

黄海冷水团对长江冲淡水扩展的影响^{*}

朱建荣 肖成猷 沈焕庭 朱首贤[†]

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

[†](南京空军气象学院 南京 211101)

提要 利用作者已建立的 σ 坐标系下三维非线性斜压陆架模式, 研究黄海冷水团 (YSCWM) 对长江冲淡水 (CDW) 扩展的影响。数值试验结果表明, 黄海冷水团产生的余流, 与黄海冷水团的强度和海底地形有关。在长江口海区由于底形的影响, 黄海冷水团产生了向北流动的海流, 阻碍着长江冲淡水沿岸向南扩展。在远离长江口海区, 黄海冷水团产生的气旋式黄海环流诱导冲淡水向东南运动。总的黄海冷水团的作用是使长江冲淡水低盐水舌伸向东北, 黄海冷水团越强, 这种作用就越明显。黄海冷水团在夏季长江冲淡水伸向东北过程中起着重要的作用。

关键词 长江冲淡水 扩展 黄海冷水团 数值试验

学科分类号 P731.2

长江巨量径流和它携带的大量物质对邻近海洋环境产生着重大影响。夏季长江冲淡水转向东北的机制是物理海洋学界多年来悬而未决的问题, 长期以来为国内外同行所瞩目。在以往夏季长江冲淡水转向原因的研究中, 经常考虑的因素为径流量、风场、台湾暖流、底形等, 而黄海冷水团则很少被提到 (浦永修, 1983)。对夏季长江冲淡水转向原因的研究方法, 大多数是基于对观测资料的分析, 其余的是利用简单的数学模型和数值模式。作者根据长江口外海区复杂的自然条件, 设计了一个 σ 坐标系下三维非线性斜压原始方程陆架模式 (朱建荣等, 1997), 并首次应用于长江冲淡水扩展机制的研究。模式以渤、黄、东海为计算区域, 在空间完全交错的网格系统上, 离散化海洋控制方程组, 采用 ADI 计算方法数值求解。动量方程中的非线性项采用二次能量守恒的半动量格式, 温盐方程中的平流项采用迎风格式, 垂向涡动扩散项采用隐式。水平分辨率为 $7.5' \times 7.5'$, 垂向分辨率为 11 层, 考虑实际海岸形状和海底地形。为了更深入探讨黄海冷水团对长江冲淡水的作用机制, 本文首先对黄海冷水团产生的余流进行数值模拟。

1 黄海冷水团产生的余流

夏季黄海冷水团的出现 (图 1a, 该资料取自渤海黄海东海海洋图集, 海洋图集编委会, 1993), 是黄海的一个基本水文特征。数值计算结果表明, 8 月黄海冷水团产生了气旋式的

^{*} 国家自然科学基金资助项目, 49406070 号; 上海市青年科技启明星资助项目。朱建荣, 男, 出生于 1964 年 1 月, 博士, 副教授, Fax: 0086-021-62576217

收稿日期: 1997-01-27, 收修改稿日期: 1997-05-07

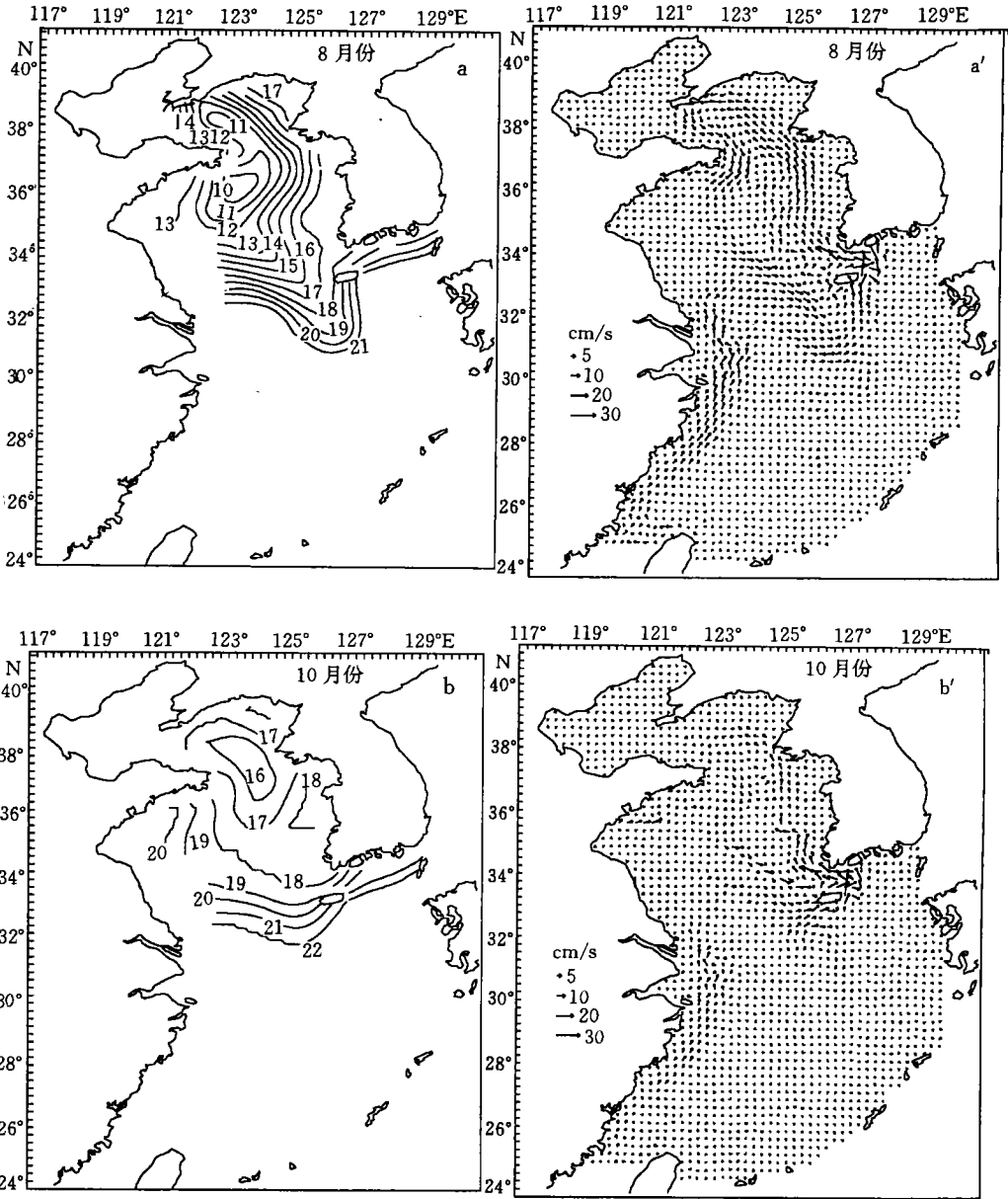


图1 黄海冷水团 30 m层温度分布 (a, b)及其产生的表层余流 (a', b')

Fig.1 The temperature distribution of YSCWM at 30 m layer (a, b) and its induced residual current at surface layer (a', b')

黄海环流(图 1a'), 朝鲜以西海区向北流动的余流和山东荣成以东海区向南流动的余流显著, 量值约在 10—15cm/s, 济州岛以西海区东南向的余流也较显著。而在苏北沿岸海区, 因水深浅且底形平缓, 余流不明显。黄海气旋式的环流导致黄海中央水位下降。一个引人注目的现象是夏季黄海冷水团诱发了沿闽浙海岸北上的余流, 且量值在 5—15cm/s 之间。这支沿岸北上的海流越过长江口以东海区后, 继续北进, 然后作反气旋式旋转, 和黄海环

流西南侧部分的余流合并后,流向东南。这样的流场分布对夏季长江冲淡水转向东北是极其有利的。作者曾设计一个较为理想的夏季黄海冷水团(朱建荣等,1997),数值模拟结果表明,由它产生的余流分布和这里的情况是基本一致的,但在考虑海底为平底的情况下,黄海环流依旧存在,但量值和形态发生了很大变化,黄海冷水团不再诱发出东海沿岸流,阻碍长江冲淡水沿岸向南扩展的作用消失。因此可以说,对由黄海冷水团产生的余流分布,除了黄海冷水团本身的存在外,底形也起着重要的作用。8月份是黄海冷水团最强劲的时期,作者还取10月份较弱的黄海冷水团(图1b),模拟其产生的余流。结果表明,余流的分布与8月份的余流分布基本是一致的(图1b'),只是由它产生的黄海环流和东海沿岸流明显减弱。由此可见,黄海冷水团产生的余流,还与本身的强度有关。

2 黄海冷水团对长江冲淡水扩展影响的数值试验和结果分析

设计了B1, B2, B3三个数值试验。在数值试验B1中,取8月份黄海冷水团,在数值试验B2中,不考虑黄海冷水团的存在,而在数值试验B3中,取10月份黄海冷水团。通过比较这三个数值试验的模拟结果,讨论黄海冷水团对长江冲淡水扩展的影响。

在水边界长江口、台湾海峡、台湾以东黑潮流入区、大隅-吐噶喇海峡和对马海峡,海流的水边界条件由流量确定。据赵保仁等(1991)、王辉(1996)等的结果,本文取以上水边界处的夏季流量分别为0.045, 2, 29.91, 29, 2.955Sv,以保证总的流量进出平衡。盐度和温度水边界条件除在长江口门处各层给定10和28外,其余水边界处取流入定常、流出无梯度的辐射边界条件。初始条件海流取为静止,水位偏差为零。初始盐度(33)取为均一,初始温度场仅给出黄海冷水团。夏季东海盛行偏南风,这里风场取为3m/s的南风。时间步长取为1341.42s,从海洋初始状态开始,先计算出渤黄东海稳定的流场,随后再数值积分4000步,约62.10d,输出结果进行分析。

从图2a看出,由于受北上的东海沿岸流、台湾暖流和南风等的作用,长江径流出口门后,朝东南方向扩展有限,很快向北扩展,然后作反气旋式旋转,朝东南运动。在长江径流量增加的情况下,冲淡水朝东南方向扩展会明显增强(朱建荣等,1997)。长江口门正东海区为一弱流区,这主要是由底形和斜压相互作用造成的。由风应力产生的风生流在苏北沿岸水深较浅海区明显。数值试验B1基本模拟出了夏季东海的黑潮、台湾暖流、对马暖流、黄海环流等,总的环流结构与管秉贤(1986)据实测资料给出的流系图较为一致。从整个流场来看,苏北沿岸海区北向的风生流有助于长江冲淡水向北扩展,东海沿岸流及台湾暖流则阻碍了长江冲淡水向南扩展,而黄海冷水团产生的气旋式环流则诱导远离长江口门的长江冲淡水向东南流动。在黑潮、台湾暖流流经处,水位梯度大;与黄海气旋式环流相对应,在黄海中央水位下降;在长江口海区,水位分布体现了冲淡水出口门后向北扩展,然后作反气旋式旋转的势态(图2b)。从盐度分布看(图3a, 3b),数值试验再现了夏季长江冲淡水向东北扩展的现象,且漂浮在海面较薄的水层内,冲淡水扩展的范围随深度的增加而减小。

在数值试验B2中,由于没有考虑黄海冷水团的存在,黄海冷水团产生的黄海环流和沿岸流均不再出现,它们对长江冲淡水扩展的作用消失,结果导致小部分径流向南扩展,一直可达舟山群岛以南 29°N 左右(图2c)。从0m层等盐度线分布(图3c)可见,等盐度线不再出现伸向东北的现象,而是基本上朝正东方向扩展。这说明夏季黄海冷水团的存在

在长江冲淡水伸向东北的过程中起着十分重要的作用。在数值试验 B3 中, 黄海冷水团强度减弱, 从而导致黄海气旋式环流减小(图 2d), 与数值试验 B1 相比, 冲淡水低盐水舌伸向东北现象趋于不明显(图 3d)。

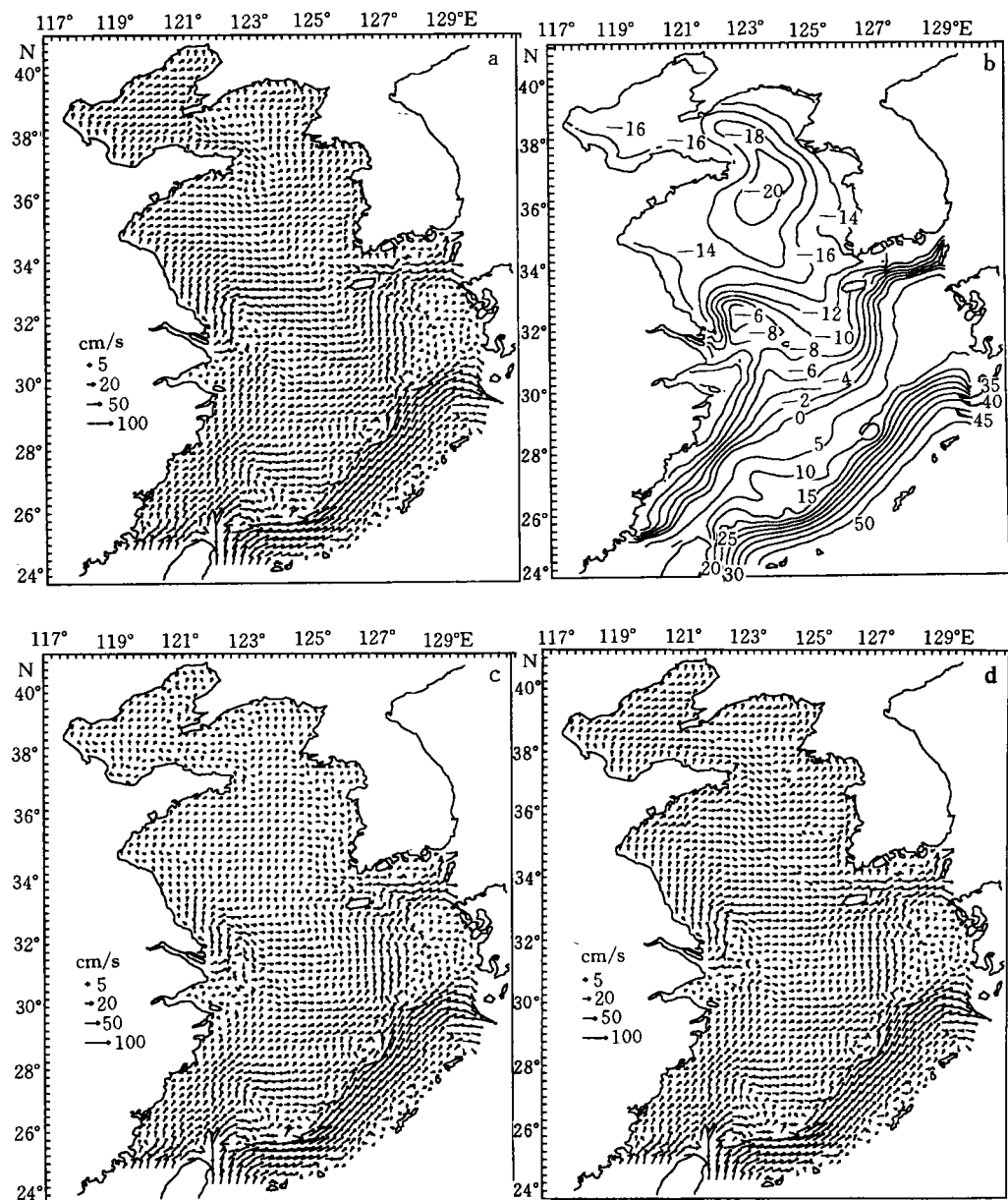


图 2 数值试验 B1 中的表层流场(a)和水位(b), 数值试验 B2(c), B3(d)中的表层流场

Fig.2 The current field at the surface layer (a) and water level (b) in the numerical experiment B1, the current field at the surface layer in numerical experiment B2(c) and B3(d)

3 结语

本文利用 σ 坐标系下三维非线性斜压陆架模式, 数值试验了黄海冷水团对长江冲淡

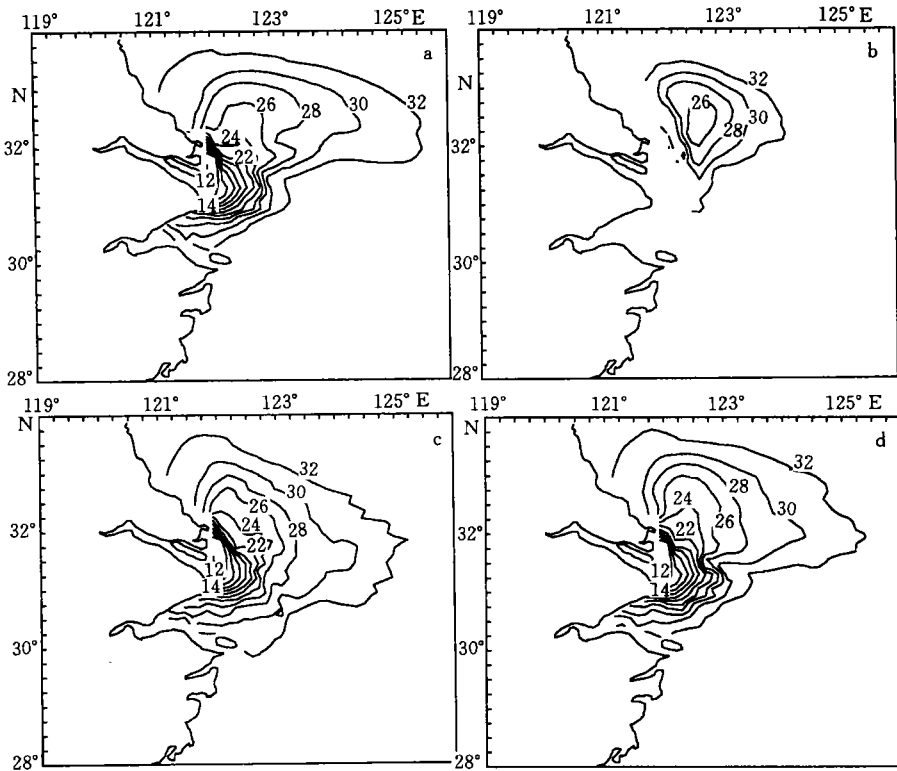


图 3 数值试验 B1(a), B2(c), B3(d)中的 0m 层盐度; 数值试验 B1 中的 10m 层盐度(b)

Fig.3 The salinity at 0m layer in the numerical experiment B1(a), B2(c), B3(d); the salinity at 10m layer in the numerical experiment B1(b)

水扩展的影响,发现:(1)夏季黄海冷水团除产生气旋式的黄海环流外,还诱发了沿闽浙海岸北上的海流。黄海冷水团产生的余流与黄海冷水团的分布、强度和海底地形有关。(2)黄海冷水团和底形相互作用产生的东海沿岸流起着阻止长江冲淡水沿浙江海岸向南扩展的作用,而黄海环流则起着诱导冲淡水向东南运动的作用。总的黄海冷水团的作用是使长江冲淡水低盐水舌伸向东北,并随黄海冷水团增强,这种作用越趋明显。(3)长江冲淡水的扩展与众多因子如风场、底形、径流量、近海流系等有关,但黄海冷水团的存在,是夏季长江冲淡水伸向东北过程中一个不可缺少的因子。这表明在夏季长江冲淡水伸向东北和黄海冷水团这两个黄东海突出的水文特征之间,有着密切的关系。

参 考 文 献

王 辉,1996.东海和南黄海夏季环流的斜压模式.海洋与湖沼,27(1):73—78
 朱建荣 沈焕庭,1997.长江冲淡水扩展机制.上海:华东师范大学出版社.18—176
 赵保仁 方国洪,1991.东海主要水道的流量估算.海洋学报,13(2):169—178
 浦泳修,1983.夏季长江冲淡水扩展机制的初析.东海海洋,1:43—51
 海洋图集编委会,1993.渤黄东海海洋图集.水文.北京:海洋出版社.62—82
 管秉贤,1986.东海海流结构及涡旋特征概述.海洋科学集刊,27:1—22

THE IMPACT OF THE YELLOW SEA COLD WATER MASS ON THE EXPANSION OF THE CHANGJIANG DILUTED WATER

ZHU Jian-rong, XIAO Cheng-you, SHEN Huan-ting, ZHU Shou-xian[†]

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, Shanghai, 200062)

[†] (Nanjing Air Force Meteorological College, Nanjing, 211101)

Abstract A three-dimension nonlinear baroclinic and continental shelf model with primitive equations in σ coordinate system was used to study the impact of the Yellow Sea Cold Water Mass (YSCWM) on the expansion of the Changjiang Diluted Water (CDW). The calculation domain is the whole East China Sea. The horizontal resolution of the model is $7.5' \times 7.5'$, and the vertical resolution is 11 layers. The ocean control equations were discreted in a completely staggered grid system and the Alternating Direction Implicit (ADI) scheme was adopted for the numerical resolution. The semi-momentum scheme which is quadratic conservation was adopted for the nonlinear terms in the momentum equations. The implicit scheme was used for the the vertical eddy diffusion terms in the temperature and salt equation. The numerical experiments showed that the YSCWM induced the residual current's northward flows along the Zhejiang coast in the sea area near the Changjiang mouth due to the effect of the topography that blocked the CDW's southward expansion along the coast. The YSCWM induced cyclonic Yellow Sea circulation guides the CDW's southeastward expansion in the sea area far from the Changjiang mouth. Taking into consideration the factors of the Kuroshio, Taiwan Warm Current, coastal current, wind stress and topography, this numerical experiment showed the northeast expanding freshwater tongue and the circulation structure in the East China Sea in summer. The YSCWM has significant influence on the northeastward turning direction of the CDW. The stronger the YSCWM is, the greater the effect of the YSCWM induced residual currents and the more obvious the northeastward turning of the CDW.

Key words Changjiang Diluted Water Expansion Yellow Sea Cold Water Mass
Numerical experiments

Subject classification number P731.2