

北部湾潮致、风生和热盐余流的 三维数值计算*

孙洪亮 黄卫民 赵俊生

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

提要 基于二阶湍流闭合模型计算涡动粘性系数的 POM 三维水动力模式, 研究采用细网格, 考虑了 6 个岛屿的影响, 海底摩擦系数进行划片取值, 把作为强迫力的潮汐、风力和热盐统一在一个模型中, 诊断计算并获得了北部湾三维潮致- 风生- 热盐余流。用实测资料对计算结果进行了验证, 显示了本研究结果的合理性。同时给出了潮致余流、风生流和热盐余流, 并且对各因子的作用做了比较和分析, 结果表明风生流占主要成分。

关键词 北部湾, POM, 余流

中图分类号 P731

自 50 年代末以来, 有关单位和学者对北部湾的海流状况开展了调查研究, 通过调查结果分析, 绘出了北部湾实测余流矢量分布和环流模型图。管秉贤(1998)对前人及本人关于南海暖流的研究做了回顾。近 20 年来在数值模拟方面, 李荣风(1992)、曾庆存(1992)和刘卓(1992)在对西太平洋或南海海流进行计算时, 都把北部湾作为其计算范围内的一小部分, 不考虑琼州海峡, 而且都是二维的。蔡树群(1999)利用斜压三维陆架海模式——HAMSOM 模式, 对南海冬夏两季环流进行三维数值模拟时, 仍把北部湾作为其计算范围内的一小部分, 而且仍不考虑琼州海峡。刘爱菊等(1997)对北部湾的潮汐进行了数值预报。作者基于二阶湍流闭合模型计算涡动粘性系数的 POM(Princeton Ocean Model) 三维水动力模式, 选用细网格, 考虑了大小 6 个岛屿的影响, 对海底摩擦系数进行划片取值, 把作为强迫力的潮汐、风力和热盐统一在一个模型中, 诊断计算了北部湾三维潮致- 风生- 热盐余流。用实测资料对计算结果进行了验证, 显示了计算结果的合理性。同时计算了潮致余流、风生流和热盐流, 对各个因子在潮致- 风生- 热盐余流中的作用进行了分析和比较。

1 计算海区及数值模式

计算海区为整个北部湾, $16^{\circ}00' - 21^{\circ}54' N$, $105^{\circ}36' - 111^{\circ}12' E$ 。东边界定在 $111^{\circ}12' E$, 以便把琼州海峡和海南岛都包括在模拟范围之内, 体现海南岛四面环水, 北部湾与外海充分贯通的真实环境。水平细网格间距为 $3' \times 3'$ 。在模拟范围内, 除海南岛外, 另外考虑了涠洲岛等大小 5 个岛屿, 以更精确地描绘海岸线形状和岛屿分布。垂直分 7 个 σ 层,

* 广西壮族自治区资助项目, 9734 号。孙洪亮, 男, 出生于 1942 年 12 月, 副研究员, Fax: 0086- 0532- 2879562

收稿日期: 2000- 01- 21, 收修改稿日期: 2000- 04- 01

用 1、4、7 层分别代表表、中、底层。北部湾水深大部分在 100m 以内,但东南部有一由 100m 变深至 1000m 的海底陡坡(图 1)。

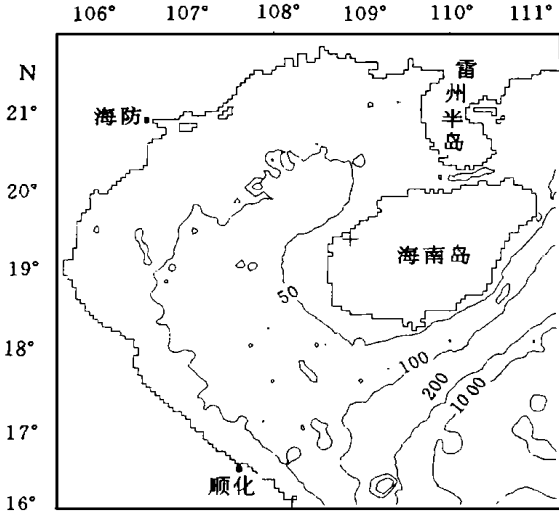


图 1 北部湾海底地形图(等深线单位:m)

Fig. 1 The sea-floor topographic map in the Beibu Bay (unit:m)

海底摩擦系数采用根据水深进行划片取值的方法,即水深 H 深于 200m 取 0.0016,其它由函数 $(2.6 - H/200) \times 10^{-3}$ 取值,效果很理想。

本研究采用 97 版 POM, 该模式有如下特点: (1) 运动方程中的涡动粘性系数由二阶湍流闭合方程求出; (2) 垂直方向采用 σ 坐标; (3) 水平方向采用任意正交曲线坐标和 Arakawa C 差分格式; (4) 水平方向的时间差分为显式, 而垂直方向的时间差分为隐式; (5) 有自由表面且内外模态分开; (6) 考虑热力学因素; (7) 水平扩散系数由 Smagorinsky 参数化公式计算得出。

计算潮汐潮流的开边界条件为

$O_1 + K_1 + M_2$ 潮位的第一类边界条件。计算风生流所用的风场采用多年月矢量平均风场资料。计算热盐流的海水温度盐度考虑月平均定常情况。

2 使用资料¹⁾

为 81 个潮汐观测站(其中环海南岛 38 个, 越南沿岸 22 个, 涠洲岛 1 个, 其余分布在广西和雷州半岛沿岸)的 O_1 、 K_1 和 M_2 分潮调和常数; 多年月平均按标准层给出的海水温度盐度资料; 多年月矢量平均风场资料。

3 模拟结果验证

首先将潮汐、风力和热盐统一在一个模型中, 诊断计算三维潮致- 风生- 热盐余流。计算结果用实测海流资料验证有一定的难度, 因为每次观测都是不同时间和不同气象条件下进行的。本文用前人做的环流趋势图和前人收集的实测余流资料对本计算结果进行验证。

姚² (1962) 绘出了北部湾冬夏两季环流模型图, 俞慕耕(1993) 绘出南海冬夏季季风时期的海流系统趋势图。两者有关北部湾海区的的结果基本一致, 而俞慕耕的结果估算出了流速的量值。本文用俞慕耕的结果对计算结果进行验证。对比图 2a 和俞慕耕(1993) 图 3 发现, 冬季计算海区的计算结果与海流系统趋势图基本一致。广西和越南近海的沿岸流、琼州海峡的西向流、雷州半岛和海南岛以东的南向或西南向流以及海南岛以南和以西的沿岸流等不仅流向吻合得相当好, 而且流速度量值范围也基本吻合。稍有不同的是海南岛西北沿岸流计算结果为西南向, 与趋势图的东北向流相反, 但与实测余流资料的西南向流(图 3a) 基本一致。另外海南岛以西海区计算结果基本为西向流, 而趋势图为

¹⁾ 资料取自国家海洋局海洋信息中心
©1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

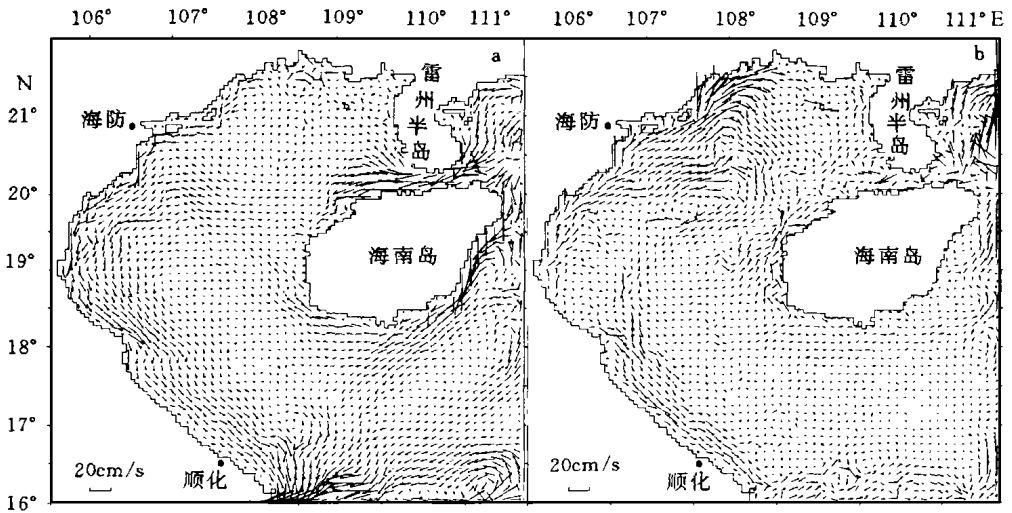


图2 冬季(a)和夏季(b)北部湾潮致-风生-热盐余流矢量

Fig. 2 The tide-induced, the wind-driven and thermohaline residual currents in the Beibu Bay

(a) winter; and (b) summer

东向流,并且在北部湾北部形成一逆时针环流。这两处差别有待于今后进一步调查研究。对比图2b和俞慕耕(1993)图4发现,夏季计算海区的计算结果与海流系统趋势图大致相同。广西近海和19°N以北越南的沿岸流以及雷州半岛和海南岛以东的北向或东北向流符合得较好。但海南岛西岸的沿岸流计算结果为北向,与趋势图的南向流相反,但与实测余流资料的北向流(图3b)基本一致。19°N以南越南沿岸流计算结果为东南向,而趋势图和实测余流资料为西北向。这一差别可能是由于计算尚未考虑边界力流所引起的。

对比图2a和图3a看出:冬季计算海区的计算结果与实测余流矢量图符合得相当好。

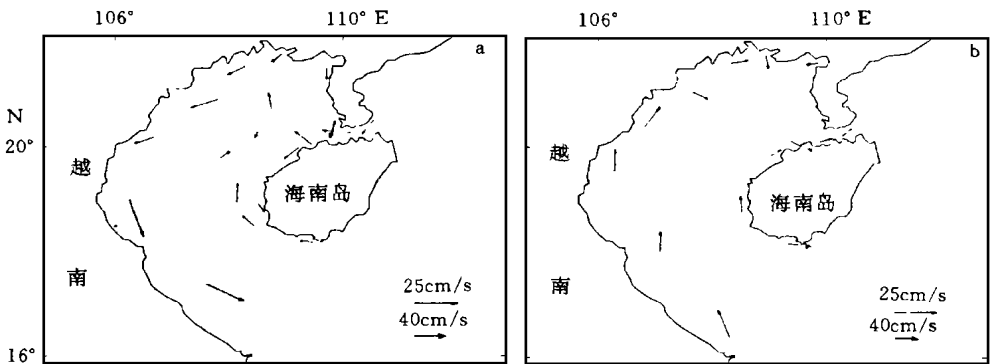


图3 冬季(a)和夏季(b)北部湾实测余流¹⁾

Fig. 3 The measured residual current in: (a) winter; and (b) summer

1) 王道儒, 1998. 北部湾冷水团的动力-热力机制研究. 博士学位论文. 青岛海洋大学

除中部弱流区个别点流向有所差别外,其余海区流向几乎全部一致。夏季计算海区的计算结果与实测余流矢量图除上述原因引起越南顺化附近沿岸流方向相反外,其余海区流向几乎全部一致(图 2b 和图 3b)。

以上用环流趋势图和实测余流资料验证了本文计算潮致-风生-热盐余流的基本合理性。

4 各因子在潮致-风生-热盐余流中的作用分析

为了分析潮汐、风力和热盐等各个因子在潮致-风生-热盐余流中所起的作用,分别计算了潮汐余流、风生流和热盐流。统计表明:风生流较强,占主要成分,其次是热盐流和潮致余流,冬季尤其明显。冬季潮致、风生和热盐余流平均速度的比例为 1: 3.27: 1.78;夏季为 1: 1.78: 1.09。

4.1 潮致余流

计算与实测潮汐调和常数的绝对平均误差 K_1 分潮振幅为 4.6cm,迟角为 9° ; O_1 分潮振幅为 5.6cm,迟角为 7° ; M_2 分潮振幅为 6.2cm,迟角为 15° 。该比较结果是在潮汐实测站个数为夏华永(1997)的 10 倍、曹德明等(1990)的 4 倍的条件得出的,因而更具有代表性和实际性。由计算 45d 潮流分析出潮致余流。由图 4a 可见,本海区的表层潮致余流分布特点是:总的趋势为琼州海峡的潮致余流由东向西,进入北部湾后向西北而后向西南,然后向西再向南绕过海南岛折向东南。海南岛西岸有一由南向北的沿岸潮致余流,在 $19^\circ 30' N$ 附近与前述折向西南的潮致余流汇合。琼州海峡的潮致余流最大,约为 10cm/s_0 ;海南岛和雷州半岛西岸、涠洲岛北岸和越南义安附近的其次,流速约为 8cm/s ;其它地区的最小。底层与表层大致相似,但流速较小(见图 4b)。

4.2 风生流

风生流的计算结果表明,北部湾的海流基本上随风而变,偏北风时风生流偏南;偏南

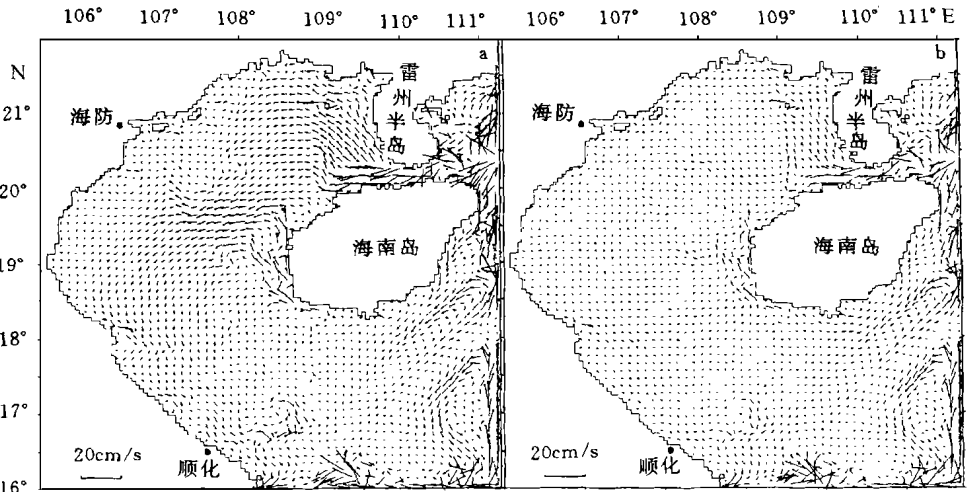


图 4 表层(a)和底层(b)潮致余流

Fig. 4. The tide induced residual current of: (a) surface layer and (b) bottom layer.

风时风生流偏北。

4.2.1 冬季(1月) 冬季计算海区盛行东北风, 风力较强。从图 5a 可以看出, 北部湾的风生流基本上呈现出一个强大的不闭合的逆时针向环流, 环流的中心在湾的中部。雷州半岛和海南岛东部海区风生流流向为西南向, 与风向基本一致, 流速约为 10—15cm/s。进入琼州海峡变成西向, 流速增至 20—25cm/s。出了海峡西口流速变小, 并向南、北散开, 然后分成 3 股向西南方向流去。南股沿海南岛西北沿岸, 北股沿广西、越南沿岸, 中股位于两者中间。到了 19°30'N 附近, 南、中两股汇到一起向西, 然后与北股一起沿越南沿岸向南后转东南, 流速又加大至约 15—20cm/s。海南岛东岸的西南向流到了南岸附近分成

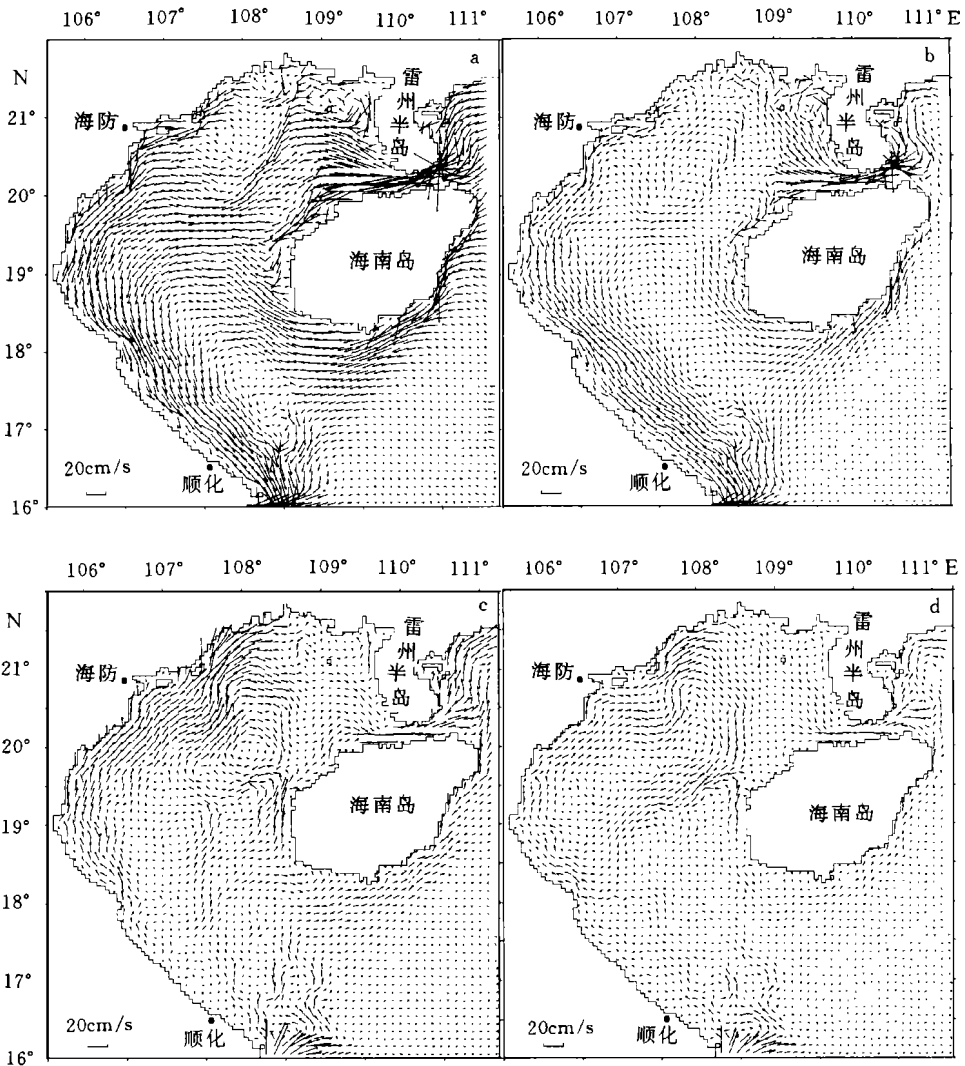


图 5 冬季表层 (a)、底层 (b) 和夏季表层 (c)、底层 (d) 风生流

Fig. 5 Wind-driven currents for (a) surface layer in winter; (b) bottom layer in winter;

(c) surface layer in summer; and (d) bottom layer in summer

两部分:一部分绕过西南海岸转向西北与西向流汇合,然后向南后转东南流出北部湾,形成一半封闭的逆时针环流;另一部分继续向西南后转为东南并与越南沿岸的东南向流汇合,最后流出北部湾。底层的风生流分布格局与表层相似,但在 19°N 以北,中部形成一顺时针环流; 19°N 以南,中部形成以 18°N 为界的南、北两个较弱的逆时针环流(图5b)。

4.2.2 夏季(7月) 夏季计算海区风向一般偏南,风力较弱。从图5c可以看出,夏季的风生流与冬季的风生流几乎相反,湾内呈现一个不太明显的顺时针向不闭合的环流,环流中心仍然位于湾的中部。夏季风生流比冬季明显偏小,总趋势由南向北。受地形和海岸影响,越南沿岸风生流最强,流速约为 $10-15\text{cm/s}$,流向由西北转成东北。到了广西沿

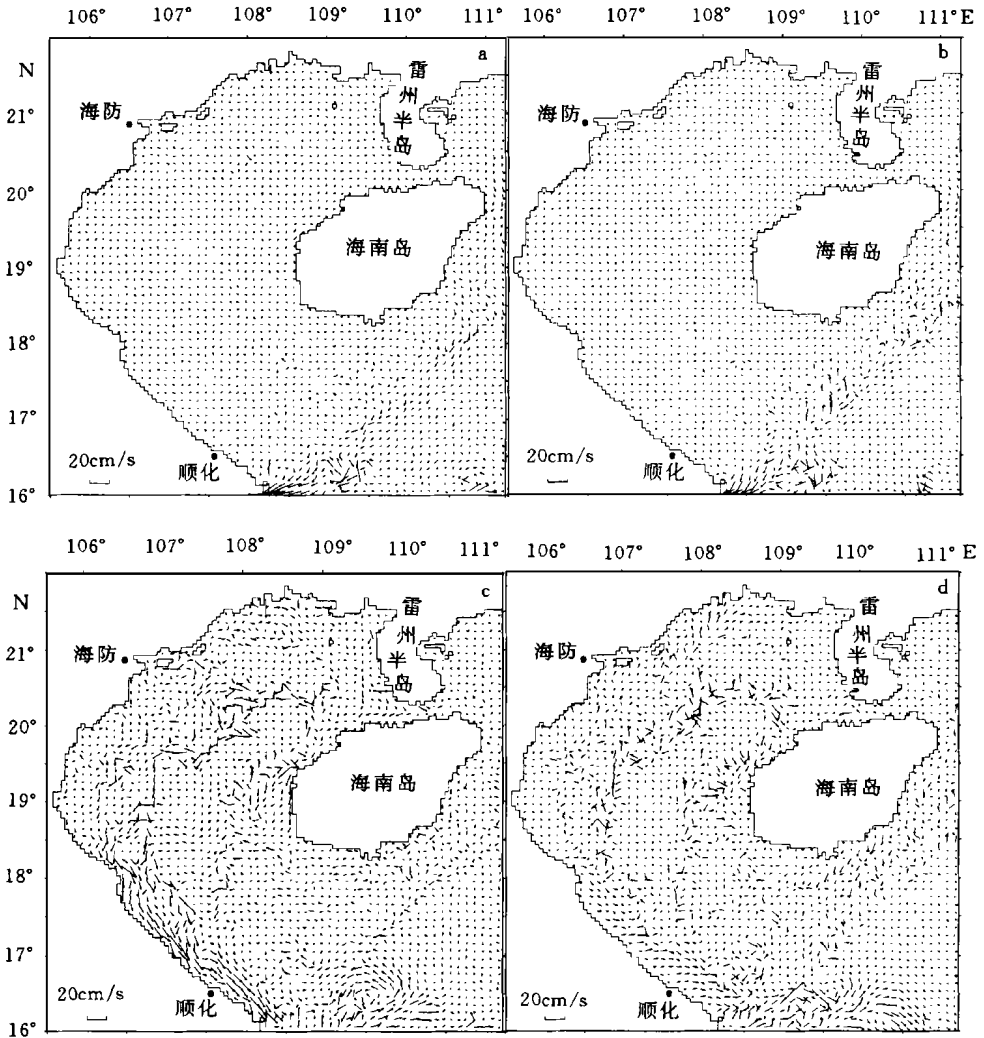


图6 冬季表层(a)、底层(b)和夏季表层(c)、底层(d)热盐流

Fig.6 The thermohaline current for (a) surface layer in winter, (b) bottom layer in winter, (c) surface layer in summer and (d) bottom layer in summer

岸转为东向, 流速减至约为 5cm/s 。海南岛南沿岸风生流基本为东向, 受海岸影响进而转成东北向, 流速约为 5cm/s 。海南岛和雷州半岛以东海区流向基本为北向或东北向。海南岛西沿岸流向为北向, 流速约为 10cm/s , 进而转为东北向, 流速减小。至琼州海峡西口处与雷州半岛西沿岸的东南向流汇合, 进入海峡变为东向流, 流速加大至约 12cm/s 。在广西南部 20°N 海区附近形成一较强的顺时针环流。 19°N 附近形成一较弱的逆时针环流。在底层, 风生流分布趋势与表层的类似, 不同的是在广西南部海区出现较强的南向流, 到 20°N 附近转为西南向, 与越南沿岸的北向沿岸流汇合。 19°N 以北的几乎整个海区形成较大范围的顺时针环流。 19°N 附近的逆时针环流在底层几乎消失(图 5d)。

4.3 热盐流

4.3.1 冬季(1月) 冬季热盐流普遍较弱, 平均流速只有 1.2cm/s 左右, 只是沿 200m 等深线处流速稍大(图 6a, b)。

4.3.2 夏季(7月) 夏季热盐流比冬季的明显要强, 平均流速为 2.3cm/s 左右。北部湾夏季热盐流的最大特点是在表、中层存在较强的逆时针环流。它的存在对春夏两季北部湾冷水团的维持起着至关重要的作用。另外在越南顺化沿岸存在较强的东南向沿岸流, 最大流速达 10cm/s 左右。(图 6c)。底层的热盐流较弱, 流向比较零乱(图 6d)。

5 结论

5.1 基于二阶湍流闭合模型计算涡动粘性系数的 POM 三维水动力模式, 选用细网格, 考虑大小 6 个岛屿的影响, 对海底摩擦系数进行划片取值, 把作为强迫力的潮汐、风力和热盐统一在一个模型中, 诊断计算了北部湾潮致-风生-热盐余流。用前人的环流趋势图和实测余流资料对计算结果进行了验证, 显示了本研究结果的合理性。

5.2 分别计算了潮致余流、风生流和热盐流。分析比较了各因子在潮致-风生-热盐余流中所起的作用。结果表明, 风生流占主要成分, 其次是热盐流和潮致余流, 这种关系尤其冬季更明显。

5.3 计算结果表明, 北部湾夏季热盐流的最大特点是在表、中层存在较强的逆时针环流。它的存在对春夏两季北部湾冷水团的维持起着至关重要的作用。

由于缺乏资料, 本文暂没考虑边界力余流的作用, 这有待于今后在调查和研究方面进一步地完善补充。

参 考 文 献

- 刘卓, 1992. 自适应网格及其在南海海流中的应用. 海洋环流研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 242—251
- 刘爱菊, 张延庭, 1997. 北部湾潮汐数值预报及其模型. 海洋与湖沼, 28(6): 640—651
- 李荣风, 1992. 西太平洋洋流数值模拟. 海洋环流研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 115—126
- 俞慕耕, 1993. 南海海流系统与环流形势. 海洋预报, 10(2): 13—17
- 夏华永, 1997. 北部湾三维潮流数值模拟. 海洋学报, 19(2): 21—31
- 曹德明, 方国洪, 1990. 北部湾潮汐和潮流的数值模拟. 海洋与湖沼, 21(2): 105—113
- 曾庆存, 1992. 南海数值模拟月平均水平环流图. 海洋环流研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 127—168
- 蔡树群, 1999. 南海冬、夏季环流的三维数值模拟. 海洋学报, 21(2): 27—33
- 管秉贤, 1998. 南海暖流研究回顾. 海洋与湖沼, 29(3): 322—329
- Ä%Ç , ÄÄÄÄ³ , 1962. ÄÄÄÄ°Ñ, 2(2): 368—371

THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL SIMULATION OF TIDE-INDUCED, WIND-DRIVEN AND THERMOHALINE RESIDUAL CURRENTS IN THE BEIBU BAY

SUN Hong-Liang, HUANG Wei-Min, ZHAO Jun-Sheng

(*First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, 266061*)

Abstract By means of a three-dimensional POM model, which computes the eddy viscosity coefficient based on a two-order turbulent closure model, three-dimensional tide-induced residual currents, the wind-driven and thermohaline currents in the Beibu Bay are diagnostically computed with a thin grid. The tide, wind and thermohaline as the forcing items are unified into the model. In the computation, the effects of 6 islands are considered and different bottom friction coefficients are taken according to the difference of the sea region. The results are verified with the measured data and display reasonableness. The effects of every factor on the tide-induced, the wind-driven and thermohaline currents are compared and analysed. The results show that: (1) wind-driven currents dominate in the Beibu Bay residual currents, over the thermohaline currents and tide-induced residual currents, (this relation is more apparent, especially in winter); and (2) the most apparent feature of the summer thermohaline currents in the Beibu Bay is that the stronger counter-clockwise circulation exists in the surface and mediate layers (Its existence plays an important role in the maintenance of the cold water mass in the Beibu Bay in both spring and summer)

Key words Beibu Bay, POM, Residual current