

渤、黄、东海水温季节变化特征分析*

鞠霞^{1,2}, 熊学军^{1,2}

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 海洋环境科学与数值模拟国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061)

摘要:利用“908”专项所获取的 CTD 观测资料, 系统地阐述了渤、黄、东海温度的分布特征及季节变化。结果显示, 冬季, 水平方向上, 水温分布呈现多舌状; 外海温度多暖舌结构, 近岸等温线基本平行于岸线, 并出现多个指向南方的冷水舌, 且暖流区与近岸冷水区间形成了较强的温度峰。夏季, 三大海域底层均出现了各具特色的冷水团和冷水块, 最为典型的有“渤中冷水”、“辽东湾冷水”、黄海冷水团、青岛冷水团和东海北部底层冷水。春、秋季水温分布呈现过渡季节的特征。春季, 跃层开始出现, “渤中冷水”及黄海冷水团等冷水现象开始形成。进入秋季, 跃层明显下沉, 直至消失, 水温分布逐渐呈现垂向均匀状况。同时, 分析还表明, 三大海域的水温分布存在明显的区域性差异。水温分布的年变幅从北向南、从近岸向外海递减。

关键词:渤、黄、东海; 温度分布; 季节变化

中图分类号: P731.11

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2013)01-0055-14

关于中国近海水温的分布特征, 已有不少调查和研究。其中, 1958 年全国海洋综合调查报告第一次较全面、系统地阐述了我国近海各海域水温的分布和变化特征。此后, 还开展了许多针对局部海区的调查研究。近年来, 涌现出不少关于中国近海水文要素分布的论文和专著^[1-6]。然而, 自上世纪 50 年代末开展全国普查后, 针对整个中国近海的大规模调查研究却很少, 对于中国近海环境的系统认识仍然多停留在统计平均态层面, 一些局部的调查由于时间不同步难以获取全面系统的认识。因此, 近年来开展的我国近海综合调查对更新中国近海环境的认识就显得尤为重要。本研究就是利用该专项所获的最新调查数据, 对渤、黄、东海水温分布特征进行系统全面的分析, 以求对中国近海海洋环境有进一步的认识。

1 数据来源

本文章所用温度数据来自国家“908”专项——“我国近海海洋综合调查与评价”的 CTD 观测资料。该专项共实施 4 个航次, 其调查时段大致为: 2006 年夏季 7—8 月, 冬季 12—2 月, 2007 年春季 4—5 月, 秋季 10—12 月。调查海域覆盖渤海全域, 黄海 124°E 以西, 以及东海 200 m 等深线以西的陆架区域。涉及站位共有近 1 300 个。CTD 观测数据经由范围检测、密度倒置检查、剖面图检测等质量控制步骤后, 得到本文绘图、讨论所用数据, 数据垂向分辨率为 1 m。

2 温度平面分布特征分析

2.1 冬季

在研究海区各站位观测的基础上(图 1), 分析发现, 冬季盛行寒冷的偏北风, 海水垂直对流混合很强, 在

* 收稿日期: 2012-01-19

资助项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目——常用海底声纳测量仪器计量检测关键技术与示范应用(2013418034); 我国近海海洋综合调查与评价专项——我国近海物理海洋与海洋气象调查研究(908-ZC-1-01)

作者简介: 鞠霞(1983-), 女, 江苏如皋人, 研究实习生, 硕士, 主要从事区域海洋学方面研究, E-mail: juxia@fio.org.cn

(杜素兰 编辑)

水深小于 100 m 的陆架浅海,混合深度几乎可达海底,导致表、底层水温的平面分布形态非常相似(图 2)。

渤海,一条暖水舌从海峡口伸向渤海内部,海峡口温度为 6 °C 左右,渤海中央水温为 4~5 °C。这种分布态势主要是受黄海暖流的影响。近岸浅水区等温线几乎都与岸线平行,水温多在 1 °C 以下,尤其在辽东湾、渤海湾和莱州湾湾顶,水温出现负值。其中,辽东湾顶最低温为 -1.5 °C (观测值为 -1.5 °C 的站位以★标识在图中),这是冬季中国近海水温最低的海域。在这三个湾内,冬季一般都有海冰出现。

黄海,温度分布呈多舌结构,主要体现了黄海暖流及沿岸流的影响。在南黄海,一暖舌指向西北青岛、日照近海,温度由 14 °C 以上降至 8 °C 以下。成山头外,受沿岸低温水的影响,形成一片低温区,呈舌状向南伸展,极值小于 4.5 °C。在江苏沿岸亦有一片低于 7 °C 的冷水区。北黄海,暖舌位于海域中部,前端伸向渤海海峡,舌轴温度在 7 °C 以上。暖舌两侧,温度向岸边递减,近岸区等温线平行于岸线,至东北角沿岸温度低至 4 °C 以下。在沿岸低温水和中部暖水之间,等温线较密集,形成强度不等的温度锋。

东海,近岸与外海、南部与北部均存在明显差异。在近岸一侧,等温线分布密集,几乎平行于岸线,水温从岸边的

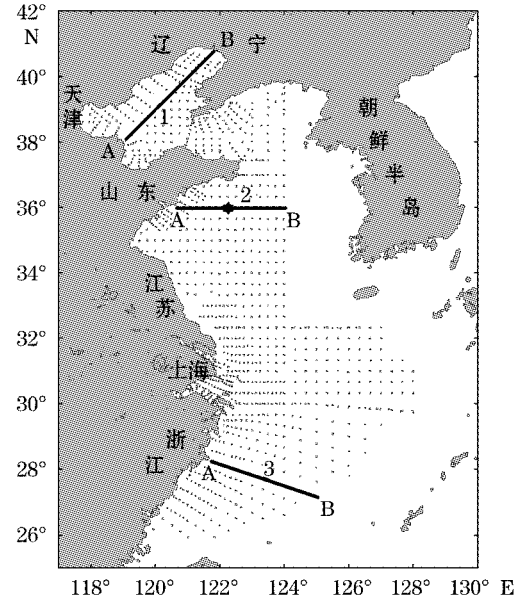


图 1 观测站位分布

Fig. 1 Distributions of Observing Stations

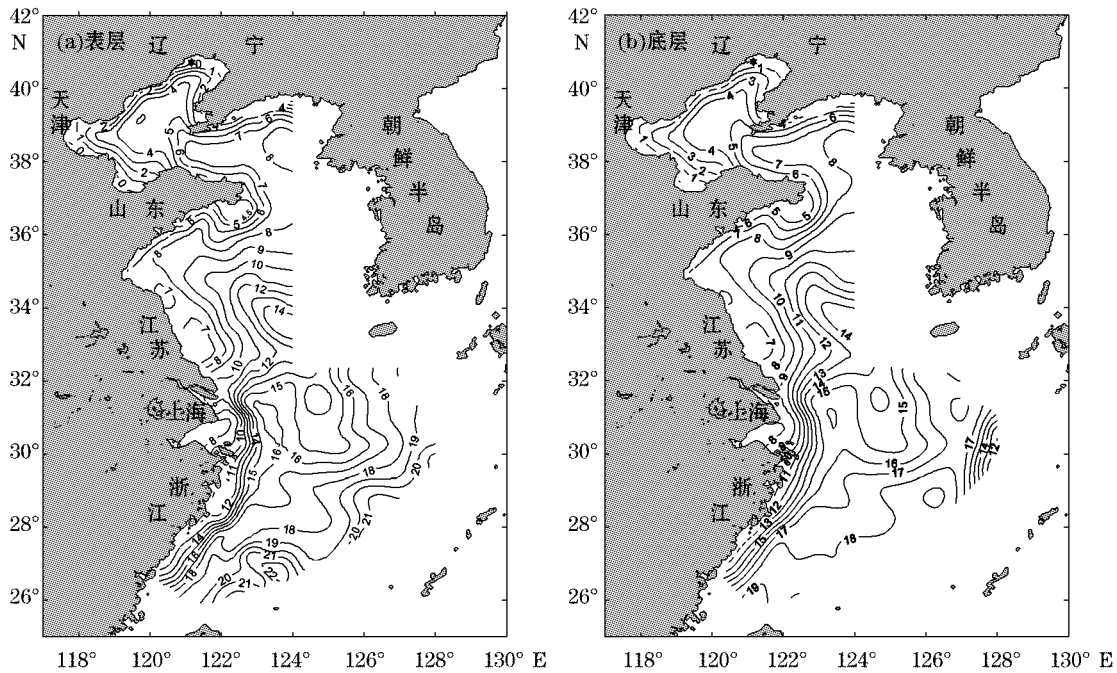


图 2 冬季渤、黄、东海温度分布(°C)

Fig. 2 Water temperature distributions in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in winter (°C)

8 °C 左右向外迅速增至 16 °C 左右,形成很强的浙闽沿岸温度锋。沿岸水温的这种分布状态,主要是受低温的沿岸流和近岸陆地降温共同作用的结果。温度锋以东,存在一个由南向北伸展的高温水舌,舌根部水温在 21 °C 以上,其前锋可至 28°N 附近海域。显然,这是台湾暖流的作用所致。陆架边缘海域,水温一般大于 20 °C,为东海冬季水温最高区,这体现了高温黑潮水的影响。在东海北部,由苏北外海向东南伸展的低温水

舌可达 30°N 附近海域,从而在东海北部形成一低温水区。

2.2 春季

春季,随着太阳辐射的增强,以及干冷北风的减弱,各海域的水温逐渐升高,水温分布亦逐渐向夏季型演变。从图 3 可看到春季各海域、各层次水温分布特征。

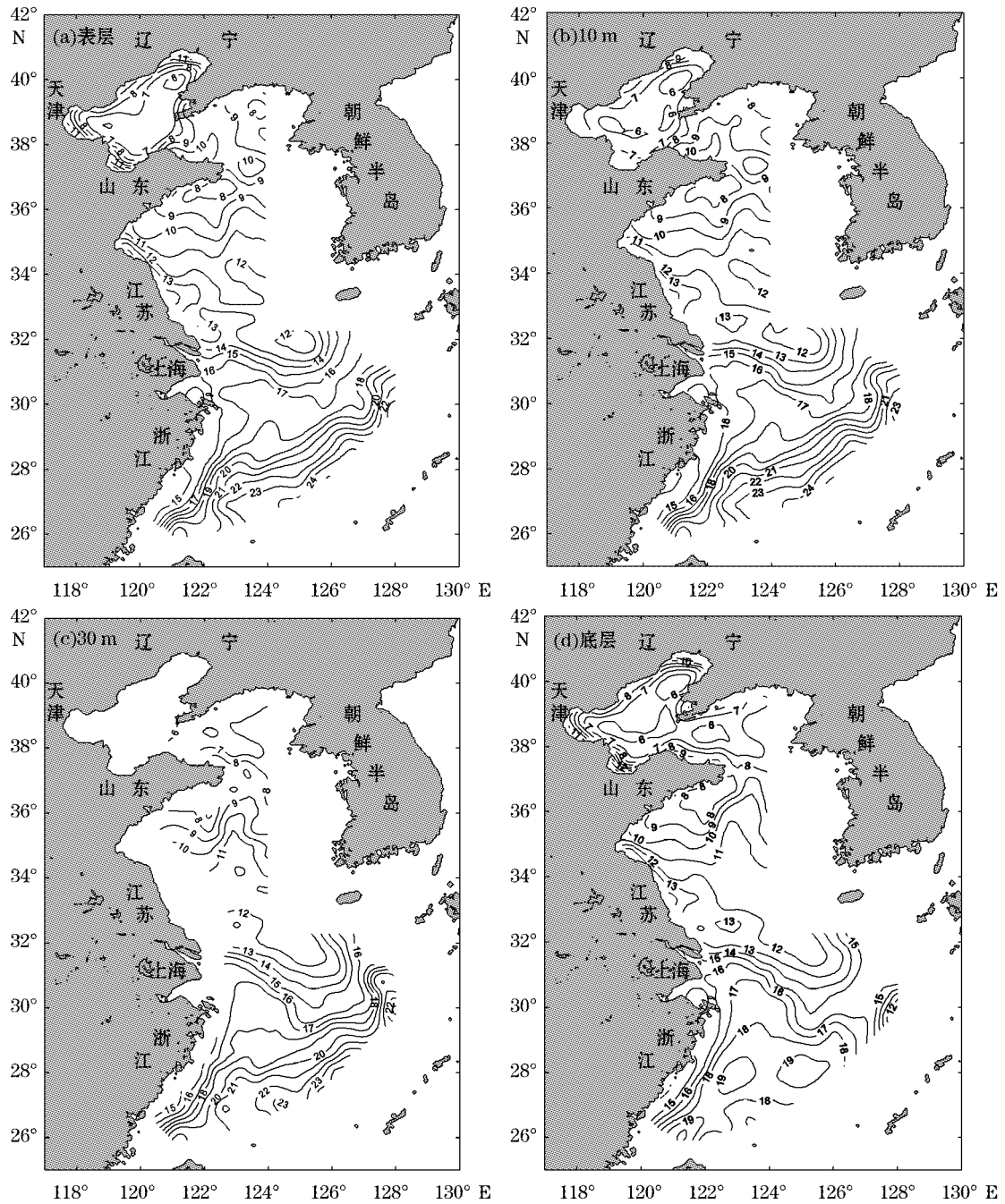


图 3 春季渤、黄、东海温度分布(°C)

Fig. 3 Water temperature distributions in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in spring(°C)

渤海春季开始出现近岸水温高于中央区的格局,这是由于近岸水浅,受热后比中央海域升温快,同时,黄海暖流减弱,对渤海的影响也减弱。渤海湾和莱州湾顶的水温分别达到 11 °C 和 13 °C;辽东湾温度最高,湾顶水温达 12 °C 以上。渤海中央区水温小于 7 °C。10 m 层以下至底层,水温分布不同于表层。辽东湾中部和渤海湾口至长兴岛附近海域出现了成片的冷水区,核心温度都在 6 °C 以下。这两大片孤立的冷水,就是通常所说的“辽东湾冷水”和“渤中冷水”的雏形。二者都存在于地形较深的洼地区,很有可能是冬季残留的冷水,甚至还含有融冰所形成的冷水。

黄海春季温度分布亦不同于冬季,等温线大致表现出纬向分布的特点,近岸与中央海区温差变小。在南黄海,仅在中央海域存在一个自南向北伸展的暖水舌。而在暖舌西侧,一低温冷水呈舌状向南伸展,这个冷中心等温线基本呈封闭状,是青岛冷水团的雏形^[7]。苏北近岸浅水区升温最为明显,水温高达 11~13 °C,且等温线大体平行于海岸。北黄海,30 m 以下,北黄海中央海区被范围较大的冷水块所控制,冷中心低于 6 °C,表明春季黄海冷水团首先在北黄海形成。

东海,近岸表层水温升至 15 °C 以上,等温线仍大致沿岸线分布。其外侧,暖水舌前锋可达 31°N 附近海域,比冬季明显向北推进了。台湾暖流水与沿岸水之间形成很强的温度锋,与冬季相比,温度锋的位置明显东移。此外,春季东海存在一个明显的低温区:32°N,125°E 附近,温度仅为 12~13 °C。这是冬季由苏北沿岸低温水南伸所导致的,至春末将形成“东海北部底层冷水”^[8]。这也是东海的重要水文特征之一。

2.3 夏季

夏季,太阳辐射最强,海面受暖湿的南风影响,为全年水温最高的季节。此时,水温分布最突出的特点是:绝大部分海域,垂向出现温度跃层,表、底层水温分布格局差异很大(图 4)。

渤海夏季仍维持三大海湾及近岸区水温高于中央及海峡附近海域的格局。表层,渤海湾、莱州湾和辽东湾的最高温分别达到 26 °C,25 °C 和 26 °C。在渤海海峡存在一个较大的冷水区,核心温度低于 18 °C。该冷水区从渤海海峡向西伸向渤海湾口,构成一狭长的冷水带。冷水带外围等温线密集,形成很强的温度锋。这一冷水带的出现是渤海夏季表层水温分布的重要特色。图 5 展示了 1958 年海洋普查^[9](图 4a)、1992 年渤、黄、东海水文图集(多年平均)^[10](图 4b)、2000 年观测(图 4c)以及本次调查(图 4d)的夏季渤海表层温度分布图。图 5a 显示,1958 年渤海海峡处有一块冷水,但从海峡至渤海湾口,并无冷水带。在多年平均图(图 5b)中,这一冷水带也不存在。而在 2000 年的调查中^[2](图 5c),发现了与本次结果(图 5d)类似的低温水带,表明渤海夏季表层温度分布格局发生转变很可能是在本世纪初,但这需要用长期观测结果做进一步探讨和论证。

渤海 10 m 以深海域,在中央海区,逐渐出现冷水区,并在底层发展成两个独立的冷水块,在两个冷水块之间,存在一个暖水块。这就是在春季已经出现的“辽东湾冷水”和“渤中冷水”,二者中心温度分别低于 13.5 °C 和 16 °C。

黄海夏季最突出的水文现象之一是黄海冷水团。表层,在西侧近岸区,存在多个孤立的低温中心,它们分别位于环成山角近海、青岛近海和海州湾外侧,其中心水温分别小于 21 °C,23 °C 和 22 °C。除了冷水块之外,还存在几个暖中心,比较明显的一个位于苏北近岸,核心温度大于 27 °C。10 m 层,又增加了多个冷水块,遍布在山东半岛东南部、青岛外海、苏北外海,其中青岛近海和黄海中部低温冷水块的中心水温最低,均小于 15 °C。30 m 层,10 °C 等温线已包络了黄海 34°N 以北的大部分海域,基本呈现出了黄海冷水团的全貌。北黄海的冷中心在 7 °C 以下,成山头东侧和南黄海的冷中心均在 8 °C 左右。底层显示,黄海冷水团有 3 个冷中心:较大的一个在北黄海中部,低温中心的位置在 38°15'N,122°25'E 附近,最低温度小于 6.5 °C;一个较小的位于山东半岛以东,37°N,123°30'E 附近,最低温度小于 7 °C;另一个较小的位于荣成以南的黄海中部,36°N,122°E 附近。此外,在青岛外海海域,还存在一个明显的低温中心,这是青岛冷水团所在,中心位置约在 35°40'N,121°20'E,中心温度低于 9 °C。黄海底层沿岸的温度大约为 17~27 °C,冷水团中心与沿岸温差为 10~18 °C;冷水团上方的表层温度为 22~26 °C,冷中心与表层之间温差为 16~18 °C。如此,冷水

团周边的温度水平梯度和垂直梯度都非常大,前者导致在冷水团的周围形成了很强的温度锋,后者导致夏季黄海的温跃层特别强。对比夏季8月渤、黄海底层多年平均的温度分布图^[4](图6)可见,本次观测结果很好的体现了青岛冷水团。

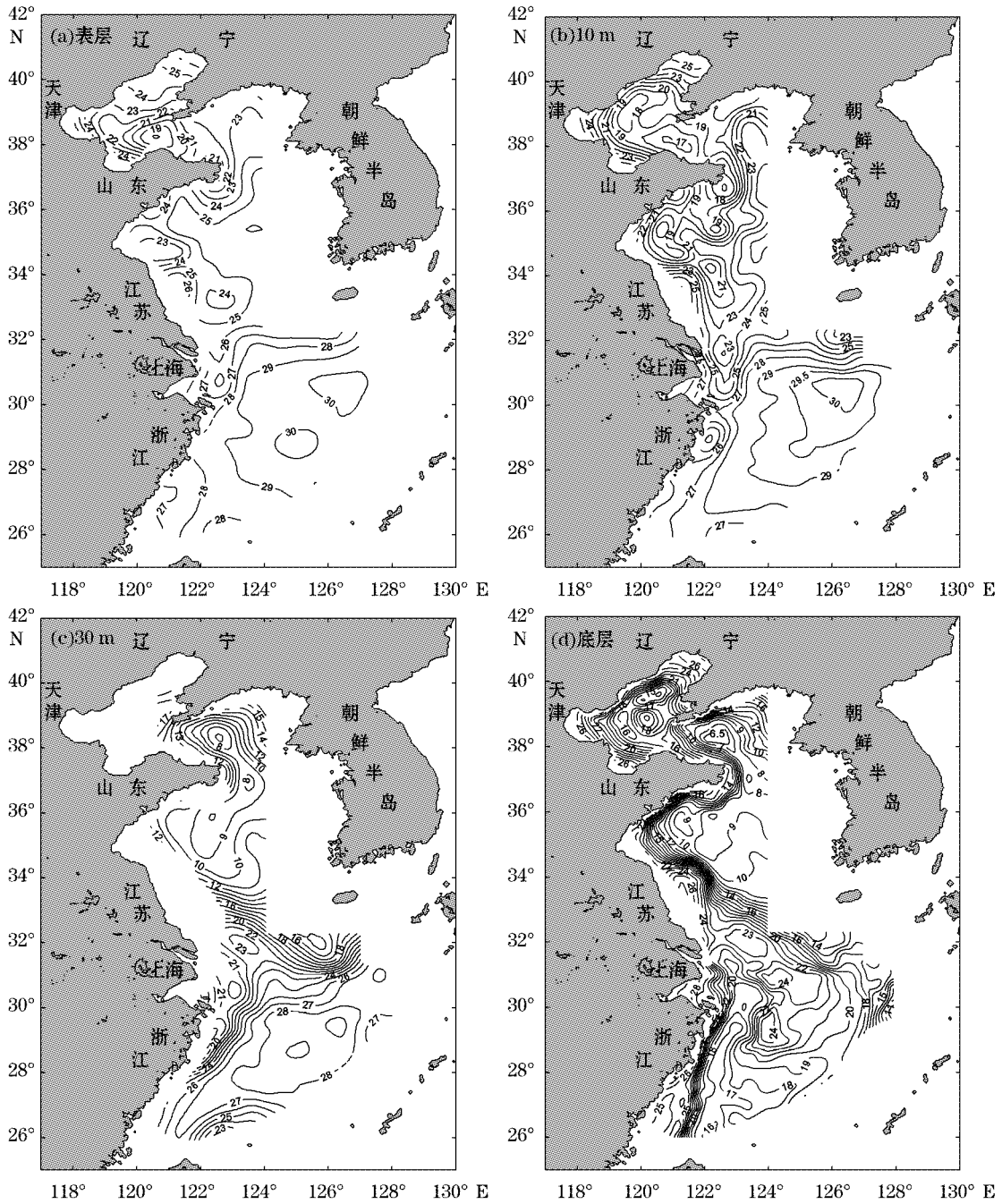


图4 夏季渤、黄、东海温度分布(°C)

Fig. 4 Water temperature distributions in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in summer(°C)

关于青岛冷水团,郑东等认为,青岛冷水团6月以后,渐渐和南黄海冷水融为一体^[11]。Zhang等认为青岛冷水团春季存在,7月消失^[12]。而本次调查结果显示,2006年夏季,青岛冷水团显然是存在的,而且它的冷中心范围比黄海冷水团在南黄海的冷中心大。

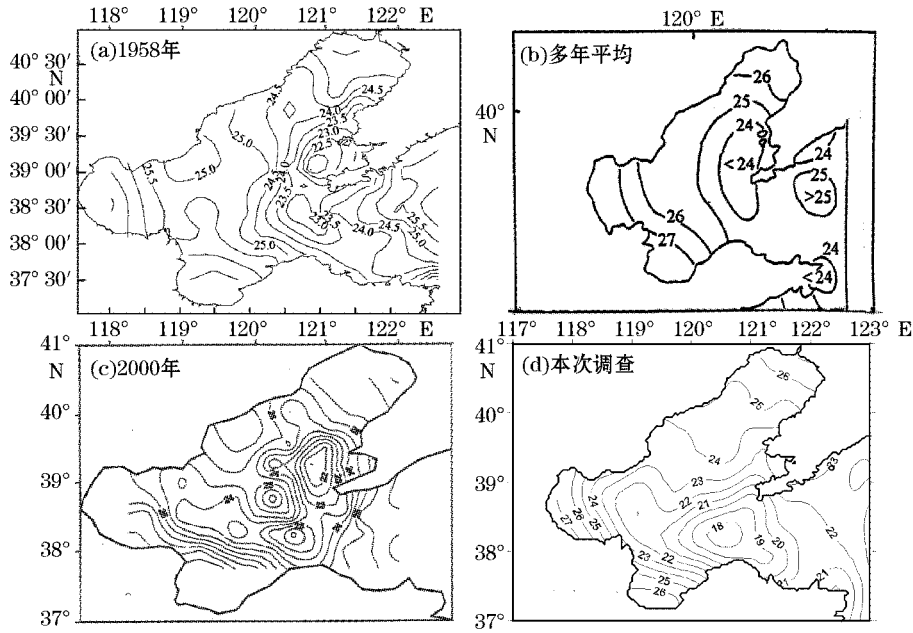


图 5 渤海夏季表层水温分布的各种结果(°C)

Fig. 5 Variations in the surface water temperature distribution in the Bohai Sea in summer (°C)

东海夏季表层水温分布较均匀,其值在 28~30 °C 间,等温线稀疏。10 m 以下水层,水温分布最突出的一个特点是,在近岸出现了一个平行于岸线分布的冷水带,显然,这是底层冷水涌升所致。同时,在济州岛以南,出现一个明显的冷水区,在 30 m 和底层最低温分别小于 15 °C 和 13 °C,这是春季已经存在的东海北部底层冷水。台湾以北的冷水区已形成冷舌由南向北延伸,前端可达舟山群岛附近,其外是一片暖水区。

2.4 秋季

秋季,随着太阳辐射逐渐减弱,北方冷空气开始南下并逐渐加强,各海域的水温分布开始从夏季型向冬季型转化(图 7)。

渤海,水温分布又恢复到沿岸低、中央高的格局。渤海中央水温为 15~19 °C;而渤海湾和莱州湾湾顶的水温均低于 13 °C,辽东湾顶水温低于 17 °C。在辽东湾中部至湾口出现一大片高温区,中心水温达 19.5 °C。由于对流混合增强,表底层温度分布趋于一致。

黄海表层和 10 m 层温度分布比较均匀,仅在青岛近海出现了一片水温较高的区域,核心温度高于 22 °C。苏北沿岸浅水区降温较快,等温线几乎平行于海岸,其值低于 20 °C。30 m 层以下,黄海冷水团依然存在。底层分布清晰地显示,10 °C 等温线包络的范围较夏季已大大缩小,说明黄海冷水团处于衰退期。此时北黄海的冷中心温度低于 12 °C,南黄海的冷中心温度低于 10 °C。在冷水团外侧,等温线仍很密集,温度锋很强。

东海,30 m 以浅水温分布相似。近岸等温线趋向于平行岸线分布。外海水温分布较均匀,等温线大致成纬向分布。底层水温分布较为复杂。长江口与钱塘江外海是一片低温区,温度在 20~21 °C 之间。一条暖

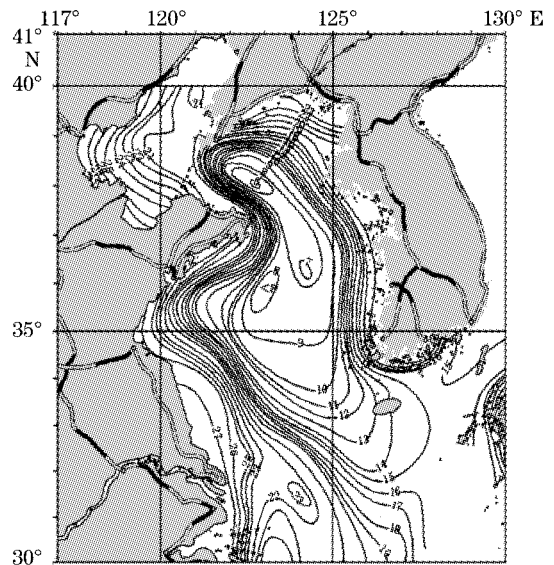


图 6 夏季渤、黄海底层多年平均温度分布(°C)

Fig. 6 Multi-years averaged bottom water temperature distributions in the Bohai Sea and the Yellow Sea in summer(°C)

水舌从台湾海峡紧贴闽浙沿岸向北深入,前锋 21 °C 等温线直达舟山群岛附近。但暖水舌以东海域的水温多在 18~21 °C 之间,且出现多个孤立的冷、暖水块。

有一点需要说明,在 30~31 °N 海域出现了大片纬向带状低温区。经统计,该低温区内站位的观测时间为秋末冬初(11-15—12-6),比其余大部海域的观测推迟半个月左右。而此时正值海区迅速降温季节,因此中部海域出现了明显低温的趋势。从秋季多年平均水温分布图(图 8)上可以看出,此季节东海表层水温水平变化较为均匀,等值线大体沿 NE—SW 走向;底层主要被一块暖水所控制^[6]。

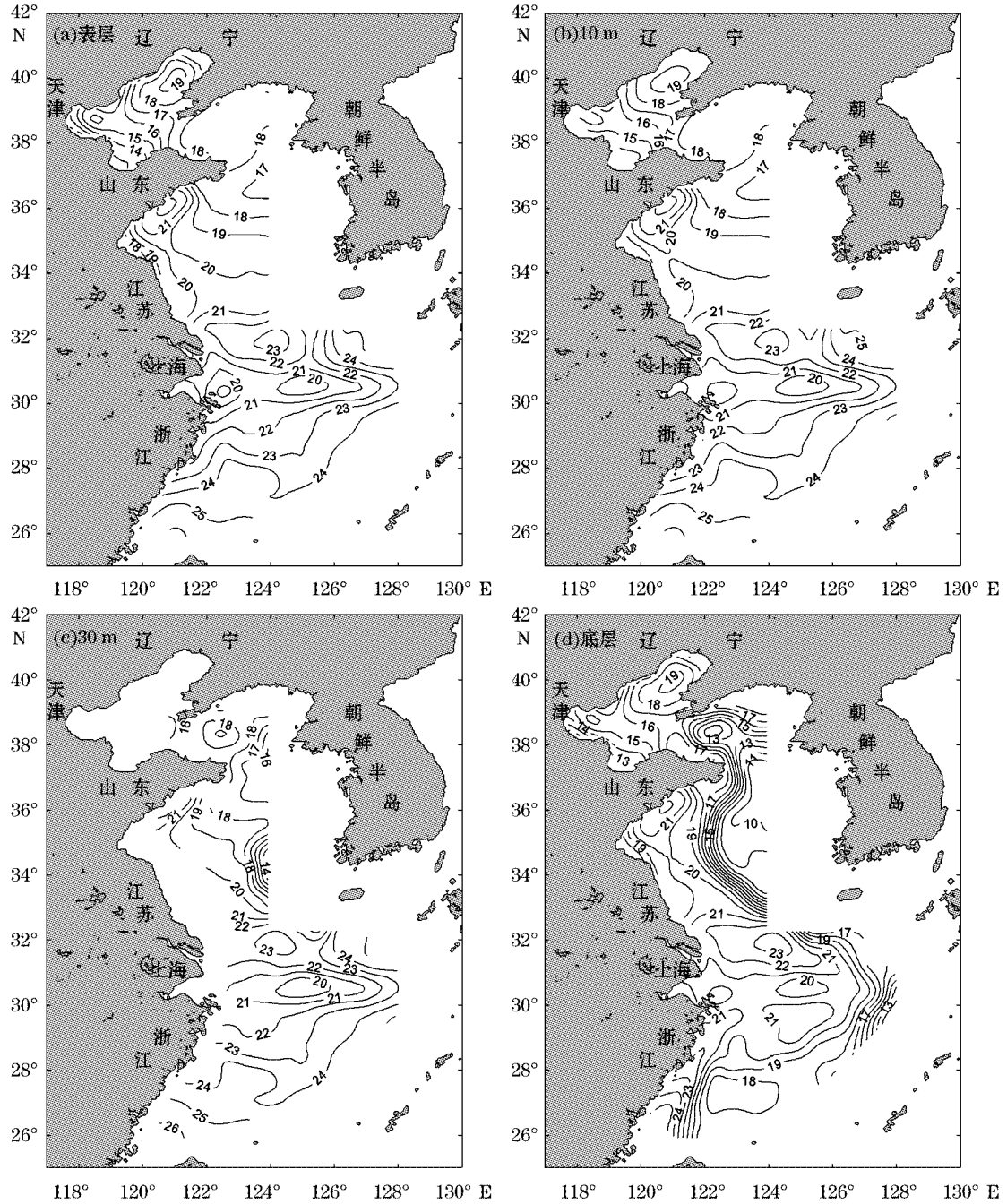


图 7 秋季渤、黄、东海温度分布(°C)

Fig. 7 Water temperature distributions in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in autumn (°C)

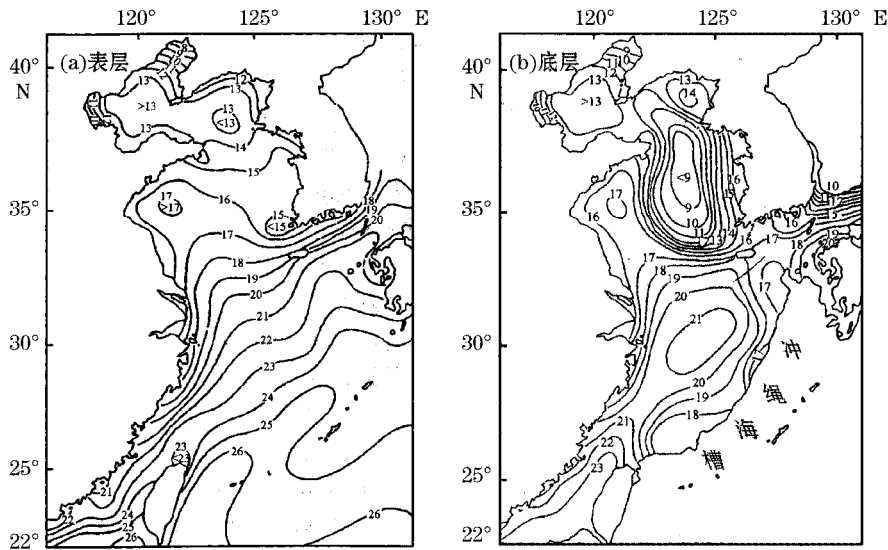


图 8 秋季渤、黄、东海多年平均温度分布(°C)

Fig. 8 Multi-years averaged Water temperature distributions in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in autumn(°C)

3 温度垂直分布特征分析

为阐述各海区水温垂直分布特征,选了 3 条有代表性的断面为例,断面位置如图 1 所示,每个断面自左向右对应着自 A 端向 B 端。

3.1 断面 1

渤海的断面 1 从黄河口经渤海中部直至辽东湾顶,呈 SW—NE 向,是监测渤海海洋环境状况的一条标准断面。“908”调查该断面的水温四季分布如图 9 所示。

冬季,整个断面的水温分布呈现垂直均匀状。断面水温值在 0.0~5.0 °C 变化。两端水温较低,黄河口和辽东湾最低温度分别在 1.0 °C 和 0.0 °C 以下;断面中央水温较高,温度值在 4.5 °C 以上。

春季,断面温度大多呈垂向均匀状。辽东湾顶温度增幅最大,水温最高值大于 13.0 °C,且等温线分布密集。渤中浅滩两侧为温度相对较低的冷水区,南侧的冷中心低于 6.0 °C,北侧的低于 5.5 °C。在辽东湾口的近表层,开始出现很弱的层化现象。

夏季,水温垂向分布发生了很大的变化。表层水温迅速升高,除辽东湾以外最高温度达 24 °C 以上;大约在 5~15 m 之间出现了强跃层。辽东湾水温最高,在湾顶处高于 26.5 °C,且垂向均匀。而春季渤中浅滩两侧低洼处出现的冷中心,此时大大加强。这两块冷水最低温度分别为 16 °C 和 13.5 °C,分布在断面低洼处,等温线呈两个明显的穹窿状分布。如前所述,这两个冷水块就是“渤中冷水”和“辽东湾冷水”。在断面上层暖水和下层冷水之间,形成了很强的温跃层。贾瑞英等对该断面 1976—2003 年观测数据进行了统计,结果显示,辽东湾冷水的冷中心平均温度为 17.60 °C,最低温度为 13.98 °C,且范围较大;而渤中冷水的冷中心平均温度为 19.80 °C,最低温度为 17.30 °C^[13]。对比可知,本次观测的两个冷水块中心温度均比历史观测最低值还低,同时,各个结果均表明,“辽东湾冷水”比“渤中冷水”温度低。

秋季,水温分布开始向冬季型过渡。不仅水温明显下降,而且温跃层基本消失,水温分布趋于垂向均匀。从图中看到,断面两端浅水区降温较快,南、北两端水温分别小于 14.5 °C 和 16.0 °C。辽东湾口处温度最高,达 19.5 °C,由此向两侧递减。

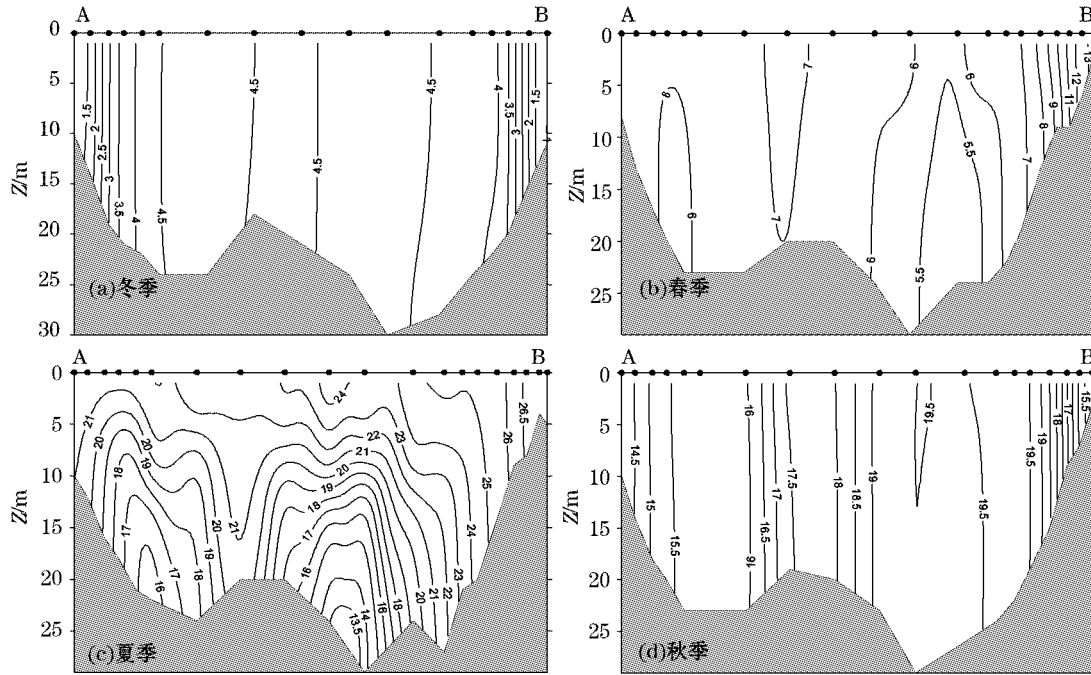


图 9 黄河口-渤海中部-辽东湾断面(断面 1)四季水温分布(°C)
 Fig. 9 Seasonal water temperature distributions along the section (Section 1) from the Yellow River Mouth via the Middle Bohai Sea to the Liaodong Bay (°C)

3.2 断面 2

断面 2 位于 36°N, 西端抵青岛近海, 向东至 124°E。该断面横切黄海冷水团, 所以成为研究冷水团必不可少的断面。断面的温度分布见图 10。

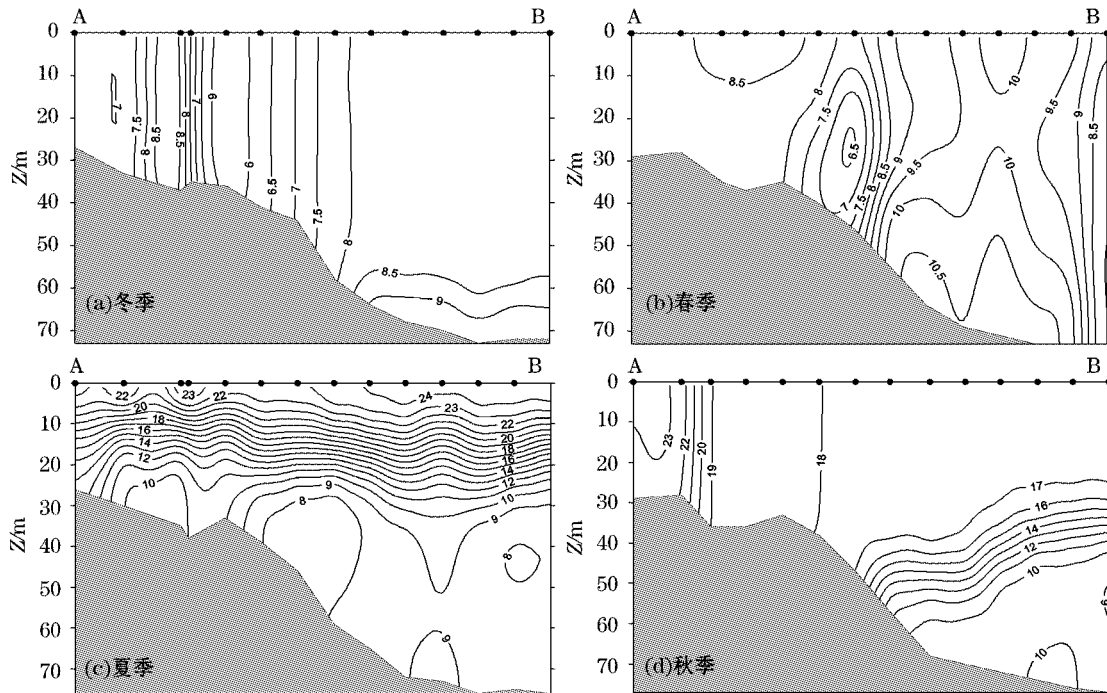


图 10 断面 2 四季水温分布(°C)
 Fig. 10 Seasonal water temperature distributions along Section 2 (°C)

冬季,断面除了东侧底层外,水温分布基本呈垂向均匀状态。断面东侧温度较高,温度高于 8°C ,底层出现弱层化现象,且温度比上层高,显然是受黄海暖流北上分支影响所致。断面西侧还有一个高温区,温度也在 8°C 以上,这与黄海暖流指向青岛近海的分支相对应。

春季,该断面水温分布最明显的特点是,存在一个冷水区和一个暖水区。在断面中部,深度 $25\sim 32\text{ m}$,有一块范围较大的冷水,中心温度小于 6.5°C ,表明,该海域存在较强的中层冷水。冷水以东,是底层温度最高可达 10.5°C 的暖水区,这是黄海暖流在春季的体现。关于在该断面表现出的中层冷水,取断面中部一个测站(HH116站)在本专项中各个季节观测的温度垂直分布加以分析。HH116位置如图1中星号所示,图11给出了该站冬、春、夏季温、盐、密垂直分布曲线,其中实线表示温度。该站冬季温度垂向均匀,春季中层水温度最低,夏季温度则呈常见的负梯度分布。表明,南黄海的中层冷水仅存在于春季,与邹娥梅等^[14]的观点一致。

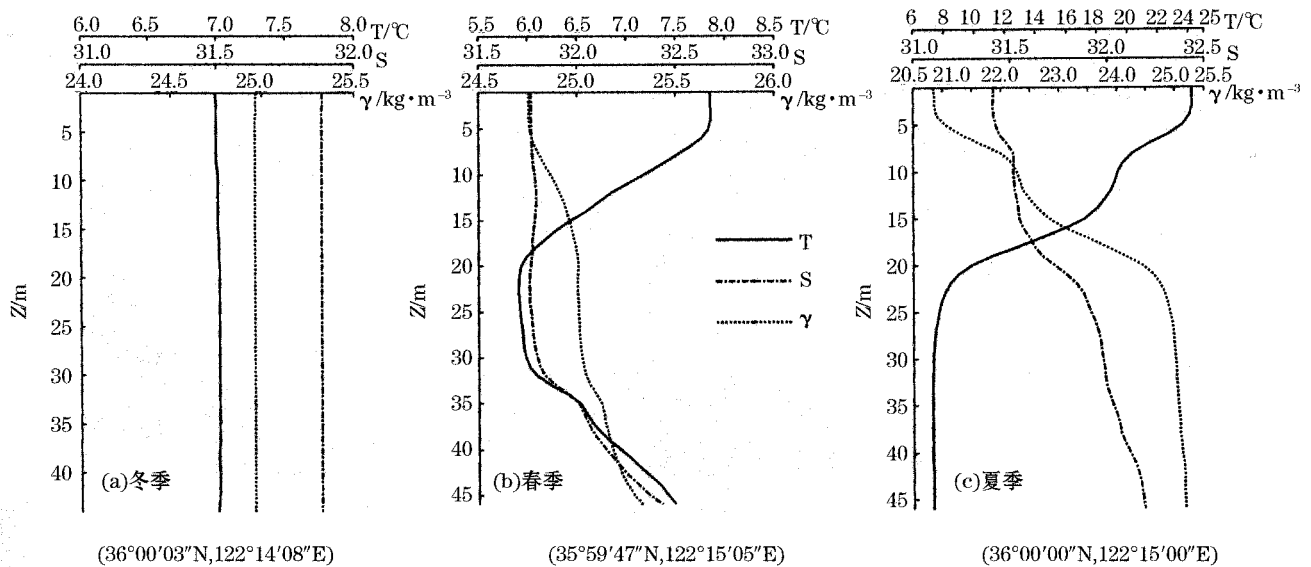


图 11 断面 2 上 HH116 站温、盐、密垂直分布

Fig. 11 The vertical distributions of temperature, salinity and density at Station HH116 on Section 2

总的来看,夏季整个断面水温分布基本为三层结构。近表层为很薄的均匀层,水温高达 24.0°C ;其下为强温跃层;跃层下方为黄海冷水团所盘踞。断面主要有两个低温中心。其中东侧的范围较大,中心最低水温小于 8°C ;西侧的临近青岛近海,范围稍小,中心最低水温小于 10°C 。结合平面分布图可认为:前者是黄海冷水团西侧冷中心所在;而后者则是青岛冷水团冷中心所在。由此表明,青岛冷水团直至 7 月仍存在。在西侧近岸区,温跃层上部的等温线上翘,并与海面相交;温跃层下部的等温线下沉,并与海底相交,形成很强的温度锋。

秋季, 36°N 断面的水温分布基本保持为三层结构,但温跃层深度比夏季已明显下沉,温跃层位于 40 m 水深附近。其上水温分布非常均匀,其值为 18°C 左右。温跃层以下依旧为黄海冷水团,核心温度值低于 10°C ,强度比夏季大大减弱。西侧近岸浅水区因潮混合作用,温度分布保持垂直均匀,形成较强的陆架锋。

3.3 断面 3

断面 3 位于东海南部,从浙江温岭近岸向东伸向外陆架边缘,断面东端位于 $27^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}\text{E}$ 附近海域,断面各个季节的水温分布如图 12 所示。

冬季,断面西侧浅水区水温低于外海,最低值小于 11.5°C ,水温垂向分布较均匀,水平梯度较大,为浙闽沿岸温度锋所在。而断面中部和东部,等温线却大致呈“U”形分布,显示中部有暖水下沉现象。

春季,断面西部温度分布与冬季相似,但温度锋减弱。断面中部及东部,水温层化现象明显,表层温度超过 23.5 °C,底层温度小于 19.0 °C。

夏季,断面温度的上均匀层厚度很大,多在 20~40 m 间,表层水温高达 29.0 °C 以上。中部的等温线亦呈“U”形分布,表明中部有水体下沉。均匀层下面是温跃层,其下界接近海底,强度很大。在断面西部的斜坡上等温线明显上翘,显示该季节浙闽沿岸有海水涌升。

秋季,断面等温线亦大致呈“U”形分布。同时,跃层上界深度下沉,跃层变薄,跃层厚度中部小、两侧大;但强度却是中部大、两侧小。近岸一侧斜坡底处,仍存在海水涌升形象,但其强度比夏季明显减小。

以上分析中,断面 3 中部偏东海域(26°40'~28°N,122°~124°E 附近),等温线于冬、夏、秋三季不同程度地呈“U”形分布,显示出暖水下沉现象,体现出暖涡的特性。事实上,在东海西南部(27°~29°N,122°~124°E 附近)海域,的确存在一个比较稳定的暖涡旋^[15],其空间尺度约 3°×2°经纬度,暖涡中心为高温低盐水。

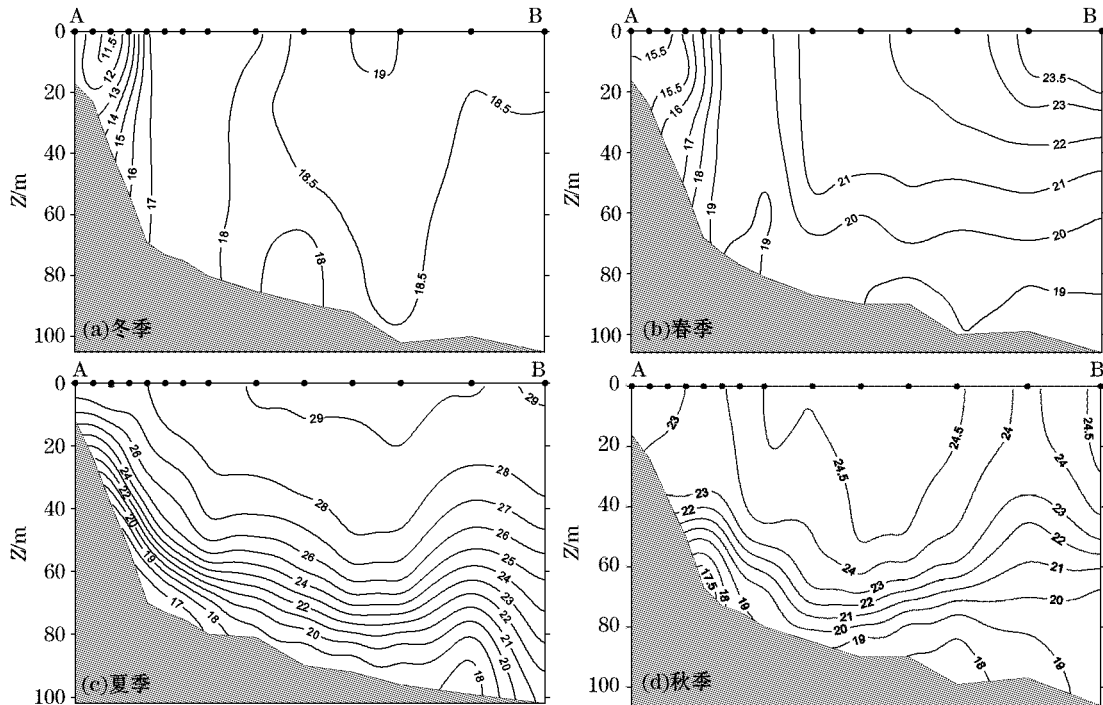


图 12 断面 3 四季水温分布(°C)

Fig. 12 Seasonal water temperature distributions along Section 3 (°C)

4 温度分布的区域差异

从以上温度水平和垂直分布特征看,渤、黄、东海的温度分布存在明显的季节变化,且各个海域的季节变化幅度也存在较大的差异。这是由于渤、黄、东海南北跨度大,受太阳辐射强度不同,且影响各海区的主要水文现象特点迥异。一年之中,渤海温度分布的变化最大,黄、东海相对较小。图 13 显示了渤、黄、东海底层水温年变幅分布情况。该图以底层为例,将调查海域各个站点夏季水温最大值与冬季水温最小值的差异以等值线表示。不难发现,渤海温度变化值明显大于其他海域,尤以辽东湾、渤海湾、莱州湾三湾湾顶为最甚,年变化幅度达 26 °C 以上。这一特点正体现了渤海作为内海的特性,其水文特征具有明显的大陆性。其次是在黄海西部沿岸、东海西部沿岸,江苏浅滩附近至杭州湾一线,年变化值最大可达到 20~22 °C。全海域中温度全年变化最小的海区,主要有两个:黄海中央和东海东南外海。将变幅为 0 的等值线加粗显示,可见,黄海

中央有大片海区变幅为 0,甚至冬季比夏季温度略高,结合前面的温度分布分析可知,这片变幅很小的区域与黄海冷水团所居之处十分吻合,这表明,黄海冷水团的水温特性冬、夏季十分接近,也从一个侧面体现,夏季的黄海冷水团来源于冬季的残留水。东海外海水温全年变幅也很小,这是因为,东海是比较开阔的海域,其陆架边缘区的水文特征和变化规律主要受外海暖流,即黑潮的影响。而黑潮是一支稳定而强大的西边界流,因此东海外海的水温年变化也不会很大。

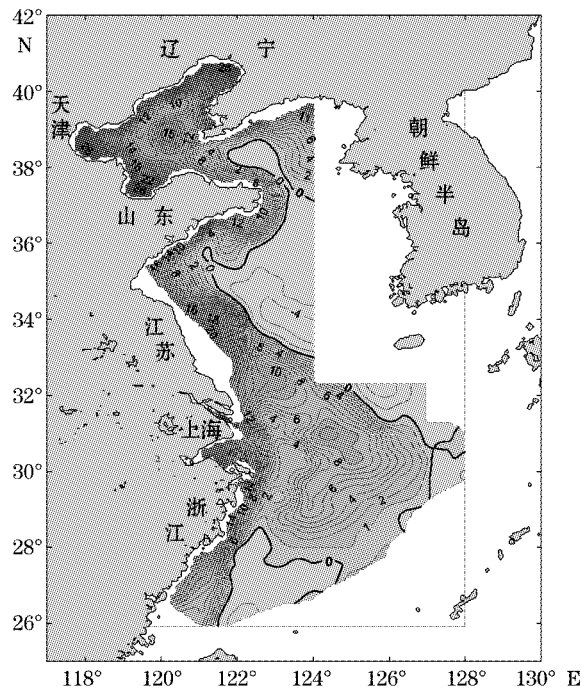


图 13 渤、黄、东海底层水温年变化幅度分布(°C)

Fig. 13 Annual variation amplitude of the bottom water temperature in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea (°C)

5 结 语

中国近海的水温分布存在明显的季节变化特征。冬季,调查区绝大部分海域的水温分布呈现垂向均匀状态。近岸温度低于外海,近岸等温线基本平行于岸线,并出现多个由此向南扩展的冷舌,这与低温的南向沿岸流密切相关。在渤、黄、东海的中部海域,受黄海暖流和台湾暖流影响,温度分布多呈暖舌结构。暖流区与近岸冷水区间形成了较强的温度锋。

夏季水温分布的突出特点是:除近岸浅水区在强潮流混合作用下仍呈垂向均匀外,调查区绝大部分海域的水温在垂向上基本呈现三层结构,即水温较高的上均匀层、温跃层和低温的下均匀层;近岸水温一般高于外海,表、底层分布格局差异较大。各海域表层水温分布相对较均匀,等温线分布无明显规律;而底层则出现各具特色的冷水团和冷水块,最为典型的是“渤中冷水”、“辽东湾冷水”、黄海冷水团、青岛冷水团和东海北部底层冷水,其中青岛冷水团被发现在夏季仍存在,与前人调查研究结果有些不同。在这些冷水周围形成很强的温度锋。

春、秋季呈过渡型特征,其水温分布状态大多介于冬、夏季之间。春季,水温逐渐升高,跃层开始出现在调查区的大部分海域。从温度结构看,黄海暖流已减弱,而台湾暖流则较冬季增强。“渤中冷水”、“辽东湾冷水”、黄海冷水团、青岛冷水团、东海北部底层冷水等夏季突出的水文现象都在春季开始形成。黄海中部出现

中层冷水,且仅存在于春季。而进入秋季后,随着海面冷却和偏北季风的逐渐增强,跃层明显下沉,直至消失,水温分布逐渐呈现垂向均匀状况,分布格局也开始从夏季向冬季过渡。

本研究也发现了一些新的问题,值得注意和开展更深入的研究:

1)渤海夏季的温度分布格局与2000年相似,但与20世纪50年代和多年平均相比,发生了明显变化,在渤海海峡至渤海湾口出现了一条冷水带。

2)“辽东湾冷水”比“渤中冷水”温度低,本次观测到二者的中心温度均比历史观测低。

3)从温度结构看,青岛冷水团在夏季显然是存在的,而且它有明显的冷中心,与以往仅存在于春季的结论不同。

4)东海南部断面等温线在冬、夏、秋季均下沉,体现了东海南部存在一个稳定的暖涡。

5)渤海温度的年变幅最大,其次是黄海西部沿岸和东海沿岸,最小的是黄海冷水团所在海域和东海陆架边缘受暖流影响处,在这两处甚至出现了夏季比冬季温度低的情况。

参考文献(References):

- [1] ZHAO B R, CUI M C, LIMEBURNER R. Oceanographic conditions in the Southern Yellow Sea and the Northern East China Sea July, 1986[J]. Marine Sciences, 1991, (2): 46-51. 赵保仁, 崔茂常, LIMEBURNER R. 1986年7月黄海南部及东东北部海况的主要特征[J]. 海洋科学, 1991, (2): 46-51.
- [2] BAO X W, WAN X Q, WU D X, et al. Hydrologic characteristics of the end summertime in 2000 and wintertime in 2001 in the Bohai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1):14-24. 鲍献文, 万修全, 吴德星, 等. 2000年夏末和翌年初冬渤海水文特征[J]. 海洋学报, 2004, 26(1):14-24.
- [3] WU D X, WAN X Q, BAO X W, et al. Comparison of summer thermohaline field and circulation structure of the Bohai Sea between 1958 and 2000[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(3): 287-292. 吴德星, 万修全, 鲍献文, 等. 渤海1958年和2000年夏季温盐场及环流结构的比较[J]. 科学通报, 2004, 49(3): 287-292.
- [4] GUO B H, HUANG Z Z, LI P Y, et al. Marine environment of coastal and adjacent China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2004. 郭炳火, 黄振宗, 李培英, 等. 中国近海及邻近海域海洋环境[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [5] SU J L, YUAN Y L. Hydrology of coastal China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005. 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [6] SUN X P. China Offshore regional oceanography. [M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [7] ZOU E M, GUO B H, TANG Y X, et al. The hydrographic features and water masses analysis of the Southern Huanghai Sea in the spring of 1996[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(1):17-26. 邹娥梅, 郭炳火, 汤毓祥, 等. 1996年春季南黄海水文特征和水团分析[J]. 海洋学报, 2000, 22(1):17-26.
- [8] SU Y S, LI F Q, MA H L, et al. Formation and seasonal variation of bottom cold water mass in northern area of the East China Sea[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1989, 19(1):1-14. 苏育嵩, 李凤岐, 马鹤来, 等. 东海北部区域底层冷水团的形成及其季节变化[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1): 1-14.
- [9] GUAN B X, CHEN S J. Technical report of general oceanographic survey of coastal China Sea[R]. 1964. 管秉贤, 陈上及. 全国海洋综合调查报告. 1964.
- [10] CHEN D X. Ocean atlas of Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea: Part of hydrology[M]. Beijing: China Ocean Press, 1992. 陈达熙. 渤海、黄海、东海海洋图集: 水文分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [11] ZHENG D, ZHANG R A. Analysis of spring water masses in the Sea Area off Yantai, Weihai and Shidao[J]. Marine Science Bulletin, 1983, 2(1):61-68. 郑东, 张瑞安. 烟威及石岛近黄海春季水团分析[J]. 海洋通报, 1983, 2(1):61-68.
- [12] ZHANG Q L, LIU X Q, CHENG M H, et al. Characteristics and formation cause of Qingdao cold water mass[J]. Chin. J. Oceanol. Limnol., 2002, 20(4):303-308.
- [13] JIA R Y, SU J, HU X M, et al. Structure of temperature and salinity and its variation along B1 section during summer[J]. Journal of Ocean University of China, 2008, 38(5):705-711. 贾瑞英, 苏洁, 胡宪敏, 等. 渤海B1断面夏季温盐结构及变化趋势[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(5):705-711.
- [14] ZOU E M, XU B C, WANG Z S, et al. Spatial and temporal variations in the characteristics of the intermediate cold water in the west

- of the Southern Yellow Sea[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 2001, 19(2):1-7. 邹娥梅, 徐伯昌, 王宗山, 等. 南黄海西部中层冷水特征的时空变化[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(2):10-16.
- [15] YUAN Y C, GUAN B X. Overview of studies on some eddies in the China Seas and their adjacent seas II. The East China Sea and the region east of Ryukyu Islands[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(2):1-17. 袁耀初, 管秉贤. 中国近海及其附近海域若干涡旋研究综述 II. 东海和琉球群岛以东海域[J]. 海洋学报, 2007, 29(2):1-17.

Distributions and Seasonal Changes of Water Temperature in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea

JU Xia^{1,2}, XIONG Xue-jun^{1,2}

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: Based on the CTD data observed during the 908 program, the distributions and seasonal changes of water temperature in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea are analyzed systematically. The results reveal that in winter the structure of water temperature shows horizontally many tongue-shapes, of which the warm water tongues occur mostly in the offshore area, while in the inshore area the isotherms are basically parallel to the coastline, with some cold water tongues directing to the south and strong temperature fronts occurring between the warm and the cold waters. In summer, various cold water masses or blocks with different characters appear at the bottoms of the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea, of which the most typical ones are "the Middle Bohai Sea Cold Water", the "Liaodong Bay Cold Water", the "Yellow Sea Cold Water Mass", the "Qingdao Cold Water Mass" and the "Bottom Cold Water Mass" in the Northern East China Sea. In spring and autumn, the distributions of water temperature display a transitional nature. In spring, thermocline emerges and cold water masses such as the Middle Bohai Sea Cold Water and the Yellow Sea Cold Water Mass begin to come up. When autumn comes, the thermocline submerges and finally disappears and the distributions of water temperature tend gradually to become uniform vertically. Moreover, the results also reveal that regional variations of water temperature are present in the three seas, and that the annual variation amplitude of water temperature distributions tends to decrease both from north to south and from the inshore to the offshore.

Key words: Bohai Sea; Yellow Sea; East China Sea; temperature distribution; seasonal Variation

Received: January 19, 2012