

东海和南黄海夏季环流的斜压模式*

王 辉

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

提要 基于拉格朗日余流及其输运过程的一种三维空间弱非线性理论, 引进了黑潮边界力及长江径流, 给出了东海和南黄海的夏季环流及上升流区的分布。计算结果表明: 在黑潮西侧存在着台湾 - 对马暖流系统; 进入朝鲜海峡的对马暖流来自台湾暖流、黑潮、东海混合水和西朝鲜沿岸流; 黄海暖流主要来源于东海混合水, 表层有部分来自对马暖流; 闽浙沿岸存在上升流区且构成一带状区域; 在长江口外、东海东北部和陆坡上也存在上升流区; 陆坡处上升流和下降流区交替出现, PN断面上为上升流区。

关键词 东海 南黄海 夏季 斜压模式 环流 上升流

对东海和黄海环流的研究从早期依赖有限的资料给出环流图式, 到近年来利用数值模拟的手段研究环流的结构、起源和动力机制, 我国海洋学家(管秉贤, 1983; 冯士筭等, 1981; 袁耀初等, 1982)做了大量的工作。大大丰富了对整个海区环流结构以及诸如对马暖流、台湾暖流和黄海暖流的起源等问题的认识。本文与前人工作不同的是: 不是沿袭传统的欧拉观点描述环流, 而是基于冯士筭教授为首以拉格朗日观点建立的一种陆架浅海环流模式(冯士筭, 1988), 进行东海和南黄海夏季环流的数值模拟。模式中不仅包括了风生流和密度流, 还首次在给出的环流中包括了有可能在浅水区域起重要作用的潮余流。计算中引进了黑潮边界力和长江径流。同时给出了水平环流和垂直环流(上升流和下降流)。使用流速分解法, 通过引进水平扩散项解决了因陆坡处深度急剧变化造成的计算不稳定¹⁾。风场取为多年平均的8月份平均风场。温盐资料也为多年平均的8月份数据。黑潮及长江径流取为: 台湾以东黑潮区, 22(单位: $\times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$, 下同); 大隅 - 吐噶喇海峡, 20; 对马海峡, 3.09; 台流海峡, 1; 长江径流, 0.09。

1 夏季环流的基本特征

1.1 东海黑潮

东海黑潮指南自苏澳 - 与那国岛、北至吐噶喇海峡的这一段黑潮流系。它从台湾岛东部进入东海后, 流向开始西北向, 然后右旋, 构成了黑潮在台湾岛北端明显地入侵陆架现象(如图1); 黑潮主干基本沿着大陆坡向东北流去, 最后从吐噶喇海峡流出东海。由于采用了真实的冲绳海槽地形, 模拟结果较真实地再现了东海黑潮这支流幅窄、流速大的强流。从图1可以看出, 黑潮流幅宽约100km(指流速大于1n mile的强流带), 最大流速可达80cm/s。黑潮流路沿陆坡存在小的波动, 这些特征主要受制于黑潮边界力和东海陆坡特殊的地形。因此, 东海黑潮的途径不是径直地指向东北, 而是随地形有所波

* 国家自然科学基金重点资助项目, 49136140号。王辉, 男, 出生于1962年8月, 博士, 副教授。

收稿日期: 1993年11月17日, 接受日期: 1994年5月10日。

1) 王辉, 1992, 陆架环流及输运过程研究, 青岛海洋大学博士论文。

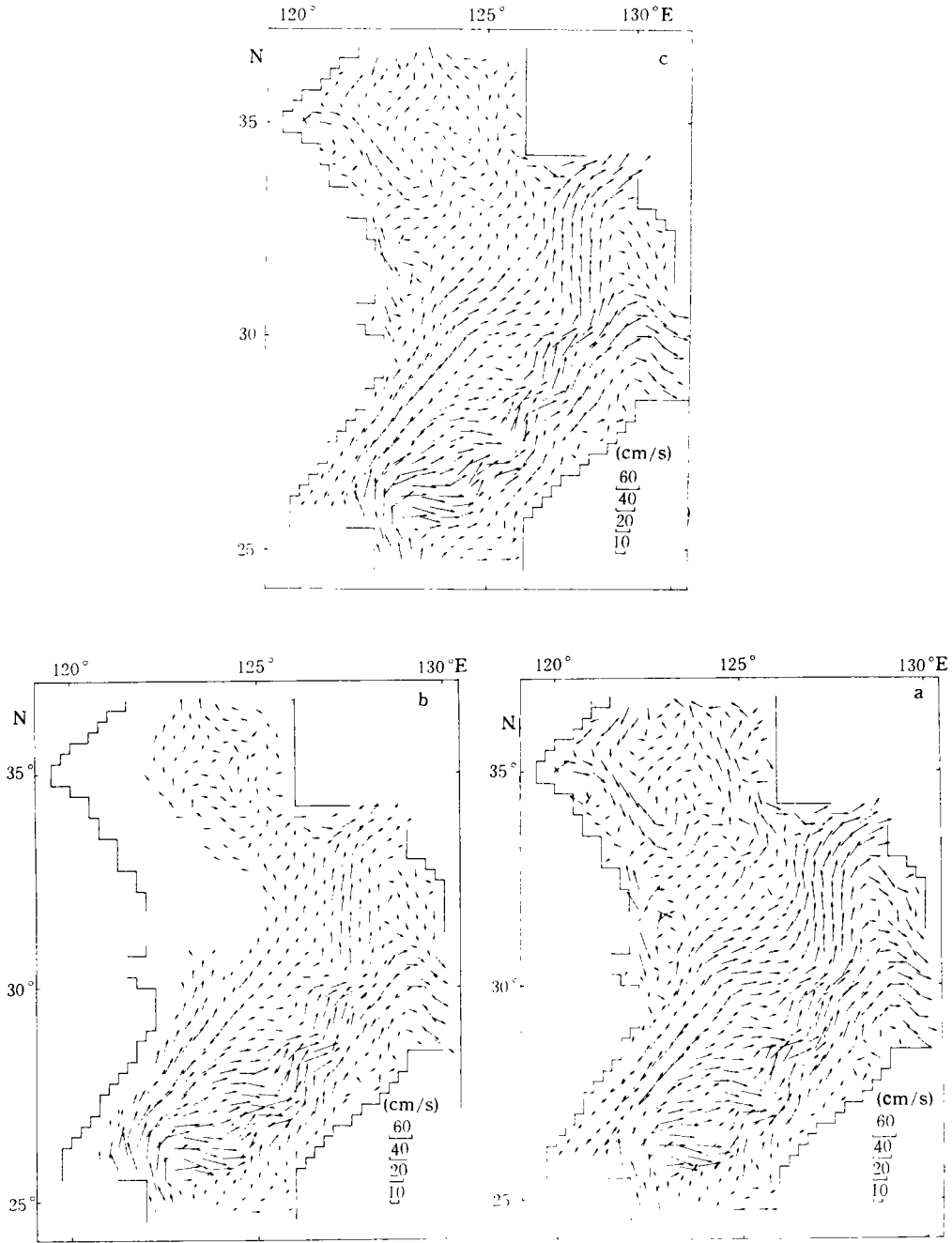


图1 夏季总环流

(a. 表层; b. 50m; c. 深度平均)

Fig.1 The general circulation in summer in Kuroshio of East China Sea

动(管秉贤, 1978)。在黑潮右侧, 冲绳岛以西海域还出现了逆流区, 其位置和孙湘平

(1987)指出的(3)号逆流区相同。

1.2 台湾-对马暖流系统

近年来,方国洪等(1992)提出在黑潮西侧存在一支从南海东北部流经台湾海峡、朝鲜海峡和津轻-宗谷海峡进入太平洋的暖流系统,称为台湾-对马-津轻暖流系统(简称 TTT WCS)(图 2)。本文给出的计算结果表明,黑潮西侧确有一支自台湾海峡至对马海峡的环流系统,它是 TTT WCS 的南段部分,构成了东海和南黄海陆架环流的主动脉。这一流系在本文的计算区域内始于台湾海峡北部,在闽浙外海,几乎平行于岸线流向东北,至 $30^{\circ} 30' N$ 时转向东流,然后至 $127^{\circ} 30' E$ 时转向北流,最终从对马海峡流出东海。该流系的路径和图 2(方国洪等,1992)所给出的模式在 $30^{\circ} 30' N$ 以南基本一致,但在 $30^{\circ} 30' N$ 以北其流路有明显差异。图 2 显示台湾-对马暖流系统和黑潮基本平行流向东北,无交汇点,但本文的计算结果显示,在 $30^{\circ} 30' N, 127^{\circ} 30' E$ 二支流系的流路十分靠近,在这里黑潮右旋流出东海,但也有少量黑潮水北上加入台湾-对马暖流系统。因此进入朝鲜海峡的对马暖流来源应包括:台湾暖流、黑潮、东海混合水和西朝鲜沿岸流。计算结果还显示,有一股沿日本九州沿岸南下的沿岸流,这支沿岸流也经吐噶喇海峡流出东海。

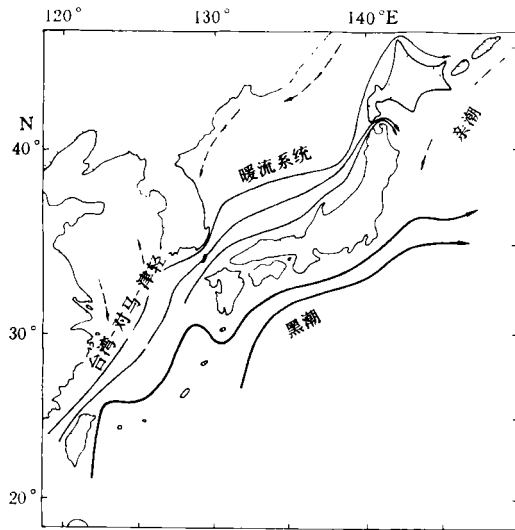


图2 台湾-对马-津轻暖流系统模式图 (引自方国洪等,1992)

Fig.2 Taiwan-Tsushima-Tsugaru warm current system Model

1.3 黄海暖流

关于黄海暖流,可以从图 1 看到,在济州岛附近海域,有一股海流沿黄海槽北上并进入南黄海,在黄海中部左旋,与黄海沿岸流一起构成了南黄海的气旋型环流。由于受本文计算区域的限制,很难确定出黄海暖流北上的位置,计算出的南黄海环流系统也多少会受到边界的影响。说到黄海暖流的起源问题,作者初步认为其主要来源于济州岛西南海域的东海混合水,在表层有部分来自对马暖流水。

1.4 沿岸流

在苏北沿岸、朝鲜沿岸和东海沿岸都存在着沿岸流系。其中,沿苏北沿岸南下的黄海沿岸流最为显著,计算流速可达 25cm/s ;在海州湾和长江口发现二个强度较弱的反气旋型涡旋;在苏北浅滩附近海域,存在沿岸北上的流动,这些以前文献中较少提到的现象,主要是潮致拉格朗日余流的贡献¹⁾,对此应做进一步的工作来确定其存在性。

2 夏季上升流区的分布和强度

2.1 主要上升流区的地理位置

1) 王辉,1992,陆架环流及输运过程研究,青岛海洋大学博士论文。

从10m层的垂直环流等值线图可以看出(图3a),主要的上升流区有:台湾岛北部、闽浙沿海、舟山海域、长江口外、海州湾外海、朝鲜半岛中部和西南端、东海东北部和大陆架边缘。

2.2 主要上升流区的强度和特征

2.2.1 闽浙沿岸的上升流区 从位于浙江舟山群岛至福建海坛岛以南的近岸区域内,存在一个带状的上升流区,且有二个很强的上升中心,其位置分别为 $26^{\circ}30'N$, $120^{\circ}40'E$ 和 $27^{\circ}20'N$, $121^{\circ}40'E$ 。10m层中心上升速度为 $7.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,20m层为 $8.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ (图3b);中心区域之外,上升流速约分别为 $2.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, $3.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,上升速度随深度增加而增大。计算结果表明,闽浙沿岸的上升流连成一带状区域,它形成的机制可能是由于台湾暖流向北输送过程中,受科氏力作用表层海水不断地偏离海岸,下层必须有向上运动的海水以补充上层流走的海水,从而导致上升流的产生。据此,作者认为这一上升流区是终年存在的。

2.2.2 长江口外的上升流区 在长江口外大沙滩附近($30^{\circ}30'N - 32^{\circ}40'N$ 之间),存在一个上升流区,10m层的上升速度为 $12 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,中心以外为 $2.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,赵保仁(1993)对这一上升流区进行了研究,与其结果相比,本文的上升流速度稍大些。

2.2.3 东海东北部的上升流区 在济州岛南部海域,大约位于 $32^{\circ}30'N$, $125^{\circ}E$ 和 $32^{\circ}30'N$, $127^{\circ}E$ 附近有二个上升流区,前者与胡敦欣(1980)提到的东海东北部的气旋型涡旋的位置相当。10m层上升速度为 $2.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,30m层上升速度为 $4.4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。

2.2.4 大陆架边缘的上升流区 沿着大陆架边缘出现许多海水涌升区域,在上升区域附近也伴有下沉区域。10m层海水上升速度为 $2.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,下降速度为 $2.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。从计算结果发现,陆坡处上升流区和下降流区交替出现,且与黑潮流速的波动有较好的相关性。即当黑潮流速指向陆架

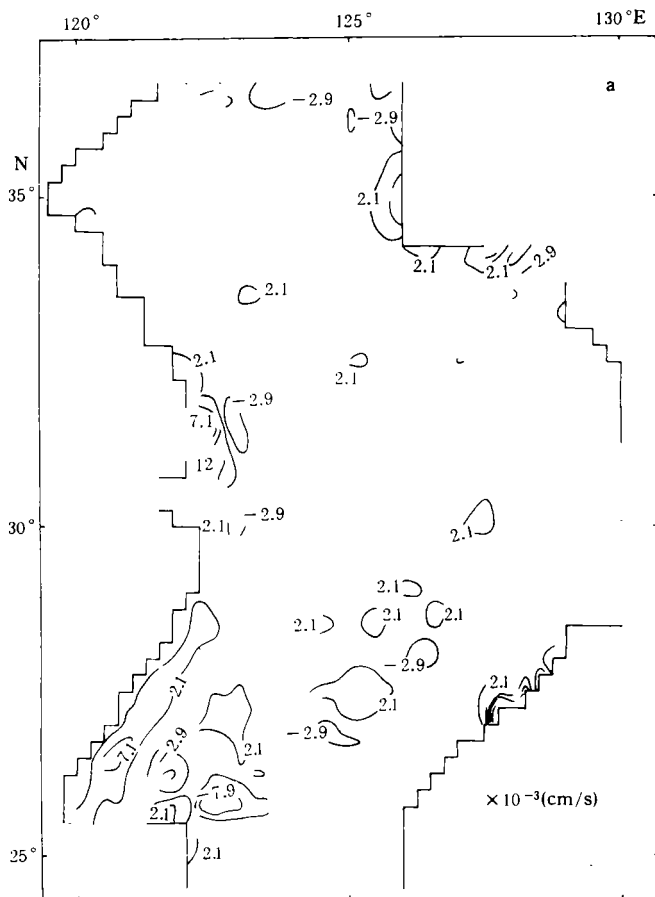


图3 夏季环流的铅垂分量 (a. 10m; b. 20m; c. 30m)
Fig.3 The distribution of the upwelling

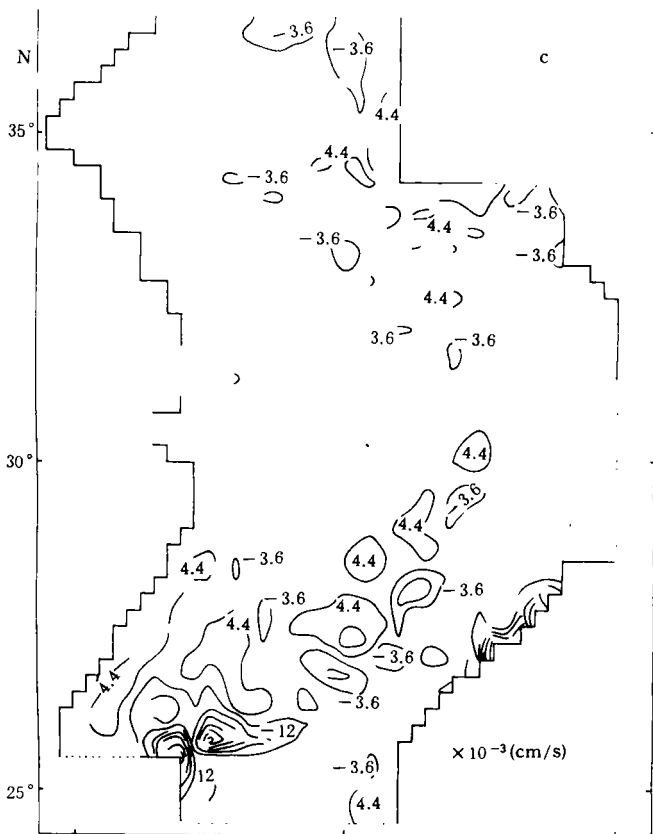
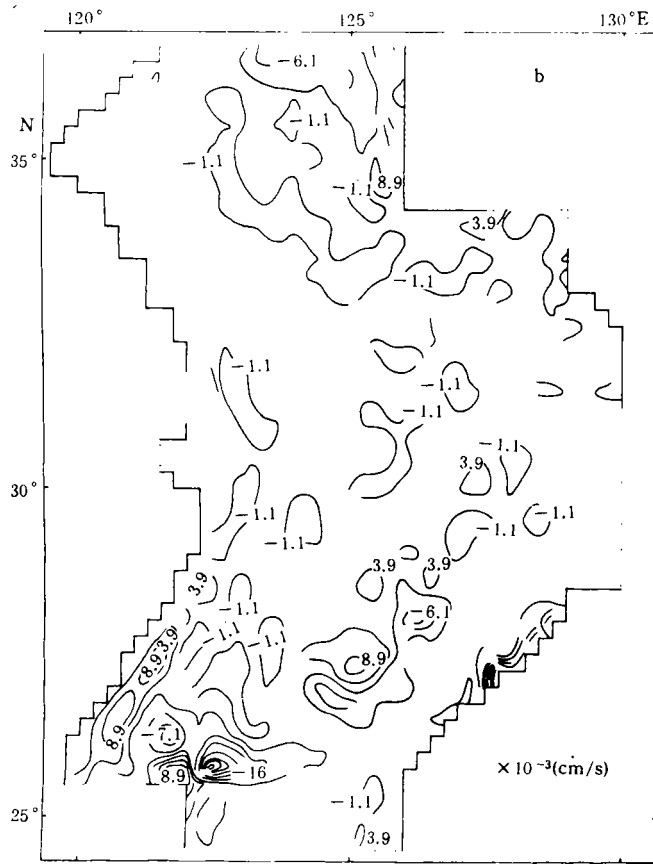


图3(继)

一方时, 该区域上层为下降流区, 否则为上升流区。位于PN断面上的陆坡处夏季其上层区域为上升流区, 冬季也为上升流区(王辉, 1995)。由上述初步分析可见, 黑潮水流经东海陆坡时, 与东海陆架水发生着一系列交换过程, 因此, 东海黑潮对东海陆架海洋环境产生着重要影响。

3 结语

3.1 在黑湖西侧存在着台湾-对马环流系统, 它构成了东海和南黄海陆架环流的主动脉; 其路径在闽浙外海平行于海岸流向东北, 至 $30^{\circ}30'N$ 转向东流, 运行至 $127^{\circ}30'E$ 时转向北, 最后进入朝鲜海峡。

3.2 夏季进入朝鲜海峡的对马暖流来源于: 台湾暖流、黑潮、东海混合水和西朝鲜沿岸流; 黄海暖流主要来源于东海混合水, 其表层部分来自对马暖流。

3.3 东海和南黄海存在众多上升流区, 如闽浙沿岸、长江口外、东海东北部和大陆坡附近海域。其中, 闽浙沿岸上升流形成一带状区域, 中心最大上升强度为 $8.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$; 东海大陆坡处上升流区和下降流区交替出现, 在PN断面上陆坡处, 其上层区域为上升流区。

本文对夏季东海和南黄海的水平环流和上升流的基本结构进行了初步分析, 今后拟扩大计算区域至整个渤、黄、东海海区进行模拟, 并结合资料进行验证。

参 考 文 献

- 方国洪、赵保仁、朱耀华, 1992, 海洋环流研讨会论文集, 海洋出版社(北京), 13—27。
- 王 辉, 1995, 海洋学报, 17(2): 21—26。
- 冯士筭、张淑珍、奚盘根, 1981, 山东海洋学院学报, 11(2): 8—29。
- 冯士筭, 1988, 清华大学工程力学与工程热物理学术会议论文集, 清华大学出版社(北京), 199—208。
- 孙湘平, 1987, 黑潮调查研究论文集, 海洋出版社(北京), 1—14。
- 赵保仁, 1993, 海洋学报, 15(2): 108—114。
- 胡敦欣, 1980, 科学通报, 1: 29—31。
- 袁耀初、苏纪兰、赵金三, 1982, 海洋学报, 4(1): 1—10。
- 管秉贤, 1983, 东海及其他陆架沉积作用国际学术讨论会(SSCS)论文集, 海洋出版社(北京), 56—79。

BAROCLINIC MODEL OF SUMMER CIRCULATION IN THE EAST CHINA SEA AND SOUTH YELLOW SEA

Wang Hui

(*Geophysical Department, Beijing University, Beijing 100871*)

Abstract Based on a three-dimensional weakly nonlinear theory of Lagrangian residual current, this study's diagnostic numerical calculation of summer circulation in the East China Sea and the Yellow Sea using the velocity-splitting method and considering the Kuroshio and the Changjiang River runoff showed that the Taiwan-Tsushima Warm Current System is the main current system in the continental shelf. The sources of the Tsushima Warm Current entering the Korea Strait are the Taiwan Warm Current, the Kuroshio, and the Mixing Water of the East China Sea and West Korea Coastal Current. The source of the Yellow Sea Warm Current is the Mixing Water of the East China Sea, but partly coming from the Tsushima Warm Current in the upper layer. The main areas where upwelling takes place are revealed to be in the Zhejiang and Fujian coastal sea, the mouth of the Changjiang River, the northeastern part of the East China Sea and the continental slope. The area of the upwelling and the downwelling along the continental slope emerge alternately, and the area located on the PN-section is the upwelling area in the upper layer.

Key words East China Sea South Yellow Sea Summer Baroclinic Model Circulation Upwelling