

2010 年夏季大连溢油事件期间北黄海漂流浮标移动轨迹的数值模拟

李 峣^{1,2,3}, 何 蕾^{1,2}, 袁东亮^{1,2}, 王 铮^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用双层单向嵌套的普林斯顿大学海洋模式(POM)对 2010 年夏季大连溢油事件期间北黄海释放的表层漂流浮标的移动轨迹进行了数值模拟, 模拟结果与实测轨迹基本吻合, 模拟的表层流速纬向和经向分量与观测数据的相关系数在两观测点分别达到了 0.6548, 0.3659 和 0.4836, 0.3961, 均明显大于 95% 置信区间下的显著性临界值 0.1946, 但是模拟的浮标移动速度明显慢于观测。模拟出的速度时间序列在变化趋势上与实测吻合良好, 但是流速数值相对于观测整体上偏小。该数值模拟系统能够较准确地模拟出 2010 年大连溢油事件期间北黄海的流场及漂流浮标的运动趋势, 为北黄海的环境预警、灾害评估等相关研究提供有益的参考。

关键词: 北黄海; 大连溢油; 数值模拟; 漂流浮标

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)11-0001-06

2010 年 7 月中旬, 大连新港输油管线爆炸引发部分原油泄漏入海, 对海洋环境造成威胁。针对这一情况, 中国科学院海洋研究所立即启动应急机制, 以中国近海海洋观测研究网络——黄海海洋观测研究站为依托, 启动了大连溢油应急灾害海洋环境调查项目。水文调查方面, 在獐子岛以西、大连湾以东海区投放了一个表层漂流浮标, 布放了两个海流计。由于条件所限, 观测点数量有限, 只能对该海区的流场进行重点位置的观测, 在这种情况下, 数值模拟在溢油事件的应急处理及危害评估方面有着重要的参考价值和指导意义。

对该海区环流的数值模拟人们已做过较多工作, 张淑珍^[1]、窦振兴^[2]、缪经榜^[3]、林霄沛^[4]、黄大吉^[5]和 Wei^[6]等均针对渤海或者北黄海的环流进行过数值模拟, Chao^[7]、乐肯堂^[8]、Yanagi^[9]、王凯^[10]、魏泽勋^[11]和 Xia^[12]等对较大范围的海区(包括渤海和整个黄海)环流进行过数值模拟, 在他们的工作中也清晰地刻画了这一海域的环流结构, 但是以上工作关注的都是季节及年平均的环流现象, 用于驱动模式的强迫场基本上为月平均或者季节平均风场。而且由于该海区直接的海流观测甚少, 模式结果缺乏实测数据验证。

本文通过一个双层单向嵌套的普林斯顿大学海

洋模式(POM)模拟了溢油事件期间北黄海的环流场, 并用实测资料进行了验证。

1 观测数据和数值模式配置介绍

1.1 观测数据

本文使用的卫星追踪漂流浮标由中国科学院海洋研究所自主研发, 浮标带有一个 GPS 模块, 定位信息通过通讯卫星发回到陆基接收站, 定位信息的发送间隔可以自由设定, 本实验使用每小时间隔实时传回定位信息, 目的是为了分辨该海域显著的 M2 分潮。浮标拖伞和浮球外形按照 ARGOS 漂流浮标标准有所缩小, 但是拖伞和浮球的表面积之比仍然大于 20, 从而使得风力影响偏差控制在较小的范围内。本次实验使用的卫星追踪漂流浮标于 7 月 25 日 15:00 放在 39°N, 122.33°E。漂流浮标绳长 1 m, 下面的拖伞长 1.5 m, 在海上生存时间达到了 8 月底。

海流计 Q1 布放于 122°08'E, 38°55'N, 于 2010 年 7 月 25 日 10:00 下水, 该处水深 44 m, 海流计位

收稿日期: 2011-05-12; 修回日期: 2012-09-12

基金项目: 山东省杰出青年基金; 自然科学基金面上项目(40676020); 中国科学院知识创新工程前沿领域(092100101Q)

作者简介: 李峣(1980-), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 主要从事近海动力过程研究, E-mail: liyao@qdio.ac.cn

于离底 35 m 处, 采样间隔 0.5 h, 于 2010 年 7 月 29 日 13:00 回收。海流计 Q2 布放于 122°30'E, 39°04'E, 于 2010 年 7 月 26 日 13:20 下水, 该处水深 37 m, 海流计位于离底 30 m 处, 采样间隔 0.5 h, 于 2010 年 8 月 4 日 16:00 回收。这两套浮标也是由中国科学院海洋研究所自主研发, 其中海流计是在中国海洋大学生产的 SLC9-2 型直读式海流计基础上修改了数据传送系统。数据通过一个手机 CDMA 通讯模块每隔 6 h 实时发回陆基接收站。测量期间由于通信信号故障, 有少量数据丢失, 对于丢失的部分采用三次样条方法插值得出。漂流浮标及海流计的布放位置如图 1 所示。

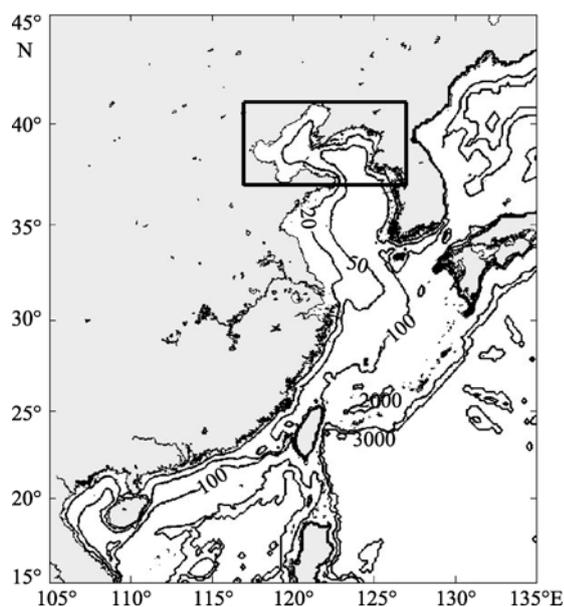


图 1 模式区域及地形
Fig. 1 Model domain and topography

1.2 模式配置

构建了一个基于 POM 的双层单项嵌套模式。外层模式(大区域)水平分辨率为 $(1^\circ/6) \times (1^\circ/6)$, 范围为 $15^\circ \sim 45^\circ \text{N}$, $105^\circ \sim 135^\circ \text{E}$, 内层模式(小区域)水平分辨率为 $(1^\circ/24) \times (1^\circ/24)$, 覆盖范围 $37^\circ \sim 41^\circ \text{N}$, $117^\circ \sim 127^\circ \text{E}$ (如图 2 所示)。内外层模式垂直方向均分为 30 层, 各层的 σ 值从上至下分别为: (0.000, -0.017, -0.035, -0.071, -0.107, -0.142, -0.178, -0.214, -0.250, -0.285, -0.321, -0.357, -0.392, -0.428, -0.464, -0.500, -0.535, -0.571, -0.607, -0.642, -0.678, -0.714, -0.750, -0.785, -0.821, -0.857, -0.892, -0.928, -0.964, -1.000)。

内层模式的水深数据来自成钧馆大学的电子地

形数据库, 外层模式的水深数据由全球地形数据 ETOPO5 插值得来。内外层的水深最小设定为 4 m, 最大设定为 3 000 m, 为增加计算效率及减小陡峭地形造成的 POM 压力梯度误差, 水深进行了平滑^[13]。

模式由开边界条件和表层风场驱动。模式的初始流场、海面高度及开边界条件均来自一个西北太平洋区域的模式^[12]。初始温、盐场来自 Levitus 气候态温度和盐度场^[14]。模式启动阶段的风场来自 COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) 数据库^[15], 后报阶段风场数据使用的是 NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 每 6 h 再分析数据。内外层模式之间采用单向嵌套技术, 即外层模式为内层模式提供开边界条件, 嵌套方法采用 Guo^[16]的做法。模式从初值开始积分 6 a, 然后第 6 年的 5 月底的结果作为模拟的初始场, 用 NCEP 再分析资料 2010 年 6 月 1 日至 8 月 31 日的 6 h 风场驱动。模拟浮标轨迹是根据模式模拟出的流场采用二阶龙格库塔法计算得出, 模拟浮标释放的位置和时间与漂流浮标布放的时间地点一致。

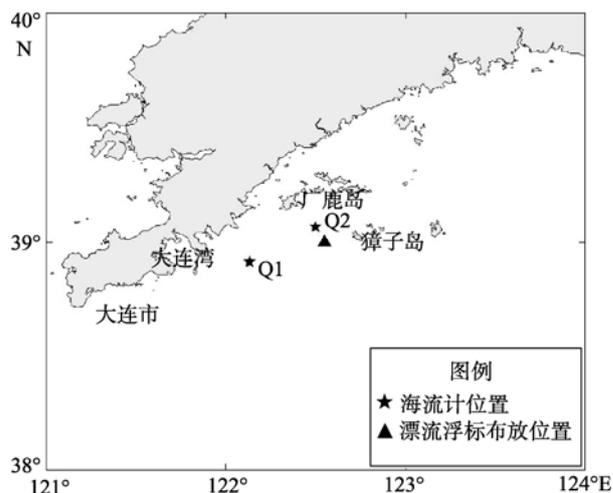


图 2 海流计及漂流浮标布放的位置
Fig. 2 Current meter and ARGOS deployed locations

2 结果

2.1 观测数据

为了观察观测点速度随时间的变化情况, 将 Q1 和 Q2 点的未经滤波的原始速度对时间进行了积分, 结果如图 3 所示。Q1 位置, 整个观测期间基本上以向西的海流为主, 南北方向分量较小, 在 Q2 点则以西南向的海流为主, 两处的海流基本都沿着岸线的方向。

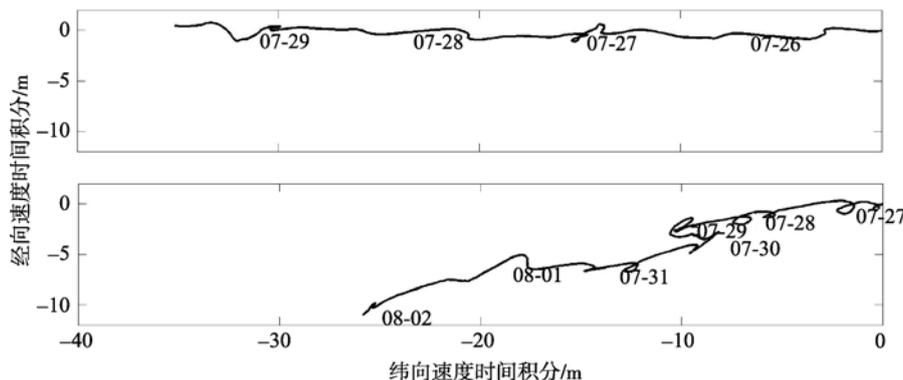


图3 海流计的速度对时间的积分

Fig. 3 The time integration of the velocity from current meter

漂流浮标的移动轨迹如图 4 所示。在刚刚布放的 7 月 25, 26 两日, 移动速度比较缓慢, 在獐子岛西侧原地徘徊。7 月 27 日之后移动速度加快, 沿着辽东半岛南侧沿岸迅速向西南方向漂移, 于 7 月 29 日移动至辽东半岛的西南端南侧海域, 黄渤海分界线附近转向, 跨过老铁山水道, 向南运动。之后浮标移动的方向基本保持东南方向, 并于 8 月 7 日抵达山东半岛的成山角以东海域。

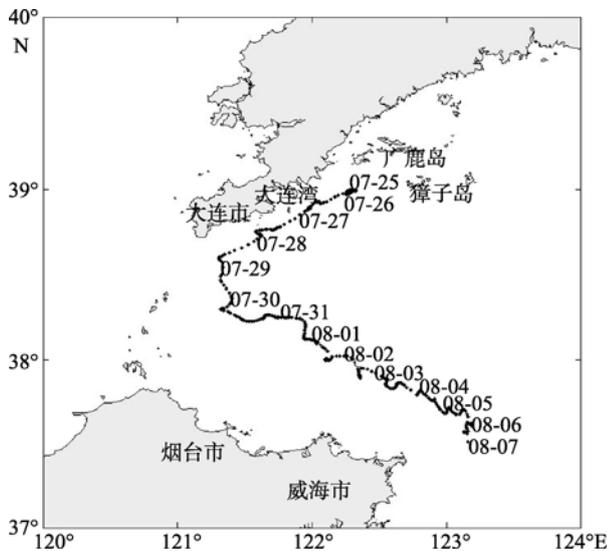


图 4 漂流浮标 2010 年 7 月 25 日~8 月 7 日的移动轨迹
Fig. 4 The trajectory of the ARGOS from 25, Jul., 2010 to 7, Aug., 2010

2.2 模式结果

在内层模式模拟的 2010 年 7 月份上层(5 m)平均流场(图 5)中, 北黄海存在一个海盆尺度的气旋式环流, 在辽东半岛南岸附近, 表层流速度较大, 流向以西南方向为主, 基本沿着岸线方向。在渤海海峡北部,

有海流从渤海进入黄海, 而在南部, 靠近山东半岛北岸, 则存在从黄海进入渤海的海流。平均流场的主要结构与 Wei^[6]和魏泽勋^[11]等模拟的渤海和北黄海的夏季结果基本一致。

为了检验模式的低频环流, 我们对模式的输出和观测数据均进行了低通滤波以除去潮波信号, 使用的是 5 阶 Butterworth 低通滤波器, 截断频率为 40 h。模式结果和观测流速的纬向分量(u , 向东为正)和经向分量(v , 向北为正)时间序列的比较如图 6 和图 7 所示。为了量化对比效果, 计算了观测和模拟值之间的相关系数。在 Q1 点, u 分量、 v 分量观测与模拟的相关系数分别是 0.6548, 0.3659, 均达到了 95% 信度。在 Q2 点, u 分量、 v 分量观测与模拟的相关系数分别是 0.4836, 0.3961, 均明显大于 95% 置信区间下相关系数的临界值 0.1946。

在 Q1 点, 模拟的流速经向分量很弱, 以纬向分量 u 为主, 且 u 均为负值, 持续向西, 与观测一致。并且从模拟的 u 分量与观测的相关性较好(0.6548)上可以看出模拟的 u 分量与实测值的变化趋势基本一致, 模拟的结果基本反映了实测流速的变化, 但是从速率大小方面来看, 模拟的 u 分量整体上弱于观测值。在 Q2 点, 模拟结果的变化趋势与观测值符合良好, 波峰波谷的对应较为匹配, 但是变化的幅度即模拟的速率的大小整体上小于观测。通过对 Q1、Q2 点流速的比对发现, 模式结果基本反映出了实测流场的变化趋势, 流动方向, 但是模拟的流速数值整体偏小。

模式模拟的 Q1 点和 Q2 点的海流, 虽然与实测海流的相关性较好, 但是整体上来说还是差强人意。主要原因可能有两点, 一是模式所用地形在沿岸及海岛附近存在较大的误差; 二是模式分辨率不够。两

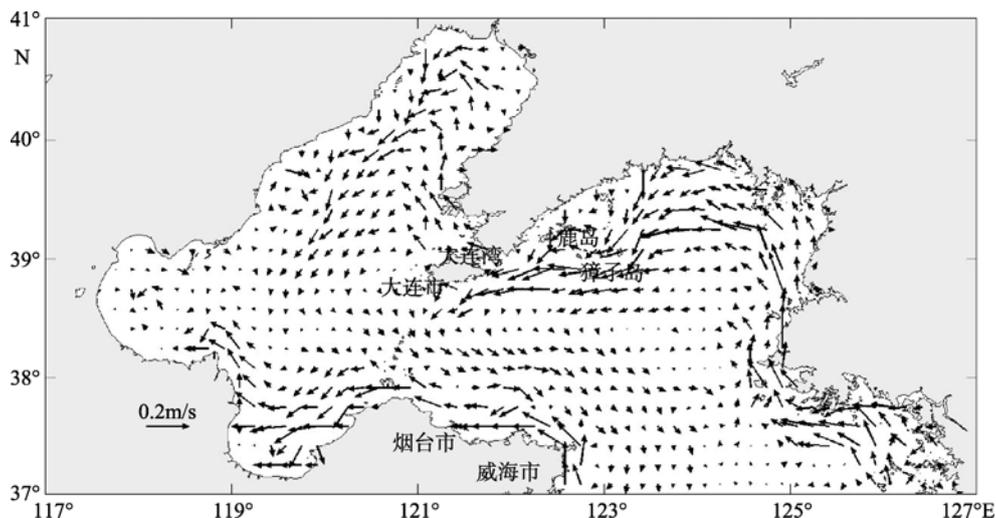


图 5 2010 年 7 月份北黄海模式 5 m 层月平均流场

Fig. 5 The monthly averaged velocity of 5 m layer of the model in the North Yellow Sea in July, 2010

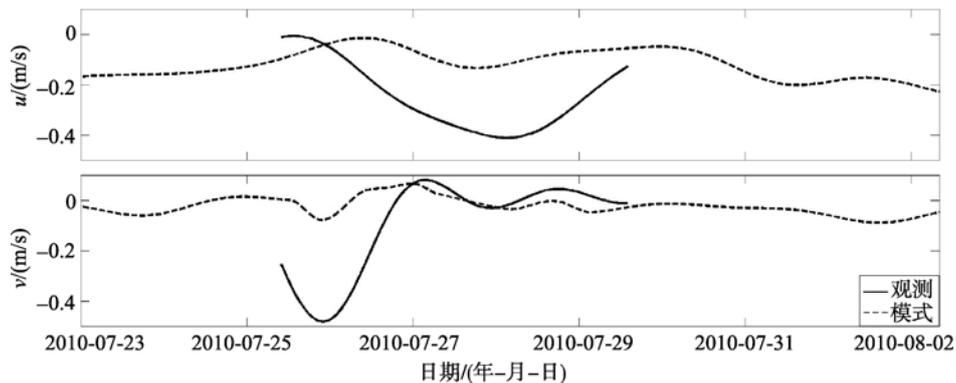


图 6 Q1 位置的观测结果与模式 9 m 层结果

Fig. 6 Comparison between the observation and the simulation in the 9 m layer at mooring station Q1

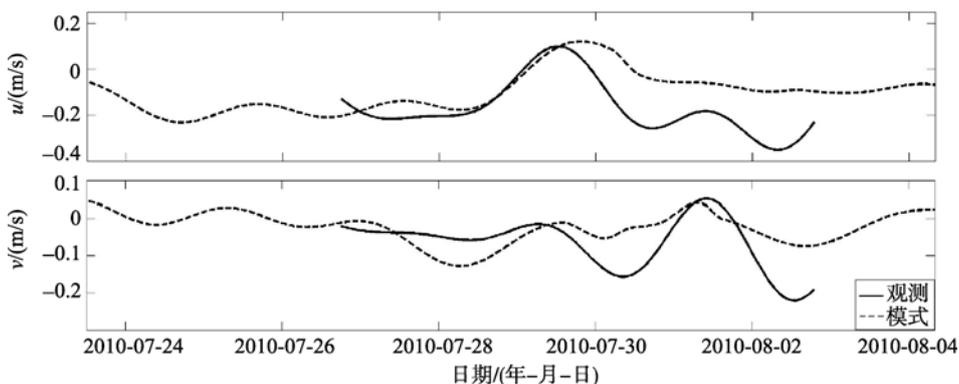


图 7 Q2 位置的观测结果与模式 7 m 层结果

Fig. 7 Comparison between the observation (solid line) and the simulation (dashed line) in the 7m layer at mooring station Q2

处海流计放置与沿岸及海岛附近, 尤其是 Q2 点位于众多岛屿当中, 地形复杂, 附近小尺度的旋涡甚多, 而内层模式的分辨率虽然已经达到 $(1^\circ/24) \times (1^\circ/24)$,

但是对于再现众多小型岛屿附近的动力过程, 此分辨率仍显得不够。

对表层(5 m 层)示踪物移动轨迹的模拟结果(图

8)显示,在整体上看,模拟结果与观测有着良好的匹配。与观测结果一致,模拟的示踪物自7月25日开始向西沿着辽东半岛南岸移动,于29日抵达辽东半岛西南端,并开始转向,这一部分与实测吻合良好,但是模拟结果中示踪物转向的位置更加靠西。7月29日转向之后,与观测一致,模拟的示踪物持续向东南方向移动,并于8月8日抵达山东半岛东北端。移动的轨迹与观测十分接近,只是速度稍慢于观测值。

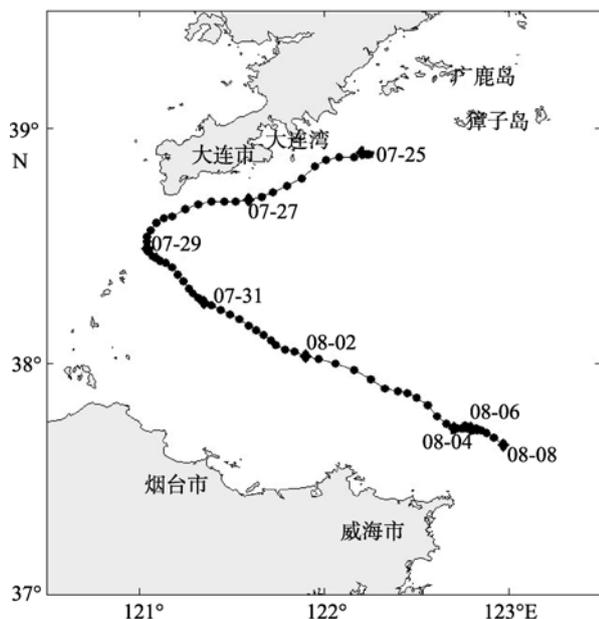


图8 模式结果中2010年7月25日~2010年8月8日表层示踪物的移动轨迹

Fig. 8 Simulated trajectory of the ARGOS from 25, Jul., 2010 to 8, Aug., 2010

3 结论

本文的研究使用了一个基于POM的双层单向嵌套模式来模拟大连溢油事件期间北黄海的环流结构及示踪物的移动轨迹,并用实测数据进行了检验。通过和Q1和Q2点海流计的数据对比发现,模式基本上能够模拟出和观测一致的流向和流速的变化趋势。但是与实测相比,模拟的流速偏小,速度的变化振幅较弱。对示踪物移动轨迹的模拟结果也同样反映出了这个特点。模拟的示踪物移动轨迹与观测基本一致,先是沿着辽东半岛南岸向西南移动,在辽东半岛的西南端转向,向东南方向持续移动,一直抵达山东半岛东北端外海。但是模式中示踪物的移动速度较慢,在抵达山东半岛东北端的过程中比实

测晚了2d左右。

总体上,本研究中的模式系统较好地模拟出了大连溢油事件期间北黄海的流场结构和变化趋势,能够较好地模拟出示踪物的移动趋势,为该海区的环境预警、灾害评估等工作提供有益的参考。

参考文献:

- [1] 张淑珍,奚盘根,冯士筵. 渤海环流数值模拟[J]. 山东海洋学报, 1984, 14(2): 12-18.
- [2] 窦振兴,张存智,张砚峰. 渤海风海流的数值计算[J]. 海洋学报, 1986, 8(5): 527-533.
- [3] 缪经榜,刘兴泉. 北黄海和渤海冬季环流动力学数值模拟实验[J]. 1989, 海洋学报, 11(1): 15-22.
- [4] 林霄沛,吴德星,鲍献文,等. 渤海海峡断面温度结构及流量的季节变化[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(3): 355-360.
- [5] 黄大吉,苏纪兰,张立人. 渤海冬夏季环流的数值研究[J]. 空气动力学学报, 1998, 16(1): 115-121.
- [6] Wei Hao, Wu Jianping, Thomas P. A simulation on the seasonal variation of the circulation and transport in the Bohai Sea [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2001, 19(2): 1-9.
- [7] Choi B. Note on currents driven by a steady uniform wind stress on the Yellow Sea and the East China Sea [J]. La Mer, 1982, 20: 65-74.
- [8] Le Kentang, Feng Ming, Wang Yue. A numerical study of the wintertime circulation on the Bohai and Huanghai Seas[J]. Chinese J Oceanol and Limnol, 1993, 11: 149-160.
- [9] Yanagi T, Takahashi S. Seasonal variation of the circulations in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. J Oceano, 1993, 49: 503-520.
- [10] 王凯,冯士筵,施心慧. 渤、黄、东海夏季环流的三维斜压模型[J]. 海洋与湖沼, 32(5):551-560.
- [11] 魏泽勋,李春雁,方国洪,等. 渤海夏季环流和渤海海峡水体输运的数值诊断研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(4): 454-464.
- [12] Xia Changshui, Qiao Fangli, Yang Yongzeng, et al. Three dimensional structure of the summer time circulation in the Yellow Sea from a wave-tide-circulation coupled model[J]. J Geophys Res, 111, C11S03, doi: 1029/2005JC003218.
- [13] Mellor G L, Ezer T, Oey L Y. On the pressure gradient conundrum of sigma-coordinate ocean models[J]. J At-

- mos, *Oceanic Technol*, 1994, 11: 1120–1129.
- [14] Levitus S. *Climatological Atlas of the world Ocean*[C]// NOAA. NOAA Professional Paper 13. Washington, D.C. :U.S. Government Printing Office, 1982: 173.
- [15] Da Silva A, Young A C, Levitus S. *Atlas of surface marine data 1994*, Volume 1: Algorithms and procedures[R]. U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. : NOAA Atlas NESDIS 6, 1994.
- [16] Guo Xinyu, Hukuda H, Miyazawa Y, et al. A triply nested ocean model for simulating the Kuroshio -Roles of horizontal resolution on JEBAR [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1993, 33(1): 146-169.

The simulation of trajectory of the floatings in the North Yellow Sea during the oil spilling event in Dalian in summer of 2010

LI Yao^{1, 2, 3}, HE Lei^{1, 2}, YUAN Dong-liang^{1, 2}, WANG Zheng^{1, 2}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: May, 12, 2011

Key words: the North Yellow Sea; Dalian oil spilling ; numerical hindcast; satellite tracked surface floating

Abstract: A twice nested circulation model system on the basis of the Princeton ocean model (POM) was set up to simulate the satellite tracked surface floating trajectory during oil spilling event in Dalian in summer of 2010, and the model result was compared with observation data. It was indicated that the simulated trajectory agreed well with the observations while the simulated movement of the tracer was a little slower than that of the observed movement. The correlation coefficient of the zonal and meridional component of surface velocity between simulation and observation were 0.6548, 0.3659 and 0.4836, 0.3961 respectively in two observation location, which were all greater than critical correlation coefficient (0.1946) with a 95% of credibility interval. The simulated velocity time series agreed well with the observation in variability but smaller in value. It was suggested that the model system in this study played well in simulating the ARGOS trajectory in the North Yellow Sea during the oil spilling event in Dalian in 2010, which was helpful to the environmental estimation and early warning.

(本文编辑: 刘珊珊)