

南黄海冬季温盐结构及其流系*

乐肯堂 毛汉礼

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

摘要 本文主要根据中美联合考察的温盐资料, 分析了调查海区冬季温盐结构及其所表征的流系, 主要结果如下: (1) 传统上作为表征外海水进入南黄海的温度和盐度的水平分布均显示出双峰特征, 但这并不意味着存在着相应的流场; (2) 黄海沿岸流的范围不仅比通常认为的更狭窄, 而且更贴近海岸, 而朝鲜西岸沿岸流看来比过去认为的弱一些; (3) 南黄海表层环流的图案可能不是由一个环型而是由两个环型构成的。亦即, 除了在南黄海西侧存在着通常认为的气旋型环流外, 在其东侧还存在着反气旋型环流。

对于黄东海水文气象问题的考察, 尽管可以追溯到上个世纪, 但是对其作系统的调查研究, 却是从 50 年代才开始的。从那时起到 80 年代初, 国内外的海洋工作者已发表了許多描述本区的水文特征和海流结构的论文和报告^[1-11]。对于这些调查研究成果, 管秉贤^[12]曾作过简明的概括和评述。

对于黄海的物理海洋学的问题, 尽管已作了许多调查研究, 发现了若干有意义的海洋现象 (如黄海冷水团等), 然而, 由于 1) 所用仪器精度不够高; 2) 缺乏长期连续的浮标测流资料; 3) 未能取得横贯整个海区东西断面的准同步观测资料, 因此, 对于本海区水文状况和海流结构的描述和分析尚不能令人满意。进入 80 年代后, 由于各种新式仪器和观测方法的相继使用使得搞清许多物理海洋学和沉积动力学的问题已成为可能。因此, 为了深入了解本区的物理海洋和沉积动力学, 1983 年中国科学院海洋研究所和美国伍兹霍尔海洋研究所共同制订了一项关于南黄海物理海洋学和沉积动力学的联合研究计划。按这一计划, 中美双方有关海洋学家从 1983 至 1986 年, 在本海区共同进行了四次海上联合考察, 取得了十分宝贵的资料。本文对考察区域的冬季温盐特征和环流等问题进行探讨。

一、资料及其订正

本文所用的实测温盐资料, 主要是 1986 年 1 月中国“金星二号”调查船和美国“Thompson”号调查船联合考察得到的资料。在 1986 年 1 月的考察中, “金星二号”作了两个航次的调查: 第一航次从 1 月 7 日到 12 日, 第二次从 1 月 24 日到 28 日; “Thompson”号也作了两个航次的调查: 第一航次从 1 月 12 日到 17 日, 第二航次从 1 月 21 日至 30 日。图 1 绘出了这次联合考察的站位图。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1817 号。国家自然科学基金资助项目 (编号为 4860242)。本文插图由杜涓山同志绘制, 特此致谢。
收稿日期: 1989 年 3 月 16 日。

虽然这次考察的温盐资料都是用 MARK III 型 CTD 测量的,但由于现场考察是由两条考察船在不完全相同的观测期间内分别进行的,故取得的资料是“准同步”的。因此在分析之前,我们先对这些资料进行了校核和订正,现简要说明如下:

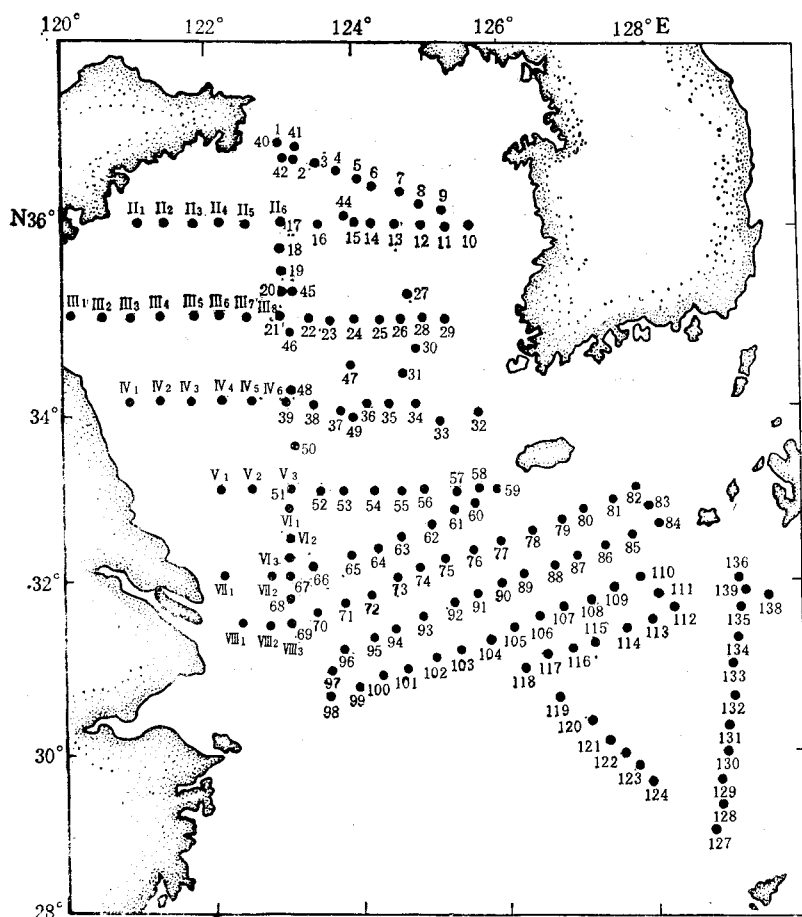


图1 1986年1月中美联合考察站位图

Fig. 1 Station locations during the cruise of Jan., 1986

(1) 由于“金星二号”第一航次的测站较少,故对于海区西部的资料,我们以第二航次的资料为主,而把第一航次的资料仅用于校核。

(2) 对于“Thompson”号测得的温盐度资料,开始时,没有进行校核而直接用于分析。但在分析过程中我们发现:“Thompson”号这两个航次的盐度资料均存在系统的偏差(例如,在黑潮区,多数站的盐度资料都大于35,有的则大于35.3,在160m深度上,甚至大于38)。因此,我们只得先对“Thompson”号的盐度资料进行订正。

为了对“Thompson”号的盐度资料进行适当的订正,采用下述方法。首先,以这次联合考察中“金星二号”的同期盐度资料为准,找出在此期间两条船在相近测站(见表1)测得的盐度资料。然后,从表1中选取对应测站相同层次2m平均的盐度进行回归分析,共得线性回归方程和非线性回归方程10个(见表2),从表2可看出,下述校正公式最佳:

表 1 用于获得校正公式(1)的资料来源(1986年)

Tab. 1 Data source for the corrected eq. (1)

金星二号				Thompson 号			
站号	站	位	日期 (月 日)	站号	站	位	日期 (月 日)
	北纬 (N)	东经 (E)			北纬 (N)	东经 (E)	
III-2	36°56'	123°15'	1.10	2	36°46.2'	123°13'	1.14
II-6	36°0'	123°0'	1.24	17	36°0'	123°0.8'	1.15
III-8	35°0'	123°0.5'	1.25	31	35°0'	123°1'	1.15
IV-6	33°59.5'	123°0'	1.26	39	34°0'	123°0.1'	1.17
V-3	32°59.5'	123°0'	1.26	51	32°59.8'	123°0.6'	1.23
VII-3	32°	123°	1.26	67	32°0.4'	123°0.2'	1.25

表 2 为订正“Thompson”号盐度资料所作的回归分析比较表

Tab. 2 A list of regression analysis for correcting the salinity data from R/V “Thompson”

N	回归方程	R	U	Q	S	F
1	$S = -4.5841 + 1.138S_0$	0.984672	12.7292	0.399398	0.0594516	3601.42
2	$S = 0.6081S_0^{1.142}$	0.984685	12.7068	0.398334	0.0593724	3604.67
3	$S = 0.6271S_0^{1.1349} - 0.2$	0.984683	12.7068	0.398388	0.0593764	3604.21
4	$S = 10.2254 \exp(0.0355S_0)$	0.984970	12.7155	0.391023	0.058825	3674.6
5	$S = 10.3624 \exp(0.0353S_0) - 0.2$	0.984968	12.7156	0.391074	0.0588298	3674.15
6	$S = 100.877 \exp(-36.7487/S_0)$	0.984383	12.6976	0.406071	0.0599462	3533.44
7	$S = -95.0903 + 36.6226 \ln S_0$	0.984369	12.7214	0.407208	0.0600301	3580.18
8	$\frac{1}{S} = 0.0044 + 1.146/S_0$	0.984697	12.6844	0.397322	0.0592969	3607.51
9	$S = 1/[0.0301 + 0.100749 \times 10^{12} \exp(-S_0)]$	0.968465	12.1956	0.807158	0.0845162	1707.35
10	$S = 19.7908 + 6.8389 \ln(S_0 - 26.18)$	0.999997	79518.3	0.47424	0.064498	19115000

$$S = 19.7908 + 6.8389 \ln(S_0 - 26.18) \quad (1)$$

式中, S_0 为未经订正的盐度, S 则为经过订正的盐度。这是因为在相应于式(1)的统计量中, 回归平方和 U 和 F 比都远远大于其余九个式的相应值。这不仅表明回归方程(1)的拟合程度极佳, 而且也表明它有充分的代表性。不仅如此, 用式(1)对“Thompson”号盐度资料进行校正后, 所得的结果与历史资料相当符合, 这说明校正后的资料是可靠的¹⁾。

(3) 由于这次考察是由两条船分别进行的, 尽管在东经 123° 线上有 6 个测站基本重合, 但考虑到这些重合测站上的资料并不完全同步, 故在分析中对有疑问的地方又参照了历史资料以使分析结果能尽量符合实际。

1) 本文脱稿后, 我们看到了日本的“气象厅海洋气象观测资料 (The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations)” No. 48. (Jan.—Dec., 1986) 和“中日黑潮共同调查研究海洋环境图” (Jan.—Dec., 1986) Vol. 1, 因此又把上述订正后的盐度资料与日本出版的这两种资料进行对比。结果表明, 在相近站位处, 订正后的盐度资料与这两种日本资料相当一致。

二、温盐结构的基本特征

把经过上述订正和整理的 1986 年 1 月中美联合考察中得到的温度和盐度资料绘成了大面图和断面图。对这些图所显示的本区基本水文特征作以下简要分析。

1. 水温结构

首先分析冬季水温的水平分布。图 2 是本区各层水温的水平分布图。从图 2 可以看出,观测海区的水温分布显示了如下的主要特征:

(1) 正如历史资料已多次表明的那样,在南黄海的西部,从成山角到长江口以北的近岸区为一低温区。这一低温区的存在显然是与冬季大陆迅速降温联系在一起的。同时,这一区域各层等温线的形状也显示,从成山角起有一股较冷的海水沿山东江苏海岸大体上顺岸南下,在五条沙外形成相当强的冷水舌而向海中央伸展(它的前缘部分可达到 125°E 以东)。

(2) 在青岛以东(约 122°E , 36°N 附近),存在着一个较小的冷中心,它自表层至底层均存在。在冬季的历史资料中,我们尚未发现在此位置附近曾出现过这种自表至底均存在的冷中心。这一冷中心是在特定条件(或天气形势)下形成的冷涡呢?抑或与夏季青岛东南方经常出现的冷水团(有人称为“青岛冷水团”)有联系?尚待进一步证实。

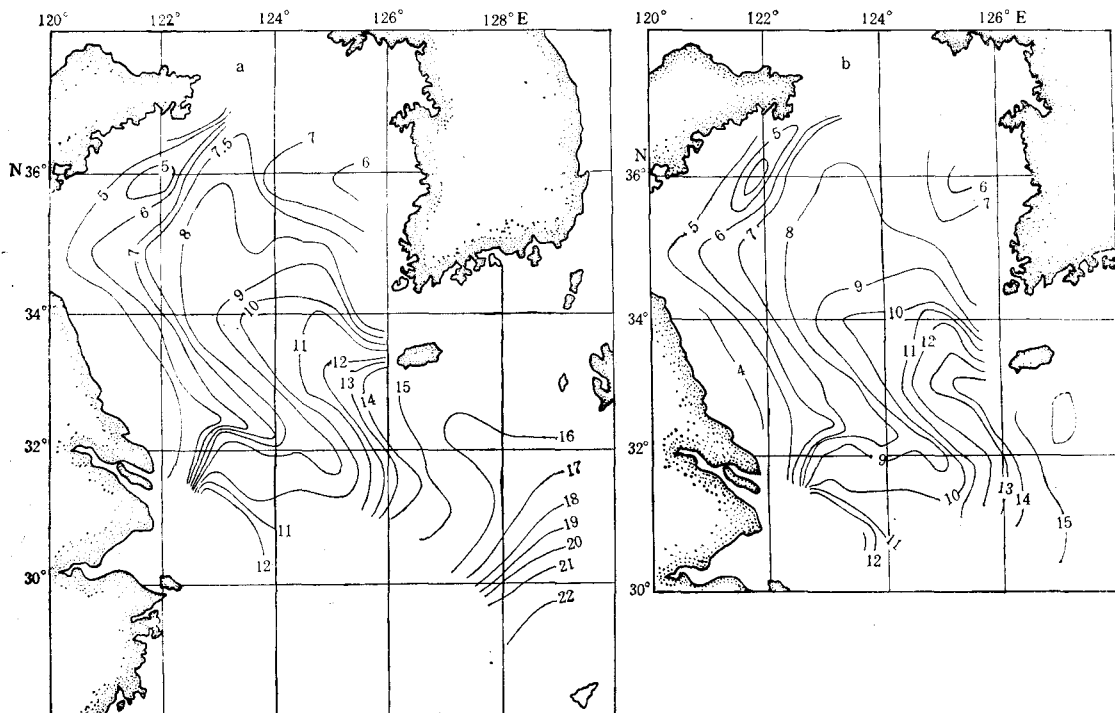


图 2 1986 年 1 月水温大面分布图

Fig. 2 Horizontal distributions of temperature in Jan., 1986
a. 2m 层; b. 底层。

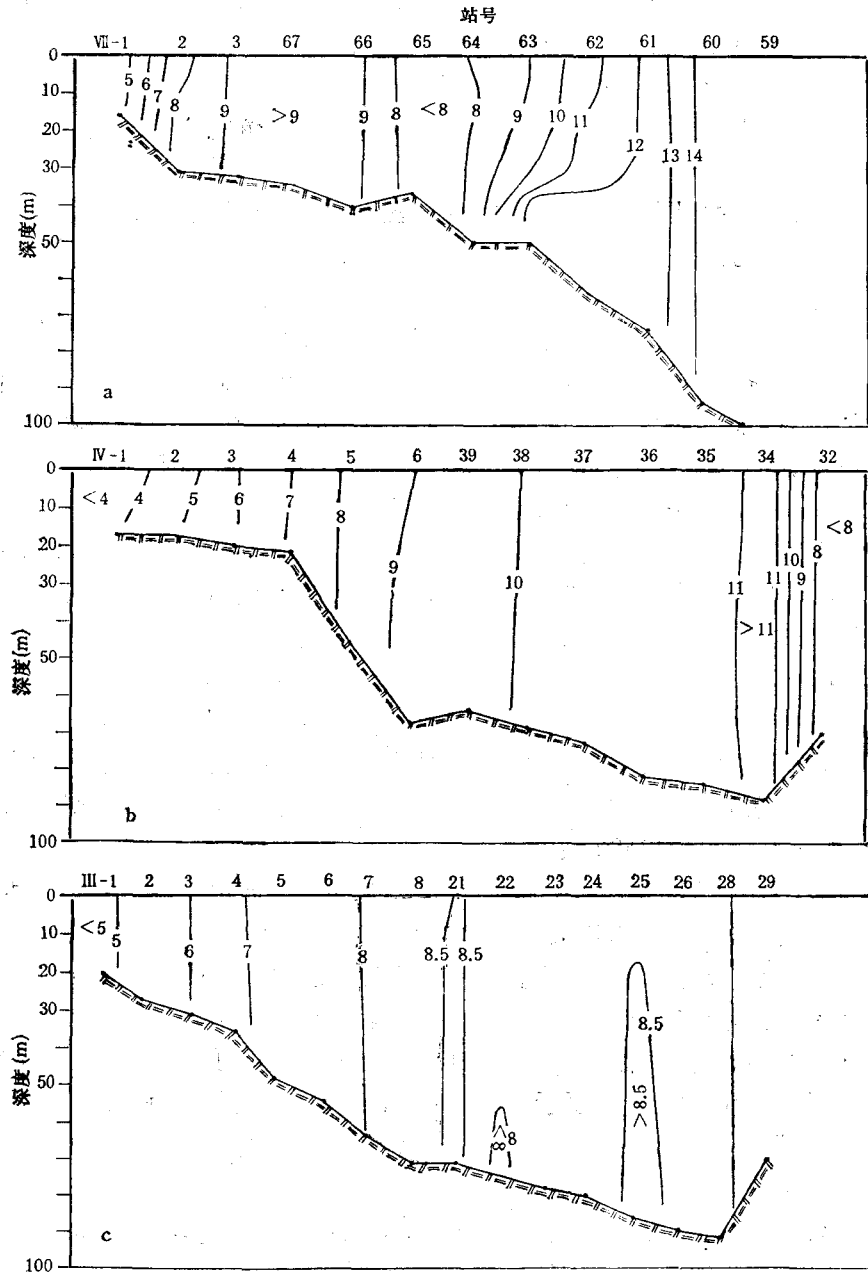


图 3 1986年 1 月水温断面分布

Fig. 3 Vertical distributions of temperature in Jan., 1986

a. 从长江口到济州岛断面; b. 34°N 断面; c. 35°N 断面。

(3) 在约 36°N 附近, 可看到一冷水舌从朝鲜西岸近岸海区向本海区中央扩展, 而且这一现象自表层至底层都存在。这一现象表明, 来自北黄海的朝鲜西岸沿岸流之低温水, 其中一部分在 36°N 处不再向南运移而折向海区中央。另一方面, 与历史资料相比, 可发

现,这一冷水舌比历史上的平均情况^[12]要强得多,这表明,在1986年1月,由36°N向南的朝鲜沿岸流之水量要比过去所认为的平均状况小。

(4) 在南黄海的中部,有一较强的暖水舌自调查海区的东南方向北偏西方向扩展。此暖水舌所表征的暖水与来自五条沙的冷水舌所表征的冷水之前部相遇而在济州岛西南形成了较强的温度锋。

(5) 上述暖水舌扩展的方向表明,来自济州岛东南的暖水(传统上,人们把这一暖水作为黄海暖流存在的证据)在济州岛西南进入南黄海之后形成了两个舌峰。东侧的舌峰表明,部分暖水沿着约125°E的经线北上,可到达35°N以北,而西侧舌峰之轴线则先呈SE—NW走向,在34°N以北转为南北走向而大致与123°E线一致。历史资料表明^[1],这一暖水舌有时可伸进渤海湾,后一舌轴就是通常所谓的黄海暖流及其余脉所在的位置。

至于本区冬季水温的垂向结构,可以从水温的断面分布图上获得较清晰的概念。总之,由于冬季强烈的风混和作用,使本区大多数测站之垂向温度分布呈均匀状态。尽管如此,从图3中仍可见到若干令人感兴趣的特征。

(1) 从长江口到济州岛的断面上,可以看到存在着两个暖水区。其一是123—123.5°E之间的暖水区(西暖水区, $T > 9^{\circ}\text{C}$),它可能反映了1986年1月的台湾暖流水之前沿已影响到32°N以北,而这种情况在历史上是罕见的,尽管其温度值仍然偏低。另一个是东暖水区(即124.5—126°E之间的暖水区),反映出主要来自东(偏南)侧暖水的楔入,尤其在底层,呈现出明显的暖水爬升的迹象。这股水似乎与对马暖流水的楔入有关。

(2) 在34°N的断面上,水温的横向分布呈现出明显的不对称性。这种不对称性似乎表明,来自济州岛东南侧的暖水进入南黄海后,虽然部分暖水呈现出向西北扩展的趋势,但其核心部分却仍沿着约125°E线(这一位置正是黄海槽所在处)北上。

(3) 从35°N的断面上可以看到两个由8.5°C的等温线所包围的暖水核。其一位于123°E附近,另一个则位于124.5°E附近。两者的范围均极狭窄并且后者仅限于15m以深的水层。人们在传统上把西侧的暖核解释为黄海暖流水的核心部分;但我们认为,这可以用它位于海区的中央来解释。一般说来,在冬季,海区中央的海水降温幅度总量比其西侧近岸部分海水的降温幅度来得小。故我们认为,这一暖核也可能是由于海陆分布(离岸较远)这一局地原因而形成的。至于东侧的暖核,因为它已靠近朝鲜半岛(距陆地已较近),故不能用海陆分布来说明该暖核的存在,所以我们认为,东侧的暖核倒有可能是黄海暖流水的核心部分。

(4) 本区北端的两个温度断面(在36—37°N)(附图从略)表明,东侧的暖核虽然仍存在,但其核心已位于约50m以深的近底层。由此似已表明,黄海暖流在这里已成强弩之末。从图2可知,这是由于受到来自北黄海的较强的沿岸冷水入侵的影响。此外,图2和36°N的断面图还表明,东侧的暖水在35—36°N之间显示出向西移动的迹象,由此相对地加强了海区中央的暖水。

2. 盐度结构

盐度的水平分布如图4所示。从图4可清楚地看出,就其分布特征而言,图4与图2

1) 管秉贤、陈上及,1964。中国近海的海流系统。全国海洋综合调查报告,第五册,1—85页。

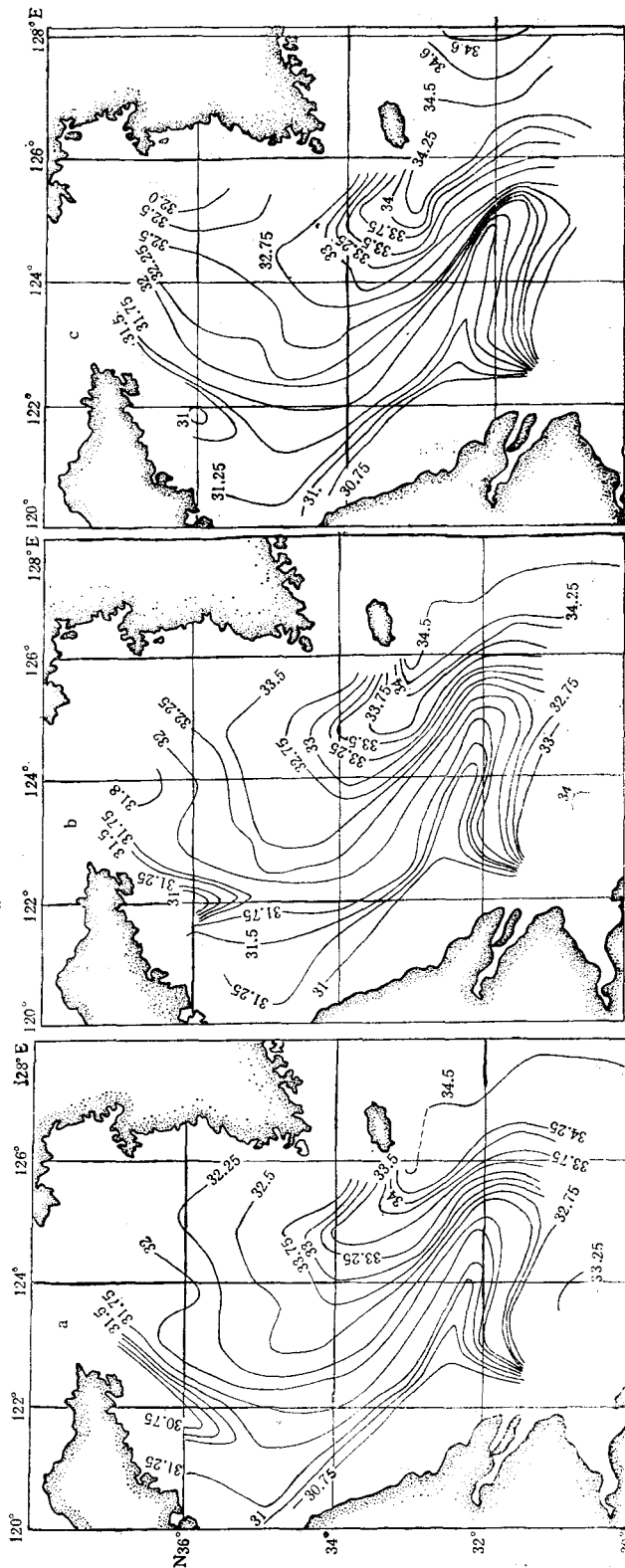


图 4 1986 年 1 月盐度大面分布图
Fig. 4 Horizontal distributions of salinity in Jan., 1986
a. 2m 层; b. 6m 层; c. 底层。

基本相似,但也有相异之处。现略加分析如下。

(1) 从 6m 层的图上可看出,在成山角的正南方,亦即在水温出现冷水中心的区域,存在着一个梯度较大的低盐水舌,其舌轴为正南向。与此相对照,图 3 中封闭的等温线之长轴却是东北西南向的。在 10m 以下各层次中,这一低盐水舌的走向与等温线长轴走向基本一致。看来,这一低盐水舌是北黄海沿岸水进入南黄海的标志。

(2) 济州岛西南的盐度锋之范围似比同一位置的温度锋范围更大;此外,盐舌和温舌的扩展方向也不甚一致,这可能是由于盐度的保守性比水温的保守性更强所致。

(3) 同水温的平面分布图一样,在济州岛以西的 32 站与 59 站之间的区域,不仅是一个强温度梯度带,而且也是一个强盐度梯度带,这一点清楚地表明了这里是由北往南低盐低温水与由南向北的高盐高温水交汇的地方。此外,济州岛西北低盐水舌的位置也是朝鲜西岸沿岸水南下可达到的范围的标志。

(4) 从表征黄海暖流的盐舌之形状看来,双峰特征仍然清晰可见,但此水舌的主要扩展方向则似与高温水舌不相同。前面已指出,从水温平面分布图中得到的印象是:在 34°N 以北,巨大的高温水舌大致沿 123°E 向北扩展,而大致沿 125°E 向北扩展的高温水舌却较小。与此相对照,盐度的平面分布图却表明,在 34°N 以北,沿大约 125°E 线向北

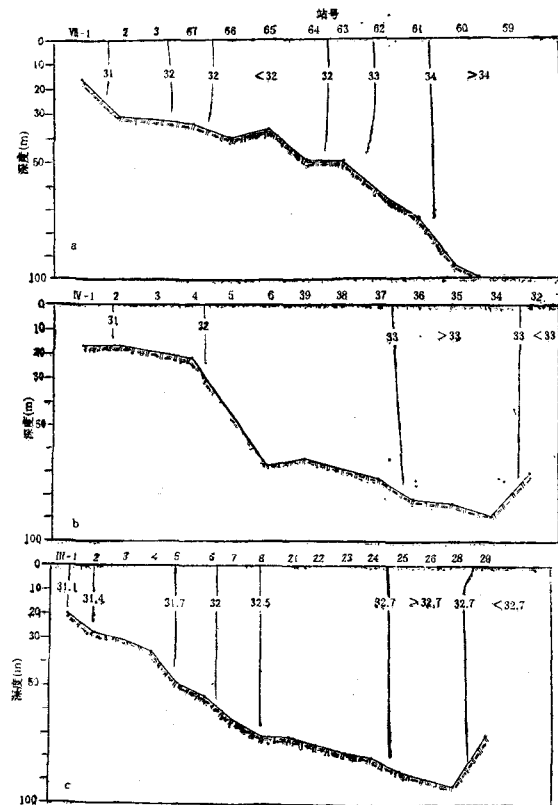


图 5 1986 年 1 月盐度断面分布图

Fig. 5 Vertical distributions of salinity in Jan., 1986
a. 从长江口到济州岛的断面; b. 34°N 断面; c. 35°N 断面。

扩展的高盐水舌相对而言是较大的,而沿约 123°E 线向北扩展的盐水舌却较小。尽管有上述的差异,但考虑到盐度的保守性比水温好,所以在分析外海水侵入过程时,盐度指标似更为可靠。由此可知,从宏观看来,外海水的侵入基本上是沿着黄海槽北上的。

(5) 本区盐度断面的分布(图 5)所反映的现象与水温断面分布所展示的,有些方面也是相似的。例如,在从长江口到济州岛的断面上,在 $123-123.5^{\circ}\text{E}$ 之间的高温水亦是高盐水,这就给前述关于台湾暖流水已推进到 32°N 以北的推测提供了佐证。又如,在 34°N 断面上,位于 $124-126^{\circ}\text{E}$ 之间的高盐水 ($S > 33$) 之最大盐度出现于约 125°E 的狭窄带内,而这一狭窄带恰又是高温带 ($T > 11^{\circ}\text{C}$)。与此同时,与温度断面分布相比较,盐度断面分布也显示了若干不同的特征。对于南黄海环流问题来说,最令人感兴趣的不同之点是,在 34°N 以北的各断面中,高盐中心区只有一个而不是两个,它们均位于约 $124-125^{\circ}\text{E}$ 的范围内。

三、根据温盐结构推断的冬季黄海环流的基本特征

关于黄海环流,迄今仍有不少问题有待进一步搞清。当然要弄清这些问题,仅依据温盐资料是远远不够的。但是,由于获得长时间连续观测的海流资料决非容易;故据温盐结构来推断海流已是海洋环流研究中最常用的手段之一。我们以上节中所描述的南黄海温盐结构为基础来探讨冬季黄海环流的基本特征。由于习惯上人们把楔入本区的高温高盐水舌之走向作为黄海暖流运行方向的指标,因此如果以我们的资料为基础而循此观念进行推断,那么便可以得出如下结果。

1. 上节的分析已指出,在 2m 层和 6m 层的水平分布图上,来自济州岛东南的高温高盐水舌在济州岛以西进入南黄海后,均呈现出双峰特征。如果这一双峰特征不仅反映了海水扩展方向,而且确实表征了黄海暖流的运行路径的话,那么我们可以得出:(1) 黄海暖流如果存在就不仅能在深层被发现,而且应当在表层(2—10m 层)也能被发现,至少应该在某些天气条件下能被发现。(2) 在大约 34°N 附近,表层的黄海流将有可能分为两支。一支大体上沿黄海槽所在的位置北上;另一支则折向西北,然后沿约 $123^{\circ}30'\text{E}$ 向北运行。但是,这两个扩展方向并不是均衡的,进一步分析将指出,外海水主要是在下层沿黄海槽北上而进入本海区的。

2. 关于深层黄海暖流,图 3 和 5 已显示,如果它存在的话,那么它最可能沿黄海槽北上,有时甚至能到达北黄海。

3. 关于南向的黄海沿岸流,从我们的资料看来,它似乎比通常认为的范围更窄,且更贴近海岸。此外,过去曾认为在黄海沿岸流与山东江苏海岸间的海州湾中存在着反气旋环流¹⁾,但这一点尚不能为我们的资料所证实。

4. 至于向南的朝鲜西岸沿岸流,正如上节所提出的,它较微弱,在 35°N 以南,其流量似小于过去二十年的平均流量。

5. 如果由上述温盐水舌所表征的黄海暖流确实存在并且足够强的话。那么从上述关于南黄海环流的基本特征就可得出,南黄海表层的环流图案很可能不是由一个环型而是

1) 中国科学院海洋研究所编,1977。渤黄海表层海流图,2—4 页。

由两个环型构成的。这就是说,除了在南黄海西侧存在着通常认为的气旋型环流外,在其东侧还存在着反气旋型环流,而且后者可能强一些。应当指出,这一点与袁耀初等由数值实验得出的结果是一致的^[4]。此外,还可推测,在 34°N 以北,在上述两个环型间的过渡带中,有可能出现若干小尺度的弱涡。

参 考 文 献

- [1] 山东海洋学院,1986。长江口及济州岛邻近海域综合调查研究报告。山东海洋学院学报 16(1): 1—131。
- [2] 任允武、孙国栋、毛汉礼,1964。南黄海和东海北部 (28—37°N) 冬季的水文特征以及海水类型(水系)的初步分析。(增) 01: 78—125。
- [3] 浦泳修、林金祥、许小云,1983。黄海西部流况的初步分析。黄渤海海洋 1(2): 8—20。
- [4] 袁耀初、苏纪兰、赵金三,1982。东中国海陆架环流的单层模式。海洋学报 4(1): 1—9。
- [5] 管秉贤,1963。黄海冷水团的水温变化以及环流特征的初步研究。海洋与湖沼 5(4): 255—284。
- [6] 管秉贤,1985。黄东海浅海水文学的主要特征。黄渤海海洋 3(4): 1—9。
- [7] 中尾徽,1977。東シナ海,黄海における漁業に関連する海洋変動。東海大学紀要(海洋学部),特别号, 199—367 页。
- [8] 加藤威夫,1959。近年における冬季の東支那海の海況について。研究時報 11(9): 743—751。
- [9] 菊池繁雄,1960。東支那海表面水温に関する研究(1)。研究時報 11(3): 169—183。
- [10] Asaoka O. and S. Moriyasu, 1966. On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea. *Oceanographical Magazine* 18(1—2): 73—81.
- [11] Guo Pinghuo, 1982. The temperature and salinity structures and the circulation in the Yellow Sea. In Proceedings of the Japan-China Ocean Study Symposium, Oct. 1981. Shimizu, pp. 174—197.
- [12] Lie H.-J., 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Huanghai (Yellow Sea) *J. O. S. J.* 41(5): 291—298.

WINTERTIME STRUCTURES OF TEMPERATURE AND SALINITY OF THE SOUTHERN HUANGHAI (YELLOW) SEA AND ITS CURRENT SYSTEMS*

Le Kentang and Mao Hanli

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

ABSTRACT

A field hydrographic program covering the whole area of the southern Huanghai Sea was quasi-synchronously carried out by Chinese and American Scientists on board R/V "Jinxing 2" and R/V "Thompson" in Jan., 1986. The hydrographic data in this survey were acquired by the MARK III CTD System. Comparison of historical data with that from R/V "Jinxing 2" and R/V "Thompson" shows that the salinity data from R/V "Thompson" have systematic errors. With the salinity data from the R/V "Jinxing 2" as a standard, we chose 6 pairs of "quasi-synchronous station" listed in Tab. 2 as the base of regression analysis and obtained the following formular for correction:

$$S = 19.7908 + 6.8389 \ln(S_0 - 26.18)$$

where S_0 is raw salinity from the R/V "Thompson", S , the corrected salinity. Statistical qu-

* Contribution No. 1817 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

antities relevant to formular (1) are: correlation coefficient, $R=0.999\ 997$, sum of squares due to regressions, $U=79\ 518.3$, residual sum of squares, $Q=0.474\ 24$, variance, $S=0.064\ 498$ and $F(1, 116)=1.911\ 5\times 10^7\gg 6.90$ at the 1% significance.

Based on the above temperature and corrected salinity data, the hydrographic features in the survey area are analyzed and the current systems as inferred from hydrographic analysis are obtained, from which the main results can be summarized as follows:

1. Conventional wisdom has it that the high temperature and high salinity water in the central part of the Huanghai Sea is from the Kuroshio Water or the Tsushima Warm Current Water, and that the direction of the water tongue shows the path of the Huanghai Sea Warm Current. The analysis of this paper shows that the tongues of the above high temperature and high salinity waters in winter have the "bi-peaks" or the "bimodal distributions". Moreover, the bimodal distributions do not mean that the Huanghai Warm Current, in conventional sense, has also two branches.

2. The 1986 hydrographic data show that the Huanghai Warm Current in the lower layer will probably go northward along the Huanghai Sea Trough if it exists in winter.

3. The above data also show that the southward Huanghai Sea Coastal Current is not so wide as conventionally believed, but nearer to the coast than it used to be.

4. The southward Korea West Coast Current is a weak current Jan., 1986 and its transport seems less than that on an average for the past 20 years.

5. If the Huanghai Warm Current characterized by the high temperature and high salinity tongues in the central part of the Huanghai Sea is strong enough, the surface circulation picture will probably not be a single pattern of circulation, but two patterns, one cyclonic circulation in the west side of the southern Huanghai Sea as used to be believed, and one which could exist a stronger anticyclonic circulation in the east side, with some small weak eddies in between.