有明显的制约作用。

(2) 实测余流和地转流的比较表明,这里的动力高度线能较好地反映海水运动的基本特征,两者均显示在锋区附近上层存在着较强的海流运动。

(3) 锋区附近的温、盐度分布特征表明,锋面左侧的浅水区存在着上升流,右侧的深水区存在着下降流,从而进一步给浅水锋区附近存在双室环流现象提供了佐证。

(4) 卫星遥感资料均表明,苏北浅滩外侧的冷水和锋面分布有明显的时空变化,进一步了解它们的变化规律是十分重要的。我们过去的研究表明,海面风应力的变化是产生这种变化的重要原因之一(赵保仁等,1992);从本次调查结果看出,沿岸低盐水的入侵所引起的浮力增大是产生这种变化的又一重要因素。

参 考 文 献

- 中国科学院海洋研究所、地理所,1977,渤、黄、东海海面热量平衡图集,科学出版社,158。
赵保仁,1987a,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。
赵保仁,1987b,黄海潮生陆架锋的分布,黄渤海海洋,5(2): 16—23。
赵保仁、涂登志、毕亚文,1992,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,海洋科学,2: 41—45。
Lie, H.-J., 1989, Tidal fronts in the southeastern Huanghai(Yellow Sea), *Continental Shelf Research*, 9(6):527—546。

OBSERVATIONS AND ANALYSES OF THE SHALLOW WATER FRONT IN THE OUTSIDE OF THE SUBEI SHOAL*

Zhao Baoren, Tu Dengzhi and Bi Yawen

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

This paper reports the main results of oceanographic investigations of the shallow water front area outside the Subei (Northern Jiangsu Province) Shoal. The observations showed that the surface cold water and the shallow water front were restricted by an underwater sand ridge stretching northward. Comparison of the geostrophic current with the measured current showed that the dynamic height could be used to describe the scheme of water movement in this area. A strong current in the upper layer near the front, the upwelling in the left shallow water area of the front, and the downwelling in its right deeper water area were all identified by the current data and the distributions of temperature and salinity. Notable variations of distributions of the surface cold water and the front were also found according to measured temperature data and remote sensing data from satellite.

* Contribution No. 2144 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.