

秋末寒潮大风作用下南黄海西部 流场及温、盐度变动特征分析^{*}

赵保仁 徐丹亚 杨玉玲

井传才

(中国科学院海洋研究所)

(青岛气象台)

1983 年 11 月中美首次在南黄海西部开展水文和地质联合调查,该调查共设 5 个浮标站和 54 个 CTD 站,其中 CTD 站所获的温、盐度和溶解氧、透光度资料早已有过一些报道,并获得了一些有益的结论(丁宗信等,1986;熊庆成等,1986;赵保仁等,1986)。但对这次调查所取得的浮标测流资料尚未有人进行认真的分析研究,也未曾报道过。这次测流还是比较成功的,所揭示的现象使人感到振奋,而且这也是迄今在南黄海西部使用浮标最多、时间最长的一次浮标阵测流工作。

本文试图结合 1983 年 11 月调查时的海上风速和沿岸水位变化进行综合分析,并对那里的环流状态提出一些初步看法,以利于对南黄海西部水域的海流变动特征和生成机制进行更深入的研究。

一、材料与方 法

本次调查所设 5 个浮标站和 CTD 站位(如图 1 所示),浮标站分别在 10m 和 30m 层测流,其中 A、B 两站由中方用潜标挂印刷海流计和美制 135 海流计观测,后者未获得满意资料。印刷海流计取样间隔为 15min。C、D、E 三站分别与大面站 16、18、21 相重合,由美方用海面浮标挂矢量平均海流计(VMCM)观测,采样时间间隔为 0.5s,记录 10min 的平均值。整个调查过程为先用金星二号敷设浮标站,然后再用科学一号作大面调查,此期间在海上遇到强寒潮,不得不抛锚避风 2d,CTD 站做完后再用金星二号回收浮标,获得 11 月 11 日至 11 月 23 日之间的测流记录。由图 1 可知,E、D、C 三站在 34°N 线附近,距连云港海洋站较近,A、B 站在 122°30'E 附近,距千里岩海洋站较近。

C、D、E 三站余流为美方用 PL33 低通滤波器处理后得到每小时余流值。由于中方的印刷海流计资料流向稳定性略差,因此我们先用方国洪^①提供的低通滤波器滤掉频率大于 0.5 周/h 的高频波动;又因时间系列较短,而后仅用 25h 滑动平均求得余流时间系列。沿岸海洋站水位和风速资料由国家海洋局信息中心提供,地面天气图资料由青岛市气象

^{*} 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3300 号。

收稿日期:1998 年 12 月 10 日。

① 中国科学院海洋研究所,1986,石油平台水文气象观测报告(内部资料)。

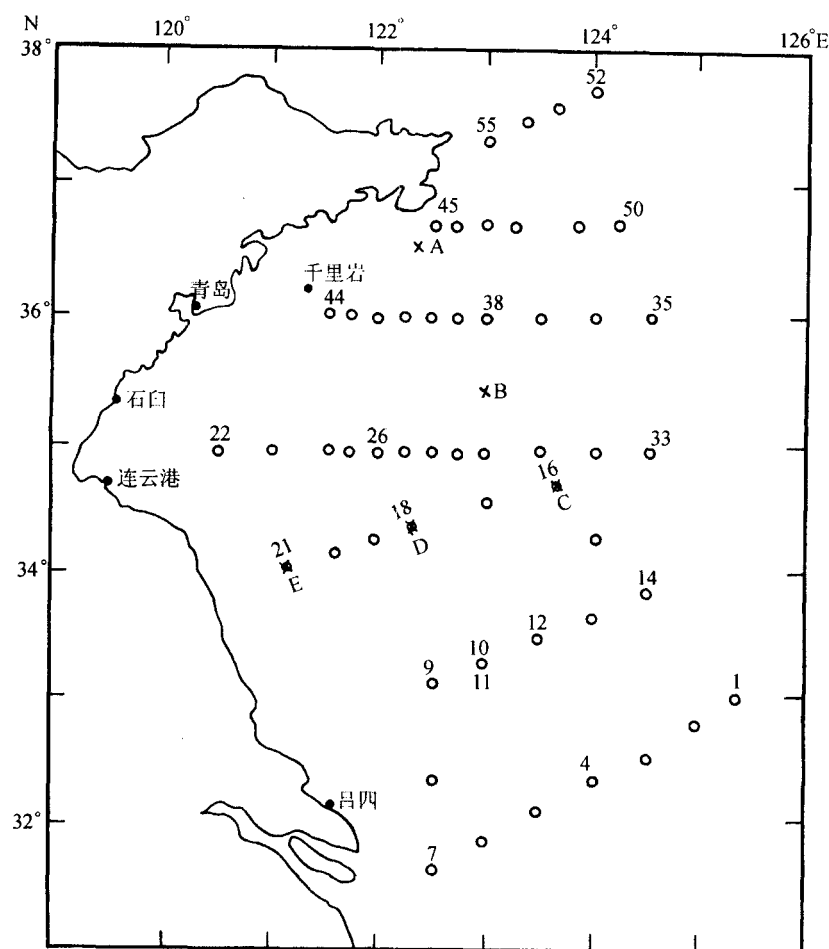


图1 调查站位图

× 浮标测流站; ○ 为 CTD 站; • 为沿岸海洋站

台提供。对水位资料先后用 25h 和 24h 两次滑动平均作滤波处理,以有效地滤掉全日潮和半日潮等振动。

二、寒潮大风作用下流速、水位变动特征分析

浮标站测流期间遇到二次寒潮大风过程,第二次属强寒潮,五个浮标站均有海流记录。图 2 给出了第二次寒潮冷锋移动及 11 月 16 日 08 时(北京时)地面等压线和沿海实测风速分布,由图可见这次寒潮大风相当强,沿岸气象站记录到 22m/s 以上高风速,阵风风速达 29m/s。本次寒潮移动较快,大风只持续 2d 便结束了。

图 3 给出了这次调查所得全部余流矢量时间系列,其中 C,D,E 三站由美方绘制,A,B 两站由本文作者绘制,然后用同样的时间和速度标尺拼到一起,图 3 最上方还给出美方

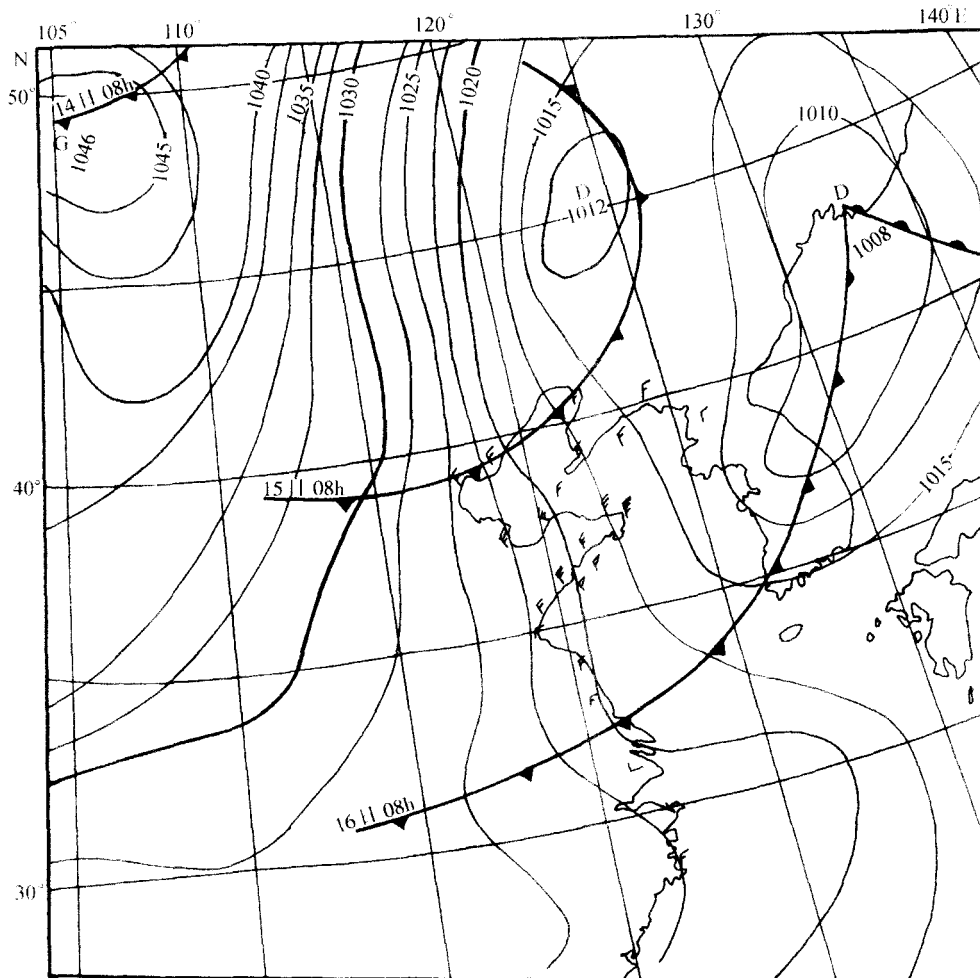


图2 11月14,15,16日08时冷锋位置及16日08时地面等压线和沿岸风速分布
(图中数字代表等压线)

从天气图计算得到的测流水域的地转风应力。为了对海上测流期间的风场变化有所了解,图4给出了沿岸海洋站的风速矢量过程。

由图3,4可以看出,调查海区的余流时间系列有下列变化特征:

(1)余流矢量对寒潮大风的影响十分敏感,每当海面出现偏北大风时,各站余流无一例外地出现偏南向流动,特别是11月16—17日的强寒潮,不同层、不同站余流流速和流向变化过程都十分接近。各站最大流速变化于20—36cm/s之间,其中以A站10m层流速最大,为36cm/s;D站30m层次之,为33cm/s;浅水处E站10m层流速最小,为20cm/s。

(2)在寒潮过后的弱风期,各站余流基本上都出现偏北向流动,其流速一般在8—15cm/s之间变化。与风速相比,北向流的风因子要比南向流大,这表明北向流并非完全

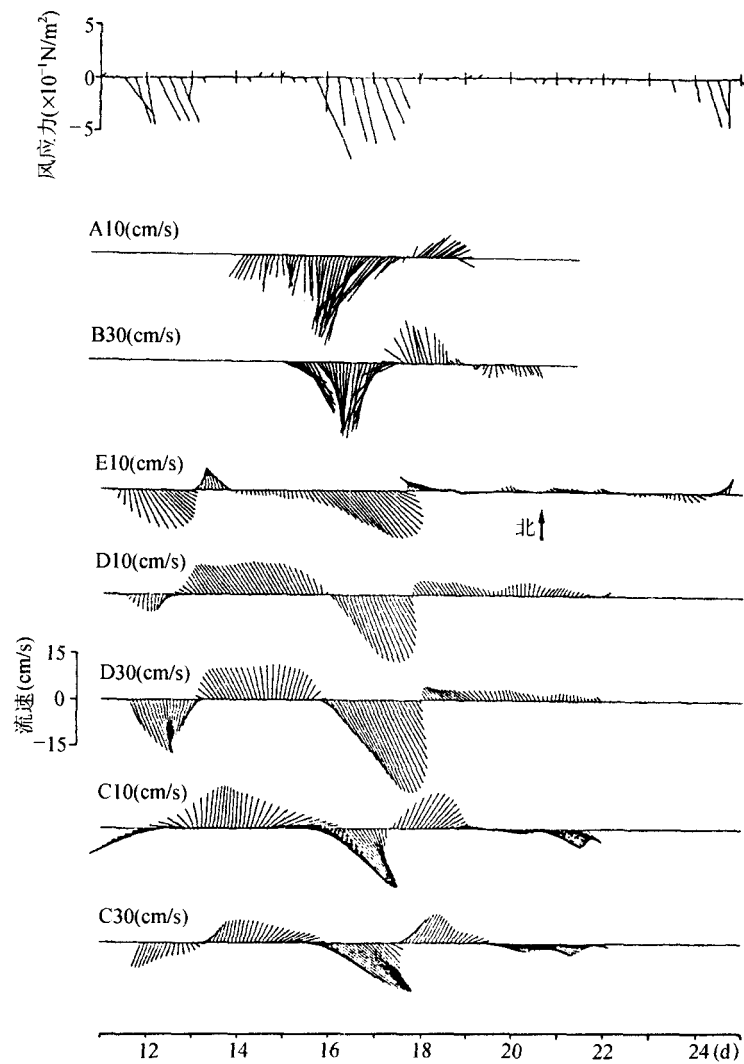


图3 余流矢量过程图
(图中字母表示站号,字母旁的数字表示观测层次)

由偏南风产生,可见此时有非风生的海流存在。

(3)从C站余流矢量图可以看出,在观测初期(16日大风之前),30m层余流明显小于10m层,其后时间内,两层间的流速、流向差别不大,无明显的垂直衰减现象;D站流速时间系列则无此特征,30m层流速反而有略大于10m层之势。从图7将会看到,C站30m层观测初期海流计处在温跃层中,16日大风后才使30m层海流计与10m层同处在混合层中。因此,从C,D两站流速垂直变化特征可以看出,海洋层化对黄海流速垂直结构有重要影响。

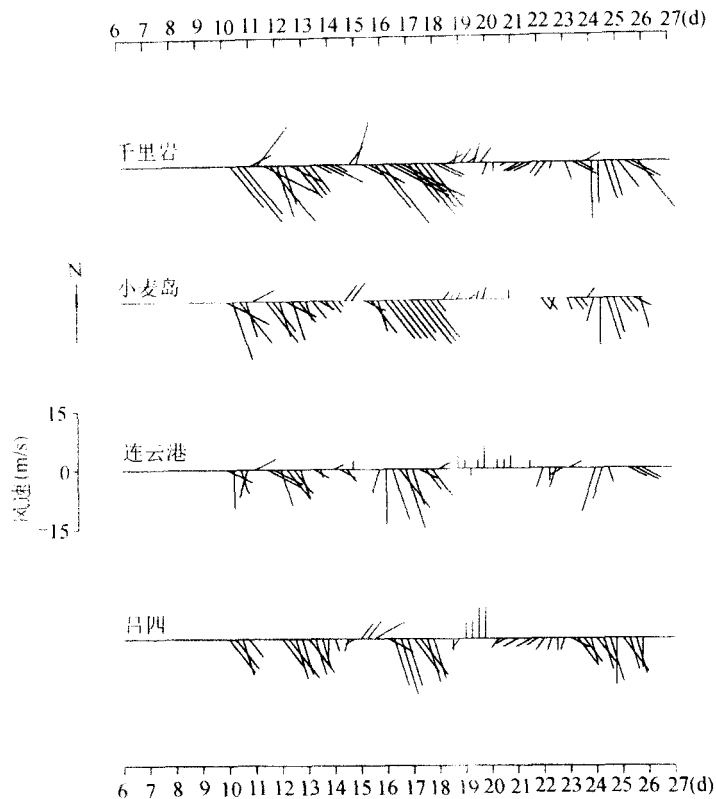


图4 沿岸海洋站风矢量过程图

图5为南黄海西部有关水位站记录经低通滤波处理后的余水位过程曲线。图中的零线是依11月6—26日水位计算得到的平均海面,青岛大港为224cm,吕四为22cm,而青岛、吕四两站多年平均的海平面分别为241cm和33cm,这一次受寒潮大风影响,海面变得更低了。由图5可见,寒潮大风时南黄海西部各水位站由北向南依次出现减水,寒潮过后恢复正常或出现轻微的增水,以第二次寒潮过程为例,青岛大港站出现减水,并于11月16日23时至17日06时出现最低水位,为167cm;石臼、吕四减水时间向后依次推迟,吕四于11月18日09时至13时出现最低水位,为-19cm;青岛、吕四两地出现最低水位的时间差达34h。本次调查期间,青岛、吕四间的最大水位差达46cm,海面坡度约为 1.0×10^{-6} ,海面倾斜相当可观。如与多年平均海平面相比,青岛、吕四两地水位差最大将达53cm,图5最下面一条曲线为吕四水位减去青岛水位所得水位差过程曲线。两次寒潮期间,南黄海西部都出现南高、北低的水位分布,大风后又出现微弱的北高、南低的水位分布。

寒潮期间南高、北低的水位分布对海流将产生两种影响:①由于寒潮风应力指向南,而水位梯度力指向北,因而水位梯度力的存在将限制风生流的发展;②在寒潮减弱之际,南高、北低的水位梯度将促使海水向北流动,使海平面恢复正常,这可能是在两次寒潮期间观测到时间较长的偏北向流动的重要原因。但是,由于摩擦力和科氏力的存在,产生图

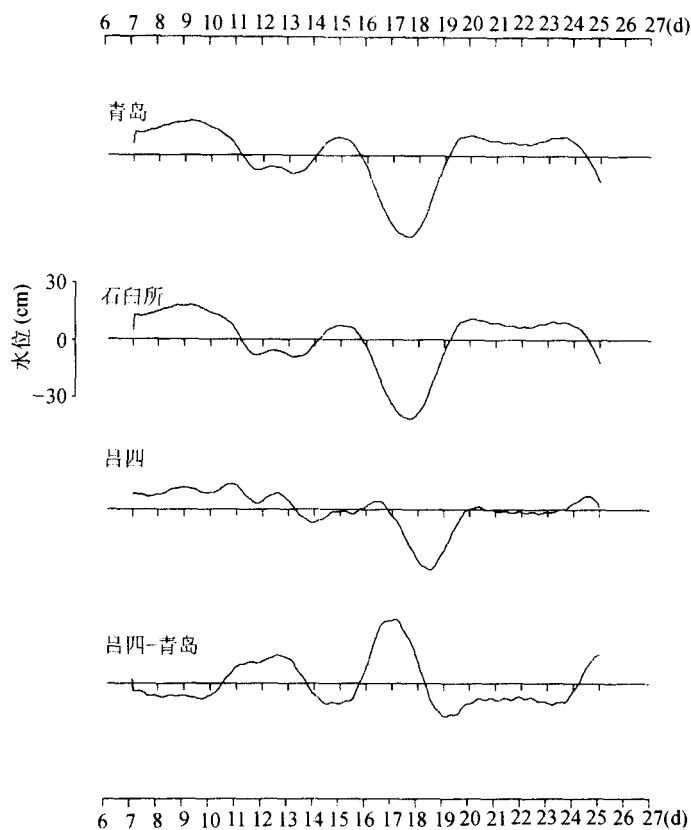


图5 沿岸余水位时间过程曲线

3 所示的余流变化的机理是值得深入研究的。

观测各站(层)的平均余流如图 6 所示,尽管图 3 中的余流矢量方向多变,就时间平均值而言,本次调查所得南黄海西部的余流在北部为西南向,往南逐渐成东南向,这一结果同全国海洋综合调查报告中关于黄海沿岸流的输运方向是一致的,也同赵保仁等(1986)从本次调查所获透光度分布得出的环流输送方向基本一致。

三、寒潮作用下水温变化的分析

图 7 给出测流期间 E,D,C 三站水温连续记录,由 CTD 得到的 E,D,C 三站所在水文断面(V 断面)的温、盐度垂直分布如图 8 所示。

由图 7,8 的温度时空变化可知,E,D,C 三站的海流计除 C30 于 11 月 17 日 08 时(北京时)以前处在温跃层中外,其余在上混合层中。从观测记录得到 E,D,C 三站上混合层的日平均降温速率分别为 $0.276^{\circ}\text{C}/\text{d}$, $0.201^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 和 $0.263^{\circ}\text{C}/\text{d}$,其中以 E 站降温最快,C 站次之,D 站最慢。寒潮大风来临时,降温速率加快,其中尤以第二次寒潮大风最为突出,此期间 E,D,C 站的降温速率分别为 $0.95^{\circ}\text{C}/\text{d}$, $0.57^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 和 $0.92^{\circ}\text{C}/\text{d}$,约为调查期间平

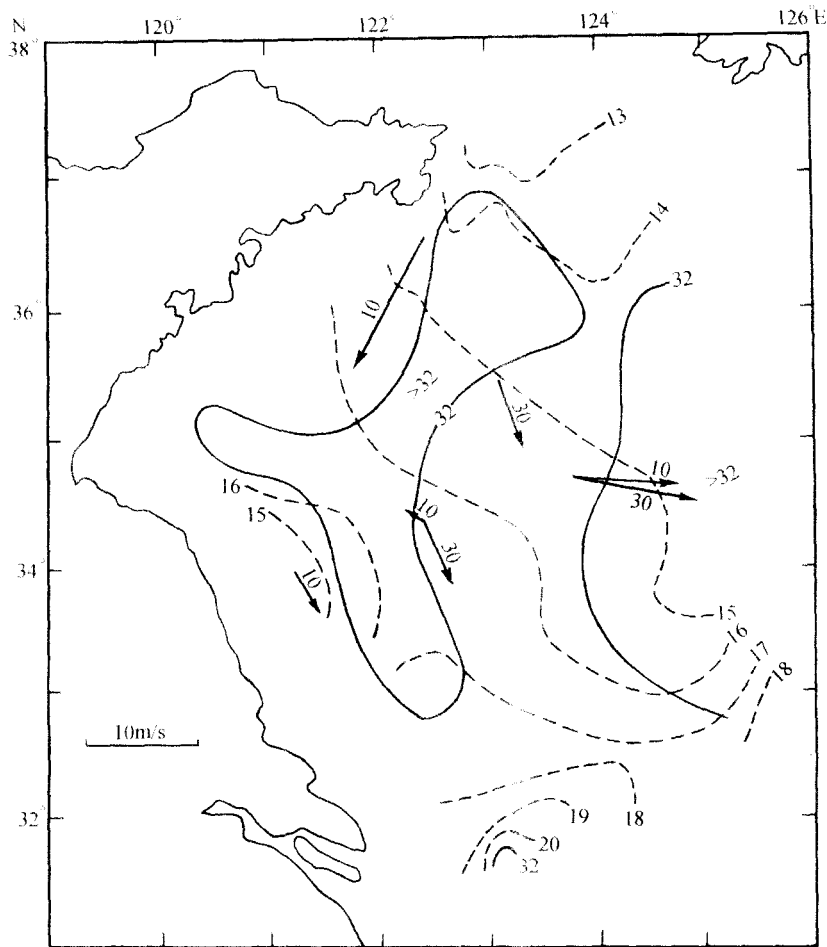


图6 实测平均余矢量及2m层温、盐度分布

——盐度,-----温度

(余流矢量上的数字表示测流层次)

均值的3倍,表明寒潮暴发大大加速了本区海洋的降温速率。C站靠外,水深较深,调查期间已有暖流从底层楔入(丁宗信等,1986),理应降温最慢,但结果却并非如此,说明上述不同降温速率还与三个测流站的上混合层厚度不同有关;E站地处强潮混合区,水体经年呈垂直均匀状态,因此,这里的混合层厚度与水深相等,为18m。从图7可知,D站30m层水温变化趋势与10m层完全一致,量值也十分接近,D站两台海流计始终处在上混合层中,这表明在16日大风降温前D站上混合层厚度至少在30m以上,保守的估计取为35m。从图8可知,大风过后D站恰好位于黄海冷水团锋面外侧的垂直均匀区,均匀层厚达50m,因而整个观测期间D站上混合层平均厚度可取为42.5m。C站与D站有所不同,观测初期30m层温度起伏很大,变幅达 5.45°C ,但其最低温度仍比下混合层中的水温高 1.45°C ,表明C站30m层海流计在观测前期正处在温跃层底部附近,由此可知,这时C

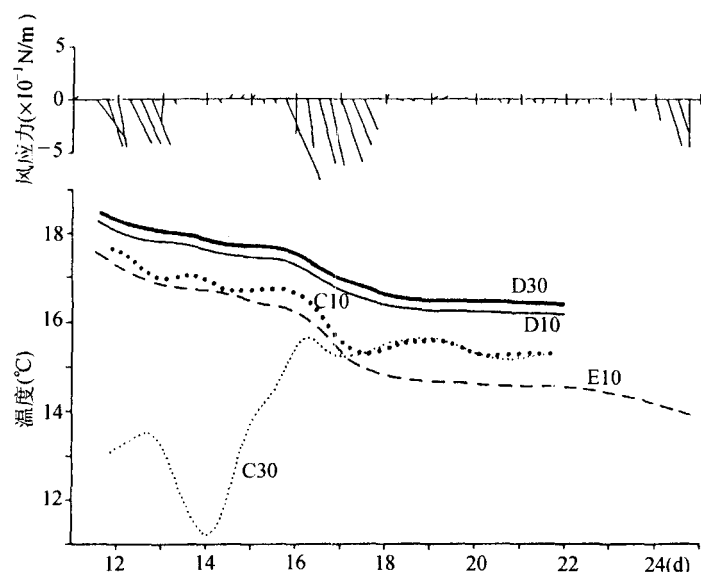


图7 E,D,C三站温度连续变化曲线

站的上混合层厚度大约只有 25m 左右。寒潮大风过后,观测到 C 站的上混合层厚度为 35m(图 8),据此,C 站上混合层平均厚度可取为 30m。如取海水的定压比热为 0.94,则根据各站上混合层的平均厚度值可以估算出 E,D,C 三站在观测期间每天失去的热量分别为:1946J/d,3346J/d和 3090J/d,由此可以看出,虽然 D 站降温慢,但每天失去的热量却最多。

我们进一步计算 11 月 17 日 20 时至观测结束(11 月 21 日 20 时)4d 内 E,D,C 三站上混合层中失去的热量,由观测资料得知,4d 内上混合层中的温度分别降 0.42℃, 0.32℃,0.01℃,再由图 8 得上述三站上混合层厚度分别为 18m,50m,35m,这样计算得的热量损失分别为 740J/d,1567J/d,34J/d。地处冷水团边界附近的 D 站热量仍然是损失最多,这是由于平流效应产生还是上升流效应产生? 作者认为平流效应产生的可能性不大,因为从图 6 的等温线分布(2m 层)可知,E,D,C 三站的平均余流矢量除 C 站与等温线有很小的交角外,其他两站的余流矢量均与等温线相平行,而其余时间系列则大体在平均余流矢量方向上作往复运动,因此可以认为热平流影响较小,因此 D 站过多的热量损失只能归因于垂直运动。与 E 站相比,如果 D 站过多的热量损失全由上升流引起的话,那么利用热通量公式可估算冷水团锋面附近的上升流速 ω ,公式如下:

$$Q_T = \omega(T_D - T_B)C_P$$

式中, T_D 为 D 站混合层水温,取 16℃; T_B 为层化区底层水温,取 10℃, C_P 为定压比热,取为 0.94,则计算得到的上升流速为 $4.3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$,这是一个可以接受的量值。

我们曾多次指出,夏季在黄海冷水团边界区域存在着明显的上升流现象(赵保仁, 1987,1996;赵保仁等,1992),苏纪兰等(1995)的研究也强调了这一上升流现象。以上的粗略计算结果进一步表明,即使在秋末,冷水团边界附近的上升流现象仍然是存在的。为

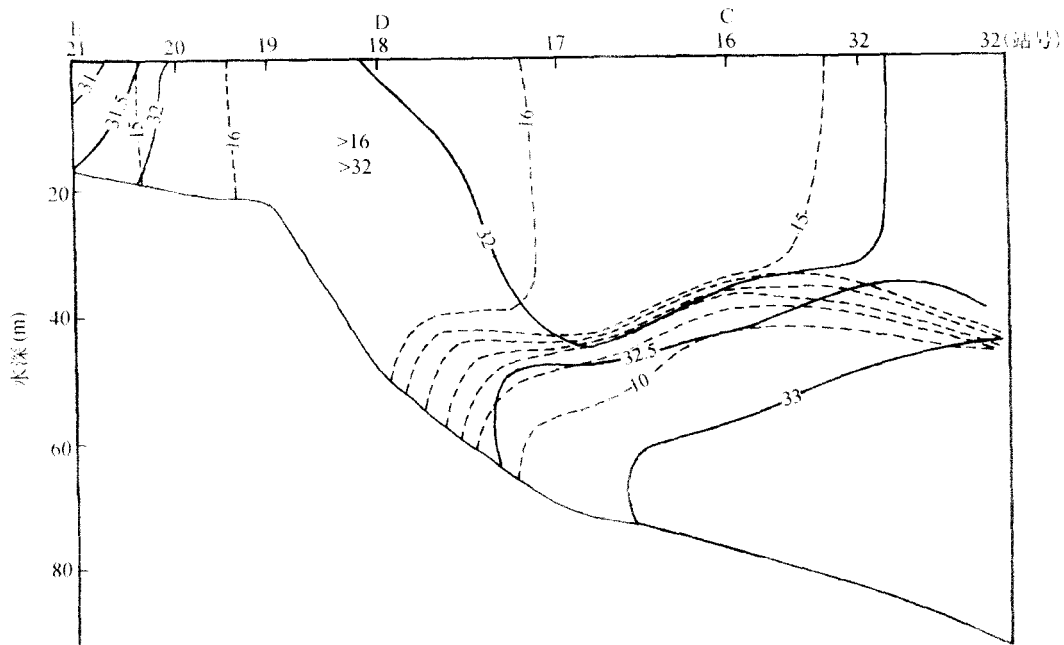


图8 V断面温、盐度垂直分布

(观测时间为1983年11月18日)

——为等盐度,-----为等温线

了寻求更多的证据,我们进一步考察了本次调查所得的温、盐度断面和大面分布特征。

从温度断面分布来看(图8中的虚线),在冷水团边界附近等温线的抬升现象虽不十分明显,但还有迹可循。从盐度断面分布来看(图8中的实线),底层的高盐水在锋区附近可抬升到海面,致使在20站和18站之间形成一个盐度大于32的高盐区。在本次调查中,类似的盐度分布还可见之于其他各断面(图略),为节省篇幅,这里仅给出2m层的盐度平面分布(图6中的实线)。由图6可见,在调查海区的中部存在着一条由北向南大体呈弧状走向的高盐水带(盐度大于32),对照底层的温、盐度分布(丁宗信等,1986),该高盐水带恰巧位于冷水团边界外侧,由此可以比较有把握地指出,即使在秋末,在冷水团边界附近仍然存在着低温、高盐水穿越其边界的涌升现象。

四、结 论

(1)余流和余水位的测量结果表明,南黄海西部海水对偏北向寒潮大风响应极为敏感,每当海面出现偏北大风时,各站余流无一例外地指向偏南方向,并使海面产生南高、北低的显著倾斜。而在两次寒潮间的弱风期,不论风向如何,各站余流都流向偏北方向,使海面基本恢复正常。

(2)寒潮使上混合层中的海水降温加速,其降温速率可达观测期间平均值的三倍以上。降温过程中冷水团边界附近测站损失热量最多,分析表明,这种过多的热量损失是由冷水团边界附近的存在的上升流现象所造成的。

参 考 文 献

- 丁宗信、胡敦欣、熊庆成,1986,南黄海秋末温、盐度垂直结构及其与环流关系的分析,海洋科学集刊,27:87—96。
- 苏纪兰、黄大吉,1995,黄海冷水团环流结构,海洋与湖沼(增刊),26(5):1—7。
- 赵保仁、胡敦欣、熊庆成,1986,秋末南海的透光度及其与环流的关系,海洋科学集刊,27:97—106。
- 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。
- 赵保仁,1996,北黄海冷水团环流结构探讨-潮混合锋对环流结构的影响,海洋与湖沼,27(4):429—435。
- 赵保仁、涂登志、毕亚文,1992,黄海西部 34°N 潮生陆架锋的多年变化及跨锋断面环流结构,海洋科学,2:41—45。
- 熊庆成、丁宗信、赵保仁,1986,秋末南海冷水团区溶解氧垂直结构及其最大值的分析研究,海洋科学集刊,27:107—114。

CHARACTERISTICS OF CURRENT AND TEMPERATURE VARIATIONS IN THE WEST PART OF THE SOUTHERN YELLOW SEA UNDER STRONG WIND ACTION OF THE COLD WAVES IN THE LATE AUTUMN*

Zhao Baoren, Xu Danya, Yang Yuling

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

Jing Chuancai

(*Qingdao Meteorological Observatory*)

ABSTRACT

Analysis of measured data from five buoys enplaced in the southern Yellow Sea by a joint China and USA investigation team during November, 1983 revealed the characteristics of current and water temperature variations there, and the highly sensitive response of residual current to the strong winds of a cold wave. Strong north wind forcing on the surface, induced strong southward residual currents at the every buoy station. During a weak wind period between two successive strong cold waves, wind whatever direction always induced about 5-15cm/s northward residual currents. Strong cold wave in the west part of the southern Yellow Sea caused the sea surface level to be high in the south and low in the north. The measured maximum sea surface slope was 1.0×10^{-6} . During cold waves the dropping rate in the water temperature in the upper homogenous layer was thrice the averaged value in measurement periods. It was found that the heat loss of the water column was maximum at the boundary of the cold water mass. From the distributions of temperature and salinity and the heat lost the authors consider that the water will upwell along the boundary of the Yellow Sea Cold Water Mass in the late autumn as in summer.

* Contribution No. 3300 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.