

1996年春季南黄海水文特征和水团分析*

邹娥梅 郭炳火 汤毓祥

(国家海洋局海洋环境科学与数值模拟重点实验室, 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

李 载 学

(韩国海洋研究所, 安山)

摘 要 利用中韩“黄海水循环动力学及物质输运”合作研究项目第一航次 1996 初春所获得的 CTD 资料描述了南黄海初春温、盐和密度的水平和垂直分布特征, 分析了水团结构, 并揭示了春季在 $34^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}45'\sim 124^{\circ}\text{E}$ 的南黄海西部水域的中层冷水现象. 分析结果表明初春黄海暖流上表层开始向济州岛方向退缩, 黄海底层冷水团首先在青岛外海形成.

关键词 水文特征 中层冷水 水团特征 黄海暖流

中图法分类号: P722.5

1 引言

关于南黄海水文特征及水团分析的研究最早为全国普查报告, 它对黄海四季水文特征做了系统的描述, 但仅限于 124°E 以西海区的调查研究, 且所用的仪器精度不高, 对于本海区的水文状况的描述和分析存在明显的局限性. 80 年代韩国科学家对黄海、东海冬、夏季水文特征及水团进行研究^[1,2]; 1983~1986 年中国科学院海洋研究所与美国伍兹霍尔海洋研究所共同进行了联合考察, 发表了许多着重描述冬、夏季本海区水文特征和海流结构的论文^[3,4]. 然而, 关于春季黄海水文特征的研究甚少, 近期张启龙曾利用 1992 年 5 月 CTD 资料分析了春季南黄海水文特征和水团配置^[5,6], 但分析的范围仅限于 125°E 以西. 为更深入了解研究海区由冬季型向夏季型转换的一些重要的水文特征, 对春季的主要水文现象进一步研究是十分必要的. 1996 年国家海洋局第一海洋研究所和韩国海洋研究所共同制定了关于黄海水循环动力学和物质输运合作研究项目, 取得横贯整个海区东西断面的准同步观察资料, 为本研究目的提供了可靠的基础.

本文于 1999-02-07 收到; 修改稿于 1999-06-22 收到.

* 国家海洋局和国家自然科学基金 (编号: 49676283) 联合资助项目.

第一作者简介: 邹娥梅, 女, 56 岁, 研究员, 主要从事黄海水文特征及季节变异的研究.

中韩合作“黄海水循环动力学及物质输运”的研究项目,于1996年春季(4月6~17日),对长江口至济州岛以北,37°N以南的黄海海域进行了合作调查.共设置了A,B,C,D,E和F 6条断面,计71个测点(如图1).本文主要利用国家海洋局北海分局“向阳红09”号科学考察船在A,C和E断面以 Neil Brown Mark III b CTD Profiler 和韩国海洋研究所“ONNURI”科学考察船在B,D和F断面以 SBE 911 Plus CTD system 观测所获得的CTD资料,对南黄海初春的主要水文分布特征、水文现象如中层冷水的形成机制及水团特征进行分析和探讨.

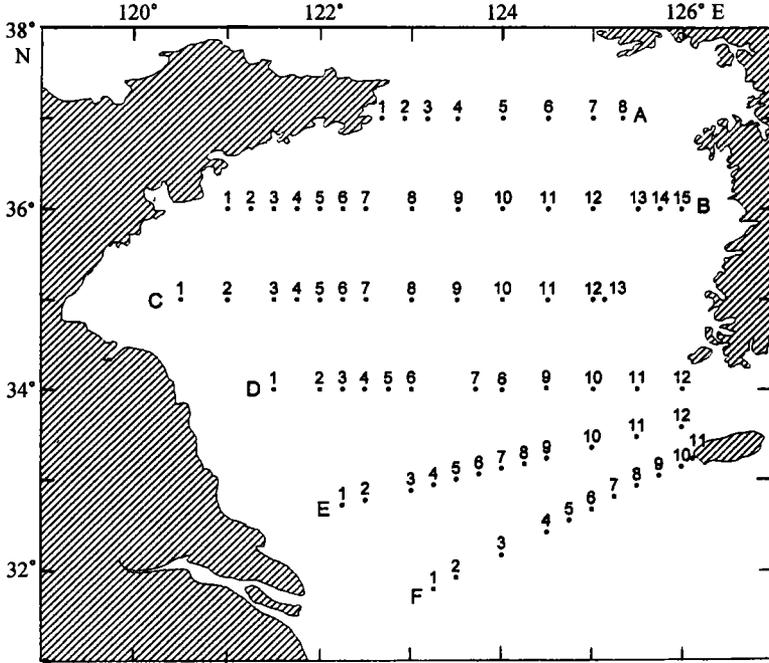


图1 1996年春季调查站位

2 温、盐和密度特征

本航次调查时间为4月8~16日,天气状况较良好.出现的偏南风 and 偏北风速最大均不超过13 m/s,所获得的调查资料能较好地反映初春南黄海海域的水文状况,下面简要描述水文基本特征.

2.1 平面分布特征

图2为5 m,30 m和底层温、盐和密度的分布.由图2可见,南黄海的东南部温、盐和密度最高,中部其次,东、西部较低.在济州岛西南部从上表层(5 m)处(全文同)至底层有一个较为稳定的温度大于10℃,盐度大于34.0,密度大于 26.0 kg/m^3 的高温、高盐和高密的水舌(仅在长江口与济州岛连线断面126°以东两站),显示了初春黄海暖流的主要部分已向济州岛方向退缩,并与先前进入南黄海中部的高盐水分离,在 $33^\circ\sim 35^\circ\text{N}$, $123^\circ\sim 123^\circ 45'\text{E}$ 间 9°C 等温线呈封闭状分布.研究海区的西和东部分别呈现出温度低于 7°C ,盐度小于32.5,密度大于 25.4 kg/m^3 的低温、低盐和低密的鲁南沿岸水、苏北沿岸水和朝鲜沿岸水.上表层,25.0

kg/m^3 等密度线呈由北向南的舌状分布。在中层,鲁北沿岸水的南下影响更加明显,30 m层小于 7°C 的等温线和32.0等盐线均呈现由北向南的舌状分布,可向南扩展至 35°N ,显示出鲁北沿岸水继续向南伸展的态势。在青岛外海(36°N , $122^\circ00'\text{E}$)30 m水温均低于周围(4.70°C);底层 5°C 等温线呈封闭状分布,表明青岛外海冷水团已初步形成,冷水团中心位于 36°N , 122°E (温、盐度分别为 4.66°C 和31.73)。同时,在朝鲜沿岸外海 37°N , $125^\circ15'\text{E}$ 出现低温、中盐的朝鲜冷水,其温、盐度分别为 4.70°C 和32.03。

上述的温、盐分布特性表明春季来自鲁北沿岸水,对山东半岛以南水域具有显著的影响。按地理位置命名水团(水系)的习惯,我们称山东半岛以南这一低盐水为鲁南沿岸水,而在涉及其来源时用到“鲁北沿岸水”一词。

此外,图2还显示出,上表层在黄海中、北部盐度锋和密度锋分别由 37°N 伸至 34°N 断面和E断面,而底层在黄海中、北部均存在温、盐和密度锋,且盐度和密度锋较上表层西移加宽,此即人们通常所称的黄海陆架锋;在南黄海,于济州岛的西南和西北部由上表层至底层均存在着明显的温度和盐度锋。

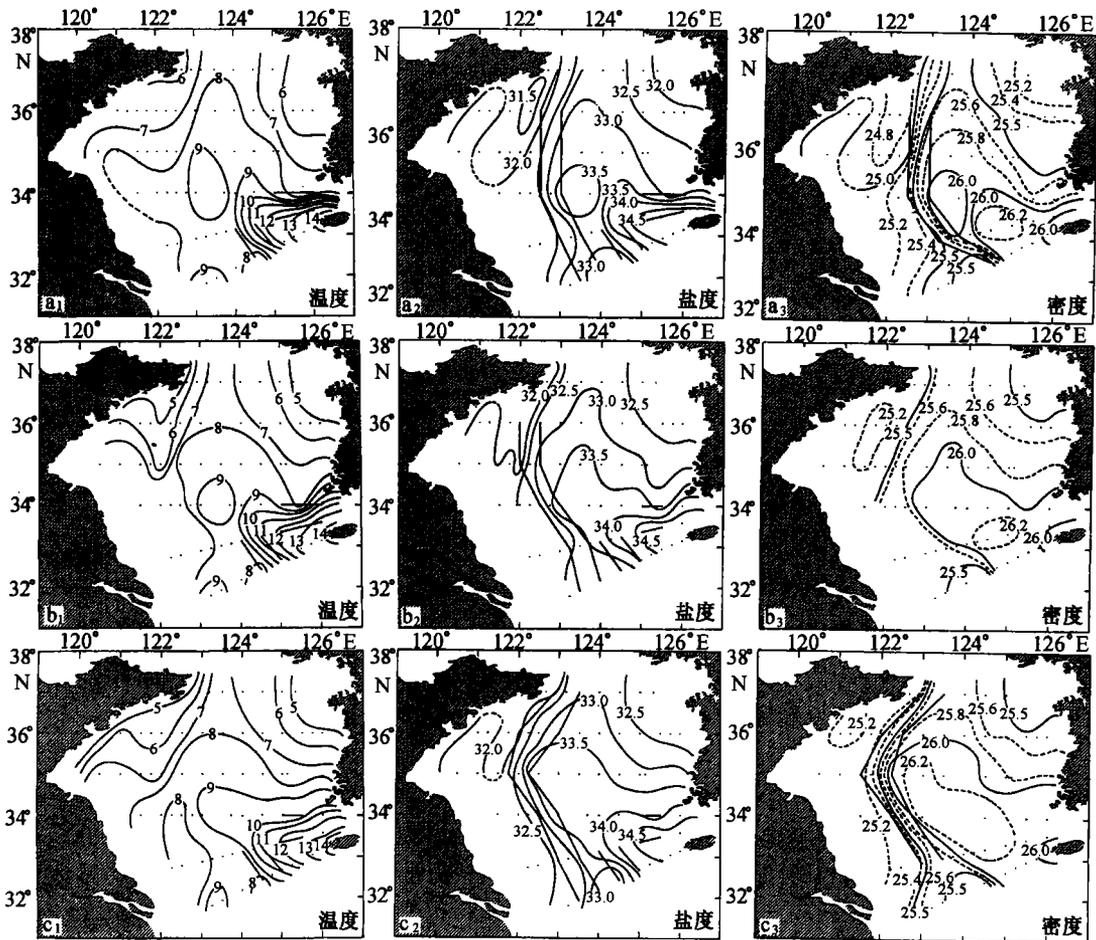


图2 5 m(a)、30 m(b)和底层(c)温($^\circ\text{C}$)、盐和密度(kg/m^3)的平面分布

2.2 断面分布特征

纵观 B, C, D 各断面的温、盐和密度的分布(见图 3, 仅展示 B, C 断面), 可以发现初春在 $122^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 之间存在甚强的锋面. 较之冬季而言, 锋面以西的浅水域温、盐和密度的分布状况已发生显著的变化, 结构复杂; 锋面以东的黄海槽区的变化则小得多.

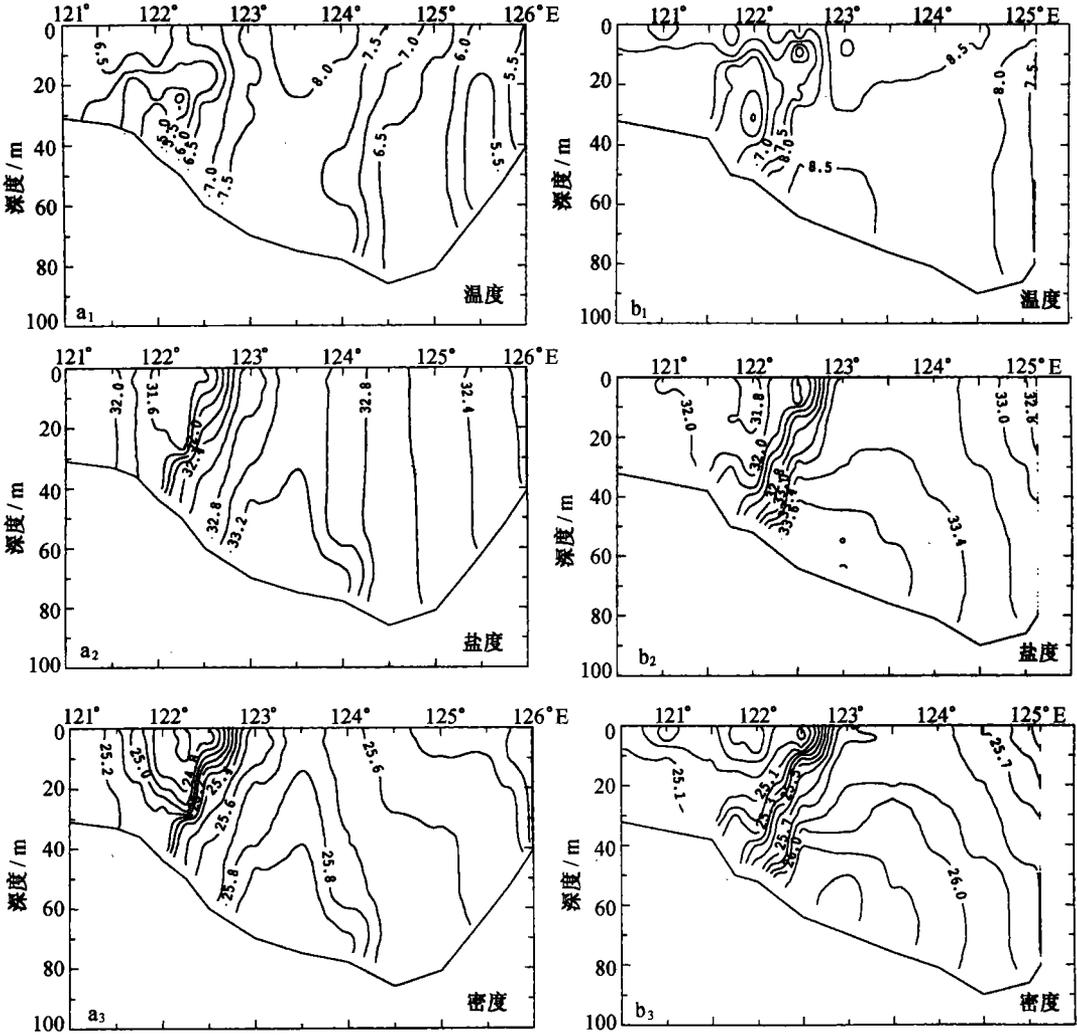


图 3 36°N (a)和 35°N (b)断面温($^{\circ}\text{C}$)、盐和密度(kg/m^3)的分布

B(36°N)断面的西侧 20 m 以深的低温中心($t < 5^{\circ}\text{C}$)即为已见初型的青岛外海冷水团. 在 $122^{\circ}00'\sim 123^{\circ}00'\text{E}$ 间出现中层冷水现象, 并在 $122^{\circ}30'\text{E}$ 站 10~20 m 处 5.5°C 等温线呈封闭状的冷中心, 20 m 以深的温度锋位于 $122^{\circ}00'\sim 122^{\circ}33'\text{E}$ 之间. 20 m 以浅的盐和密度的分布均显示出低盐、低密的鲁南沿岸水的分布, 其中心位于 $122^{\circ}15'\text{E}$ 处; 而在 $123^{\circ}00'\sim 124^{\circ}00'\text{E}$ 间则呈现出温、盐和密度($t > 7.5^{\circ}\text{C}$, $S > 33.0$, $\sigma_t > 25.7$)相对较高的黄海暖流变性水体; $125^{\circ}30'\text{E}$ 以东是温和盐垂直分布较为均匀的低温、低盐和低密的朝鲜沿岸水. 盐度和密度锋

面均由上表层(122°00'~123°00'E)至底层(122°30'~123°00'E)向西加宽。

C(35°N)断面的 121°45'~122°30'E 间中层冷水由 122°00'E 的 30 m 层不断抬升, 122°30'E 站冷水核心抬升至 9 m 处。盐度小于 32.00 的鲁南沿岸水位于 121°~121°30'E 间的 30 m 以浅的水层。相对高温、高盐和高密的黄海暖流变性水($t > 8.0$ °C, $S > 33.0$, $\sigma_t > 25.8$)的范围较 36°N 断面加大, 位于 122°30'~125°00'E 之间, 123°00'E 测站底层的温、盐和密度分别为 8.73 °C, 33.81 和 26.23 kg/m³。盐度和密度锋面均由上表层(122°30'~123°00'E 之间)向下盐度锋面西移 30', 密度锋西移加宽均呈倾斜的锋面。

D(34°N)断面(图略)121°30'E 测站温、盐和密度垂向分布均匀是苏北沿岸水的东边缘。122°45'~125°00'E 之间为相对高温、高盐和高密的黄海暖流变性水($t > 9.0$ °C, $S > 33.6$, $\sigma_t > 26.1$), 在 122°30'~123°00'E 间由表至底层存在盐度锋面, 而密度锋面由表向底层西移 15'。125°30'~126°00'E 间 24 m 以深为高温、高盐的黄海暖流水($t > 10$ °C, $S > 34.0$, $\sigma_t > 26.2$), 同时也显示明显的温度和盐度锋面。

E 和 F 两条斜断面(图略), 温、盐和密度的垂向分布较为均匀, 高温、高盐的黄海暖流水分别位于 124°30'E 以东和 125°00'E 以东的海域。因此在 E 和 F 断面由表层至底层分别在 124°00'~124°30'E 间和 124°30'~125°00'E 间存在温、盐和密度锋面。

3 春季南黄海中层冷水

翁学传^[7]曾对东海西北部海域中层冷水进行过初步分析。本航次调查我们在山东半岛东端的东南水域, 首次发现类似现象。下面我们将就这一现象进行初步的分析。

3.1 中层冷水特征及其分布

根据翁学传^[7]提出中层冷水示性特征值(中心深度、中心温度、厚度和强度)。我们将调查海区中层冷水各示性特征值列于表 1, 由表 1 可见, 中层冷水主要分布于 34°~36°N, 124°00'E 以西海域。中层冷水强度大于 0.1 °C/m 的测站位于 122°30'E 以西海域陆架锋的西侧, 最强强度出现在 35°N, 122°30'E(强度达 0.51 °C/m)。中心深度主要位于 10~30 m 之间; 中心温度由北向南递增, 中心温度小于 6 °C, 位于 36°N, 122°30'E 以西海域及 35°N, 122°00'E (C5

表 1 中层冷水各站的示性特征

站号	位置	中心温度/°C	中心深度/m	厚度/m	强度/°C·m ⁻¹
B ₅	36°0.1'N, 122°0.0'E	5.51	19	9	0.17
B ₆	36°0.0'N, 122°15.0'E	4.73	24	23	0.12
B ₇	35°59.9'N, 122°29.9'E	5.45	15	18	0.15
C ₄	35°0.0'N, 121°45.0'E	6.04	15	16	0.18
C ₅	35°0.0'N, 122°0.0'E	5.36	31	37	0.11
C ₆	35°0.0'N, 122°15.0'E	6.80	24	46	0.13
C ₇	35°0.0'N, 122°30.0'E	6.04	9	28	0.51
B ₈	35°59.8'N, 122°59.8'E	7.29	16	12	0.03
B ₉	36°0.1'N, 123°30.5'E	7.18	50	54	0.03
C ₈	35°0.0'N, 123°0.0'E	8.15	36	43	0.04
D ₄	34°0.0'N, 122°29.6'E	7.49	21	21	0.03
D ₅	34°0.1'N, 122°45.0'E	8.09	20	34	0.06

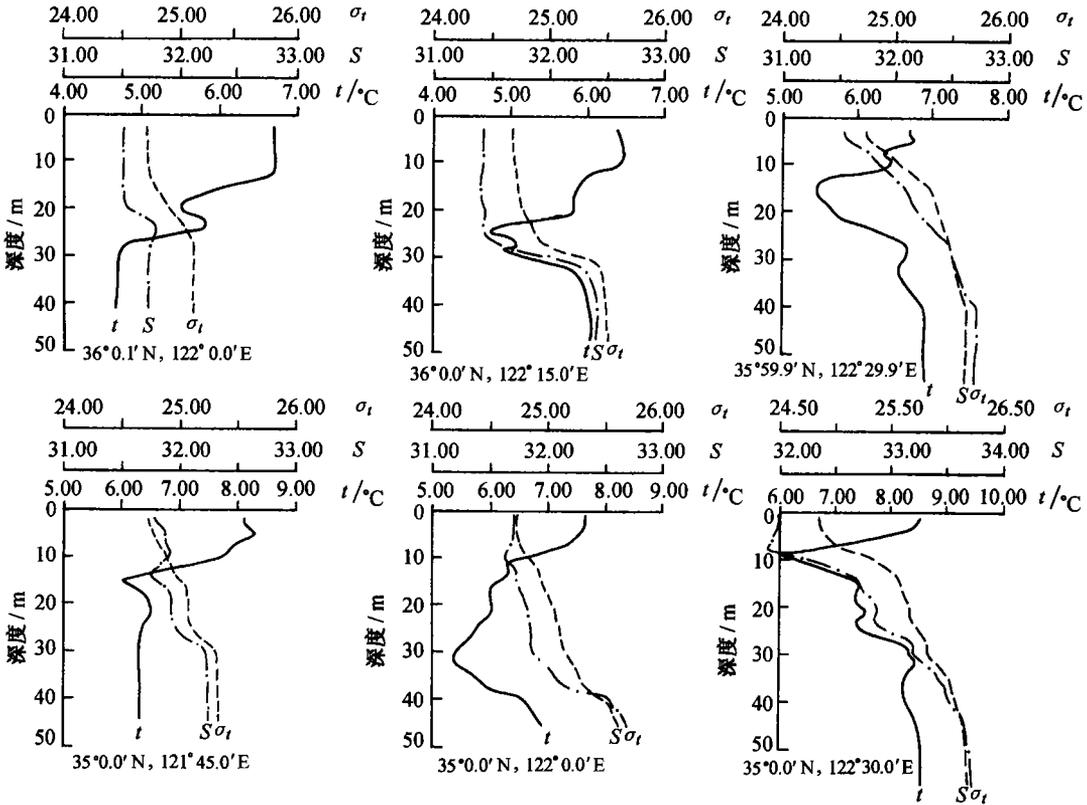


图 4 中层冷水各站温、盐和密度垂直分布

站), 中层冷水强度大于 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$ 的测站, 厚度以 $35^\circ\text{N}, 122^\circ00'\text{E}$ 和 $122^\circ15'\text{E}$ 两测站较厚, 分别为 37 和 46 m.

3.2 中层冷水成因的初步探讨

根据表 1 的数据, 我们把中层冷水强度大于 $0.05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$ 的区域标识在图 6 中(ICW). 结合图 2 分析, 可以发现中层冷水的位置和范围与陆架锋一致, 其东边界位于表层锋附近, 而西边界位于底层锋附近. 图 3 显示出陆架锋从表至底由东向西下倾, 但冬季陆架锋面从表至底垂直分布. 这意味着, 初春黄海暖流减弱过程首先发生在上层, 而底层的变化缓慢, 伴随着黄海暖流水北上势力的减弱, 上层陆架锋东移, 亦即黄海西部混合水向东、向南扩展. 又初春黄海西部混合水位于水深约 30 m 的浅水区, 上层增温明显, 温跃层已形成, 下层(约 15 m 以下水层)仍保持冬季的低温状态, 其水温比附近的黄海暖流水低 $2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右; 但密度比黄海暖流小. 当这一水体向东、向南扩展至黄海暖流水的上方时, 黄海西部的下层混合水便成为中层水, 并显露出其较上、下的温度均低的特征. 图 4 表明了中层冷水位于密度跃层之内, 是风混合和潮混合作用最小的水层, 因此中层冷水得以维持.

以上分析表明黄海中层冷水出现于: (1) 初春黄海暖流北上势力减弱的时期, 黄海西部混合水向东向南扩展(动力条件). (2) 黄海西部温跃层已形成, 并且下层冷水的温度比附近的黄海暖流水低(热力条件), 当两者水温相同时, 这种现象即消失. 1998 年 5 月的调查就未发

现中层冷水的存在.

此外,从表1还可见到, B_9 站(水深 78 m)也出现的中层冷水,其冷中心位置为 50~60 m. 同样的动力原因,亦即黄海暖流水北进的势力减弱, 36°N 以北的混合水向南推移. A 断面各站的水温垂直分布表明 $A_3 \sim A_8$ 站(水深 55~70 m)已形成显著的温跃层, 30 m 以深的水温比 B_9 站底层水温低 1°C 以上(图略), 显然, 也具备中层冷水形成的热力条件.

4 南黄海春季水团分析

4.1 水团的划分

利用春季 6 条断面所取得的 CTD 资料, 首先利用 $t-S$ 方法对调查海区的水团进行划分. 图 5 为所有断面的总共 3 819 个资料的 $t-S$ 点聚图. 从上表层、底层的 $t-S$ 点聚图分布可看出已基本上反映出所有资料的 $t-S$ 点聚集的分布类型. 由 $t-S$ 点聚图可分为 5 个水团, 即沿岸水、底层冷水、黄海混合水、黄海暖流变性和黄海暖流水. 为验证划分的有效性, 用 Bayes 多组判别方法进行分析检验^[8], 即首先计算了温、盐两指标各水团的判别函数的系数及参数(表略), 然后用实测资料及系数逐一回代判别, 并与原划分水团进行比较, 回代判别效率高达 97%, 说明这种划分是有效的, 而且各水团之间及两个水团之间差异的显著性检验 F 值的计算结果均大于高度显示水平 ($\alpha = 0.1, 0.05$ 和 0.01) 的临界值(略), 从而证实各水团两者之间均存在显著差异. 各水团的温、盐度特征值如表 2 所列. 可以认为, 在上表层, 研究海区西侧有沿岸水(包括鲁南沿岸水和苏北沿岸水), 东侧靠朝鲜沿岸有朝鲜沿岸水; 成山角沿岸冷水是由于混合了近岸底层冷水而形成, 以低温、低盐为其特征, 温、盐度分布垂直均匀. 南黄海的中、北部有黄海混合水和黄海暖流变性水以及在济州岛的西南侧为黄海暖流水. 在底层, 青岛外海冷水团(4.66°C)和朝鲜西岸外海冷水(4.7°C)已形成; 沿岸水(鲁南沿岸水和苏北

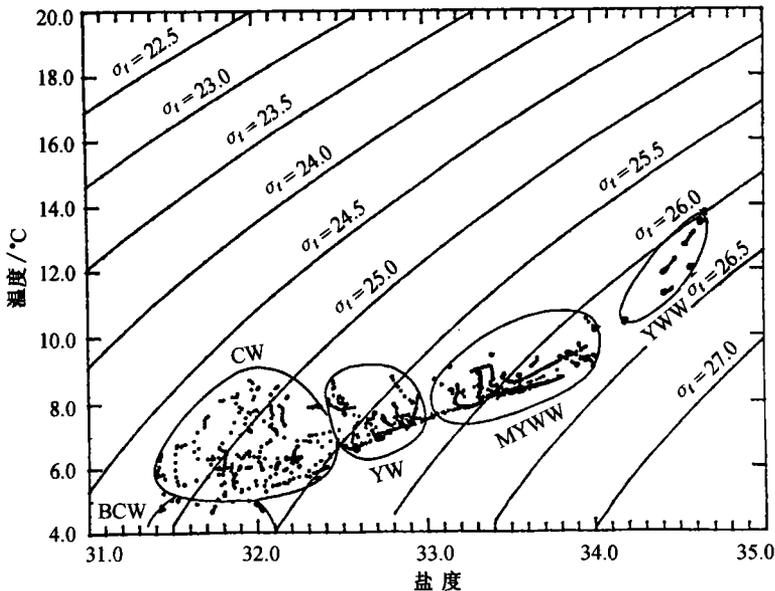


图 5 南黄海 1996 年初春 $t-S$ 点聚图(总共 3 819 个资料)

沿岸水)的范围比上表层缩小,而黄海暖流变性水的分布范围比上表层增大;黄海暖流水和朝鲜沿岸水的分布范围基本上与上表层相近(图 6)。

表 2 各水团温、盐度特征值

水团	温度/℃		盐度	
	范围	均值	范围	均值
沿岸水 CW(鲁南、苏北和朝鲜沿岸水)	5.46~8.29	6.87	31.43~32.42	32.10
底层冷水 BCW(青岛外海和朝鲜外海冷水)	4.66~5.17	4.94	31.53~32.12	31.79
黄海混合水 YW	6.14~8.79	7.64	32.45~33.05	32.71
黄海暖流变性水 MYWW	7.74~10.14	8.87	33.12~34.01	33.55
黄海暖流水 YWW	10.37~14.28	12.52	34.19~34.67	34.53

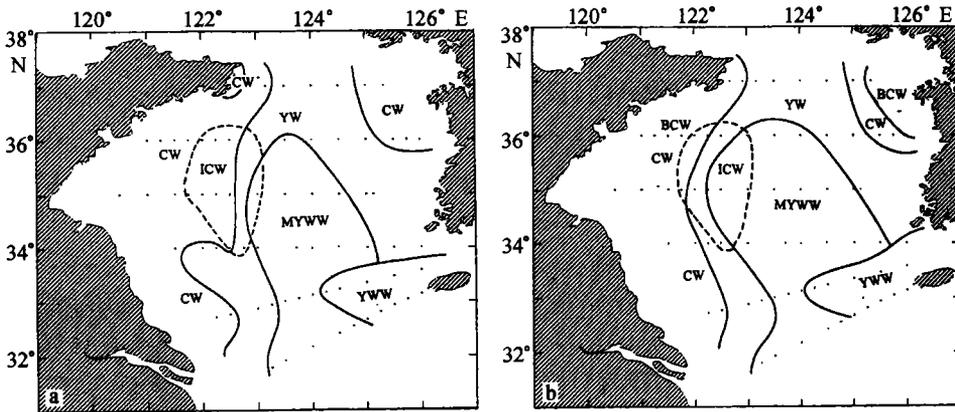


图 6 1996 年初春南黄海水团的分布

a. 上表层水团分布 b. 底层水团分布

4.2 水团特征

4.2.1 沿岸水 (CW)

包括鲁南沿岸水、苏北沿岸水和朝鲜沿岸水。鲁北沿岸水顺鲁北沿岸经成山角向南运移,在山东半岛以南水域与当地海水混合后形成鲁南沿岸水;苏北沿岸水由江苏北部的射阳河等入海径流与沿岸海水混合形成,它向东南移动,其温、盐度性质较均匀,并不出现分层现象。朝鲜西海岸的朝鲜沿岸水由朝鲜西部沿岸入海径流与海水混合形成,其盐度较黄海西侧沿岸水约高出 0.4。

4.2.2 底层冷水 (BCW)

包括青岛外海冷水和朝鲜外海冷水。初春温跃层已在青岛外海形成,其中 36°N 断面的 122°E 和 122°15'E 两测站底层冷水已显露,即青岛外海冷水团的雏形;其是以低温为主要特征的季节性水团,并具有低盐特征;冷中心位于 36°00'N, 122°00'E, 温、盐度分别为 4.66 °C 和 31.73, 温度为研究海区最低, 5 °C 等温线呈封闭状分布。另外,在 37°N 断面 123°10'E 以东也出现温跃层,朝鲜外海 125°15'E 出现冷水,其温、盐度分别为 4.70 °C 和 32.03, 其温度值在研究海区仅高于青岛外海冷水团。

4.2.3 黄海混合水 (YW)

该水团由进入黄海的黄海暖流变性水与沿岸水混合后形成, 具有明显的混合水特征. 其上表层温度范围在 $6.91\sim 8.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间, 底层则为 $6.14\sim 8.44\text{ }^{\circ}\text{C}$, 高于沿岸水, 略低于黄海暖流变性水; 盐度的范围上表层为 $32.45\sim 33.05$, 底层为 $32.45\sim 33.02$, 表层和底层基本一致.

4.2.4 黄海暖流变性水 (MYWW)

系指春季黄海暖流北进后变性, 而残留下来的那部分水, 其温、盐度均相对较高, 上表层和底层的温度范围分别为 $8.11\sim 10.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $7.74\sim 10.14\text{ }^{\circ}\text{C}$; 盐度范围分别为 $33.12\sim 33.96$ 和 $33.14\sim 34.01$, 由此看出两者较为相近.

4.2.5 黄海暖流水 (YWW)

此水团具有高温、高盐特征. 它呈舌状自济州岛西侧海域伸向南黄海, 位于研究海区 E 和 F 两斜断面 $124^{\circ}15'E$ 以东海域. 该水团温、盐度垂直分布均较均匀, 其温度范围在上表层为 $10.43\sim 14.28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 底层为 $10.37\sim 14.21\text{ }^{\circ}\text{C}$; 盐度范围上表层和底层几乎一致 ($34.19\sim 34.67$).

黄海混合水、黄海暖流变性水和黄海暖流水基本上仍保持冬季型的特征, 说明黄海底层冷水团尚未形成.

5 结论

5.1 调查期间, 黄海暖流水初春已向济州岛方向退缩, 并在黄海中部留下高盐水块.

5.2 初春南黄海中层冷水现象位于 $34^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}45'\sim 124^{\circ}\text{E}$ 的海域. 中层冷水的位置和范围与陆架锋一致, 它的东边界位于表层锋附近, 而西边界位于底层锋附近. 分析认为中层冷水形成的主要原因是初春黄海暖流北上势力减弱, 黄海西部混合水向东、向南扩展并且覆盖在黄海暖流水之上. 同时黄海西部温跃层已形成, 其下层温度比黄海暖流水低.

5.3 调查期间, 研究海区分为 5 个水团: 沿岸水、底层冷水、黄海混合水、黄海暖流变性水和黄海暖流水.

5.4 初春黄海冷水团首先在青岛外海及朝鲜外海形成, 而其他水域水文特征基本上仍保持着冬季型的特征.

作者在此向参加中韩“黄海水循环动力学及物质输运”合作研究项目春季第一航次的“向阳红 09”号和“ONNVRI”科学调查船上的所有船员及科学家所做的辛勤工作表示衷心感谢.

参考文献

- 1 Lie H J. Wintertime temperature - salinity characteristics in the southeastern Huanghai (Yellow Sea). *J Oceano Soc Japan*, 1985, 41: 291~298
- 2 Lie H J. Summertime hydrographic features in the southeastern Huanghai. *Prog Oceanog*, 1986, 17: 229~242
- 3 乐肯堂, 毛汉礼. 南黄海冬季温盐结构及其流系. *海洋与湖沼*, 1990, 21 (6): 505~515
- 4 赵保仁, Limebener R, 胡敦欣等. 黄海南部及东海北部夏季若干水文特征. *海洋与湖沼*, 1996, 22 (2): 132~139
- 5 张启龙, 翁学传, 相玉玲等. 南黄海春季温、盐结构特征分析. *海洋科学*, 1994, 6: 63~74
- 6 张启龙, 翁学传, 相玉玲. 南黄海春季水团分析. *海洋与湖沼*, 1996, 27 (4): 421~428
- 7 翁学传. 东海西北部海域中层冷水的初步分析. *海洋科学集刊*, 第 21 集. 北京: 科学出版社, 1984, 63~74
- 8 李凤岐. 黄、东海域春季水团的划分、判别与分析. *青岛海洋大学学报*, 1989, 19 (1): 22~34

The hydrographic features and water masses analyses of the southern Huanghai Sea in the spring of 1996

Zou Emei,¹ Guo Binghuo,¹ Tang Yuxiang,¹ Lee Jae-Hak²

1. *Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, State Oceanic Administration; First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266003*
2. *Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, Korea*

Abstract—By using the CTD data obtained from the first cruise in the early spring of 1996 of “China-Korea Ocean Circulation Dynamics and Material Transportation Joint Study on the Southern Huanghai Sea”, the horizontal and vertical distributions of temperature, salinity and density are depicted, the analyses of water masses are made, and the formation mechanism of intermediate cold water (ICW) phenomenon which occurred in the sea area west of the Southern Huanghai Sea ($34^{\circ} \sim 36^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}45' \sim 124^{\circ}\text{E}$) is revealed as well. The results also show that the Huanghai Sea Warm Current (YWW) in the surface regressed towards the Chejudo, and the Huanghai Sea Bottom Cold Water Mass (YC) began to form only in the sea area off the Qingdao.

Key words Hydrographic features, intermediate cold water, the characteristics of water mass, the Huanghai Sea Warm Current