

“桑吉”号泄漏物质扩散与漂移数值模拟预测*

杨德周^{1, 2, 3, 4} 冯兴如^{1, 2, 3, 4} 刘长华^{1, 4} 崔焯^{1, 2, 4, 5}
尹宝树^{1, 2, 3, 4, 5} 许灵静^{1, 2, 4, 5}

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋环流与波动重点实验室 青岛 266071;
3. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋动力过程与气候功能实验室 青岛 266237; 4 中国科学院海洋大科学研究中心 青岛
266071; 5. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 基于 ROMS(Regional Ocean Modeling System)模式,对西北太平洋海域进行了水平分辨率高达 4km 的水动力环境数值模拟,该分辨率可以很好地分辨我国东海陆架环流以及中尺度涡旋等过程,此外模式考虑了 8 个分潮,模式结果很好地再现了黄、东海陆架环流等。基于模式结果,对“桑吉”号泄漏物质可能的扩散和迁移轨迹进行了数值模拟分析。在“桑吉”号沉船位置的表、底 Ekman 层内,释放拉格朗日粒子和示踪物来示踪“桑吉”号泄漏物质的可能影响范围。拉格朗日粒子和示踪物模拟结果表明:在未来 3 个月,“桑吉”号泄漏物质对我国黄海的影响较小,其主要随着对马暖流进入日本海和随着黑潮进入日本九州以南的太平洋海域。随着冬、春的季节转换,三个月后,北风会减弱,减弱风场的试验表明,风场减弱会减少泄漏物质向黄海的输送。5 月份后黄海冷水团逐渐形成,由于斜压效应,在黄海深层水中会逐渐建立起气旋式环流,从而进一步阻碍了“桑吉”号泄漏物质向黄海的输送,该气旋式环流有利于“桑吉”号泄漏物质通过对马海峡向日本海的输送,而会抑制底层泄漏物质向我国黄海西侧的输送。

关键词 桑吉; 扩散; 东海; ROMS

中图分类号 P731 **doi:** 10.11693/hyhz20180500122

2018 年 1 月 6 日 20 时许,巴拿马籍油船“桑吉”号与香港籍散货船“长峰水晶”号在长江口以东约 160 海里处发生碰撞,导致“桑吉”号全船失火。据交通部消息,2018 年 1 月 14 日 12 时左右,“桑吉”号突然发生爆燃,经确认,16 时 45 分,“桑吉”号已经沉没,沉没位置为 28°22'N, 125°55'E(见图 1),距离事发水域位置东南约 151 海里,相关报道信息请参见(<http://www.mot.gov.cn/2018wangshangzhibo/sangjilun/>)。

表层的海流方向变化剧烈,其变化主要受风的影响(Kako *et al.*, 2010),然而风场情况每天都在发生变化,未来三个月风场的预报更是世界难题,因此

“桑吉”号沉没漏油所带来的影响无法通过预报风场进行预测。但在是海洋的下层,即风引起的 Ekman 层(Pedlosky, 1996)以下,海流受风的直接影响减弱(但是,风仍然会改变海面高度等,通过正压和斜压等过程间接影响下层海流)(Pedlosky, 1987),下层海流相对表层海流,其变化相对较弱。此外“桑吉”号泄漏物质中的超轻、有毒的冷凝物可能会溶解,在海面下形成一个有毒的羽流。

沉没区位于太平洋西边界流黑潮的西侧,该海区水动力情况复杂。沉没区距离东侧的黑潮主轴约 20 海里,因此该区域会很容易受到由于黑潮的斜压

* 国家重点研发计划项目,2017YFC1404003 号,2016YFC1401601 号;国家自然科学基金项目,41576023 号,41476019 号;中国科学院先导专项项目,XDA11020104 号,XDA110203052 号;青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目,2016ASKJ02-5 号;国家重点研发计划项目“中澳近海生态系统健康联合评估”,2016YFE0101500 号。杨德周,研究员, E-mail: yangdezhou@qdio.ac.cn

通讯作者: 尹宝树, 博士生导师, 研究员, E-mail: bsyin@qdio.ac.cn

收稿日期: 2018-05-17, 收修改稿日期: 2018-05-23

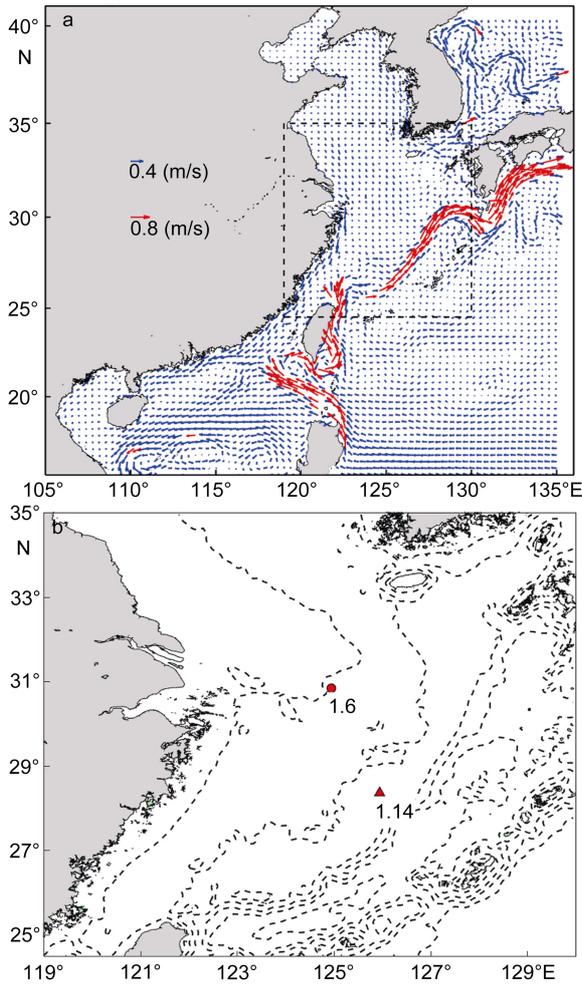


图1 数值模拟区域1月份的月平均表层流场(a), 以及图a虚线所示区域的放大(b)

Fig.1 The monthly-mean surface ocean current in January (a) and the enlarged map of the box (b). The dash lines show the isobaths of 50, 100, 200, 500, 1000 and 2000m. The red circle and triangle denote the collision point on January 6, 2018 and the sunken point on January 14, 2018 of the Sanchi tanker, respectively

注: b中虚线表示50、100、200、500、1000和2000m等深线, 其中红点表示2018年1月6日“桑吉”号事故的发生位置, 三角符号表示“桑吉”号2018年1月14日沉没的位置

或正压不稳定导致的锋面涡旋的影响(Isobe *et al.*, 2006), 此外由于地形的捕获作用, 集中在海底的地形 Rossby 波(其振幅从海底向海面迅速衰减), 也会对沉船区域泄漏物质的输送和扩散具有重要影响(Chapman *et al.*, 1994; Isobe, 2004)。沉没区的西侧, 存在着南下的闽浙沿岸流、北上的台湾暖流(Guan *et al.*, 2006)等, 此外该区域还位于对马暖流和黄海暖流源头的上游, 即黄海暖流和对马暖流的一部分海水是来自于沉没区的海水(Guo *et al.*, 2006)。

基于该情形, 本文基于 ROMS(Regional Ocean

Modeling System)(Shchepetkin *et al.*, 2005), 利用已经建立的 4km 水平分辨率的三维斜压海洋模式, 对“桑吉”号沉没区域进行了数值模拟研究, 通过示踪物和拉格朗日数值试验模拟了溶解于水的底层泄漏物的漂移、扩散轨迹。

1 研究方法

模式的驱动场: 我们基于 ROMS 模式, 对西北太平洋区域进行了高分辨率的数值模拟, 模式的经度范围为 105°—136°E, 纬度范围为 15°—41°N(见图 1), 模式垂向分为 31 层, 为了保持网格的正交性, 模式的水平网格分辨率取为 $3' \times 3' \cos(\theta)$, θ 表示纬度(Yang *et al.*, 2011, 2012, 2013; 杨德周等, 2017)。在“桑吉”号的沉没海域, 模式的水平分辨率约为 4km, 该分辨率可以较好的模拟该区域黑潮和东海陆架水形成的锋面涡旋等。此外, 潮汐潮流对东海陆架的环流具有重要影响, 因此, 在本文的数值模式中, 包括了 8 个分潮: K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , M_2 , S_2 , N_2 和 K_2 。模式的驱动场中还考虑了长江冲淡水的影响, 模式的月均动量通量、热通量和水通量数据来源于 COADS(Kent *et al.*, 2007)。此外通过对比长江口外六号浮标的风速数据可以发现, 月平均风应力场与实际的瞬时风速相比偏小, 故根据浮标上的观测数据(刘长华等, 2017)对月平均的模式风场进行了线性修正。

模式的初始场: 利用气候态热通量、动量通量和水通量以及 8 个分潮驱动模式, 模式运行十年, 待模式稳定后, 把第十年最后一个时刻的输出结果作为示踪物试验和拉格朗日试验的初始场。示踪物和拉格朗日模拟试验, 从 1 月 1 日开始到 6 月 30 日结束。

示踪物试验: 已有研究表明, 该区域底 Ekman 层的深度约为 18m(Zhang *et al.*, 2017), 由于底 Ekman 层内混合强烈, 为了模拟“桑吉”号沉没在海底时其泄漏物质的扩散范围, 假定“桑吉”轮的泄漏物质溶解在水里, 并且不发生化学反应。在“桑吉”号沉没区的底层给定示踪物的浓度, 在 1 月 14 日 17 时开始给定, 设定离底 20m 区域的污染物浓度为 100, 该浓度在整个示踪物试验期间保持不变。该示踪物只受平流和扩散过程的影响, 不与周边海水与物质发生化学反应。

拉格朗日试验: 自 1 月 6 日 20 时开始, 在沉没区水柱的不同位置, 释放追踪粒子。计算各个时刻的拉格朗日轨迹, 直到 6 月 30 日。

2 模式的验证

该模式模拟的关键海峡的水通量(台湾海峡、对马海峡、吐噶喇海峡以及台湾以东黑潮)与多年的观测资料吻合,并且该模式在东海模拟的温度、盐度断面与2015年和2009年进行的浙江外海海洋调查获得的温度、盐度的断面调查资料吻合较好(Yang *et al.*, 2012, 2018)。此外冬季的黄海暖流和夏季的冷水团环流都得到了较为准确的刻画。该模式也准确地模拟出了黑潮的路径,特别是模式准确地给出了黑潮在30°N附近,通过吐噶喇海峡进入西太平洋;通过提高模式的分辨率,还有效避免了黑潮的向北过冲问题(Guo *et al.*, 2003)。模式的详细设置和模式结果的验证请参见Yang等(2011, 2012, 2013, 2018)。各层各月的模式动画结果可以在线访问: <http://159.226.158.60/current/ydz.html>。

为了检验模式拉格朗日轨迹的模拟能力,图2利用拉格朗日粒子追踪模型,模拟了1月6号到“桑吉”号沉没期间,“桑吉”号的漂移轨迹。图2中的数字1、2、3、4、5分别表示放在1.0、5.0、15.0、25.0、40.0m处的5个粒子,从图2可以看出,1—5号粒子的轨迹展示出了一个随着水深增大而逐渐向右偏转的轨迹;这是典型的Ekman螺旋(Pedlosky, 1987),因为该区域力的平衡主要由摩擦力、科氏力和风应力三力构成,必然会导致该偏移。由于“桑吉”号漂浮在海面上,1号粒子位于1m水深处,最能反映“桑吉”号的漂移轨迹;图2给出的1号粒子轨迹与沉没位置也最为相近,这也侧面验证了该粒子追踪的有效性。此外可以发现粒子的终点位置与实际位置存在偏差,具体原因有二:其一,尽管风场可以再现当时风场的主要特征,但是局部风场数据不够准确,不能准确模拟出从碰撞点到沉没点的位置;其二,拉格朗日粒子追踪,追踪的是水块的轨迹,而实际的“桑吉”号是几十万吨排水量的轮船,其大部分漂浮在海面和空气接触,因此改变了海面粗糙度,会导致风应力增大,此外也有大部分风应力直接施加在轮船上,这两种效应中,风应力都会对其移动轨迹有影响。

图2计算的轨迹表明风场修正方法是定性可信的,虽然表层粒子的终点位置与“桑吉”号下沉的实际位置存在偏差,但是拉格朗日粒子示踪方法可以用来定性分析桑吉号在表层的漂移轨迹。同时,“桑吉”号沉没后主要存在于深层水中,不受风应力的直

接影响,因此在深水处用示踪物和拉格朗日粒子示踪方法来计算其泄漏物质的扩散和漂移轨迹也是可信的。

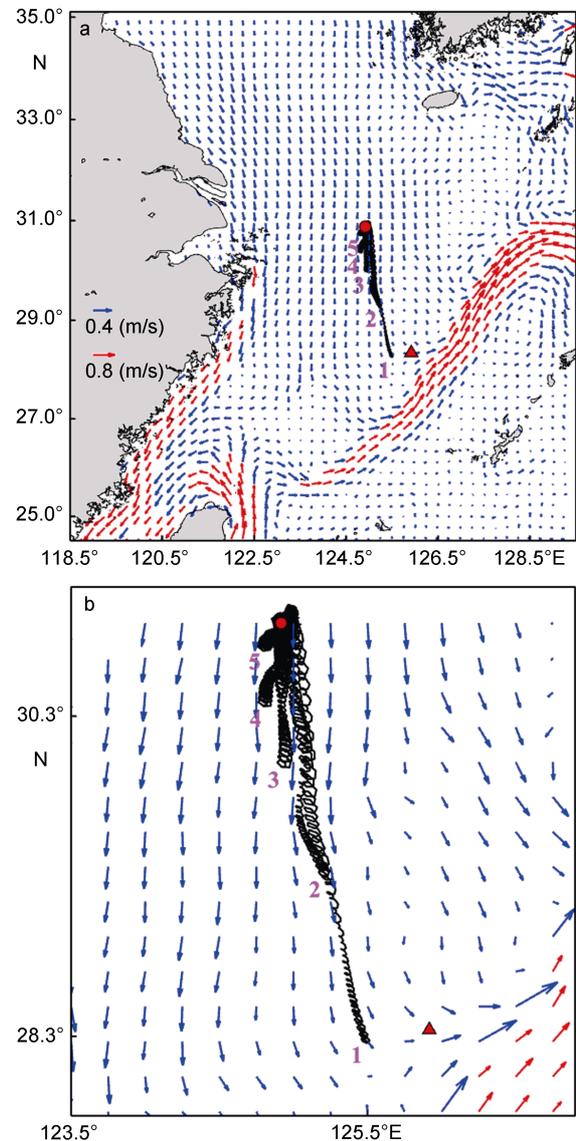


图2 数值模拟区域1月中旬10天平均的表层流场(a),示踪粒子轨迹和流场的放大图(b)

Fig.2 The ten-day-mean surface ocean current from January 10 to 20 (a) and the enlarged map of particle tracking traces and current fields (b). Numbers 1—5 represent the traces of the particles released at 1, 5, 15, 25, and 40.0 m depth, respectively. The red circle and triangle denote the collision point and sinking point of Sanchi tanker, respectively

注: 红点表示“桑吉”号发生碰撞的位置, 数字1、2、3、4、5分别表示放在1.0、5.0、15.0、25.0、40.0m处粒子的轨迹

3 漂移轨迹和扩散范围模拟

“桑吉”号的泄漏物质主要包含两个过程: 第一

个, 由于大部分油类物质比水轻, 其泄漏后主要漂浮在海洋的表层; 第二个, 在海洋的底 Ekman 层混合强烈, 可能会导致泄漏物质中超轻、有毒的冷凝物溶解, 在海面下形成一个有毒的羽流。为了反映这两个过程, 在“桑吉”号的沉没点, 设计了两个数值试验, 见表 1。在第一个数值试验中, 示踪物只释放在上 Ekman 层中, 与此同时每 5m 放置了一个示踪粒子; 在第二个试验中, 示踪物只释放在底 Ekman 层中, 同时每 5m 放置一个示踪粒子。

表 1 示踪物试验设置

Tab.1 Configurations of the tracer experiments

试验名称	垂向释放位置	示踪物浓度
试验 1	海面下 0—30m	100.0
试验 2	离底 20m 以内	100.0

图 3a 给出了在上 Ekman 层内释放的示踪物和拉格朗日粒子在 3 个月后的分布范围和示踪粒子的漂移轨迹。可以发现由于该海区强烈的混合作用, 导致示踪物浓度迅速降低, 如图 3 所示, 在沉没区示踪物浓度降低为原来的 0.1 倍, 大部分区域降低为原来的 0.01 倍以内。在示踪物释放后, 由于斜压不稳定过程导致的锋面涡旋, 可以把示踪物卷入到黑潮主轴的侧翼, 从而部分示踪物会被黑潮携带着快速进入日本九州以南海域, 另外一个重要的输送通道是进入对马海峡。2 月中旬东海陆架的表层流场表明(图 3), 台湾暖流相对较弱, 黑潮水和台湾暖流是对马暖流的主要水源。当台湾暖流流经沉没区域时, 会携带高示踪物浓度的水向对马海峡输送; 从台湾东北入侵到陆架的黑潮水, 经过沉没区时也会携带高示踪物浓度的水进入对马海峡。拉格朗日粒子的轨迹也证实了该结果, 释放在上 Ekman 层的粒子, 一部分会进入对马海峡, 另一个部分会进入黑潮, 被黑潮携带进入日本以南的太平洋海域(Yin *et al.*, 2018)。

另外沉没区的泄漏物质进入黄海的较少, 即使进入黄海, 示踪物浓度也远低于原来浓度的 0.01, 且大部分是通过黄海 124.5°E 以东进入黄海, 主要贴着朝鲜半岛向北延伸。可以发现表层示踪物高值区的主要贴着日本九州岛的两侧分布, 并向东北延伸分布。

图 3b 给出了底 Ekman 层内的示踪物浓度和拉格朗日粒子的扩散和漂移路径。与表层不同的是, 底层的高示踪物分布主要由一个高浓度条带组成, 该条带主要通过马海峡进入日本海; 相对表层, 该分布没有进入日本以南的高浓度条带。这主要是因为底层

海流受风的影响较小, 控制沉没区流速方向的主要是陆架流。由于冬季东北季风, 海洋的表层为南向流, 由季风建立的海面高度的南北异常, 导致底层海水感受到向北的正压力, 该正压效应是底层流的主要驱动因子之一, 也称为补偿机制。该机制导致底层海水具有向北的偏移分量, 因此也是黄海暖流和对马

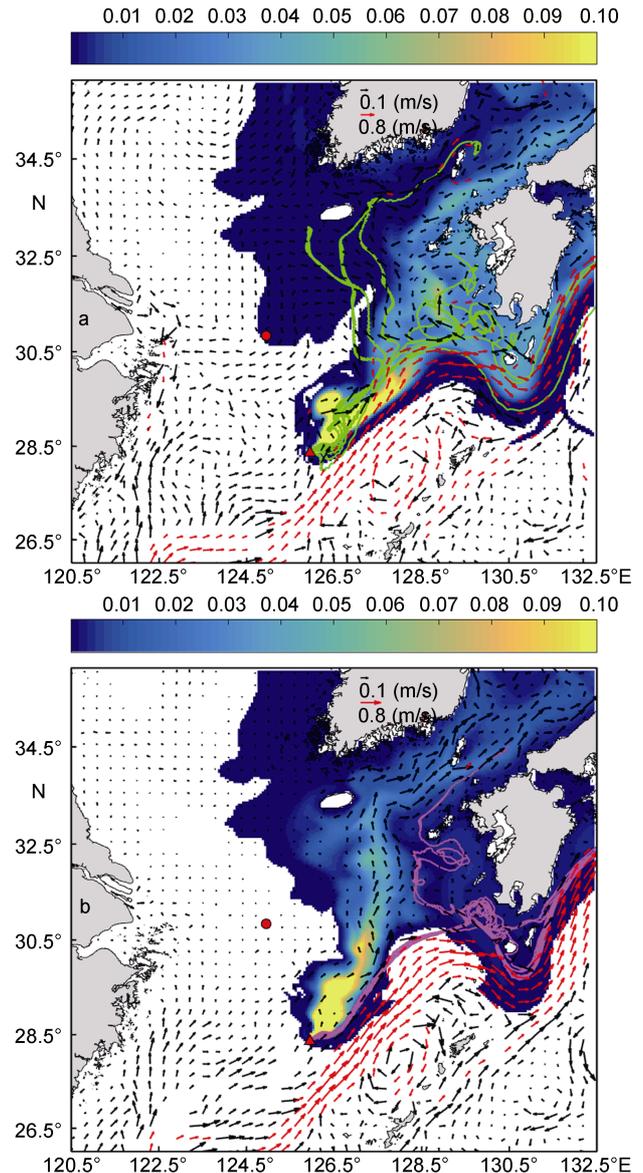


图 3 释放在表(a)、底(b)Ekman 层内的示踪物和拉格朗日粒子三个月后的轨迹和 2 月中旬 10 天平均的表层(a)、底层(b)流场

Fig.3 The distributions of tracer and tracks of Lagrange particles after released in the surface (a) and bottom (b) Ekman layers on January 14 for three months. The contour values are the multiple of the modeled concentrations to the original ones at the beginning of tracer released. The ten-day-mean surface current field and bottom fields from February 10 to 20 are overlapped
注: 填色数值表示该处的示踪物浓度与原始释放浓度的比值

暖流的形成原因之一(Lin *et al.*, 2011a, 2011b)。该机制导致高浓度示踪物条带, 该条带表明, 泄漏物质主要进入对马海峡, 通过黄海暖流进入黄海的量相对较低, 这是因为黄海暖流的流量比对马暖流小一个量级。底层流场也表明该处的流场主要指向对马海峡。不同于高示踪物浓度条带, 拉格朗日示踪粒子的轨迹显示其主要被黑潮捕获而进入日本以南。这是由于沉没区的海底流速比黑潮小一个量级, 低的流速导致高浓度的示踪物易于在海底存留, 而一旦进入黑潮, 黑潮强大的流速会导致其快速稀释, 因此在流速慢的底层水里, 其浓度偏大, 这就解释了拉格朗日轨迹和高示踪物浓度条带存在偏差的原因。此外可以发现, 相对表层, 底层的粒子轨迹更往东偏移, 因此, 粒子主要通过表层进入黄海, 底层的主要进入日本海和日本以南的太平洋海域。

随着时间推移, 天气转暖, 北风会越来越小, 为了研究风场对泄漏物质输送的影响, 我们计算了风场减小为原来的一半的情况下泄漏物质的扩散漂移情况。

图 4a 给出了风速减半的情况下, 释放在上 Ekman 层内的示踪物和拉格朗日粒子的漂移轨迹。相对图 3, 可以发现更多的示踪粒子进入了对马海峡, 却没有粒子进入黄海; 此外进入黄海的示踪物浓度分布范围也相对图 3 大量减少, 其主要分布在 125°E 以东的海区。

该试验表明减弱风场, 进入黄海的物质会减少, 而进入对马海峡的会增多, 同时进入黑潮的示踪物浓度增大导致进入日本九州以南海域的增多。

图 4b 给出了示踪物和拉格朗日粒子释放在底层的情况。对比图 3 可以发现, 底层的示踪粒子主要进入了对马海峡, 而不是日本九州以南海域。该试验表明, 减弱风场会导致更多的底层示踪粒子进入对马海峡。而示踪物试验表明, 其入侵黄海的范围相对图 3 也是减弱的, 其主要分布在朝鲜半岛的西侧, 但是其分布范围缩减了一般, 主要分布在 125°E 以东区域。该减弱的示踪物分布机制可以解释为: 风场减弱, 南北海面高度差引起的正压效应会减弱, 从而导致底层的补偿流减弱, 进而输入物质减少。

该试验表明, 风场减弱, 底层泄漏物质更多地进入了对马海峡, 进入黄海的物质更少。

4 结论和未来趋势分析

以上分析表明, “桑吉”号泄漏的物质主要向对马

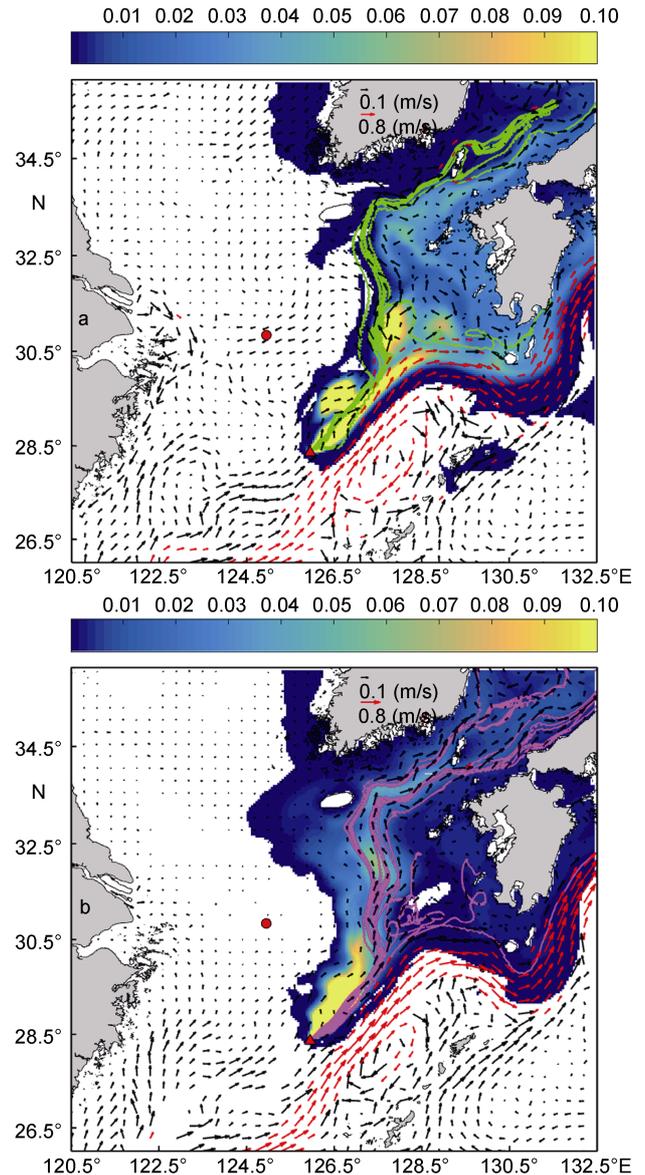


图 4 同图 3, 除了风应力减为原来的一半
Fig 4 Same as Fig 3, but wind stress was reduced to a half

海峡和日本九州以南的海域扩散和漂移。数值模拟试验表明, 表层与底层物质的扩散漂移路径显著不同, 底层物质的扩散漂移路径相对表层会更为偏东, 即向日本方向偏移。数值模拟表明, 如果未来的风速减弱, 底层和表层泄漏物质将会更多的进入对马海峡和日本九州以南, 而进入黄海的物质会减少。

三个月后(5 月后), 随着东北季风的减弱, 夏季风逐渐增强, 东北季风建立起来的正压效应会逐渐减弱, 从而黄海暖流的补偿作用会逐渐减弱, 黑潮水入侵黄海会逐渐变得困难。随着冬、春的季节转换, 黄海冷水团逐渐形成, 由于斜压作用, 在黄海深层水中会逐渐建立起气旋式环流, 从而进一步阻碍“桑吉”

号泄露物质向黄海输送(图 5), 而该气旋式环流有利于“桑吉”号泄漏物质通过对马海峡向日本海输送(图 5)。另一方面, 随着西南季风的逐渐增强, 沿着浙江东岸南下的闽浙沿岸流逐渐减弱, 在海洋上层的台湾暖流逐渐增强从而主导浙江外海的上层海流。台湾暖流主要流向东北, 大部分进入对马海峡, 少部分汇入黑潮。因此如果泄漏物质从海底上升到海洋的表层, 也会更多被台湾暖流输送到日本海, 对黄海的影响较弱。逐渐增强的黄海冷水团的气旋式环流也会阻碍“桑吉”号泄漏物质的向黄海西侧输送, 使得“桑吉”号泄漏对我国黄海近岸的影响较小。

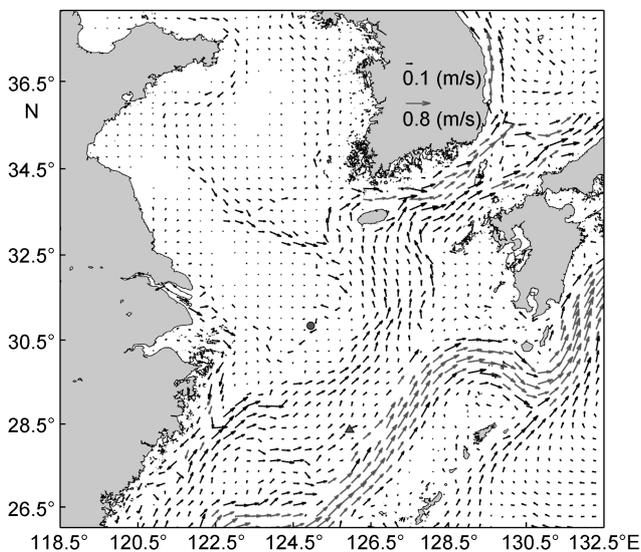


图 5 5月中旬 10 天平均的近底层流场

Fig.5 The ten-day-mean ocean current near the bottom from May 10 to 20

致谢 本文的数值模拟是在中国科学院海洋研究所的高性能计算平台上和广州天河二号超算平台共同完成的, 特此致谢。

参 考 文 献

- 刘长华, 王彦俊, 2017. 中国科学院近海海洋观测研究网络黄海站、东海站观测数据集. 北京: 海洋出版社, 60—71
- 杨德周, 许灵静, 尹宝树等, 2017. 黑潮跨陆架入侵东海年际变化的数值模拟. 海洋与湖沼, 48(6): 1318—1327
- Chapman D C, Lentz S J, 1994. Trapping of a coastal density front by the bottom boundary layer. *Journal of Physical Oceanography*, 24(7): 1464—1479
- Guan B X, Fang G H, 2006. Winter counter-wind currents off the southeastern China coast: A review. *Journal of Oceanography*, 62(1): 1—24
- Guo X Y, Hukuda H, Miyazawa Y *et al*, 2003. A triply nested ocean model for simulating the Kuroshio—Roles of horizontal resolution on JEBAR. *Journal of Physical Oceanography*, 33(1): 146—169
- Guo X Y, Miyazawa Y, Yamagata T, 2006. The Kuroshio onshore intrusion along the shelf break of the East China Sea: The origin of the Tsushima Warm Current. *Journal of Physical Oceanography*, 36(12): 2205—2231
- Isobe A, 2004. Driving mechanism of band structure of mean current over the continental shelf. *Journal of Physical Oceanography*, 34(8): 1839—1855
- Isobe A, Beardsley R C, 2006. An estimate of the cross-frontal transport at the shelf break of the East China Sea with the Finite Volume Coastal Ocean Model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C3): C03012
- Kako S, Isobe A, Yoshioka S *et al*, 2010. Technical issues in modeling surface-drifter behavior on the East China Sea shelf. *Journal of Oceanography*, 66(2): 161—174
- Kent E, Woodruff S, Rayner N *et al*, 2007. Advances in the use of historical marine climate data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(4): 559—564
- Lin X P, Yang J Y, 2011a. An asymmetric upwind flow, Yellow Sea Warm Current: 2. Arrested topographic waves in response to the northwesterly wind. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C4): C04027
- Lin X P, Yang J Y, Guo J S *et al*, 2011b. An asymmetric upwind flow, Yellow Sea Warm Current: 1. New observations in the western Yellow Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C4): C04026
- Pedlosky J, 1987. *Geophysical Fluid Dynamics*. New York: Springer-Verlag
- Pedlosky J, 1996. *Ocean Circulation Theory*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Shchepetkin A F, McWilliams J C, 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4): 347—404
- Yang D Z, Huang R X, Yin B S *et al*, 2018. Topographic beta spiral and onshore intrusion of the Kuroshio current. *Geophysical Research Letters*, 45(1): 287—296
- Yang D Z, Yin B S, Liu Z L *et al*, 2011. Numerical study of the ocean circulation on the East China Sea shelf and a Kuroshio bottom branch northeast of Taiwan in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C5): C05015
- Yang D Z, Yin B S, Liu Z L *et al*, 2012. Numerical study on the pattern and origins of Kuroshio branches in the bottom water of southern East China Sea in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C2): C02014
- Yang D Z, Yin B S, Sun J C *et al*, 2013. Numerical study on the origins and the forcing mechanism of the phosphate in upwelling areas off the coast of Zhejiang province, China in summer. *Journal of Marine Systems*, 123—124: 1—18
- Yin L P, Zhang M, Zhang Y L *et al*, 2018. The long-term prediction of the oil-contaminated water from the *Sanchi* collision in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 37(3): 69—72
- Zhang J, Guo X Y, Zhao L *et al*, 2017. Water exchange across isobaths over the continental shelf of the East China Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 47(5): 1043—1060

NUMERICAL STUDY ON THE DIFFUSION AND DRIFT OF THE LEAKED MATERIAL FROM THE SANCHI TANKER

YANG De-Zhou^{1, 2, 3, 4}, FENG Xing-Ru^{1, 2, 3, 4}, LIU Chang-Hua^{1, 4}, CUI Xuan^{1, 2, 4, 5},
YIN Bao-Shu^{1, 2, 3, 4, 5}, XU Ling-Jing^{1, 2, 4, 5}

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China*; 2. *Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China*; 3. *Function Laboratory for Ocean Dynamics and Climate, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China*; 4. *Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*; 5. *University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China*)

Abstract The Regional Ocean Modeling System (ROMS) was used to simulate the hydrological characteristic in the northwestern Pacific Ocean, with the fine horizontal resolution of 4km to resolve the ocean current over the East China Sea (ECS) continental shelf and mesoscale front eddies near the mainstream of Kuroshio. In addition, eight tidal components were included in the forcing fields. The model could properly reproduce the ocean circulation pattern over the ECS continental shelf. Using passive tracer and Lagrange particles, we simulated the diffusion and Lagrange tracks of the oil leaked from the Sanchi oil tanker. We released passive tracers and particles in the surface and bottom Ekman layer to track the leaked at the sunken point. Model results show that three months later, the leaked oil had a slight impact on the Yellow Sea water. However, the leaked oil was transported into the Japan Sea through Tsushima Strait by Tsushima warm current and further to the open sea south of the Kyushu, Japan by the Kuroshio. In addition, when northerly wind decreased during winter-spring transition, fewer materials could be transported into the Yellow Sea. After May, the Yellow Sea cold water would form up during winter-spring. The cyclonical circulation around the cold water could emerge under the baroclinic thermal wind action, which would prevent the polluted water from entering the Yellow Sea. In contrast, this cyclonical circulation will enhance the transport of the polluted water into the Japan Sea through Tsushima Strait and into the open sea to the south of the Kyushu, Japan.

Key words Sanchi; diffusion; East China Sea; ROMS