

南黄海秋末温盐度垂直结构 及其与流系关系的分析*

丁宗信 胡敦欣 熊庆成

(中国科学院海洋研究所)

自五十年代末以来,我国对南黄海 124°E 以西海区曾进行过不少的调查研究,对该海区的水文特征、水团结构和海流系统已有了基本的了解^[1-5]。但由于资料的限制,对 124°E 以东海区的情况了解尚少,所以有些问题,如黄海冷水团内部的温盐结构,黄海暖流以何

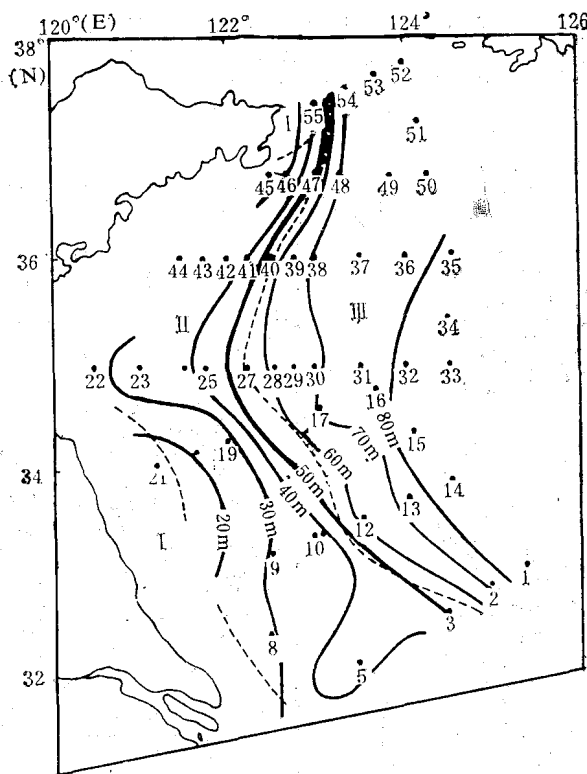


图 1 调查海区站位(以·表示)、等深线(实线)和垂直类型区界线(虚线)分布

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1166 号。

本文是根据中美南黄海环流和沉积动力学联合调查研究所得资料写成。参加这次调查工作的有中美双方的科学家、我室技术组全体成员和“科学一号”、“金星二号”的全体船员;文中插图由白少英同志清绘,在此一并致谢。

收稿日期: 1985 年 3 月 11 日。

种形式和以何路径进入南黄海等等,并不十分清楚。因此本文引用1983年11月中国科学院海洋研究所和美国伍兹霍尔海洋研究所在南黄海联合调查获得的 Mark-III CTD 资料和浮标测流资料(站位见图1),拟对南黄海秋末温、盐度垂直结构及其与流系之间的关系作一初步探讨。

一、温、盐度垂直结构

11月是由秋季到冬季的转换期,因此,温、盐度的垂直分布在浅水区已呈现冬季的垂直均匀型,而在深水区仍保留秋季型的特点。就其垂直分布类型来说,整个调查海区可分为三个区(见图1): I区为山东成山角近海、苏北沿岸和长江口附近;II区在I区外、水深小于60m的海域;III区为60m等深线以深海域。

I区水深大部分小于20m,温、盐度的垂直分布均呈现有变温层和变盐层的正梯度型。上层水的温度和盐度比下层水偏低。在秋季垂直对流逐渐加强的情况下,浅水区出现这种分布完全是由于沿岸低温、低盐的北黄海沿岸水、苏北沿岸水和长江冲淡水向外扩展,叠置在相对高温、高盐水之上造成的。

II区的温、盐度垂直分布均匀,上下水质均一,为典型的冬季型。

III区温、盐度的垂直分布稍复杂些。总的来说,温、盐度垂直分布分别为有跃层的负

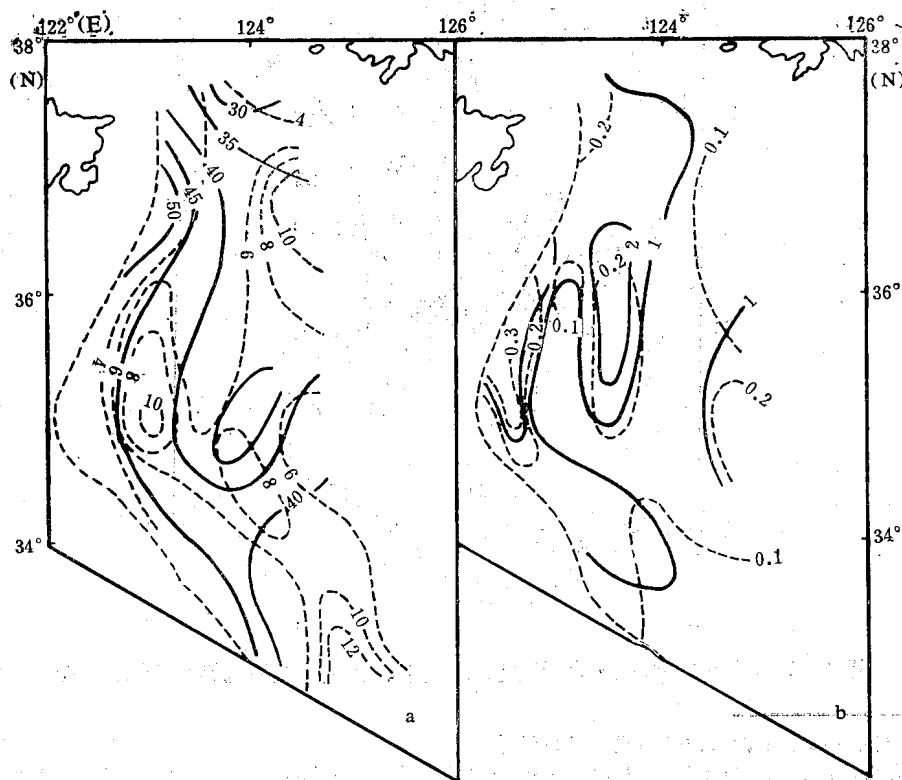


图2 (a) 温跃层上界深度(m,实线)和厚度(m,虚线);(b) 温跃层垂直梯度($^{\circ}\text{C}/\text{m}$,实线)和盐跃层垂直梯度($\text{‰}/\text{m}$,虚线)的平面分布

梯度型和正梯度型。III区各个测站上温、盐和密度三者的跃层所在位置基本一致,以下仅以温跃层的上界深度和厚度(见图2a)以及温、盐度跃层的垂直梯度(见图2b)来概述III区内跃层的基本分布特点。由图2a看出,西部温跃层上界深度大,一般在40—50m层左右;东部小,约在30—40m层之间。温跃层厚度在中心区域和西部边缘区薄,约为2—4m;其他区域,即底层高盐舌所及的区域(参见图5b)比较厚,约为6—10m,个别测站上则接近11m。如图2b所示,温、盐跃层垂直梯度的分布趋势和温跃层厚度密切相关:在温跃层厚的地方,温、盐度垂直梯度小;反之则大。最大温跃层垂直梯度出现在37站,约为 $3^{\circ}\text{C}/\text{m}$;最大盐跃层垂直梯度出现在28站,约为 $0.32\text{‰}/\text{m}$ 。从图2a还看出,温跃层厚度在经向上形成南大北小和在纬向上形成西小东大的一般分布特点,但是从同一纬向断面上来看,则呈现了不规则的现象。为了解释这一现象,我们选取了横穿南黄海冷水的 35°N 断面,绘制了以等 σ_t 面为纵坐标的温、盐度断面分布(见图3)和该断面在III区内各站上跃层及其以下水层的T-S曲线(见图4)。如图3所示,在跃层及其以下的等 σ_t 面上,高温高盐水和低温低盐水相间分布,且在断面东侧跃层以下的40—50m层里同时发

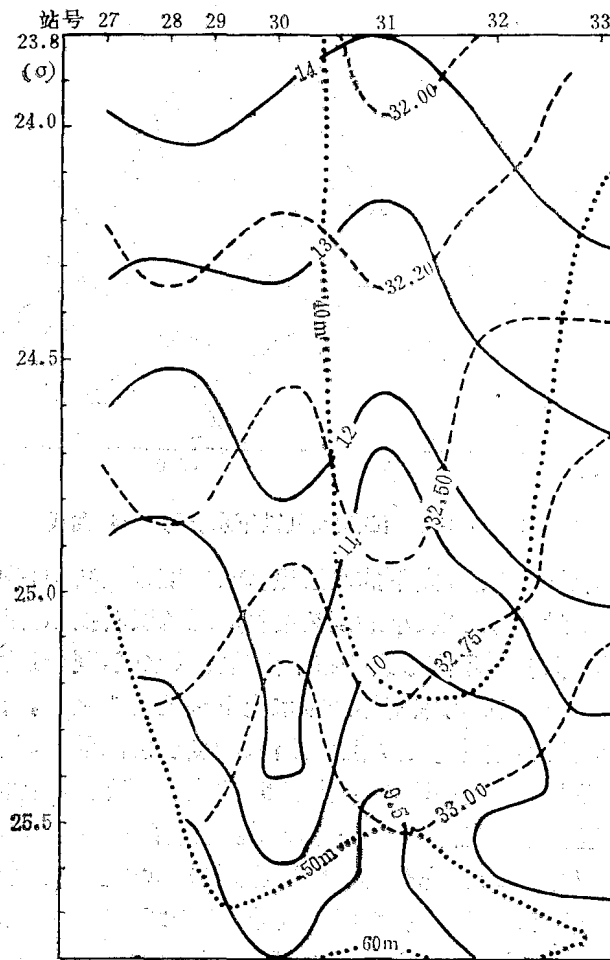


图3 35°N 断面跃层及其以下水层的温(实线)、盐(虚线)度分布

生暖水沿等 σ_t 面入侵。从图4中也看出,29,30,32和33四站上的T-S曲线波动较大。图3和图4表明,该海域冷暖水交错入侵现象显著。结合图2a可以得出:在跃层及其以下水层,凡是有暖水入侵的测站,温跃层厚度就大;反之,凡有冷水入侵的测站,其厚度就小。这是由于在原温跃层下暖(或冷)水的侵入使等温线变疏(或密)的结果。

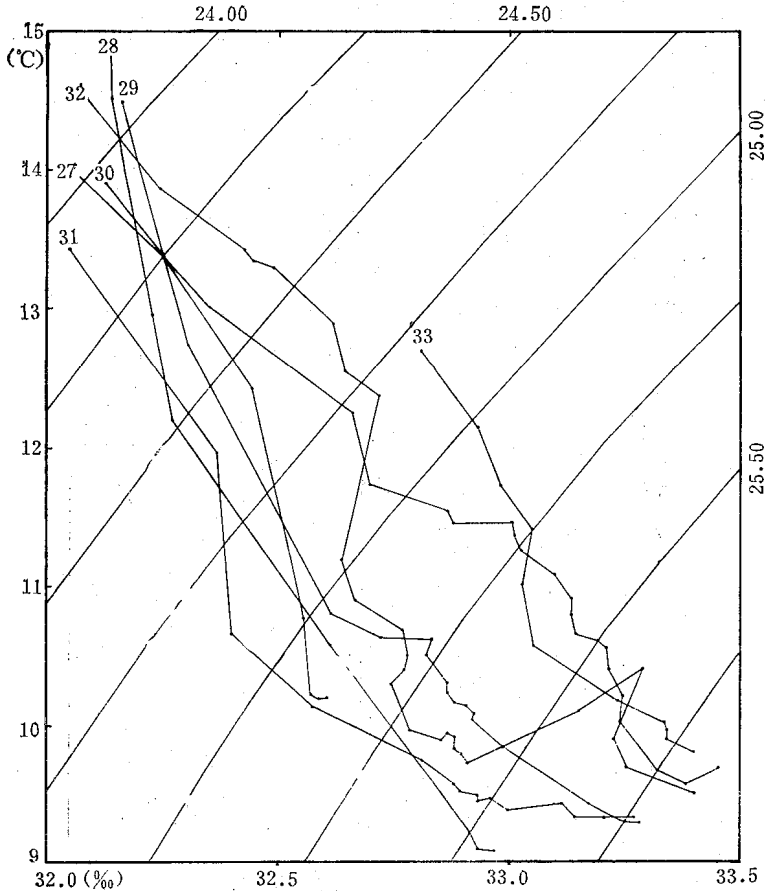


图4 35°N断面跃层及其以下水层的T-S曲线

观测表明,III区跃层以上或以下的水层里,温、盐度垂直结构并不象以往认识的那样单一,而是存在着许多时-空尺度很小的复杂结构。观测资料揭示,似阶梯状结构、逆温结构和盐度双跃层结构等,各以不同形式分布于南黄海深水区,现分述如下。

1. 似阶梯结构 在南黄海东南部冷暖水上下叠置的1站上,存在着阶梯状结构。但与大洋的阶梯结构相比,它的梯度层没那么薄,梯度层之间的温、盐度也没那么均匀,因此,本文将它称作似阶梯结构(见图5a)。由图5a看出,在跃层以上的26—38m和跃层以下的60—80m水层里,分别存在两个和三个阶梯。前者的厚度分别为4m和6m;后者的厚度分别为3m,6m和近10m。它们的梯度层,除在30m以上的那个厚约0.8m外,其余均厚1.9m。梯度层里温、盐度变化范围分别为0.15℃和0.06‰左右。它们的特点是:跃层以上浅层的阶梯厚度小,跃层以下深层的阶梯厚度大;温度阶梯比盐度阶梯明显。导致这一似阶梯结构的主要原因是分子的双扩散对流。这里须要指出,浅水层的阶梯结构

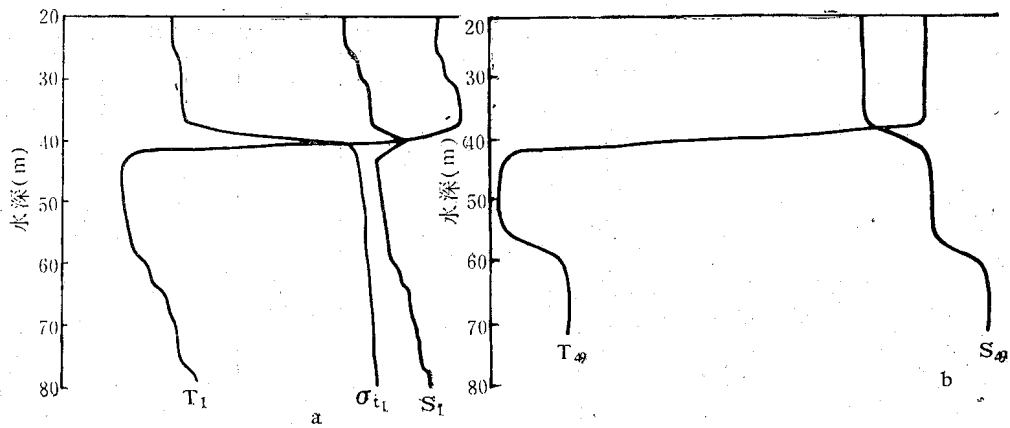


图5 1站(a)和49站(b)的温、盐度垂直分布

易受其他因子的扰动而破坏,呈现不稳定性,所以很难构成如同大洋里那样典型的阶梯结构。1站这样的似阶梯结构能否稳定地存在及能持续多久,由于缺少观测资料,尚难估计或确定。

2. 逆温结构 前人的研究指出,南黄海是出现逆结构较多的区域之一。这些逆结构大部分处于暖水和冷水之间的锋区及其附近。它的形成主要是由于冷水(或暖水)沿等

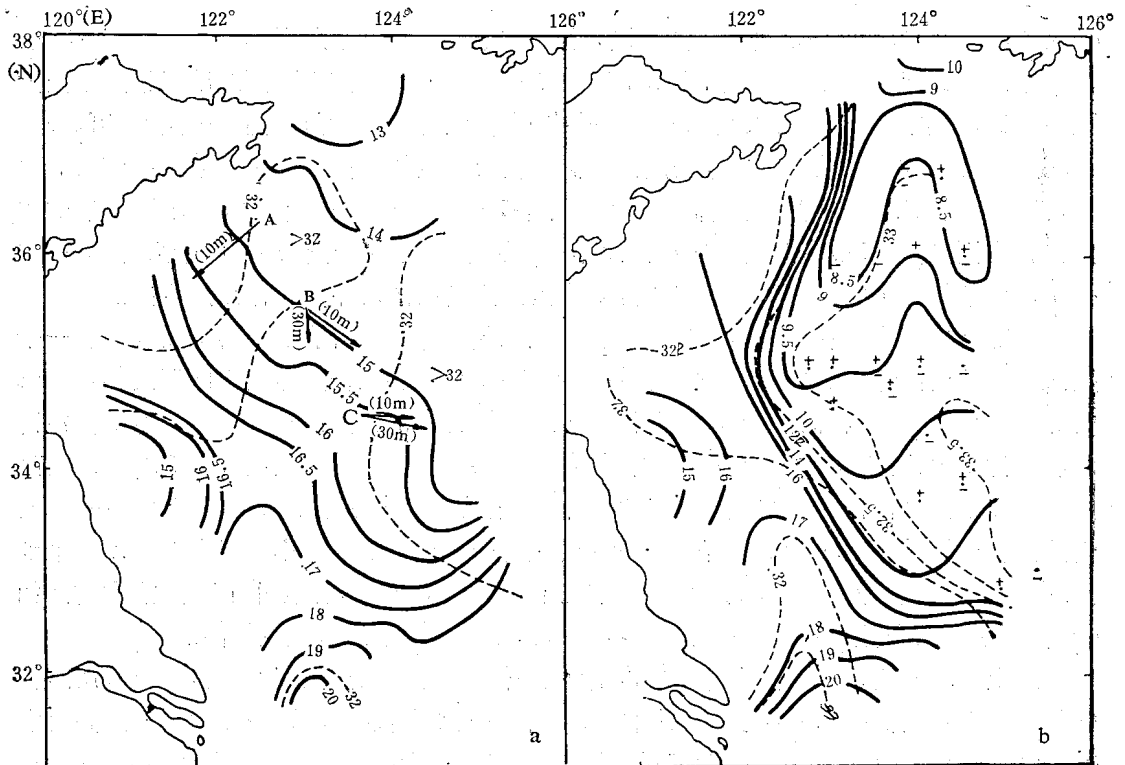


图6 表层(a)和底层(b)温、盐度平面分布
图中箭矢表示余流,箭矢上的数字表示观测层次

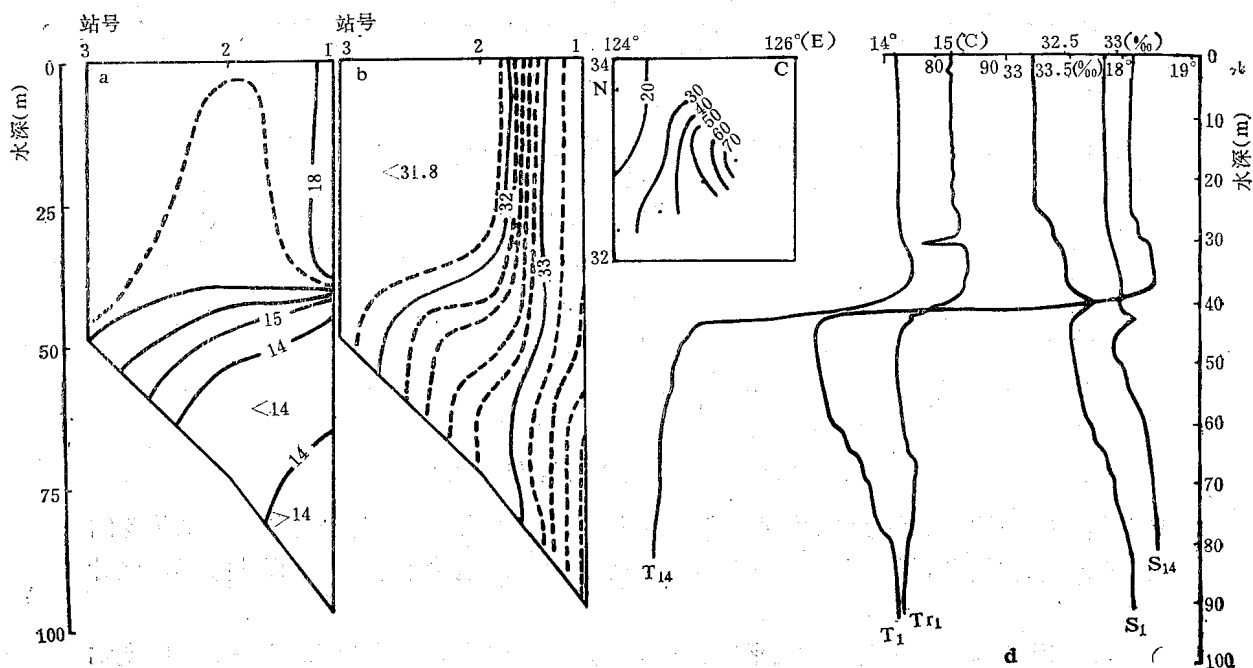


图7 (a),(b) 1—3 站温盐度断面分布; (c) 底层海水透光度; (d) 1,14 两站的温盐度垂分布

σ_t 面扩展的结果。但是,这次调查表明,逆温结构除出现在上述锋区(如1和14两站)外,绝大多数则出现在跃层下的南黄海冷水团里。III区内有11个测站出现程度不同的逆温结构,其中有9个测站(见图6b划“-”者)在南黄海冷水的范围内。由图6b可看出,出现逆温结构的测站主要分布在底层高温高盐舌及其两侧。高盐舌区逆温层厚度大,大者可达30m左右(如1站);远离高盐舌区则小,仅有1—2m。一般说来,出现逆温层的水层常伴有逆盐层出现。可是,南黄海冷水中出现逆温结构的9个测站上的情形却不同,它们所对应的是一个盐跃层,不难看出,这是由近底层高盐的暖平流的作用造成的。

3. 盐度双跃层结构 调查还表明,III区内温、盐跃层以下的冷水中,还存在着一个盐跃层(以下称次盐跃层),这样由(主)盐跃层和次盐跃层组合成盐度双跃层结构。在以往的调查中,由于取样间隔较大,次盐跃层难以观测得到。次盐跃层的存在对今后黄海冷水和黄海暖流水的分析研究具有重要作用。次盐跃层在III区主要出现在 34°N 以北的原夏季冷水所在的区域,也出现于 34°N 以南III区的西部个别测站(见图6b划“+”者)。它的深度范围约为45—60m;它的厚度都比较小,一般小于2m,最小者仅有0.6m;在个别测站上它的厚度稍大,约4m左右。在逆温结构和盐度双跃层结构同时出现的测站(如49站,见图5b)上,逆温层和次盐跃层相吻合,这表明两者形成的机制相同。

以上分析表明,III区内温跃层厚度的大小,似阶梯结构、逆温结构和盐度双跃层结构皆与底层存在的高盐舌有关。我们从图6b可清楚地看出,底层的这一相对高温的高盐水来自济州岛西南海域,也就是黄海暖流水进入南黄海的地方。根据调查资料绘制的1—3站间温、盐度断面分布(见图7a和图7b)和底层海水透光度平面分布(见图7c)足以表明,高温、高盐和高透光度的黄海暖流水已到达这里。从1站和14站温、盐度垂直分布(见图

7d) 极为相似这一点, 也表明黄海暖流水已进入研究海区。因此可以说, 底层的高盐水舌是黄海暖流水沿近底层切入研究海区的结果。所以, 黄海暖流水的切入是形成研究海区逆温结构和次盐跃层主要的, 甚至是唯一的动力因素。反过来, 我们可以利用逆温层和次盐跃层所在深度, 作为区分黄海冷水和黄海暖流水的一项指标。

二、南黄海冷水团

迄今为止, 以往的研究都将南黄海温跃层以下的冷水视作同一水团, 即所谓南黄海深

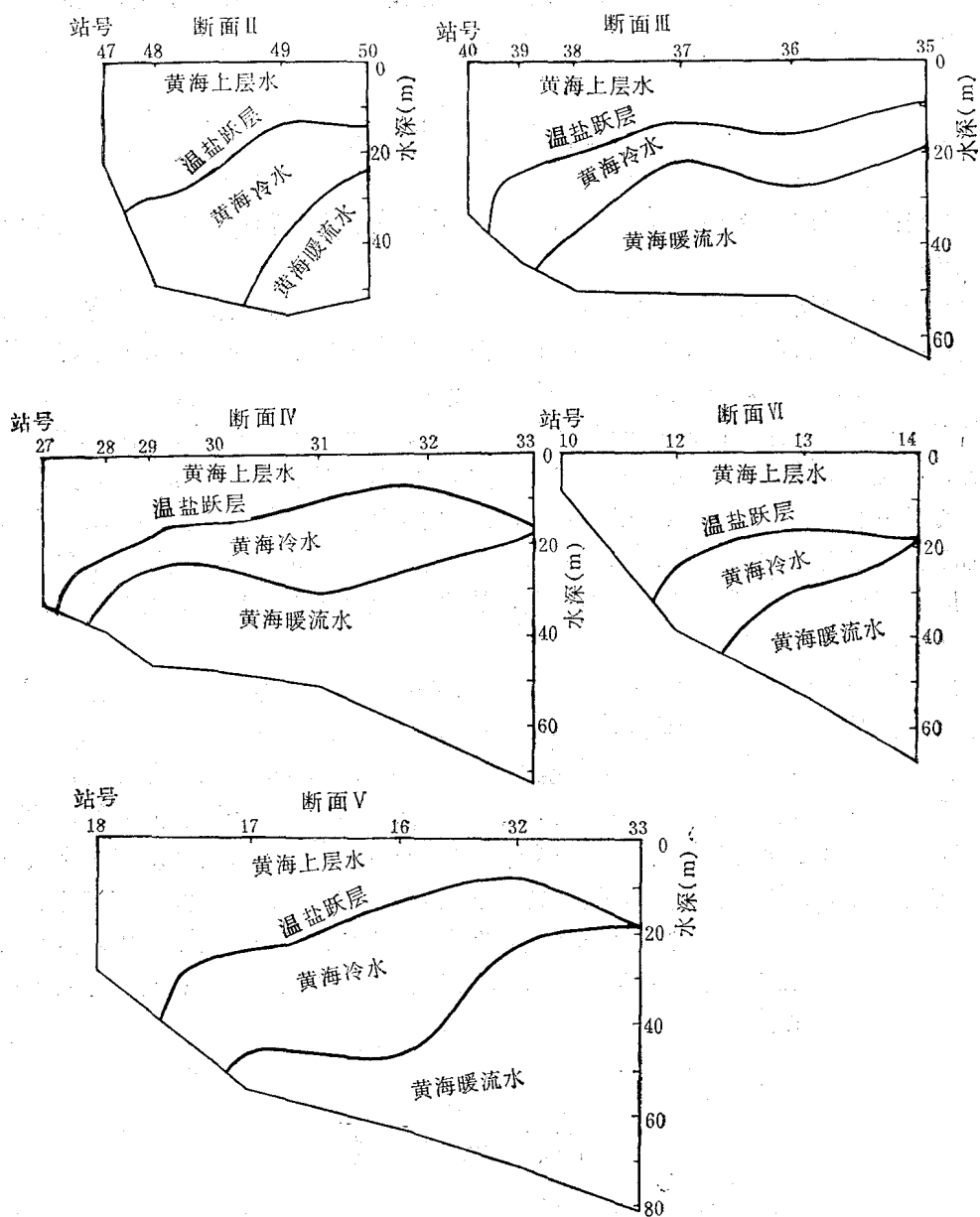


图 8 几个主要断面上黄海冷水和黄海暖流水的分布

层冷水团,或称作南黄海冷水团。但是通过上述分析得知,在秋末期间,主温盐跃层以下的冷水里,还存在着逆温层和次盐跃层,这表明南黄海冷水并非同一水体,而是由夏季保留下来的冷水和由近底层伸进研究海区的黄海暖流水组成。这也可由图 4 中的 T-S 曲线在跃层以下几乎都有不同程度的变平(有一次转折)得以证明。如上所述,我们可利用逆温层和次盐跃层所在深度,粗略地区分黄海冷水和黄海暖流水。这两股水在几个主要断面上的分布如图 8 所示。从图 8 看出,原来所谓的跃层以下的南黄海冷水团所占水域在秋末大部分被黄海暖流水占据,夏季保留下来的冷水被挤压在温跃层和黄海暖流水之间的较小的深度范围内。于是 III 区内的水就由三股水组成:黄海上层水、黄海冷水和黄海暖流水。

三、黄海暖流

本文仅根据这次调查的部分资料,对秋末黄海暖流是如何进入调查海区的问题作初步讨论。

第一节讨论逆温结构和盐度双跃层结构的成因时曾指出,黄海暖流在济州岛西南海域从近底层切入调查海区。然而黄海暖流何以不能在上层进入调查海区?这可由观测资料加以说明。如图 6a,表层等温线呈西北—东南向分布,在 33° — 34°N , 124° — 125°E 之间形成了一个温度锋面,看不出黄海暖流水伸入调查海区的迹象。又从图 6a 中 A、B 和 C 站 10m 层和 30m 层上几天内平均余流的方向来看,它们都偏向南。由此可知,在调查海区上层海水是向南运动的,所以这时黄海暖流不可能由上层进入调查海区。从图 6a 中 C 站的余流方向和 C 站附近等温线的分布趋势来看,黄海暖流在 1 站附近和南下的上层流相遇后折向东,至于黄海暖流尔后在上层的去向,因缺少东部海区的同期资料,很难作出判断。

从水体的交换来说,黄海的上层水在调查期间大量流逝,须靠深层水进行补偿,这是黄海暖流得以由近底层向北伸展的一个重要原因。因此,黄海暖流起着补偿流的作用。从历史测流资料得知,这时期的底层流流向均指向北,这也证明这支流是确实存在的。

至于黄海暖流从近底层切入调查海区后向北抵达的边界,由于它向北伸入的过程中温、盐度(特别是温度)变性快,又缺少同期的测流资料,因此难以推断。但它所具有的高温高盐这一特征,使我们有可能根据观测到逆温结构和次盐跃层的测站落在底层的范围加以确定。由图 6b 看出,这些测站绝大多数在 33‰ 等盐线包围的范围中,因此我们认为,秋末黄海暖流在底层至少可抵达 33‰ 等盐线所包围的区域,而在垂直方向上不会侵入到 50m 以浅的水层。

四、结 语

综上所述,我们可以得出以下几点结论:

1. 11 月南黄海深水区仍存在着垂直梯度大、厚度小的温、盐跃层,个别测站上呈现

温、盐度阶梯结构。在南黄海冷水团中存在着逆温层和次盐跃层,两者均与黄海暖流由近底层切入有关。

2. 南黄海冷水团在秋末是由夏季保留下来的冷水和黄海暖流水组成。

3. 调查期间海区的上层流是向南的,黄海暖流不能从上层进入调查海区,而是以补偿流的性质由近底层切入,它大致沿 124°E 附近向北流动。

参 考 文 献

- [1] 毛汉礼等,1964。南黄海和东东北部 (28° — 37°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。1: 23—77。
- [2] 任允武等,1964。南黄海和东东北部 (28° — 37°N) 冬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。1: 78—125。
- [3] 蓝淑芳等,1985。渤海、黄海和东海水温垂直结构统计特征。海洋科学集刊 25: 11—25。
- [4] 管秉贤,1963。黄海冷水团的水温变化以及环流特征的初步分析。海洋与湖沼 5(4): 255—284。
- [5] 赫崇本等,1959。黄海冷水团的形式及其性质的初步探讨。海洋与湖沼 2(1): 11—15。
- [6] Nagata, Y., 1967b. On the structure of shallow temperature inversions. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 23 (5): 1—11.
- [7] Toro Nakao, 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol. Tokai Univ. Spec No.* Nov: 199—367.

VERTICAL THERMOHALINE STRUCTURE AND ITS RELATION TO CURRENTS IN THE SOUTHERN YELLOW SEA IN LATE AUTUMN*

Ding Zongxin, Hu Dunxin and Xiong Qingcheng

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

In the present paper, vertical thermohaline structure and its relation to currents in the Southern Yellow Sea are addressed, based on the temperature and salinity observations with Neil Brown Mark-III CTD and the current measurements from the bouys deployed in November, 1983. The thermohaline structure, which were firstly found in 1983, can be classified into these categories: (1) step structure caused by double diffusion, (2) double halocline structure, (3) temperature-inversion structure. Both the secondary halocline layer and temperature inversion layer were located in the Yellow Sea Cold Water at about the same depth, which suggests the existence of the Yellow Sea Warm Current. It appears that the Yellow Sea Warm Current, as a compensation current, flows into the central Southern Yellow Sea from west of Cheju Island in the bottom layer.

* Contribution No. 1166 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.