

夏季南黄海风漂流的不同计算方法的对比分析

梁兼霞^{1,2}, 庞重光¹, 白学志¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要:分别用 Ekman 有限深海风漂流计算公式, 普林斯顿海洋模式(POM)数值计算了南黄海风漂流。通过对这两种方法的计算结果的对比分析得出: 在水深较小时, 模式计算的风漂流场与公式计算结果较为接近; 而在水深较大时公式计算所得风漂流场与实际流场相差较大, 模式计算的风漂流场则基本再现了夏季南黄海的环流结构; 风速越大, 两种计算方法所得的流场之间的差别越大。同时从数值试验的角度还得到夏季由于风速普遍偏小, 风场对环流结构的影响都相对较小, 热盐效应是控制夏季环流的主导因素。但当风速增大到一定程度时, 环流结构会发生根本改变。

关键词: 黄海冷水团; 普林斯顿海洋模式(POM); 风漂流; 热盐环流

中图分类号: P714.3; P731.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2005)09-0060-05

黄海冷水团及其环流是中国浅海陆架上一个重要的海洋现象, 多年来一直为国内外的海洋学家所关注^[1-10]。其中关于黄海冷水团环流结构的认识分歧很大^[2,3,5,8,9], 实测海流数据的缺乏是产生分歧的重要原因。因此为了弄清其环流结构, 以国家重点基础研究发展规划项目“中国近海环流变异机理、数值预测方法及对近海环境影响的研究”为依托, 于 2001, 2002, 2003 年夏季在南黄海各布设 10, 6, 17 个 (METOCEAN 公司生产的 WOCE SVP) 漂流浮标。WOCE SVP 漂流浮标被用于观测近表层某一深度处海水的 Lagrange 流速, 具体深度由漂流浮标水帆所在的深度决定, 即水帆在什么深度, 浮标所测的流速就是此深度处的海水流速。2001, 2002 年所用浮标的水帆中心位于水下 15 m (常规设置), 而根据以往对黄海冷水团环流的了解, 认为其近表层相对较强, 流速较大, 因此为了获得更有效的数据, 在 2003 年, 提高了所布设浮标水帆中心的位置, 使其位于水下 4 m。然而, 这不可避免地加大了风海流对浮标的影响, 使其漂流轨迹更易受局地风的左右。

据 Niiler 等^[11]的研究, 当水帆位于水深 15 m, 海面风速 1m/s 时, 浮标的顺风滑移约为: 0.05 ~ 0.07cm/s; 因此, 在夏季一般情况下, 由于风速引起的滑移不超过 1cm/s。当水帆位于水深 15 m 时, 可以不考虑风场对浮标轨迹的影响; 但当水帆位于水深 4 m 时, 必须考虑风场对其的影响。

利用风速资料去除风场影响, 风场资料来自 Quick SCAT/NCEP 混合风场资料; 时间分辨率为 6 h; 空间分辨率: 0.5° × 0.5°; 计算区域: 118°E ~

127°E, 32°N ~ 41°N。

作者将用两种方法来计算夏季风漂流: 用 Ekman 有限深海风漂流计算公式分别计算水深 15, 4 m 处的风漂流流速; 用普林斯顿海洋模式 (Princeton Ocean Model, 简称为 POM) 数值计算风漂流。同时, 对两种方法的计算结果, 进行分析对比, 探讨其优劣。

1 两种计算方法

1.1 有限深海的漂流

利用 Ekman 有限深海风漂流计算公式:

$$\begin{cases} u = A_1 \text{sha}\zeta \text{cosa}\zeta - B_1 \text{cha}\zeta \text{sina}\zeta + \\ A_2 \text{cha}\zeta \text{sina}\zeta + B_2 \text{sha}\zeta \text{cosa}\zeta \\ v = A_1 \text{cha}\zeta \text{sina}\zeta + B_1 \text{sha}\zeta \text{cosa}\zeta - \\ A_2 \text{sha}\zeta \text{cosa}\zeta + B_2 \text{cha}\zeta \text{sina}\zeta \end{cases}$$

式中:

$$A_1 = \frac{\tau_y}{aA_z\rho} \frac{\text{chahcosa}h + \text{shahsina}h}{\text{ch}2ah + \text{cos}2ah},$$

$$B_1 = \frac{\tau_y}{aA_z\rho} \frac{\text{chahcosa}h - \text{shahsina}h}{\text{ch}2ah + \text{cos}2ah},$$

$$A_2 = \frac{\tau_x}{aA_z\rho} \frac{\text{chahcosa}h + \text{shahsina}h}{\text{ch}2ah + \text{cos}2ah},$$

收稿日期: 2005-01-04; 修回日期: 2005-05-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40406025); 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043803)

作者简介: 梁兼霞 (1978-), 女, 浙江新昌人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋环流, E-mail: liangjianxia@ms.qdio.ac.cn

$$B_2 = \frac{\tau_x}{aA_z\rho} \frac{\text{ch}2ah\text{cos}ah - \text{sh}ah\text{sin}ah}{\text{ch}2ah + \text{cos}2ah},$$

$$\zeta = z - h.$$

坐标系为左手坐标系,即取 z 轴向下为正; ρ 为海水密度, h 为水深, τ_x, τ_y 分别是风应力沿 x, y 的分量; $a = \sqrt{wsin\phi/A_z}$, A_z 为垂直项粘性系数,是通过模拟黄海相应的 POM 模式计算得到的。

计算得不同时间段风场产生的风漂流场。

1.2 POM 模式

POM 模式^[12]是一种应用于海洋的三维数值模型。目前,该模式已被应用于世界大洋的众多海区,计算结果和实测资料基本一致,表明该模式有较好的可靠性。

POM 模式分内、外模对基本方程进行求解。外模(蛙跳格式)求解自由表面的水位和垂向平均的水平流速分量,内模计算水平速度、垂向速度、温度、盐

度和湍流变量的三维分布。

边界条件:在开边界采用辐射边界条件(速度取法向导数为零,即 $\frac{\partial U}{\partial n} = 0$);闭边界法向速度为零且不可滑动;地形采用 $5' \times 5'$ 的实测水深资料;水平及垂向分辨率分别为 $1/12^\circ, 16$ 层。时间计算步长:外模:30 s;内模:1 800 s。

气候月平均的海面风应力由 COADS 资料内插得到,作为模式积分的强迫场,达到稳定,然后加入 Quick SCAT/NCEP 混合风场资料进行计算。

2 计算结果分析及对比

图 1a, 1b, 1c, 图 2a, 2b, 2c, 2d 分别为 2001 年 7 月 21 日和 2003 年 8 月 21 日的风场、公式计算的风漂流场及由 POM 模式数值计算的风漂流场,其中图 1b, 1c 是 15 m 层的风漂流场,图 2b, 2c 是 4 m 层流

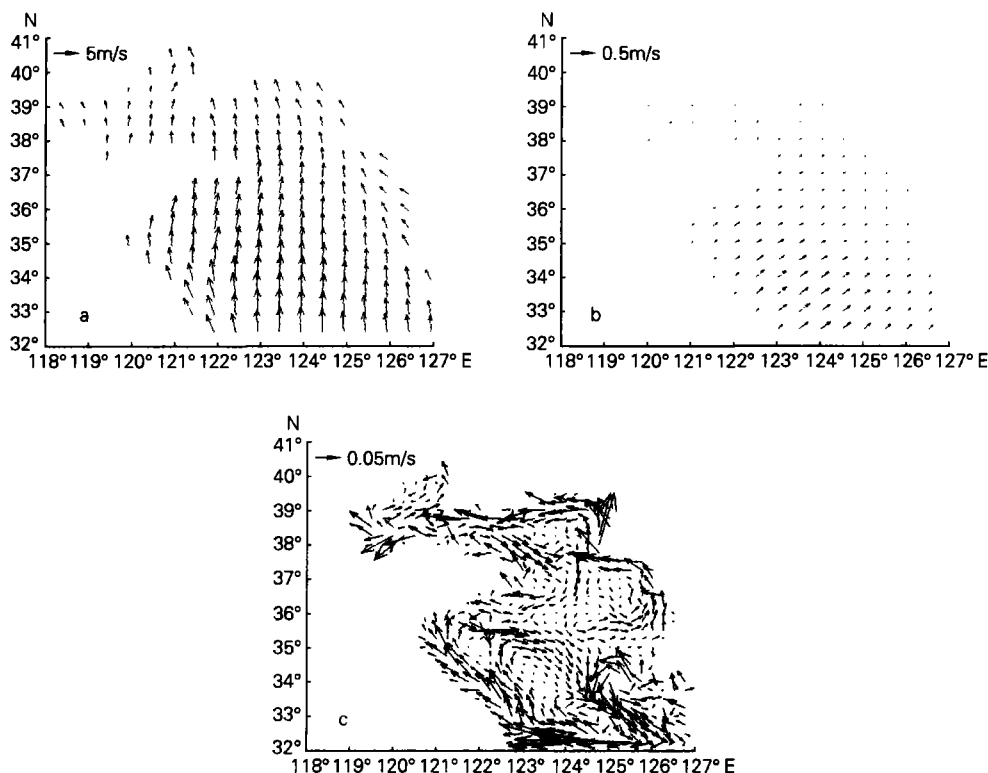


图 1 2001 年 7 月 21 日

Fig. 1 July 21, 2001

- a. 风场; b. 公式所得 15 m 层风漂流流场; c. POM 所得 15 m 层风漂流流场
 a. wind fields; b. wind-induced currents at 15 m computed by Ekman formula;
 c. wind-induced currents at 15 m numerically computed by POM model

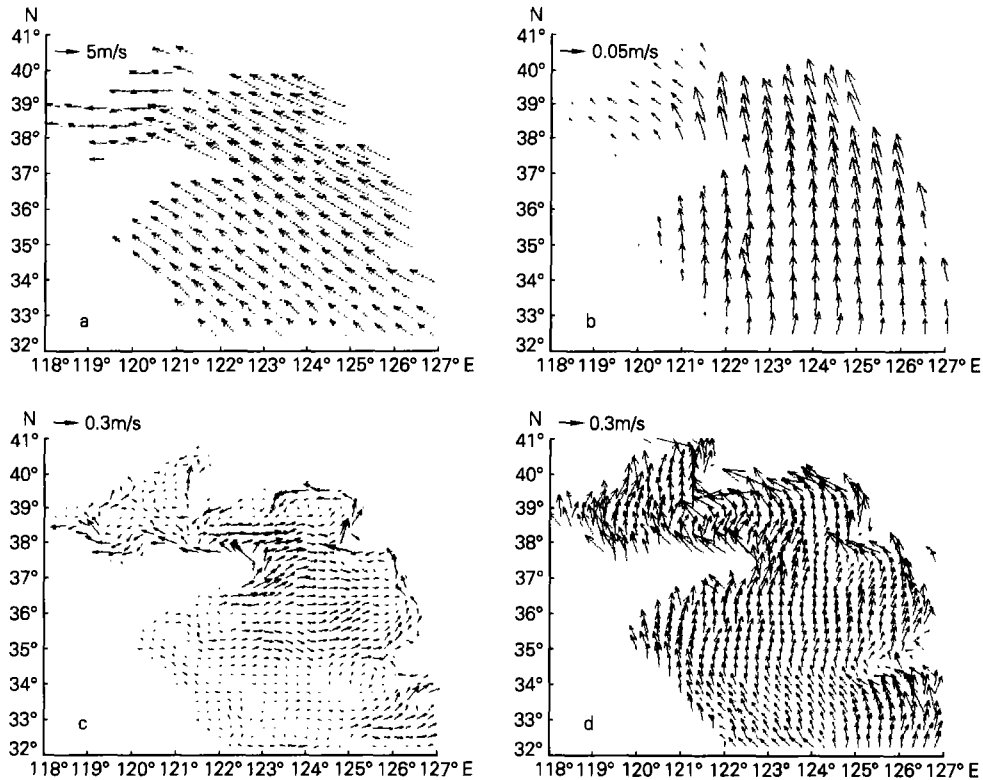


图2 2003年8月21日

Fig. 2 August 21, 2003

a. 风场; b. 公式所得4 m层风漂流场;

c. POM所得4 m层风漂流场; d. POM所得表层风漂流场

a. wind fields; b. wind-induced currents at 4 m computed by Ekman formula;

c. wind-induced currents at 4 m numerically computed by POM model;

d. wind-induced currents on surface numerically computed by POM model

场, 2d为表层流场。如图1b, 图2b所示, 由公式计算所得的风漂流流向大致为风向右偏一角度, 4 m层相对于15 m层受风影响大从而流速较大, 偏转角度较小。公式只考虑了风场本身和水深对风漂流的影响, 没有考虑岸线、边界等真实地形的影响, 因此计算的风漂流场与实际流场相差甚远。相对而言, 用POM模式计算风漂流在很大程度上弥补了此缺陷, 如图1c, 图2c所示。15 m层的风漂流场(图1c)基本再现了夏季南黄海的环流结构^[13]; 夏季贴岸北上的苏北沿岸流, 和以35.0°~36.0°N/124.0°~124.5°E为中心的海盆尺度的气旋环流(环流位置与实际相比, 明显偏东)。值得注意的是, 如图1c所示, 在大的气旋式环流的内部, 又存在北、中、南3个次级气旋涡旋, 这与汤毓祥等^[14]根据实际观测资料所得的夏季黄海表、底层环流大致皆是由一个大的逆时针向流系构成, 但在表层气旋式环流内部还存在小的气旋和反

气旋流环的结论基本一致。

如图2d所示, 模式所得的表层流场仅受风场控制, 因此基本与公式计算所得流场相似; 相对而言4 m层流场(图2c)与表层流场有相当差距, 它处在由表层向深层的过渡态, 表层流受风场控制向北流动, 导致海面高度北高南低, 从而在深层产生沿黄海海槽的自北向南的具有补偿性质的流动, 与15 m层的流场(图1c)类似。由此可以看到, 当水深较大时模式所得流场出现补偿流, 与实际流场存在一定的差距。

以2001, 2002和2003年7, 8月份日平均风场为驱动, 用公式与模式分别计算得2001, 2002年水深15 m层的流速, 以及2003年4 m层的流速。以下对两种计算方法的结果作进一步对比分析。把公式所得流速与模式计算的流速相减, 差值最大达0.6 m/s, 产生最大差值的格点一般位于岸线强烈弯曲的地方。由于岸线的阻挡, 使利用模式计算的流速值较大, 从

而造成流速差值极大。

不同时间段两流速差值的平均有所不同,平均值的大小与相应时间的平均风速显著相关,即风速越大,两种计算方法所得的流场之间的差别越大。2001,2002,2003年7,8月份两计算流速的均方差与平均风速的相关系数分别为0.534,0.583,0.608,2003年的相关系数与2001,2002年相比较,这与2003年计算层次选在水深4m层,而2001,2002年计算层次选在水深15m层有关。水层浅受风速影响大,但同时由于水层浅海水流速较大,模式中岸线等其他因素对流速的影响也较大,故2003年均方差与风速的相关系数比2001,2002年相比,只是略微偏大。

此外,从数值试验的角度,探讨夏季黄海环流结构的主要影响因素。在POM模式中,加入斜压项

(海水温、盐状态不随时间改变),从而模式数值计算的结果既包括风漂流也包括热盐环流。在黄海,夏季一般为南风或东南风,然而,在2002年8月21日,风场方向基本为东北向,如图3a所示。由公式计算得到的是与东北风场相应的风漂流流场,即方向向右偏某一角度(图3b);而由模式所得的流场仍基本是夏季黄海风漂流加热盐环流的情况,只是流速稍小(图3c)。然而,当把风速加大到5倍时,模式计算的风漂流加热盐环流场趋于1月份的情况(图3d)。由此得出结论,夏季由于风速普遍偏小,因此无论风向如何,风场对环流结构的影响都相对较小,热盐效应是控制夏季环流的主导因素。然而,当风速增大到一定程度,接近冬季的平均风速时,其环流结构会发生根本改变。

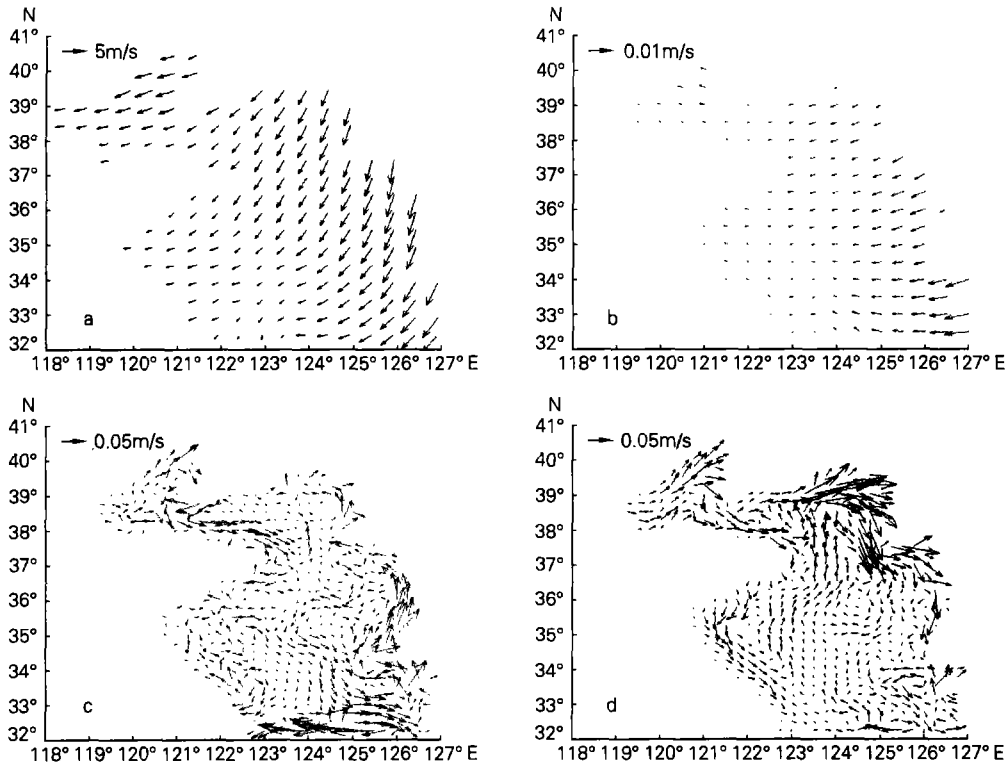


图3 2002年8月21日

Fig. 3 August 21, 2002

a. 风场; b. 公式所得15m层风漂流场

c. POM所得15m风漂流场; d. POM所得15m层风漂流场(5倍风速)

a. wind fields; b. wind-induced currents at 15 m computed by Ekman formula;

c. wind-induced currents at 15 m numerically computed by POM model;

d. wind-induced currents at 15 m numerically computed by POM model when wind velocity is 5 times

3 结论

公式计算所得风漂流场与实际流场相差较大,尤其在水深较大时;相对而言,模式计算的风漂流场在水深较小时与公式计算结果较为接近,而在水深较大处模式计算的风漂流场基本再现了夏季南海的环流结构。

风速越大,两种计算方法所得的流场之间的差别越大,即不同时间两流速差的平均值的大小与相应时间的平均风速显著相关,且水深越浅,相关越好。

夏季由于风速普遍偏小,因此无论风向如何,风场对环流结构的影响都相对较小,热盐效应是控制夏季环流的主导因素。然而,当风速增大到一定程度,接近冬季的平均风速时,其环流结构会发生根本改变。

参考文献:

- [1] 赫崇本,汪元祥,雷宗友,等. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(1): 11-15.
- [2] 管秉贤. 黄海冷水团水温变化以及环流特征的初步分析[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(4): 255-284.
- [3] 袁业立. 黄海冷水团环流: I. 冷水团中心部分的热结构和环流特征[J]. 海洋与湖沼, 1979, 10(3): 187-199.
- [4] 廖经榜,刘兴泉,薛亚. 北黄海冷水团形成机制的初步探讨, I. 模式解[J]. 中国科学 B, 1990, 20(12): 1 311-1 315.
- [5] 胡敦欣,南黄海环流研究述评[J], *Yellow Sea Research*, 1990, 3: 13-21.
- [6] Hu Dunxin, Cui maochang, Li Yongxiang, *et al*., On the Yellow Sea Cold Water Mass-Related Circulation [J]. *Yellow Sea Research*, 1991, 4: 79-88.
- [7] Feng Ming, Hu Dunxin, Li Yongxiang. A Theoretical Solution for the Thermohaline Circulation in the Southern Yellow Sea [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1992, 10(4): 289-300.
- [8] 李惠卿,袁业立. 黄海冷水团热结构及其环流解析研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(1): 7-13
- [9] 袁业立,李惠卿. 黄海冷水团环流结构及其生成机制研究, I. 0 阶解及冷水团的环流结构[J]. 中国科学 B, 1993, 23(1): 93-103.
- [10] 苏纪兰,黄大吉. 黄海冷水团的环流结构[J]. 海洋与湖沼(增刊), 1995, 26(5): 4-6
- [11] Niiler P, A Sybrandy, Bi K, *et al.*, Measurement of the water-following capability of holey-sock and TRISTAR drifters [J]. *Deep-sea res*, 1995, 42: 1 951-1 964.
- [12] Blumberg A F, Mellor G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model [A]. Heaps N. Three-Dimensional Coastal Ocean Models [C]. Washington D C; American Geophysical Union, 1987. 208.
- [13] Christopher E N, Blain C A, D R Lynch. Seasonal mean circulation in the Yellow Sea-a model-generated climatology [J]. *Continental Shelf Research*, 2001, 21(6-7): 667-695
- [14] 唐毓祥,邹娥梅,李兴幸,等. 南黄海环流的若干特征 [J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 1-16.

(下转第 75 页)

Different methods for computation of wind-induced currents in southern Yellow Sea in summer

LIANG Jian-xia^{1,2}, PANG Chong-guang¹, BAI Xue-zhi¹

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Jan. 4, 2005

Key words: Yellow Sea cold water mass; Princeton Ocean Model; wind-induced currents; thermohaline circulation

Abstract: Wind-induced currents in southern Yellow Sea in summer were computed by Ekman formula and Princeton Ocean Model(POM). The main results shows that in shallow sea, the wind-induced currents simulated in POM model are similar to that computed by Ekman formula; in deep sea, the results computed by Ekman formula is biased from the truth, while which computed by POM model shows in overall actual circulation pattern in southern Yellow Sea in summer. The faster the wind, the more obvious the difference between two methods. Furthermore, since the wind is generally weak in summer, it has little influence on circulation pattern, thus thermohaline become the dominant factor controlling circulations in summer. However, the circulation pattern will be totally different if the wind is fast enough.

(本文编辑:刘珊珊)