

沿岸海区冬季垂直环流及其 温盐结构的数值研究

II. 温盐结构*

刘兴泉

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 冬季沿岸海区温度和盐度的数值计算结果表明:温度在近岸近表层大致呈垂直均匀分布,外海近表层形成较强的温跃层,近岸至外海的下层保持冷水特征。表层和底层盐度高,中层盐度低,在中层形成自近岸伸向外海且盐度逐渐由低变高的低盐水舌,河口冲淡水区形成较强的盐跃层。随着自南往北海区水深的逐渐变浅、岸界坡度的由大变小和沿岸下降流的由强变弱,近岸温度和盐度的垂直分布越来越均匀,外海近表层的温跃层强度越来越弱。盐度自南至河口区逐渐由高变低,而自河口区至北逐渐由低变高。沿岸下降流使河流冲淡水区的盐跃层变厚。

关键词 沿岸海区 冬季 温度 盐度 垂直分布 温跃层 盐跃层

学科分类号 P 731

本研究的第一部分(刘兴泉,1997),已对数值研究采用的流体动力学模型、边界条件、数值研究的实施和环流的数值计算结果进行了较详尽的论述。本文是该研究的第二部分,着重对温度和盐度的数值计算结果进行分析。

1 海面温度和盐度分布

为了阐述沿岸海区冬季温度和盐度的垂直结构和分布特征,首先对研究海区冬季海面温度和盐度的分布特征做一简要论述。

由刘兴泉(1997)一文图3a看出,整个沿岸海区冬季的海面温度分布为,北边温度低,南边温度高。近岸与外海相比,近岸温度低,外海温度高。海面等温线呈西南-东北走向,其分布特征大致与海区等深线分布相同。冬季整个海面的温度变化显著,特别是在水深变化大的海域其温度变化尤为显著。在南边外海(岛屿以东)的最高温度为 22°C ,而北面近岸(河口以北沿岸)的最低温度只有 5°C ,整个海区的温差高达 17°C 。海面温度的这种分布特征除了由于研究海区处于北半球,南边离赤道近,北边离赤道远外,还与整个海区自北往南和自近岸至外海水深变化显著,浅水区热交换快,深水区热交换慢有关。

*国家自然科学基金重点基金资助项目,49136140号。刘兴泉,男,出生于1948年12月,副研究员, Fax: 0086-0532-2870882

收稿日期:1996-05-29,收修改稿日期:1996-11-07

由于冬季降水少、陆地河流径流量小,强冷空气使海面蒸发加快,整个海区的海面盐度比年平均偏高。由文献(刘兴泉,1997,图3b)看出,整个海区冬季的海面盐度分布,南面和北面及外海盐度高,而中部近岸河流冲淡水区盐度低。由于东北风和岸界地形的影响,使河流冲淡水在海面所形成的低盐区分布于河口外以南近岸东西约1个经度,南北约3个纬度的南北狭长区域。整个海面的等盐线分布大致与海岸线平行。低盐区的盐度梯度大,而高盐区的盐度梯度小。低盐区在河口附近的海湾,最低盐度为21。而高盐区在岛屿的东北面,最高盐度为34。

2 沿岸海区温度的垂直分布

图1是由数值模拟得到的与7,13,19,25,31,37,43,49和55网格断面垂直环流对应的温度分布,其等温线间隔均为 1°C 。从各断面的温度分布看出,在次表层以上(向岸流流经宽度),等温线近似呈以外海液边界为对称轴的半碗状分布,其中央在外海下凹,边缘在近岸上翘。而在次表层及其以下(离岸流流经宽度),等温线近似呈以外海液边界为对称轴的半帽形分布,其中心在外海上凸,边缘在近岸凹向海底。等温线的这种分布特征与管秉贤(1963)和缪经榜等(1990,1991)所论述的北黄海冷水团成长期的温度分布极为相似。

从图1各断面的温度变化趋势看出,次表层以上的半碗状分布等温线,自近岸到外海及自次表层到表层逐渐由稀疏变密集,边缘的上翘程度也自近岸到外海逐渐由大变小,在外海变成几乎与海面平行的水平分布,这种变化趋势在水深大和海面温度高的海域尤为明显。这表明,在次表层以上,近岸温度大致呈垂直均匀分布,其均匀程度由近岸向外海逐渐减小。在外海的近表层,其温度在水平方向几乎呈均匀分布,而在垂直方向变化大。次表层及其以下的半帽形分布等温线,自近岸到外海和自次表层到深层都逐渐由密集变稀疏,且等温线在外海的上凸程度却随着水深的增加逐渐减小,而达深底层其等温线又几乎与海面平行。这表明,在次表层及其以下,温度自近岸到外海和自次表层到深层逐渐变均匀,而在深底层温度变化小。在水深大的海域,大约自250m以下,在一个相当大的深度范围内温度几乎保持在 5°C ,而在海槽的底层温度却只有 4°C 。由于次表层及其以下的半帽形分布等温线,自近岸至外海逐渐上凸,在外海与近表层的半碗状分布等温线挤压,使外海近表层的等温线变得密集,而形成较强的温跃层。总的看来,冬季沿岸海区温度的垂直分布,上层温度普遍高于下层,在次表层以上,近岸温度低于外海,在近岸出现由海面冷空气所致的表层冷水下沉。在次表层及其以下,近岸温度却高于外海,在外海出现底层冷水涌升。

将图1中各断面比较可以看出,整个沿岸海区的等温线分布,随着自南往北海面温度的由高变低、海区水深和岸界地形坡度的由大变小及沿岸下降流的由强变弱,次表层以上的半碗状分布等温线自近岸至外海的上翘程度由小变大,而疏密程度却由大变小。次表层以下的半帽形分布等温线自近岸至外海,其疏密程度和上凸程度都由大变小。这表明,自南往北近岸温度的垂直均匀程度越来越明显,并且自近岸到外海温度的均匀分布范围也越来越宽,在外海近表层的跃层强度也逐渐变小。在水深浅、海面温度低、岸界地形坡度小和沿岸下降流较弱的海湾以北43,49和55断面,其温度在距岸界相当远的范围内几乎呈垂直均匀分布,而在外海温度的垂直变化小,因此温跃层强度也小。在水深大、海面温度高、岸界地形坡度大和沿岸下降流较强的海湾以南7,13,19,25,31和37断面,近岸温

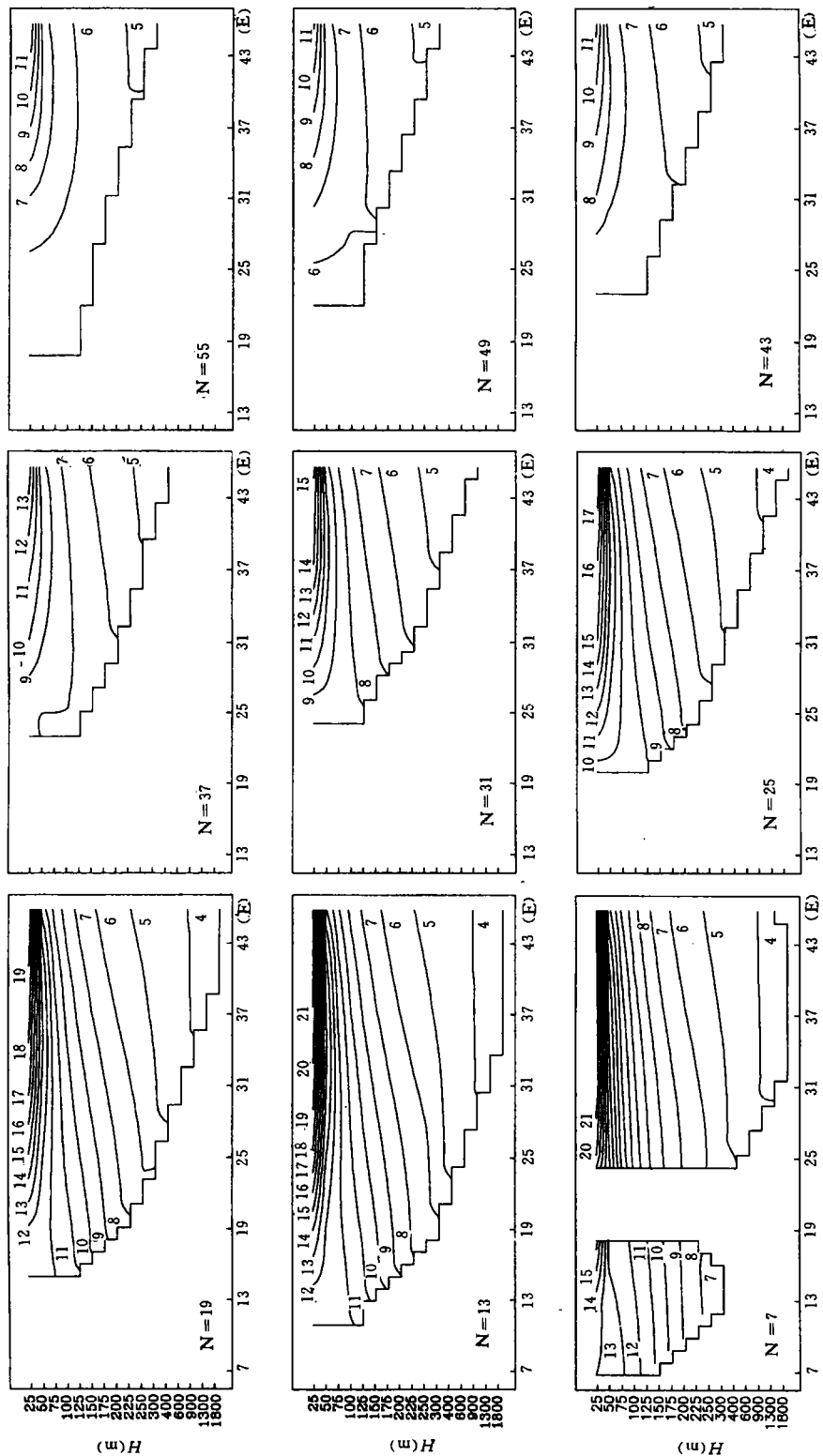


图1 沿岸海区的温度分布 (等值线间距1°C)

Fig.1 Temperature distribution in the coastal sea area (with 1°C contour interval)

度的垂直均匀程度就不如海湾以北各断面明显,其近岸至外海的均匀分布范围也小得多。而在外海温度的垂直变化剧烈,因此温跃层强度大。从而表明,沿岸海区的水深变化和海面温度分布及近岸下降流和外海上升流的强弱对沿岸海区冬季的温度分布有重要影响。

沿岸海区的温度分布与海区垂直环流的逆时针流动有密切关系。由于近表层的向岸流在外海主要由水平横向流速支配,因此使得水平方向上热交换快,而垂直方向上热交换慢,又由于外海海面温度高于近岸且分布较均匀,因此使得外海近表层的温度在水平方向保持均匀分布。向岸流在近岸转向的过程中,由于水平横向流速逐渐减弱,垂向流速逐渐增强,在近岸转为下降流,下降流使近岸垂直方向的热交换加快,从而导致近岸表层冷水下沉。由于近岸水深浅,海面温度低,下降流的强度大,极易导致近岸温度呈垂直均匀分布。沿岸下降流在近岸近表层以下,水平横向流速逐渐增强,垂向流速逐渐减弱,又逐渐转为主要以水平横向流速支配的离岸流,离岸流使次表层以下水平方向的热交换加快,垂直方向的热交换减慢,从而使得次表层以下近岸至外海的水体一直保持冷水特征。次表层及其以下的离岸流随着向外海的流动,在外海变为缓慢上升流,又使外海水平方向的热交换减慢,垂直方向的热交换加快。正是由于外海缓慢上升流的作用,使得外海下层冷水涌升。由于外海海面温度高,冷水涌升使得外海次表层以上的温度急剧变化,从而在外海近表层形成较强的温跃层。

3 沿岸海区盐度的垂直分布

图 2 是由数值模拟得到的与 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49 和 55 网格断面冬季环流和温度对应的盐度分布。为了既能以较高的分辨率反映出盐度的分布特征和变化趋势,又能保证图的清晰,各断面的等盐线间距均以 0.5 绘出。

由图 2 看出,各纬向断面的等盐线分布,自近岸至外海呈其两端分别为表层和底层朝向岸界,而中部向外海突出的弧形分布。随着向外海的扩展,弧形等盐线在外海被折断,其上层的等盐线上浮,下层的等盐线下沉,分别变为大致与海面平行的水平分布。由此表明,冬季沿岸海区盐度的垂直分布,表层和底层盐度高,中层盐度低,并且在表层和底层之间形成一个由近岸伸向外海且盐度逐渐由低变高的低盐水舌。表层和底层相比,表层盐度低,底层盐度高。近岸与外海相比,近岸盐度低于外海。

从图 2 各断面盐度的变化趋势可以看出,近表层的等盐线分布密集,而自次表层至底层,等盐线分布稀疏,随着水深的增加却越来越稀疏。这表明,表层盐度变化显著,中层变化缓慢,而底层变化更为缓慢。近岸与外海相比,近岸等盐线分布密集(河口外低盐区尤为密集),而外海分布稀疏,且自近岸至外海逐渐由密集变稀疏。这表明,近岸盐度变化显著,外海盐度变化缓慢。在河流淡水与海水混合的过程中盐度急剧变化,从而在河口附近海面盐度梯度大的低盐区形成较强的盐跃层。

将图 2 中各断面比较可以看出,随着自南往北近岸水深的由大变小,沿岸下降流的由强变弱,海区温度的由高变低,等盐线分布自南至河口区逐渐由稀疏变密集,其弧形等盐线向外海的突出程度由小变大,在中层由近岸伸向外海的低盐水舌逐渐由近岸向外海伸展。而自河口区至北,等盐线又逐渐由密集变稀疏,其弧形等盐线向外海的突出程度却由大变小,中层由近岸伸向外海的低盐水舌逐渐由外海向近岸退缩。由此表明,整个沿岸海区自南至河口区盐度逐渐由高变低,且在近岸垂向上变得越来越均匀。自河口区往北盐

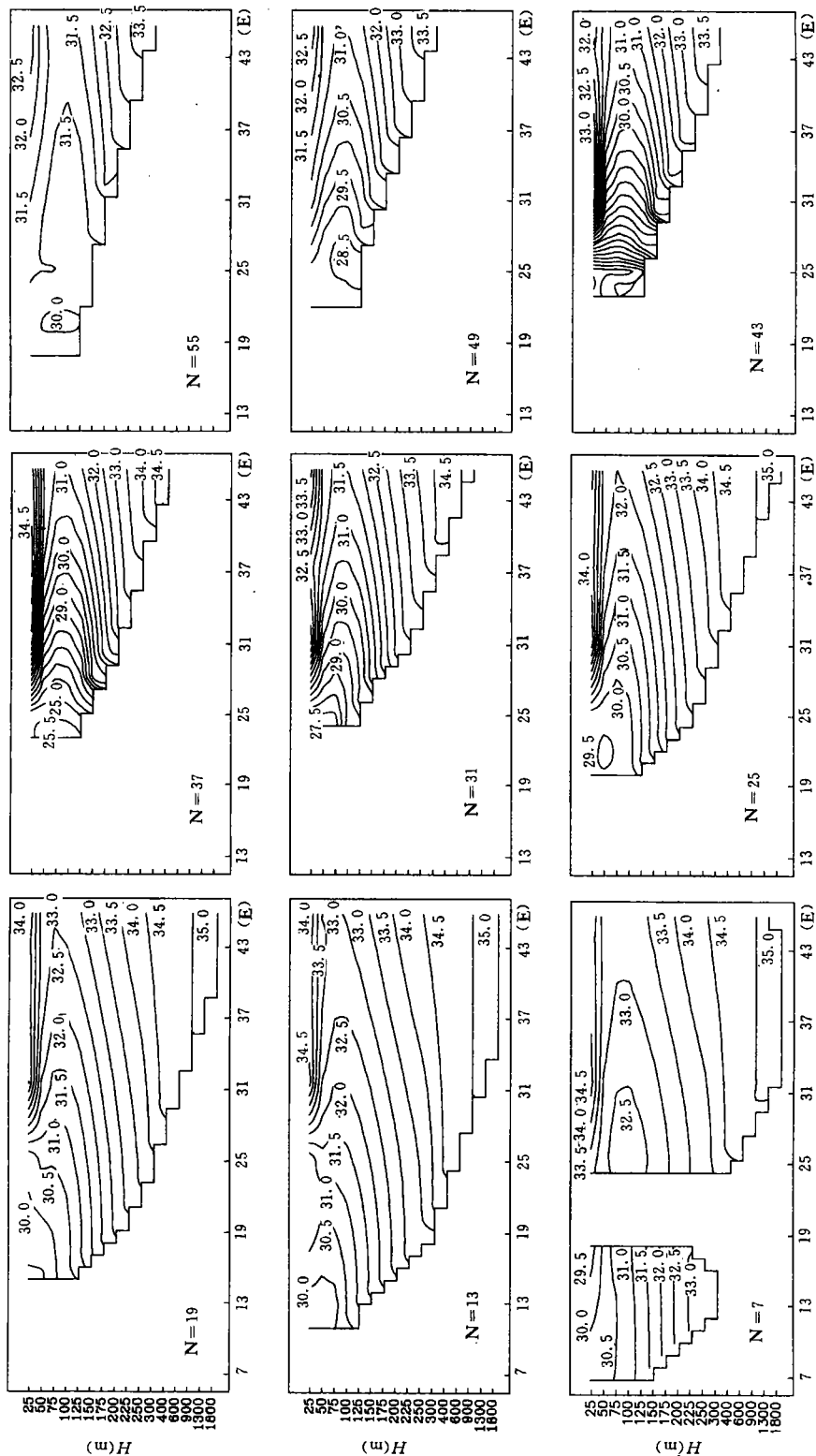


图2 沿岸海区的盐度分布 (等值线间距0.5)

Fig.2 Salinity distribution in the coastal sea area (with 0.5 contour interval)

度又逐渐由低变高,在温度低且大致呈垂直均匀分布的近岸浅水区,盐度也大致呈垂直均匀分布。整个沿岸海区的盐度自近岸至外海逐渐由低变高,在河口冲淡水区由近岸伸向外海的低盐水舌向外海伸展也较甚。

由于冬季降水量小,海面空气干燥,在来自北方强冷空气的控制下,海面温度降低,蒸发加快,从而使整个海面在一个相当长的时间内一直处于低温高盐状态。与温度的传递同理,向岸流使近表层水平方向的混合加快,因此导致近表层外海高盐水与近岸低盐水均匀混合。沿岸下降流使水平方向的混合减慢,垂直方向的混合加快,从而使近岸上层逐渐混合的水体沿岸界向下输送。由于近岸水浅,下降流强度大,表层盐度也相对比外海低,极易导致表层水与其下层水的混合,从而使近岸盐度大致呈垂直均匀分布,在河口区附近其盐度的垂直均匀程度尤为明显。近表层以下的离岸流又使近表层以下水平方向的混合加快,垂直方向的混合减慢,因此使近岸至外海的底层水体一直保持低温高盐特征,并使近岸大致垂直均匀的低盐水在近表层以下主要由近岸向外海扩散,从而在近表层与底层之间形成一个由近岸伸向外海的低盐水舌。由于离岸流在外海转为缓慢上升流,使外海底层高盐水缓慢地向上输送,逐渐与上层次高盐水混合,而使外海近表层以下的盐度大致呈均匀分布。正是由于沿岸海区垂直环流的逆时针流动,从而形成表层和底层盐度高、中层盐度低、近岸盐度低、外海盐度高、近岸底层和外海盐度大致均匀,而中层有一个自近岸伸向外海且盐度逐渐由低变高的低盐水舌的盐度分布。

冬季,河流径流量虽比常年偏小,但河流淡水对沿岸海区的盐度分布仍有较大影响。由于东北风使河流淡水在海面所形成的低盐水分布于河口外以南近岸的南北狭长区域(刘兴泉,1997,图3b),而近岸近表层的向岸流和近表层以下的离岸流较弱,下降流较强,因此近岸低盐水向下扩散较甚,从而使河口冲淡水区的盐跃层变厚。

4 结论

综上所述,冬季沿岸海区的温度分布,在近岸大致呈垂直均匀分布,在外海近表层形成较强的温跃层,在次表层以下的近岸至外海保持冷水特征。而盐度分布,表层和底层盐度高,中层盐度低,并在中层形成一个自近岸伸向外海且盐度逐渐由低变高的低盐水舌。近岸与外海相比,近岸盐度低,外海盐度高,近岸底层和外海盐度大致呈均匀分布。在河口冲淡水区形成较强的盐跃层。冬季沿岸海区温度和盐度的垂直分布特征主要取决于由东北风所致海区垂直环流的逆时针流动。沿岸下降流使得近岸温度和盐度大致呈垂直均匀分布。近表层以下的离岸流使得近岸至外海的底层水体保持低温高盐特征。外海的缓慢上升流导致外海深层的低温高盐水涌升,从而使外海近表层形成较强的温跃层。冬季沿岸下降流使河口冲淡水区的盐跃层变厚。就整个沿岸海区而论,随着自南往北水深的变浅、岸界坡度的由大变小和沿岸下降流的由强变弱,近岸温度的垂直均匀程度越来越明显,温度自近岸至外海的均匀分布范围也越来越宽,在外海近表层的温跃层强度逐渐变小。而盐度自南至河口区逐渐由高变低,而自河口区至北又逐渐由低变高。

参 考 文 献

- 刘兴泉,1997. 沿岸海区冬季垂直环流及其温盐结构的数值研究. I. 环流的基本特征. 海洋与湖沼, 28(6): 632—

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—285

缪经榜 刘兴泉 薛亚, 1990. 北黄海冷水团形成机制的初步探讨 I. 模式解. 中国科学, B(12): 1311—1321

缪经榜 刘兴泉 薛亚, 1991. 北黄海冷水团形成机制的初步探讨 II. 模式解的讨论. 中国科学, B(1): 74—81

NUMERICAL STUDY ON VERTICAL CIRCULATION AND T-S STRUCTURES IN COASTAL SEA AREA DURING WINTER TIME II. THE STRUCTURES OF THE TEMPERATURE AND SALINITY

LIU Xing-quan

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract This study's computational results show that the temperature distribution in the nearshore area is almost uniform vertically, that a strong thermocline layer forms in the near surface layer of the outside sea; and that the bottom layer water throughout the sea is characterised by low temperature. The salinity is high in the surface and bottom layers, and low in the mid-layer. A low salinity water tongue forms at the nearshore area and spreads to the outside sea. A strong halocline forms in the low salinity water area at the mouth of the river. For the whole coastal sea area, the vertical distributions of temperature and salinity become more uniform in the nearshore area with decreasing of water depth and continental slope and weakening of coastal downwelling from the south to the north. The thermocline intensity becomes weaker in the nearsurface layer of the outside sea. Salinity decreases from the south to the mouth of the river, and increases from the mouth of the river to the north. The distribution characteristics of the temperature and salinity are attributed mainly to the counter-clockwise flow of the vertical circulation in the coastal area during wintertime. The coastal downwelling thickens the halocline in the low salinity water area of the river.

Key words Coastal sea area Wintertime Temperature Salinity Vertical distribution
Thermocline Halocline

Subject classification number P 731