

海上溢油应急预报业务系统介绍

李 燕, 刘钦政, 张存智

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要:介绍了国家海洋环境预报中心正在研制开发的海上溢油应急预报业务系统的结构、流程、功能和溢油模式。应用该系统对渤海和黄河的几次溢油事件进行了预报试验,试验结果表明该系统能在一个小时内完成渤海三维模拟预报、中国海二维模拟预报,并动态显示溢油分布范围、油膜面积、位置、溢油的抵岸时间、地点、油量、影响范围、沉降海底的位置、海上残油量等信息。

关键词:溢油;数值模式;应急预报;业务系统

中图分类号:X55 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2010)06-0065-07

1 引言

近年来,随着我国海洋运输、海上资源开发的快速发展,海上船舶和油气田事故溢油等海洋污染事件已成为影响我国海洋环境的重要因素。

据有关统计资料显示,我国沿海地区仅1976~1999年的24年中,共发生了船舶溢油事故2257起,按照国际海事组织(IMO)MARPOL 73/78附则I的1991年修订案规定的标准:“溢油量50吨及其以上为重大污染事故”,其中发生重大溢油事故51起,平均每年超过了2起。值得注意的是,近几年来我国重大污染事故显著增长。自1994年以来,重大溢油事故每年增加至5~7起。特别是1999年3月发生在珠江口的“闽燃供2”号油轮与“东海209”号油轮的碰撞事故,此次事故造成“闽燃供2”号油轮溢出重油580多吨,使珠海市养殖场、风景旅游区、红树林等环境资源遭受严重损害,受污染的海域面积达到300多平方公里^[1]。随着经济的发展可以预测,在今后的一段时间内,我国发生重大溢油事故的可能性会越来越高。溢油事故的频繁发生,使海洋环境严重污染,造成海洋鱼类、鸟类、海藻和海洋哺乳动物的大量死

亡。每次重大事故造成的直接经济损失达几百万至上千万元,导致一些以养殖业为生的渔民破产,沿海旅游胜地(如北戴河等)受到溢油污染威胁。目前国际上对溢油相关问题的研究已相当深入和细致^[2~5],而我国溢油的研究则始于20世纪80年代初,到目前国内溢油的研究也越来越多,对不同情况下海域的溢油预报模式都有探索^[6~9]。

国家海洋环境预报中心作为专门从事海洋环境预报、海洋灾害预报和警报、科学研究和咨询服务国家公益性事业单位,为了应对海上突发溢油事故,减轻事故所造成的环境影响和社会经济损失,保护海上环境,从“十一五”开始,研制和开发用于中国海域海上应急需求的海上溢油应急预报业务系统。

2 系统结构和运行流程

系统分为8个部分(见图1)。系统控制中心控制预处理模块和其他模块按设定时间自动运行,并根据各模块需求自动获取和发送数据及控制指令。预处理模块向系统控制中心提交系统各模块启动时间、预报时效、预报范围等。溢油信息模块提供给系统控制中心溢油源的信息,包括溢油

收稿日期:2009-11-12

基金项目:国家科技支撑计划课题—海上突发事故应急预报技术(2006BAC03B04)

作者简介:李燕(1976-),女,副研究员,主要从事海上突发事故应急预报研究工作。E-mail:liy@nmefc.gov.cn.

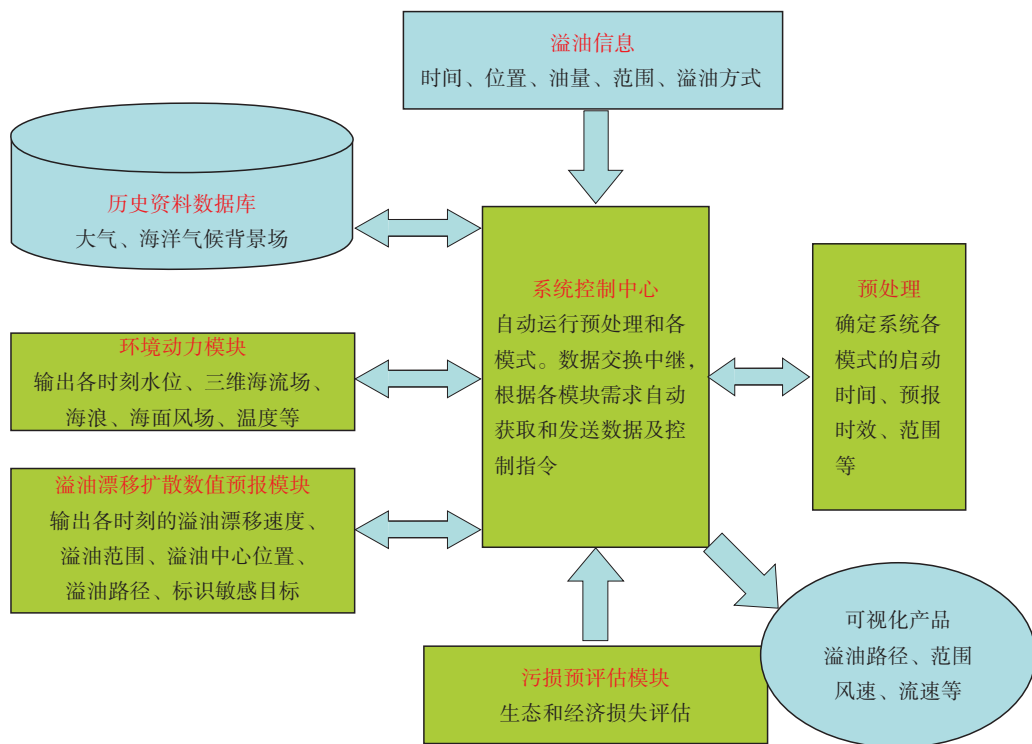


图1 海上溢油应急预报业务系统结构

时间、地点、范围、溢油量、溢油方式等。环境动力模块则给系统控制中心提供海洋环境要素，如三维海流流速、水位、三维海温、海浪、海面风场、气温、湿度等。历史资料数据库模块提供中国海域历史海洋和气象资料数据，在环境动力模块不能及时提供数据的情况下，可以利用该模块迅速提供给系统需要的数据，系统得以迅速计算给出预报结果。溢油漂移扩散数值预报模块是在接收到系统控制中心提供的溢油源信息、环境动力要素之后，经过溢油模式计算，向系统提供溢油预报结果，包括预报各时刻的溢油漂移速度、溢油范围、溢油位置、溢油路径等。污损评估模块则通过从系统控制中心获取的溢油模式计算结果对溢油对该海域的生态和环境的影响，以及经济损失进行评估。最后是产品可视化模块，该模块方便快捷并且直观地表达出客户所需要的产品。

本系统主要包括数值模式和使用界面输入、动画显示输出和文本存储输出三大部分。运行流程见图2。对于环境动力模块，每天早上8点前

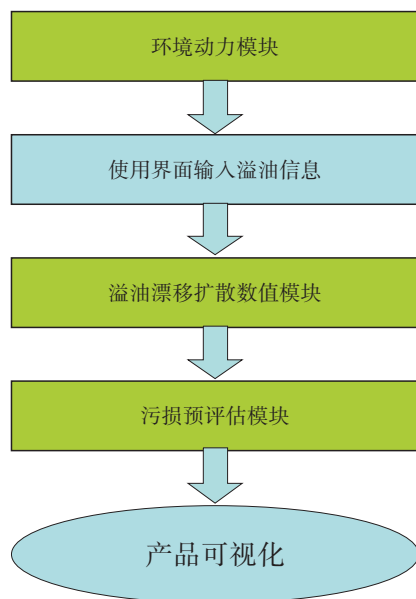


图2 海上溢油应急预报业务系统运行流程

后启动该模块中的气象模式、海洋模式和海浪模式，并将环境动力模块的结果按需求存储于系统控制中心模块备用。一旦发生溢油事件，则启动

本应急预报业务系统,从使用界面输入溢油源信息并将信息按需求格式存储于系统控制中心;之后启动溢油漂移扩散数值预报模块,由该模块判断能否从系统控制中心获取环境动力模块结果,并将计算结果存储于系统控制中心;然后启动油污预评估模块,从控制中心获取所需数据,并将预评估结果按需求格式存储于系统控制中心;最后启动产品可视化模块,将客户所需要的预报结果动态地、直观地表现出来,提供给有关使用部门。

3 系统主要功能

本系统可对以下种类的溢油源资料进行模拟预报:海面油井平台瞬时或者连续溢油、海面运动油轮连续溢油、海底沉船连续溢油、海底输油管道连续溢油、提取卫星图片中油膜形态和油膜位置预报油膜的漂移路径、范围和登陆点等。

系统界面采用人机对话方式输入溢油信息数据后,系统自动进行预报,实时地三维动画显示溢油漂移的情况,并显示溢油分布范围、油膜面积、位置、溢油的抵岸时间、地点、油量、影响范围、沉降海底的位置、海上残油量等信息。整个预报过程具有可视化、直观化的特点。

系统以海洋功能区划为基础,以 ArcGIS 为平台,建立渤海溢油生态敏感数据库,可根据溢油模型预报结果迅速给出基于生态系统服务功能的溢油污染快速预评估,输出结果包括溢油将危害的海洋生物、海水质量及各种功能敏感区,以及造成的损害经济价值等。

系统还将包括一套历史资料数据库及其管理工具。该数据库将包括海岸线数据、渔业资源及敏感区数据、沿岸城镇及海上结构物(包括平台)数据、油品特性数据(包括化学、物理等方面的特性,用于溢油预测)、月平均风场、水温、气温、盐度、湿度、流场等。所有这些数据库都可以方便地用系统提供的管理工具进行显示(包括数字和图形显示)、修改、添加、删除等操作,是一种完全开放的数据库。

系统还具有自动报表功能,能够根据用户的需要在每次模拟结束后自动输出用户所需信息,同时系统具有保存图片功能,可以简单快捷地保

存预报结果为客户需要格式的图片文件。

4 溢油模式

这里主要侧重讨论溢油漂移扩散数值模块中的技术问题。溢油漂移扩散数值模块中所用的溢油模型为“油粒子”模型,用确定性方法模拟溢油在海洋中的平流过程,用随机性方法模拟溢油的湍流扩散过程。平流过程中计算“油粒子”的位移公式如下:

$$\frac{dx_i}{dt} = v_a(x_i, t) + v_d(x_i, t) \quad (1)$$

式中, v_a 是海流赋给粒子的速度, v_d 是风对粒子的拖曳赋给粒子的速度。求解方法为一阶求解。湍流扩散过程假设为 fick 扩散^[10]。

在垂向运动上,我们分两种情况:(1)要考虑浪的作用的粒子($h < \alpha H$);(2)在水中不考虑浪的作用粒子($h > \alpha H$),其中 $\alpha = 1.5 (\pm 0.35)$, H 为有效波高^[11]。第一种情况,“油粒子”的垂向位移包括浪的作用、海流垂向流速的作用、浮力和湍流的作用。第二种情况下,只考虑海流垂向流速的作用、浮力和湍流的作用。浪对“油粒子”垂向位移公式为^[10]:

$$\Delta Z = R \sqrt{2 \times 0.028 \times \frac{H^2}{T} \times e^{-2kz} \times \Delta t}, k = \frac{(2\pi)^2}{gT^2} \quad (2)$$

式中, H 为有效波高, T 为波周期, k 为波数,这些可以由和风速相关的经验公式求得, R 为随机函数, g 为重力加速度, Δt 为时间步长, z 为粒子所在位置离水面的距离。浮力作用下位移公式为^[10]:

$$\Delta Z = (gd_i^2(1 - \rho_0/\rho_w)/(18 \cdot v)) \times \Delta t \quad (3)$$

g 重力加速度, d_i “油粒子”直径, v 海水的运动学粘制性系数, ρ_0 为油的密度, ρ_w 为海水密度。对垂向湍流扩散的作用,我们假设“油粒子”在湍流作用下获得的垂向速度为 w' , 则:

$$w_k'(t + \Delta t) = Aw_k' + B\sigma\zeta(t) + C, w_k'(t=0) = 0$$

$$A = \exp(-\Delta t/T_L)$$

$$B = (1 - A^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$C = (1 - A)T_L \frac{\partial \sigma^2}{\partial z}$$

其中各参数的意义和取值见参考文献^[12]。

模式中风化过程主要针对蒸发过程建立参数化方案,以此来简单计算残油量。假设每个粒子代表一定油量,每个粒子携带的油量在风化过程中按参数化方案减少,最后将所有粒子油量相加即为残油量。设释放24小时内的衰减量为: $PV0(i) \times 3.0 \times FVT(t) / 100.0$; 释放24小时后的衰减量: $PVL(i) \times 0.04 / 24.0$ 。其中 $PV0(i)$ 为第 i 个“油粒子”初始时刻的油量, $FVT(t)$ 是跟时间相关的参数, $PVL(i)$ 是第 i 个“油粒子”在衰减24小时后的油量^[10]。

本系统溢油模式对水体油含量的计算还需进一步开展,对风化过程的研究有待进一步深入。同时,本系统也涉及到溢油靠岸判断技术、系统内各模式相互衔接、自动运行技术、系统集成和界面显示等技术。

5 预报试验

图3为假设2006年3月21日13点30分一艘运

动油船在渤海开始连续溢油两小时,溢油量为100吨的一次溢油事件的预报结果演示。该图表现了不同时刻溢油的轨迹、分布范围、登陆点、海上油量、污染面积等,动画则能清楚地看到油带的形成、变形、断裂、扩散等过程。

图4为假设2008年9月15日2点一艘沉船在渤海海底连续溢油一天,在不同时刻下溢油的三维动态过程,红色为在水中,黑色为在海面,从图4可以看到沉船的油逐渐浮到海面上,在海面形成油带的过程,也可以看到沉船地点并不一定就是海面上出现溢油的地方。

在实际应用中,经常出现这样的情况,卫星、飞机或船舶发现了溢油,但不知道溢油源的真实位置,因此需要针对实际监测的海面溢油进行漂移和扩散预报,以便于有效地应急处置。本系统建成后,进行了两次溢油的实际案例分析,一次发生在渤海,从卫星图片中提取到溢油源信息,然后进行预报(见图5),但是由于卫星没有连

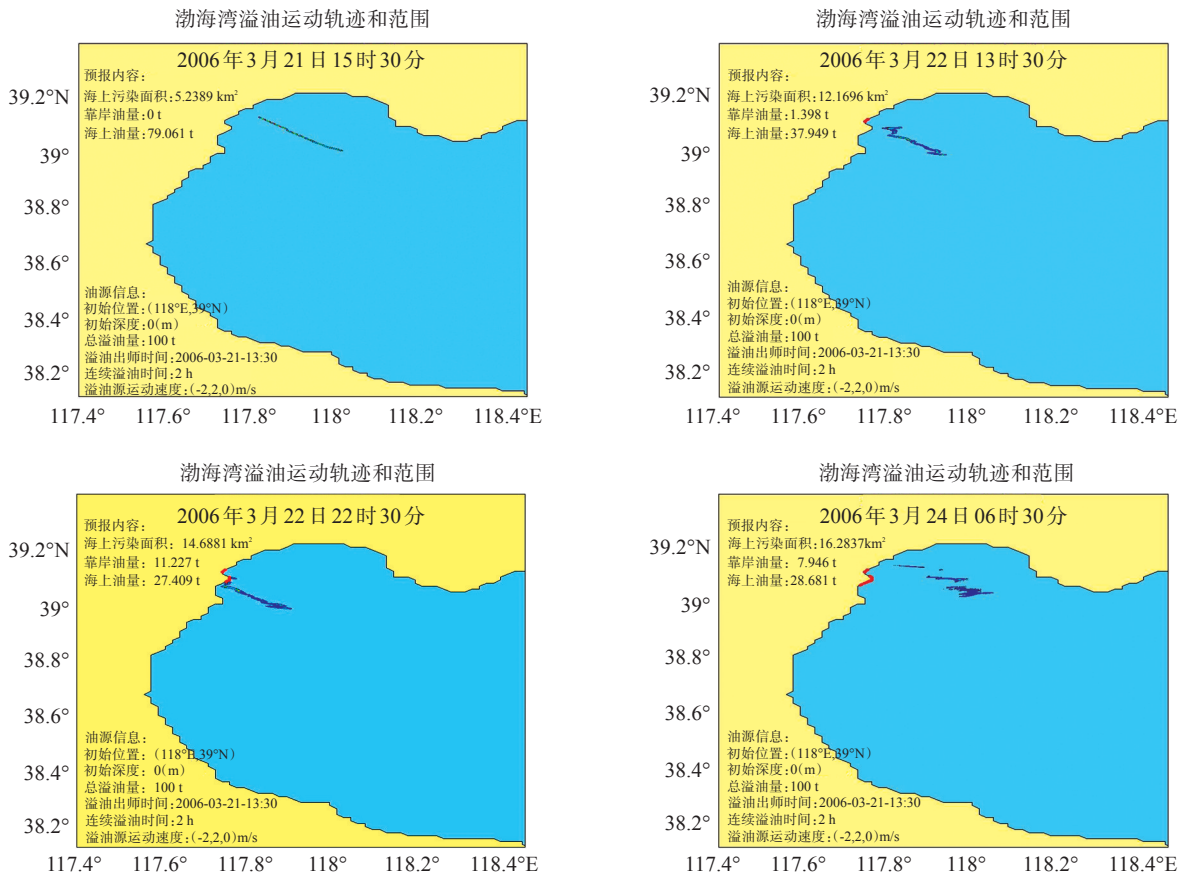


图3 移动船舶溢油连续溢油的模拟

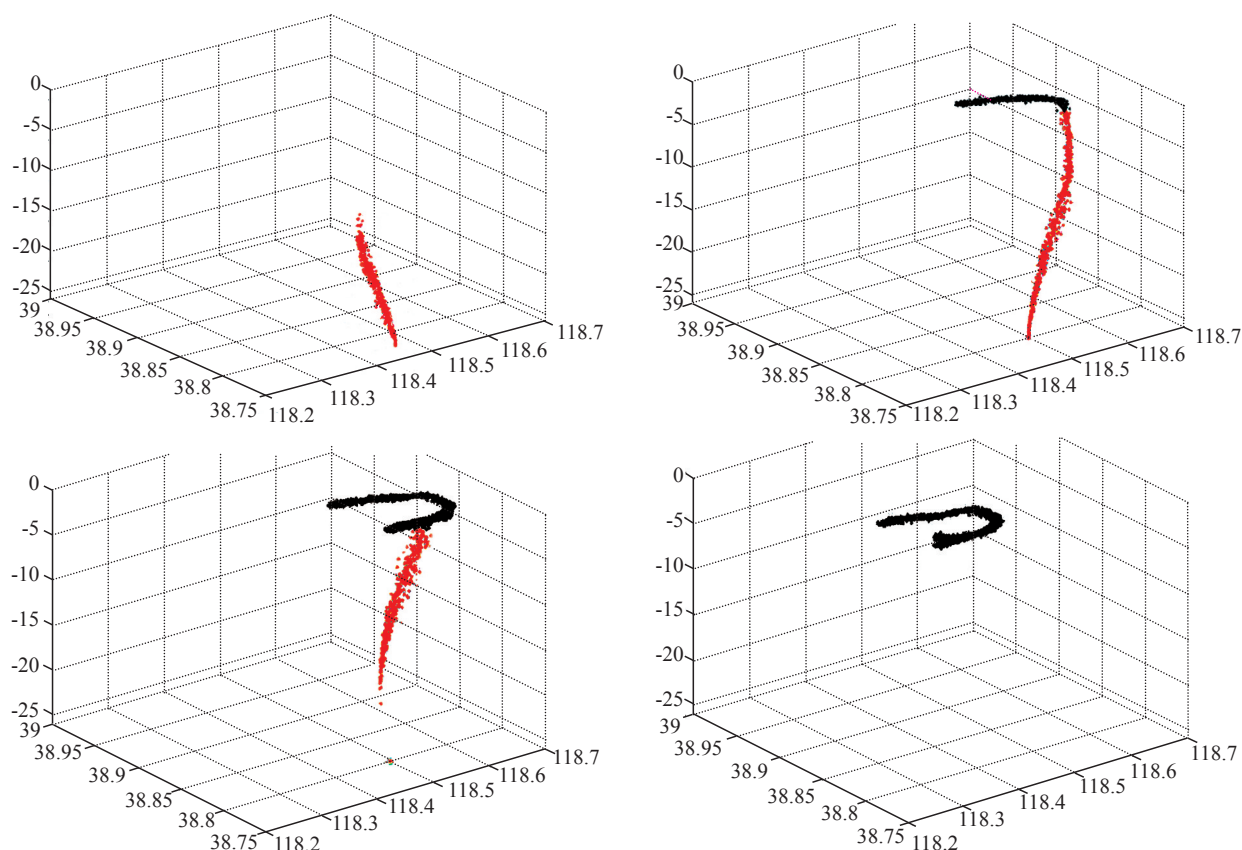


图4 沉船造成水下连续溢油的模拟

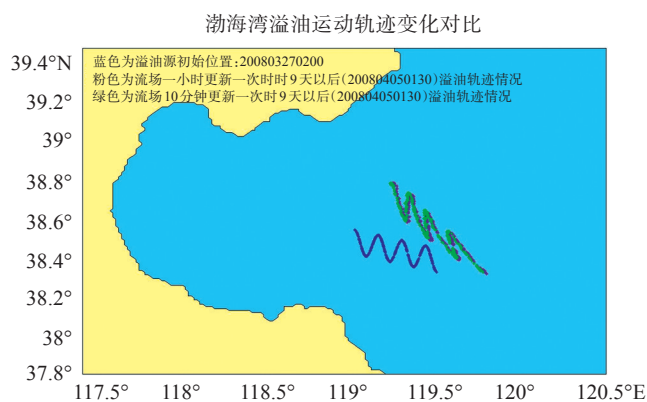
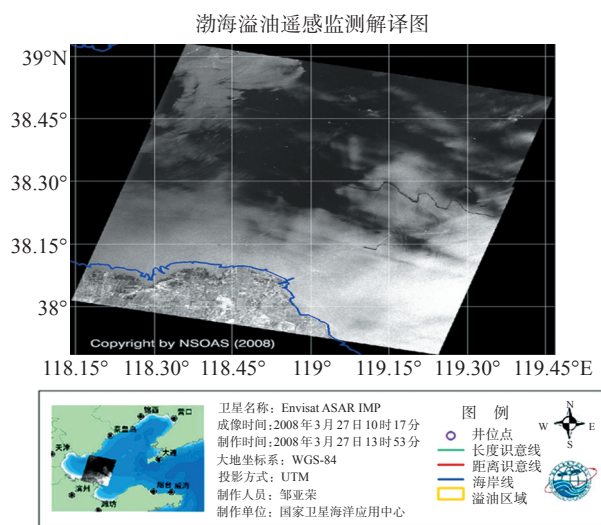


图5 对监测到的海面溢油漂移扩散的预报

续观测, 因此预报结果未得到验证。

另一次是青岛大公岛-朝连岛附近海域沉船溢油事故预报, 也是从卫星图片中提取溢油源信息进行了预报见图6。左边是溢油信息源卫星图片, 成像时间为9月9日18点; 右边上面一张是24小时预报图, 红色带状为从卫星图片提取的9月9日

18点时油带的分布情况, 蓝色为预报24小时后, 即9月10日18点时油带的位置; 右边下面一张预报油带从9月10日18点(红色)到9月11日18点(蓝色)这24小时的位置变化。同时, 这次案例我们还根据《国家海洋局应对黄海浒苔灾害前线指挥部澳帆赛场附近海域溢油专报》中提供的沉船位置

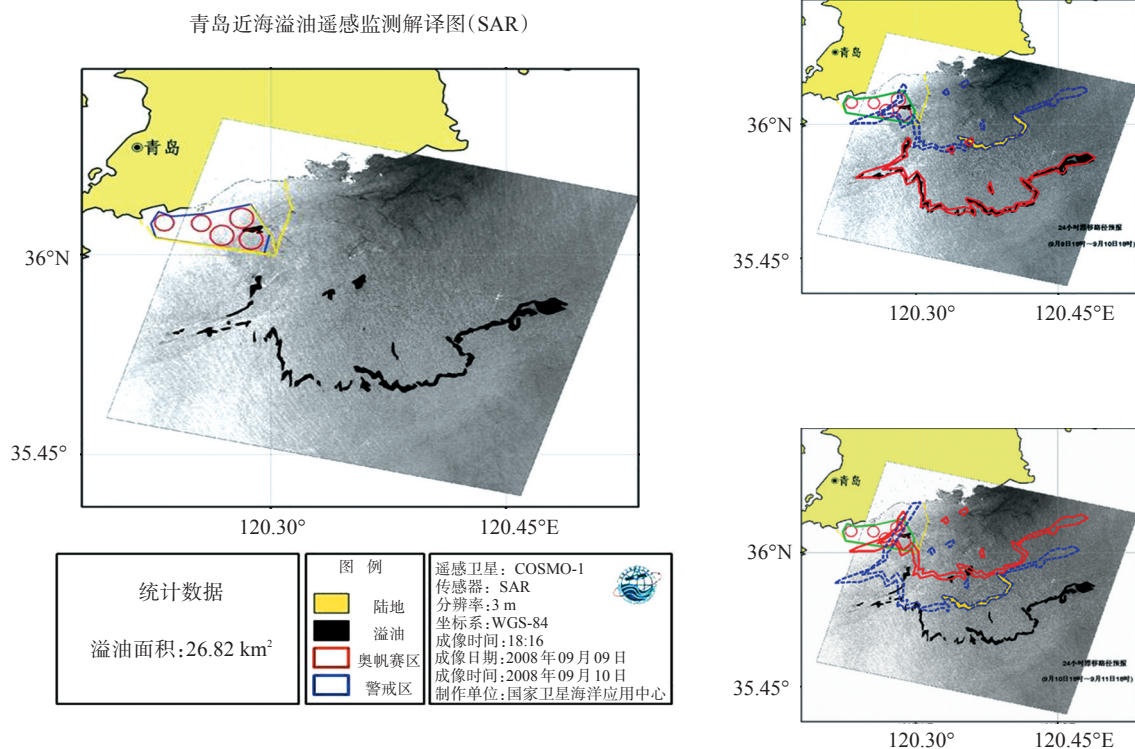


图6 对卫星监测到的海面溢油漂移扩散的预报

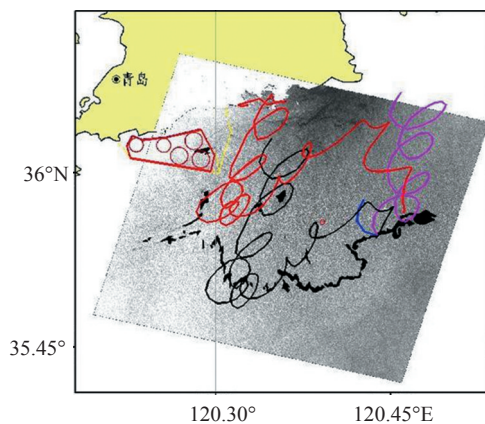


图7 附近海域溢油个例模拟

进行了模拟,沉船初始时间为2008年9月4日14点,设沉船浮标位置为溢油源位置,因为青岛不在渤海区域,用的二维模式,因此溢油源初始位置设为35.91°N,120.733°E的海表面。启动本系统进行预报,预报的9月9日18点溢油轨迹如图7中黑色线条所示,和遥感图中黑色的溢油带相比还是有颇多相似之处,蓝色、粉色和红色分别代表9

月5日18点、9月7日18点和9月10日18点的溢油轨迹。因为沉船时间不确切、沉船地点也不是很准确、以及溢油模拟所用为二维溢油模式的原因都可能导致模拟的不准确,因此在模式结果的检验以及检验方法上还需进一步深入开展工作。

6 结语

渤海海域三维溢油预报系统和中国海二维溢油应急预报业务系统已初步建立。系统能够根据获得的溢油信息,进行溢油漂移扩散的定量预报,基本在一个小时内能给出三维动画显示溢油漂移的情况,并显示溢油分布范围、油膜面积、位置、溢油的抵岸时间、地点、油量、影响范围、沉降海底的位置、海上残油量等信息。

该预报系统尚未包括污染评估等功能,预报精度的检验还需要更多的监测数据支持。一些重要的参数如残油量、水体油含量的预报技术还需进一步改进,预报产品制作特别是可视化产品制作技术还需进一步改进完善。

参考文献:

- [1] 谈杰.船舶油污损害赔偿法律问题研究[D].上海海事大学海商法研究中心硕士研究生论文, 2004,2:8-9.
- [2] Reed M, Johansen Ø, Brandvik P J, Daling. Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state of the art[J]. Spill Science & Technology Bulletin, 1999,1(5):3-16.
- [3] D F ZHANG, A K EASTON, J M STEINER. Simulation of coastal oil spills using the random walk particle method with Gaussian kernel weighting[J]. Spill Science & Technology Bulletin, 1997,4(2):71-88.
- [4] K A KOROTENKO, R M MAMEDOV, C N K MOOERS. Prediction of the dispersal of oil transport in the Caspian Sea resulting from a continuous release[J]. Spill Science & Technology Bulletin, 2000,6(5/6):323-339.
- [5] Eric D'asaro. Simple suggestions for including vertical physics in oil spill models. Spill Science & Technology Bulletin, 2000,6(3/4):209-211.
- [6] 娄安刚, 奚盘根.海面溢油轨迹的分析和预报[J].青岛海洋大学学报, 1994,24(4):477-484.
- [7] 严志宇, 殷佩海.溢油风化过程研究进展[J].海洋环境科学, 2000, 19(1):75-80.
- [8] 余家艾, 张波, 刘钦政等.渤海结冰海区溢油行为数值模拟[J].海洋与湖沼, 1999,30(5):552-557.
- [9] 杨庆霄, 赵云英, 韩建波.海上溢油在破碎波作用下的乳化作用[J].海洋环境科学, 1997,16(2):3-8.
- [10] 张存智, 窦振兴, 韩康, 吴冠.三维溢油动态预报模式[J].海洋环境科学, 1997,16:22-29.
- [11] Pavlo Tkalic, Eng Soon Chan. Vertical mixing of oil droplets by breaking waves[J]. Marine Pollution Bulletin, 2002,44: 1219-1229.
- [12] SERGUEI A. LONIN. Lagrangian model for oil spill diffusion at Sea[J]. Spill Science & Technology Bulletin, 1999,5(5/6): 331-336.