

黄海南部及东海北部夏季若干水文特征*

赵保仁 R. Limeburner[†] 胡敦欣 崔茂常

(中国科学院海洋研究所, 青岛, 266071)

([†]Woods Hole Oceanographic Institution, MA, U.S.A.)

提要 本文就近几年作者在黄海南部和东海北部进行调查研究(夏季)的主要成果予以阐述, 结论为: (1)南黄海底层冷水可进一步划分为三个次级水团; (2)潮混合对黄海冷水团边界和黄海温跃层等有重要影响, 它还形成海面的陆架锋; (3)夏季南黄海上层存在着闭合的密度环流, 而黄海沿岸流性质上属锋面强流, 济州岛西南存在着气旋式海水运动; (4)黄海暖流不再深入黄海冷水团内部, 但其内部可能存在着方向相反的一对弱环流; (5)长江口海区存在着可能是因台湾暖流逆坡行进产生的上升流现象。

黄海是一个半封闭的陆架浅海。研究海区的水深分布如图1所示。

关于南黄海及东海北部的夏季水文基本特征, 已有许多描述, 较早、较系统的描述是由毛汉礼等^[2]、Nakao^[17]等作出的。但是, 他们未能揭示潮混合所形成的黄海陆架锋和上升流现象, 也没有涉及夏季黄海暖流的途径、黄海冷水团内部的水文结构等重要问题。本文主要利用中、美南黄海合作调查资料, 对南黄海及东海北部夏季的主要水文现象作一扼要的阐述。

中美南黄海合作调查, 其中夏季的两次为1984和1986年的7月, 分别由中国科学院海洋所“科学一号”和美方“华盛顿”号调查船执行, 后者的调查海区扩展至南黄海东部及东海北部海区(图1)。

1. 黄海冷水团内部结构

对黄海深底层的冷水, 一向认为是冬季保留下来的均一水体。然而1984年7月的调查结果表明, 黄海深底层的冷水是由不同性质的次级水团组成的^[20]。1986年7月调查进一步证实了这一结论。从图2可以看出, 在体积 $T-S$ 图中黄海深底层的冷水主要集中在三个区域。其一在 $S = 32.2$, $T = 6.5^\circ\text{C}$ 附近, 在图3中亦即为分布在南黄海东、西两冷中心处的水体; 其二集中在 $S = 33.2$, $T = 8.5^\circ\text{C}$ 附近, 在图3中亦即为沿 123°E 分布的高温、高盐水体; 其三集中在 $S = 33.4$, $T = 11^\circ\text{C}$ 附近, 于南黄海该水体仅存在于济州岛西部面积较小的海域, 并同济州岛南面的高温、高盐水舌相连。尽管第二、第三两个水体同属高温、高盐体系, 但第三个水体的密度反而小于第二个。在温度平面分布图中, 两者之间又存在着明显的锋面, 从而显示其温、盐、密等属性的明显差异。因此上述三种不同 $T-S$ 值的水体, 可认为是构成黄海底层冷水的三个次级水团, 并可分别命名为黄海本地冷水; 冬、春季的黄海暖流残留水; 夏季的黄海暖流水。前两者是冬末保留下来的, 第三个

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1624号。

收稿日期: 1989年3月24日。

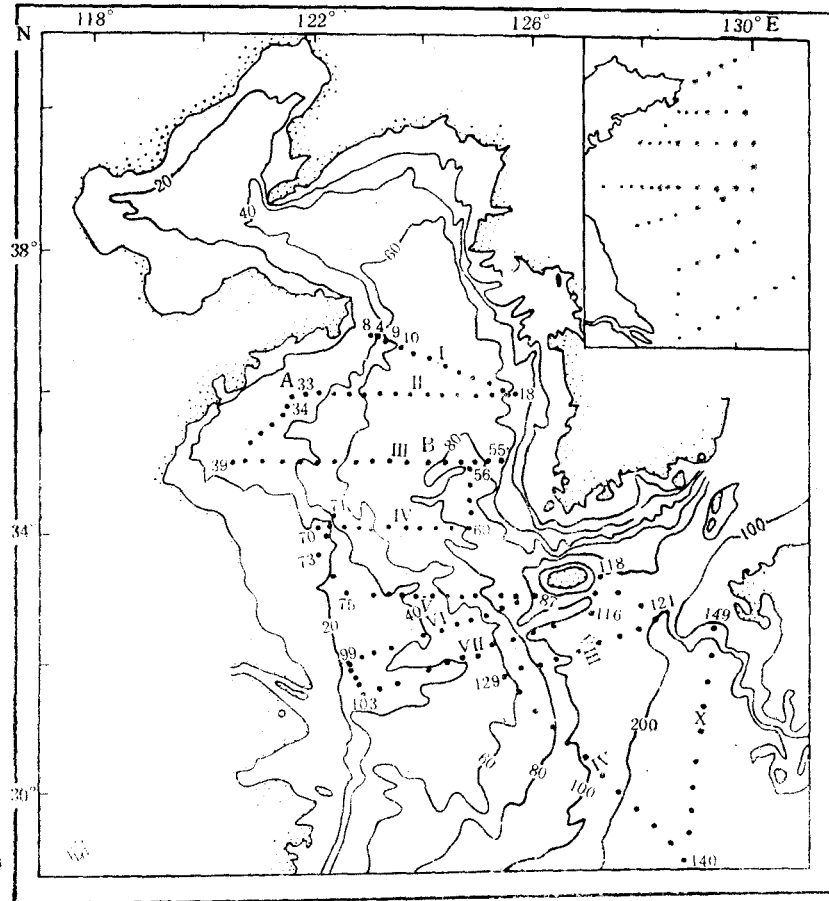


图1 黄海、东海的水深分布和1984, 1986年7月的调查站位图

Fig. 1 Distribution of water depth in the Yellow Sea and East China Sea and the hydrographic stations in July, 1984 and 1986

次级水团则同夏季的黄海暖流相联系。由于黄海冷水团边界及其以外区域还存在着混合区和沿岸水区, 如此可以把夏季南黄海的“底层”¹⁾各水团的分布绘成图 2b 所示。

2. 黄海的陆架锋和锋区上升流现象

这里所说的陆架锋是指因潮流的湍流混合形成的锋面, 其位置常与表示潮混合强弱的参量 $K = \log_{10}(H/U^3)$ 的特定值相联系。Beardsley^[4] 和赵保仁^[5] 曾分别计算过黄海的 K 值。后者用近最大潮流流速来计算 K , 在阐明黄海的层化现象、陆架锋的分布和黄海冷水团的边界等重要问题中取得明显效果^[4,7]。

根据卫星图片(图版 1), 黄海最明显的陆架锋分布在苏北浅滩外侧、成山角外海、渤海海峡、朝鲜西岸的西朝鲜湾和江华湾口及木浦外海^[6,7]。

1986年7月断面测站距岸较远, 未能剖及陆架锋的全貌, 但是1984年7月调查中, 我们曾获得南黄海西部海域陆架锋区的水文结构概貌。从文献[6]图3和6可知, 在锋区

1) 当水深超过 100m 时, “底层”是指 100m 层。

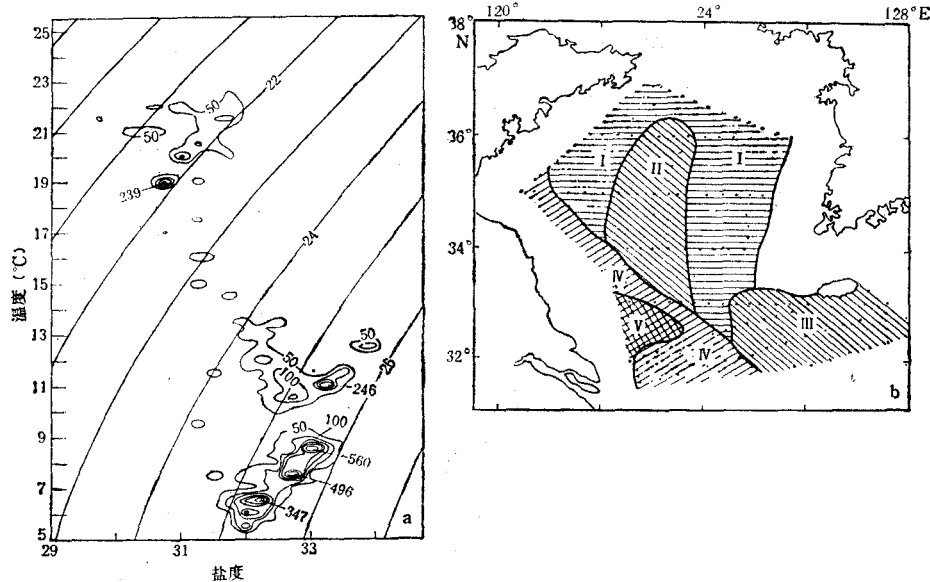


图2 南黄海的体积 $T-S$ (a) 及“底层”水团分布(b)

Fig. 2 Volume $T-S$ graph (a) and distribution of the “bottom” water mass (b) in southern Yellow Sea

- I. 黄海本地冷水; II. 冬季的黄海暖流残留水; III. 夏季的黄海暖流水;
IV. 混合区; V. 沿岸水区。

附近黄海深底层的高盐冷水可上升到海面附近。较早人们一向只注意冷水团中心区域的上升流问题,但陆架锋区的温、盐等要素的分布表明,黄海冷水团边界区域的上升流现象可能比中心区域更显著^[6,12]。

3. 南黄海的季节性温跃层

由于一直到秋末,黄海底层还保留着前一个冬季形成的冷水——黄海冷水团^[2],因此黄海的季节性温跃层持续时间长,分布范围也相当广泛。为阐明黄海的强跃层究竟分布在哪里,首先给出 $35^{\circ}N$ 断面各站的温度剖面(图4)。从图4可以看出:夏季,断面两端水深较浅处温跃层薄而强,上混合层较浅;断面中部水深较大处跃层厚度大、强度弱,上混合层较深。于秋末,随着上混合层的加深,浅水区域的强跃层逐渐解体,而在断面中部水深较大处,形成跃层厚度很薄、梯度大的强跃层。由文献[8]图2,6可知,夏季南黄海的强跃层分布在青岛外海、苏北浅滩以东海区、长江大沙堆的北坡区域以及朝鲜沿岸外海等地。南黄海中央区域为弱跃层区,只有到秋末才形成新的强跃层区。

为了说明黄海温跃层的季节变化特点,我们利用1979年标准断面调查资料,给出两个代表性测站A和B的温度垂直剖面年变化图(图5),分别代表夏季为强跃层区和弱跃层区的变化特征。由图可知,在整个增温季节,A站的上混合层深度基本不变,而下均匀层中的温度逐月升高。但在B站,增温季节的上混合层深度不断变浅,下均匀层中的温度几无变化,其年变化特征与大洋中的季节性温跃层非常相似。

观测表明,渤、黄海夏季为强跃层区的温度剖面,均有图5a所示的年变化特征;夏季

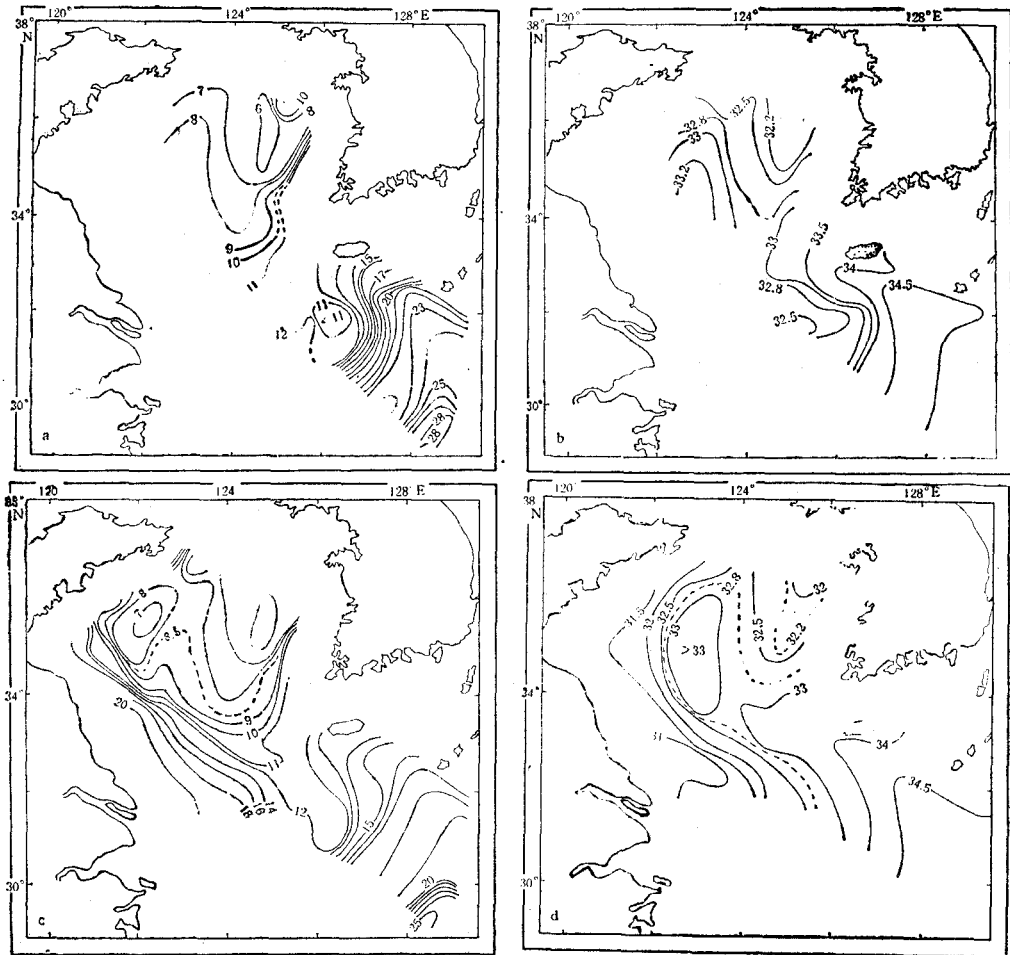


图3 50m及“底层”的温、盐分布

Fig. 3 Distributions of T and S at the 50m and “bottom layers”

a. 50m 温度; b. 50m 盐度; c. 底层温度; d. “底层”盐度。

为弱跃层的深水区,温度剖面均有图 5b 所示的特征。研究表明,上述两类不同特征的温度剖面主要与不同地区潮流湍流摩擦强度有关^[8]。

4. 南黄海及东海北部夏季环流特征

由于缺乏实测流速资料,这里主要从温、盐等资料来推断调查海区的环流特征。

(1) 南黄海的冷水团环流 南黄海深底层有范围广阔的冷水团,在其边界区域海面还有相当显著的陆架锋存在。与此质量场相适应,必有一气旋式的环流存在。1986年7—10月投放的漂流浮标轨迹表明,南黄海上层确实存在着气旋式的环流(图 6b),并与1986年7月的地转流场(图 6a)相一致。在靠近中国大陆一侧,地转流场大体同实测余流一致,已为较早的观测资料^[1]和1984年7月的测流资料^[6]所证实,并为张法高等人所投放的漂流瓶和漂流卡资料所揭示^[19]。因此,我们较有把握地认为,夏季南黄海上层存在着气

1) 全国海洋综合调查报告第5册,1964年,41—42页。

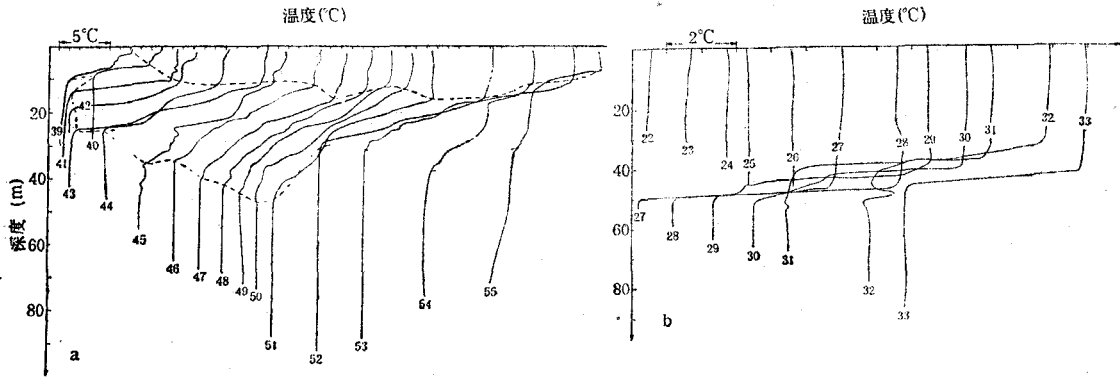


图4 35°N 各站温度垂直剖面分布图
 Fig. 4 Profiles of temperature along 35°N
 a. 1986年7月; b. 1983年11月。

旋式的冷水团环流,其平均流速较小,一般不足5cm/s。

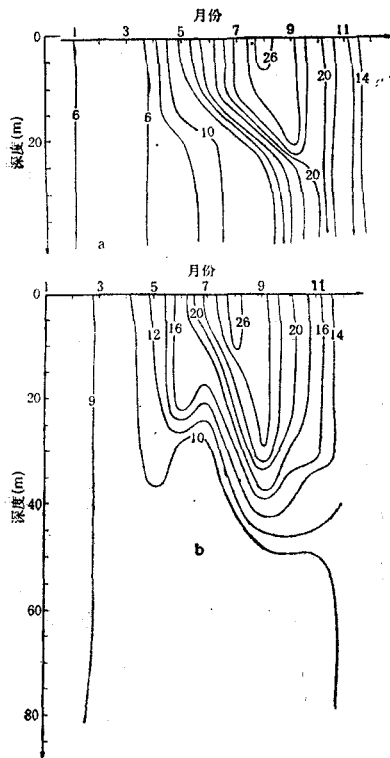


图5 两个代表性测站的温度垂直剖面
 年变化特征(引自文献[8])

Fig. 5 Annual variation of temperature
 profile at two typical stations

a. A站,青岛外海; b. B站,南黄海中部。

平均流速较小,只有3—5cm/s左右。

(2) 黄海暖流与济州岛西南的冷涡旋 从调查所得温、盐平面分布图及水团分析可知,夏季的黄海暖流水没有进入黄海内部。它的可能去向有三:其一、沿济州岛海岸,折向济州海峡,向东重新并入对马暖流;其二、沿黄海冷水团东边界,同当地水混合后继续北上;其三、折向济州岛西南方向,形成济州岛西南的气旋型海水运动。从漂流浮标揭示的海水运动来看,黄海暖流有向前面两个区域扩张的可能。黄海暖流绕过济州岛,经济州海峡向东重新并入对马暖流,也为数值计算结果所证实^[18]。

关于第三个可能途径,从50m层的温、盐分布(图3)来看,济州岛南部确实存在高温、高盐水向西南方向扩展的趋势。几乎历史上每次调查都发现有类似的现象,并同一些实测海流的运动方向基本一致^[5]。赵保仁称上述指向西南方向的流动为黄海暖流西分支^[5]。该分支的存在,对济州岛西南海区气旋式海水运动^[3,15]有重要贡献。关于这一气旋型涡旋运动已有很多观测^[3,5,15]。1986年调查中投放的漂流浮标, No.6987, 尽管投放水层较浅,易受风生流动的影响,其运动轨迹仍然进一步证实了这一涡旋的存在。

综上所述,我们断言,夏季黄海暖流西分支是存在的,济州岛西南的冷涡旋运动是存在的。它们的

(3) 长江口处的上升流现象

夏季长江冲淡水的转向现象已成为许多人关心的重要研究课题。然而，在冲淡水问题上人们常忽视一个重要现象：夏季的长江冲淡水在其层化以后，常被长江口外的高盐水截成两段，亦即在外海的长江冲淡水与长江口处的淡水源之间有一高盐区相隔。如1986年7月和1980年6月^[10]，1984年6月等。或者在长江口外，至少可观测到淡水厚度明显变薄，下层的高盐水上升到5m层附近，如1981年8月^[4]，1985年8月和1986年5月等^[1]。底层的高盐水上升到海面或5m层附近，表明这一海区存在着尚未被重视的上升流现象。这一上升流现象，可能同以下两种运动有关：台湾暖流的向北流动和冲淡水外泄时所形成的吸卷作用。这两种流动在长江口外，都是逆底坡流动的，因而地形对海流的抬升影响，可能是形成长江口区上升流的主要动力因素。

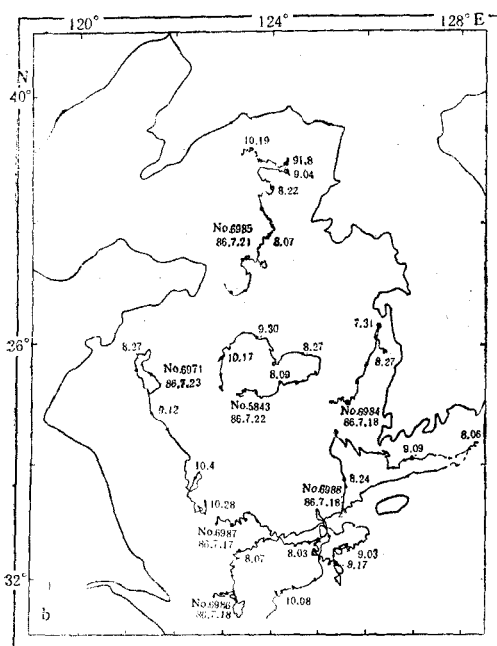
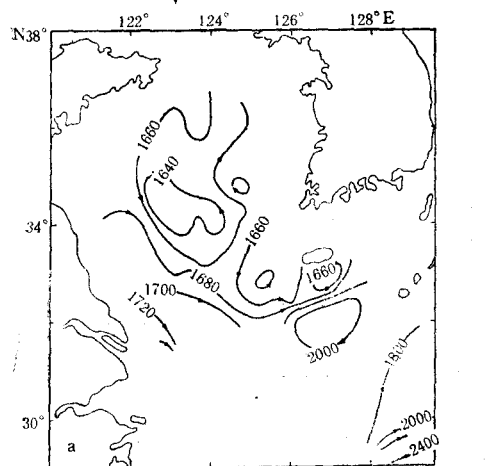


图6 1986年7月表层地转流场(a)及1986年7—10月10m层漂流浮标轨迹图(b)

Fig. 6 The geostrophic current at surface in July, 1986(a) and the tracks of drift buoys at 10m in July to Oct., 1986 (b)

(4) 黄海西部的沿岸流 黄海西部沿中国大陆一侧，终年有盐度较低

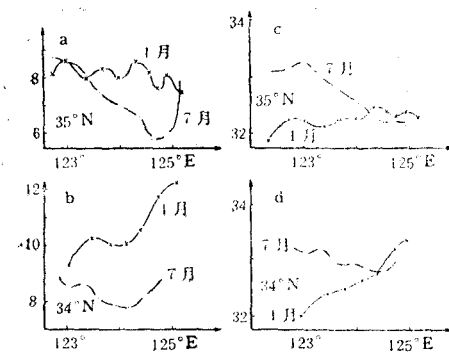


图7 1986年1月和7月温、盐沿纬向变化
Fig. 7 Parallel variation of T and S of deep water in Jan. and July, 1986
a, b. 温度(°C); c, d. 盐度。

黄海沿岸流南下。夏季由于存在着黄海冷水团和陆架锋，黄海沿岸流同冷水团环流方向基本一致，并具有地转性质。南黄海西部的黄海沿岸流有两个高流速区，一个在山东半岛东部近海，另一个在苏北浅滩外侧。根据文献[19]，青岛以东的山东南部近海，还存在着

1) 赵保仁, 乐肯堂, 朱兰部, 1986. 长江口调查海区水文基本特征(手稿)。

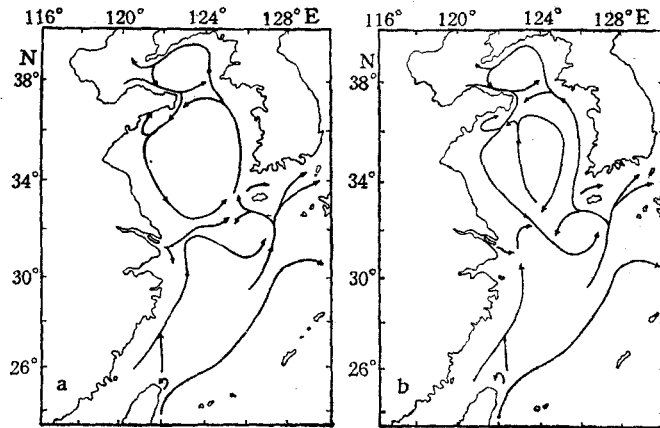


图8 夏季南黄海及东海的环流模式

Fig. 8 Scheme of the circulation in Southern Yellow Sea and East China Sea

a. 上层; b. 下层。

一个反气旋式的海水运动。在山东半岛东南近海,有很厚的近代沉积^[16],则是该环流形成的堆积物。

(5) 黄海冷水团内部的弱环流 如前所述,黄海冷水团内部在 123°E 线附近有向北伸展的高温、高盐水舌,在其东侧有低温、低盐水舌向南扩张(图 3)。另外,我们还阐明了夏季的黄海暖流不再进入黄海内部区域。文献[20]还指出春、夏季节黄海冷水团内部还存在着高温、高盐水的向北传播现象。据此赵保仁等曾推测黄海冷水团内部存在着—对方向相反的弱环流。根据1986年1月和7月的调查资料,我们还进一步发现:沿 35°N 和 34°N 线,40m 及以深的温、盐度值,从1月到7月断面西部各站的盐度随时间明显增加,断面东部各站盐度值略有降低;断面西部温度少变,断面东部显著降温(约 1.5—2.5°C)(图 7)。这些现象可看作黄海冷水团内部存在着弱环流的又一重要佐证。

最后,我们将南黄海和东海的环流趋势概括为图 8 的模式。

参 考 文 献

- [1] 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流系的关系的分析。海洋科学集刊 27: 87—95。
- [2] 毛汉礼、任允武、孙国栋,1964。南黄海及东东北部(28°—37°N)夏季的水文特征及海水类型(水系)的初步分析。海洋科学集刊 01: 23—77。
- [3] 胡敦欣、丁宗信、熊庆成,1984。东东北部一个气旋型涡旋的初步分析。海洋科学集刊 21: 87—100。
- [4] 赵保仁,1985。黄海冷水团锋面与潮混合。海洋与湖沼 16(6): 451—460。
- [5] 赵保仁,1986。东东北部气旋型涡旋区的海流结构。海洋与湖沼论文集。科学出版社,31—42页。
- [6] 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。
- [7] 赵保仁,1987b。黄海潮生陆架锋的分布。黄渤海海洋 5(2): 16—23。
- [8] 赵保仁,1989。渤、黄海及东东北部强温跃层的基本特征及形成机制的研究。海洋学报 11(4): 401—410。
- [9] 蓝淑芳、顾传成、付秉照,1985。渤海、黄海、东海水温垂直结构的统计特征。海洋科学集刊 25: 11—25。
- [10] Beardsley, R. C., R. Limeburner, Hu Dunxin et al., 1983. Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea during June, 1980. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to East China Sea. China Ocean Press, pp. 265—284.
- [11] Fang Guohong, 1986. Tide and tidal current charts for the marginal sea adjacent to China. C. J. Oceanol Limnol. 4(1): 1—16.

- [12] Guo B. and Z. Xia, 1984. An analytical model of upwelling induced by tidal current past a peninsula. *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*, ed by T. Ichiye. Amsterdam Exford New York, pp. 123—142.
- [13] Keller, G. H. and Ye Yincan, 1985. Geotechnical properties of surface and near-surface deposits in the East China Sea, *Continental Shelf Res.* 4(1—2): 159—174.
- [14] Limeburner, R. R. C. Beardsley and Zhao Jinsan, 1983. Basic hydrographic characteristics of the studied area. Proceedings of international symposium on sedimentation on the continental shelf, with special reference to the East China Sea. China Ocean Press, pp. 261—269.
- [15] Mao Hanli, Hu Dunxin and Zhao Baoren et al., 1984. Mesoscale eddy movement in northern East China Sea. *C. J. Oceanol. Limnol.* 1(3): 237—247.
- [16] Milliman J. D., Li Fan, Zhao Yiyang et al., 1986. Suspended matter regime in the Yellow Sea. *Progress in Oceanography* 17(3—4): 215—227.
- [17] Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *J. of the Faculty Marine Science and Technology*, special Number 1977: 199—234.
- [18] Yuan Y. and J. Su, 1984. Numerical modelling of the circulation in the East China Sea. *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*, ed. by Ichiye. Amsterdam Oxford, New York, pp. 167—186.
- [19] Zhang Fagao, Mao Hanli and Leng Yangui, 1987. Analysis of drift bottle and drift card experiments in Bohai Sea and Hunghai Sea (1975—1980). *C. J. oceanol and Limnol* 5(1): 67—72.
- [20] Zhao Baoren, Xiong Qingchen and Zhang Fagao, 1986. The internal hydrographic structure of the Huanghai Cold Water Mass (HCWM) in summer. *C. J. Oceanol and Limnol* 4(1): 27—40.

OCEANOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE SOUTHERN YELLOW SEA AND THE NORTHERN EAST CHINA SEA IN SUMMER*

Zhao Baoren, R. Limeburner[†], Hu Dunxin and Cui Maochang

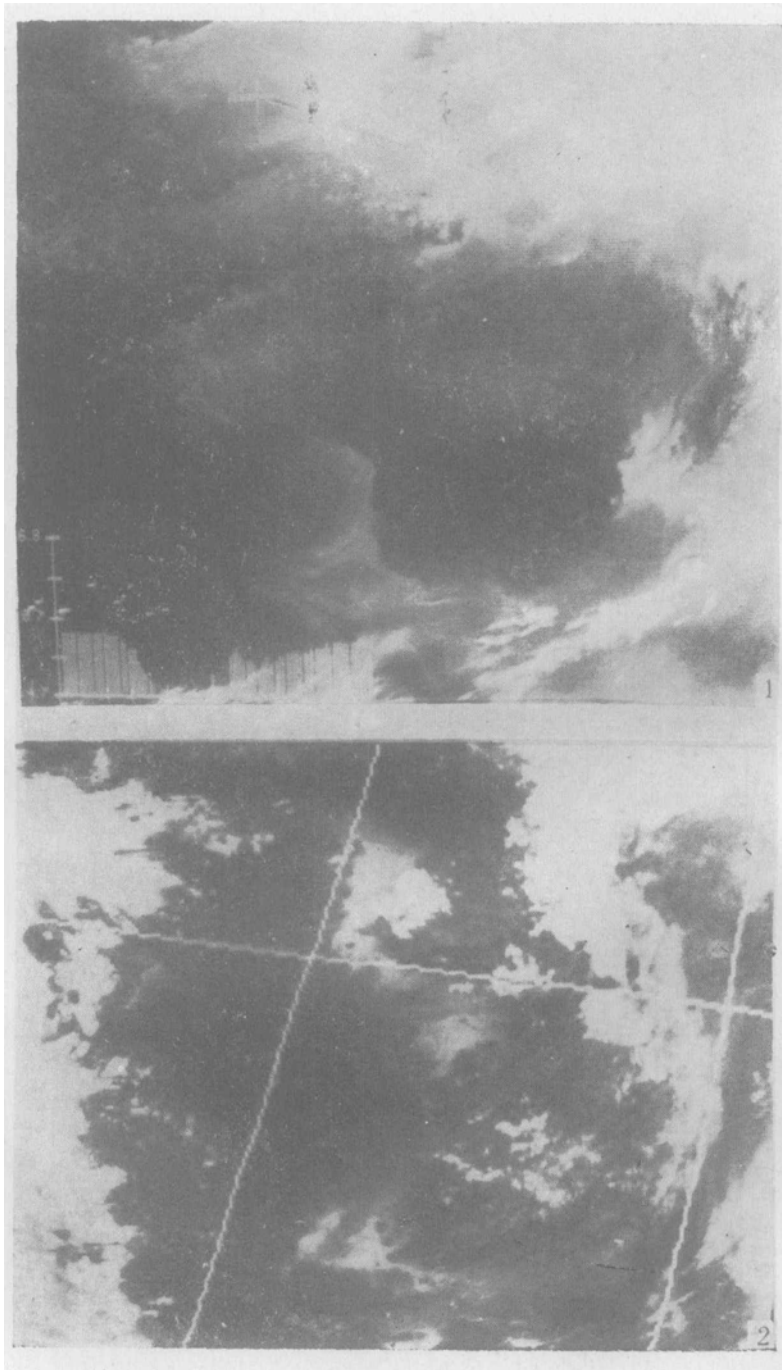
(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao, 266071)

(†Woods Hole Oceanographic Institution, MA, U. S. A.)

ABSTRACT

Results of recent investigation in southern Yellow Sea and the northern East China Sea in summer show that. 1) the bottom cold water in southern Yellow Sea i.e. Yellow Sea Cold Water Mass could be divided into three secondary water masses: Yellow Sea Native Cold Water, Remainder of Yellow Sea Warm Current Water in winter and spring, Yellow Sea Warm Current Water in summer; 2) the border of the Yellow Sea Cold Water Mass is controlled by tidal mixing, it also forms the continental shelf front and the upwelling in the front zone; 3) because of the tidal mixing the sharp thermoclines in the southern Yellow Sea are distributed in the shallower water areas with sloping bottom, not in the deep valley; 4) a cyclonic density circulation of the cold water mass exists in the up-layer of the southern Yellow Sea; 5) there is a cyclonic water movement from the west-southern part to Cheju-do I.; 6) in summer the Yellow Sea Warm Current does not enter into interior of the Yellow Sea Cold Water Mass, but in its interior a couple of weak circulation with opposite directions may exist; 7) in summer the Yellow Sea Coast Current is a jet along the front of the Yellow Sea Cold Water Mass, it has two strong current areas, one is located in the area east of Shandong peninsula, another is outside the Subei Shoal; 8) Taiwan Warm Current has an important effect on the distribution and variation of Changjiang River Diluted Water, near the mouth area of Changjiang River exists an upwelling which may be caused by Taiwan Warm Current going upwards on sloping bottom.

* Contribution No. 1624 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.



NOAA-6 卫星图片 (CH.4)

Satellite infrared image from NOAA 6

1. 1984年7月15日; 2. 1984年7月20日。