

网络优先数字出版时间: 2016-05-12

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20160512.1516.004.html>

渤海海域油污溯源模拟预测研究*

Study on Tracing Model of the Oil Spill Sources in Bohai Sea

曹雅静^{1,2**}, 高松^{1,2}, 丁一^{1,2}, 白涛^{1,2}

CAO Yajing^{1,2}, GAO Song^{1,2}, DING Yi^{1,2}, BAI Tao^{1,2}

(1. 国家海洋局北海预报中心, 山东青岛 266061; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266061)

(1. North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong, 266061, China)

摘要:【目的】发展有效、准确的溢油溯源预测技术,为渤海海域溢油污染防治以及责任认定提供参考。【方法】建立基于“拉格朗日”粒子追踪方法的油粒子数值溯源预测模型,利用集合预报方法,结合渤海海域气象、海洋环境驱动场,针对秦皇岛岸段发现的油污,通过溯源模型进行模拟,预测其可能来源,分析油污可能发生的原因。【结果】受海面风和海流的综合作用,冬季在秦皇岛北部海域的油污,多会在春季漂移至秦皇岛海域。【结论】本研究模拟预测方法针对不同的海域进行预测分析,可给出油污的可能来源,为溢油源的排查和应急处置提供技术支持。

关键词: 溢油 溯源模型 可能来源

中图分类号: P736.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2016)02-0083-05

Abstract: 【Objective】Developing the effective and accurate tracing prediction technology of oil spill is prevented the pollution and provided the reference to responsibility of oil spill in Bohai Sea. 【Methods】This paper studied on the tracing model of oil particle which was fundamental by the theory of “Lagrange” method. This research was used the prediction results from operational meteorological numerical model (Weather research and forecast, WRF) and ocean numerical model (Regional ocean model system, ROMS) to drive field for the marine environment. The numeric simulation of the oil tracing model was used to predict the probability source of oil spill in Qinhuangdao. We analyzed the reasons of the marine dynamic to explain the oil spill drift. 【Results】Due to the effect of surface wind and ocean current, the oil spill in the north sea of Qinhuangdao during winter will be drifted to the off-shore of Qinhuangdao in spring of next year. 【Conclusion】The simulated forecasting methods are studied to analyze the different area of the sea, which can identify probability source of oil spill. It can provide the support for checking the source of oil spill and emergency response.

Key words: oil spill, tracing mode, probable source

收稿日期: 2015-12-17

修回日期: 2016-01-20

作者简介: 曹雅静(1981-),女,硕士,高级工程师,主要从事海上溢油应急预测预警研究。

* 海洋公益性科研项目(201205012)资助。

** 通讯作者: E-mail: caoyajing@bhj.gov.cn.

0 引言

【研究意义】随着渤海海上油田的迅速发展以及一些输油管线逐步老化,海上溢油、渗油和无主漂油事件时有发生。2006年,山东省长岛、龙口、蓬莱岸

段及其附近海域发生大面积原油污染,因无法直接认定溢油源,在确认事故责任者时颇费周折。秦皇岛位于辽东湾的西南侧,是我国著名的海滨旅游度假城市,近年来秦皇岛海域沙滩经常出现油污颗粒,对当地的沙滩造成污染,影响旅游业的发展。同时,由于油污造成的近岸水质恶化,也使沿海的水产养殖受到一定的影响。因此,发展准确、有效的溢油溯源预测技术,对认定责任事故和防治溢油污染具有重要意义。【前人研究进展】海洋溢油漂移预测数值模型的开发研究已有几十年的历史。连续介质模型是最早的溢油漂移数值模型^[1],而目前占据主导地位的是“油粒子”模型^[2]。最初的粒子模型主要模拟溢油水平漂移路径,后来发展成能够模拟溢油三维扩散运动的模型^[3]。尽管这些预测模型还有许多需要进一步完善的方面,但也已经被广泛应用^[4-7]。溢油溯源模型的研究发展相对较晚,但其应用前景已经受到关注^[8]。【本研究切入点】海洋动力环境的复杂性以及数值模型自身的缺陷常常造成预测结果存在较大的误差。【拟解决的关键问题】基于“拉格朗日”粒子追踪方法和渤海高精度风、流背景场,利用溢油溯源模型,对秦皇岛附近海域发现的油污进行数值模拟,预测其可能来源,为渤海海域溢油污染防治以及责任认定提供参考。

1 数值模拟预报

1.1 油粒子漂移预测和溯源模型

溢油溯源是在已知溢油被发现的时间、地点以及海洋环境背景场的前提下,逆向(时间反方向)积分溢油漂移的轨迹,得到在过去任意时刻溢油可能处在的位置。溢油溯源数值模型是在溢油漂移预测模型的基础上,采用逆向积分方法发展而来。溢油粒子逆向溯源过程中的随机运行通过“蒙特卡罗”方法^[9]进行描述。

在波浪、风力、环流和潮流联合作用下的油粒子运动,可采用“拉格朗日”粒子追踪方程模拟。水动力数学模型通常基于欧拉场建立,而描述质点的运动则需采用拉格朗日的观点,因此,必须将欧拉场中的结果转换为拉格朗日质点位移。

在欧拉场中,对平面二维问题,任意空间点的速度 $\vec{V} = \vec{V}(x, y, t)$, 其中, x 和 y 表示空间点的位置, t 表示时间。

采用拉格朗日观点,任意质点的速度 \vec{V}_L 可由公式(1)表示,其中, x_L 和 y_L 表示任意质点的空间位

置, \vec{X} 表示质点位移。

$$\vec{V}_L = \vec{V}_L(x_L, y_L, t) = \frac{d\vec{X}}{dt} \quad (1)$$

公式(1)实际上建立了求解质点位移的一阶常微分方程。改写公式(1),则质点的运动轨迹可通过公式(2)中的积分求得。

$$\vec{X} = \vec{X} + \int_0^t \vec{V}_L dt \quad (2)$$

若每一时刻的 \vec{V}_L 已知,则可通过数值积分的方法由公式(2) 求出质点的运动轨迹。

粒子的漂移速度 \vec{V}_L 可由公式(3) 计算获得,其中, \vec{V}_w 表示风力和波浪作用产生的速度分量, \vec{V}_t 表示潮流作用产生的速度分量, \vec{V}_r 表示潮致余流作用产生的速度分量, \vec{V}_h 表示环流(包括风海流和密度流)作用产生的速度分量, \vec{V}_R 表示由波浪等海洋环境引起的粒子不确定运动。

$$\vec{V}_L = \vec{V}_w + \vec{V}_t + \vec{V}_r + \vec{V}_h + \vec{V}_R \quad (3)$$

1.2 渤海海域海洋环境要素预报

准确的海洋环境动力场是溢油溯源预测的基础,在北海预报中心业务化运行的北海区海洋和气象环境动力预报模式的基础上,采用嵌套技术提高渤海海洋和气象环境动力预报精度。气象预报采用 WRF 中尺度气象模式,海流预报采用 ROMS(Regional Ocean Model System)区域海洋模式^[10]。大区为北海区(图 1 所示范围),小区为渤海海域(图 1 中黑色框范围)。上述模式结果利用渤海浮标风、流场实测数据进行验证,保证无主溢油溯源模式背景场的准确性^[10]。

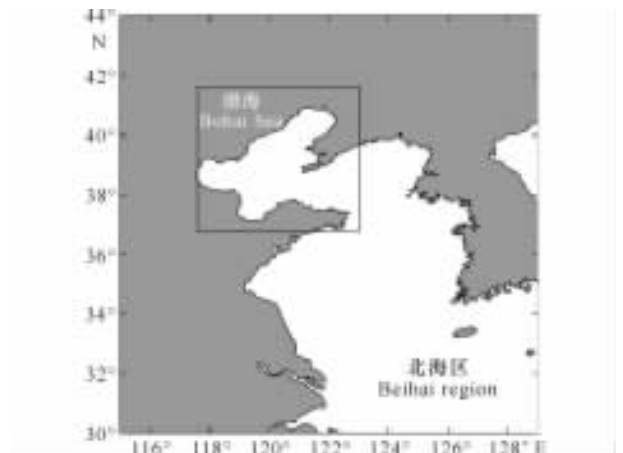


图 1 海洋环境模拟范围

Fig. 1 Simulation range of marine model

1.3 油污溯源模拟预测

集合预报方法在气象预报方面运行较早且已比较成熟,其基本方法是通过一定的数学方法结合天气学原理构造一组有限数量的预报样本,把不同的预报样本进行“集合”,形成集合预报。在溢油溯源模拟过程中,由于溢油时间和地点的不确定性,我们设计多种情况进行溯源模拟,再将获得的一组溯源模拟结果进行“集合”统计,得到可能溢油源的范围和概率。

2 模拟结果与分析

2.1 秦皇岛海域油污溯源模拟预测

2013年4月,在曹妃甸-秦皇岛近岸以及秦皇岛油田附近海域多次发现油污,对该地区沿岸海域和油田附近海域造成较为严重影响。为了排查溢油来源,我们利用渤海海域浮标实时观测数据,结合溢油漂移数值溯源预测模型,追溯油污可能来源以及方向,给出1~4月油污可能来源的区域为曹妃甸东北方向海域(图2)。图中灰色的线条表示油粒子运动轨迹,黑色的点标明渤海中油田位置。

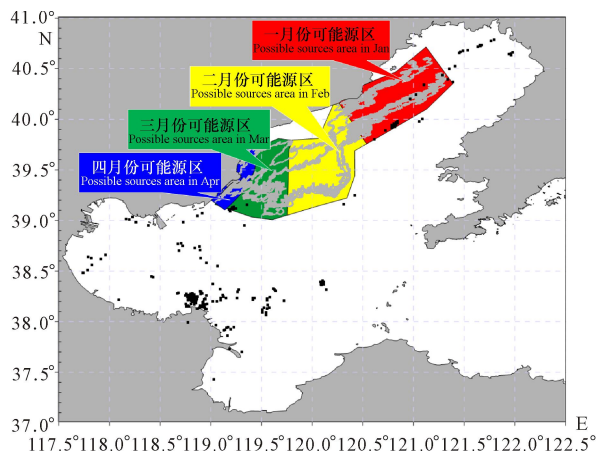


图2 秦皇岛海域油污模拟溯源可能来源预测

Fig. 2 The oil spill simulation result of the probable source in Qinhuangdao

2.2 影响油污漂移的海洋动力环境分析

溢油在海面的漂移方向主要受海面风和海流的共同作用,溢油漂移轨迹一般位于风流作用力的夹角范围内。不同季节的海面风和环流结构情况决定海上油污的漂移方向,因此,对不同月份海洋动力环境的准确分析是预测油污可能来源的基础。

2.2.1 渤海气候态海面风场特征分析

采用ECMWF再分析数据进行统计分析:冬季(12~次年2月),渤海平均海面风以西西北-北风为主,较其它月份风速最大,约为4.5 m/s;夏季(6~8

月),渤海平均海面风以东南风-南南东风为主,风速约为4 m/s,略小于冬季;春季(3~5月),是偏北风风向偏南风过渡的季节,对季节平均而言,春季平均风速较小,约在1~3 m/s,至4月已基本转为偏南风;秋季(9~11月),是偏南风风向偏北风过渡的季节,对季节平均而言,秋季平均风速较小,约在1~3 m/s,至11月风向已基本转为北北西。图3为4个季节的代表月份的渤海海面风场图。

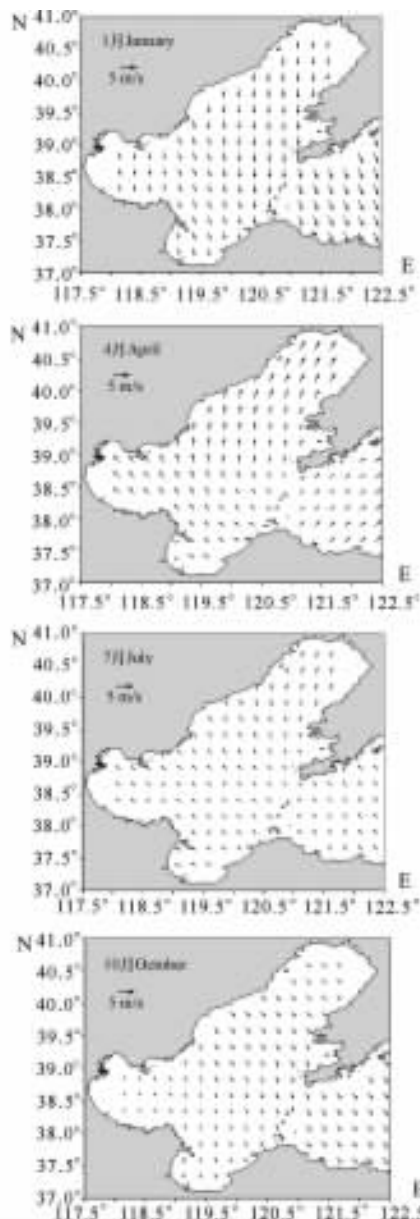


图3 渤海月平均海面风场

Fig. 3 The monthly average of surface wind in Bohai Sea

2.2.2 渤海余流性质分析

渤海环流场具有很明显的三维结构,表层和底层流场有明显差异。我们主要考虑海面油膜或油粒子漂移情况。采用ROMS区域海洋环流模式,多嵌套的技术,模拟渤海海域环流的季节性变化规律,该

数值模拟结果与黄大吉等^[11]和 Zhao 等^[12]模拟的环流结果一致。

从渤海温盐环流结果分析:冬季(12~次年2月),渤海海峡温盐环流为“北进南出”;渤海中部以南向流为主;渤海湾南岸至莱州湾龙口岸段东向的沿岸流较强,大约为 15 cm/s;辽东湾西岸秦皇岛至唐山存在较强的偏南向流,在唐山东南海域转向偏东方向(图 4a)。夏季(6~8月),渤海温盐环流与冬季结构基本相反,渤海中部以偏北向流为主;渤海湾南岸至莱州湾龙口岸段西向的沿岸流明显;辽东湾北部存在西向流,抵达辽东湾西岸后转为沿岸的西南向流;渤海海峡环流仍为“北进南出”,但形态与冬季不同(图 4c)。春季(3~5月),环流结构处于冬季

向夏季过渡过程,4月份渤海大部分海域已转为偏北向流,流速较弱,一般为 5~10 cm/s(图 4b)。秋季(9~11月),环流结构处于夏季向冬季过渡过程。9月份,渤海大部分海域已转为偏南向流,流速较弱,一般为 5~10 cm/s;辽东湾东岸存在较强的南向沿岸流(图 4d)。

2.3 油污来源分析

根据 2.2 所述渤海海域风场和流场特征,综合分析秦皇岛海域油污的可能来源的海洋动力要素的影响。由图 5 可以看出,从 1 月至 4 月中旬,渤海海域平均海流为西南至南向流,平均海面风为北至东北向,渤海东侧沿岸海域的油污在其作用下将向偏南方向漂移。因此,受海面风和海流的综合作用,冬季在秦皇岛北部海域的油污多会在春季漂移至秦皇岛海域。这与我们模拟油污(图 2)的可能来源基本一致。

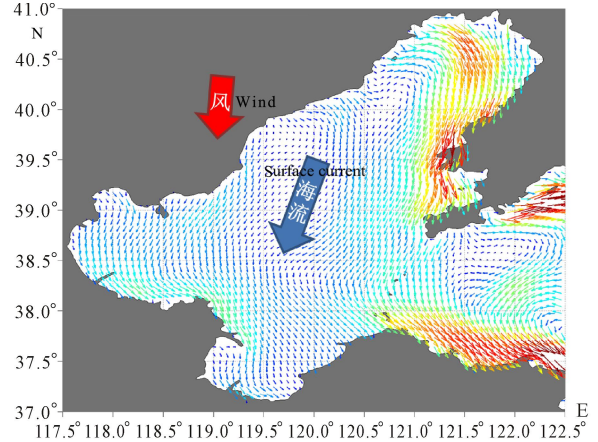


图 5 渤海海域 1~4 月平均风场和流场图

Fig. 5 The average of wind and surface current during January to April for the Bohai Sea

3 结论

本文采用基于“拉格朗日”粒子追踪方法的油粒子数值模拟溯源模型,利用“集合预报”方法,结合气象、海洋环境驱动场,模拟预测秦皇岛海域油污的可能来源,并分析溢油漂移的海洋动力环境因素。分析发现,受海面风和海流的综合作用,冬季在秦皇岛北部海域的油污,多会在春季漂移至秦皇岛海域。利用这种方法,我们可以针对不同的海域进行预测分析,给出油污可能的来源,为溢油源的排查和应急处置提供技术支持。

参考文献:

[1] FAY J A. Physical processes in the spread of oil on a

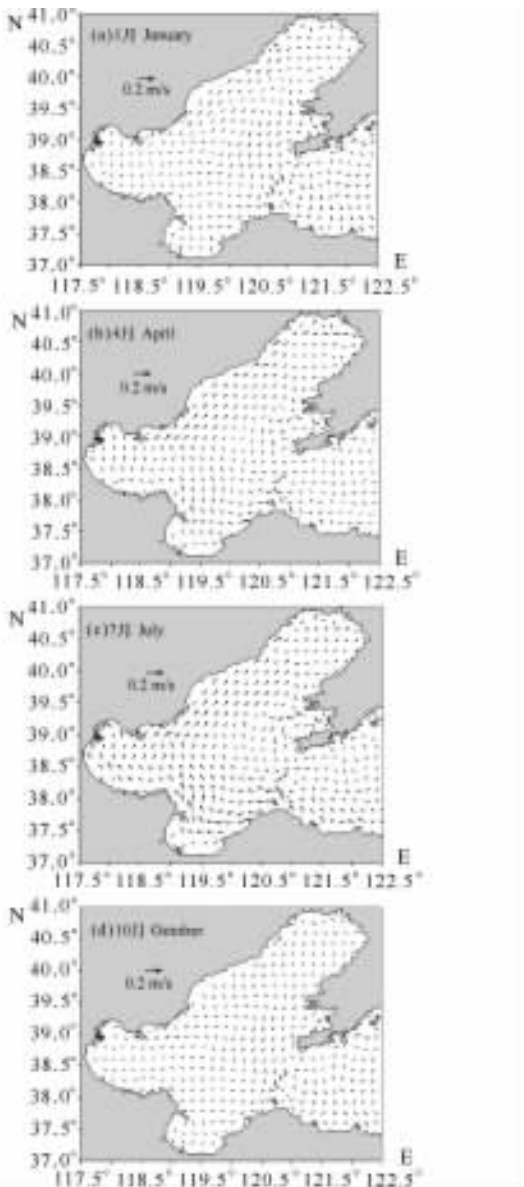


图 4 渤海月平均海表环流场

Fig. 4 The monthly average of surface circulation current in Bohai Sea

- water surface[J]. International Oil Spill Conference Proceedings, 1971, 1971(1): 463-468.
- [2] 张存智, 窦振兴, 韩康, 等. 三维溢油动态预报模式[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(1): 22-29.
ZAHGN C Z, DOU Z X, HAN K, et al. A three dimensional model to predict the behavior of oil spills[J]. Marine Environmental Science, 1997, 16(1): 22-29.
- [3] 娄安刚, 吴德星, 王学昌, 等. 三维海洋溢油预测模型的建立[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2001, 31(4): 473-479.
LOU A G, WU D X, WANG X C, et al. Establishment of a 3D model for oil spill prediction[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(4): 473-479.
- [4] DHI. MIKE 21/3 Oil Spill[M]. Shanghai: DHI, 2012.
- [5] DELFT. Simulation of Mid-field Water Quality and Oil Spills Using Particle Tracking[R]. Netherlands: Delft, 2005.
- [6] 汪守东, 沈永明, 郑永红. 海上溢油迁移转化的双层数学模型[J]. 力学学报, 2006, 38(4): 452-460.
WANG S D, SHEN Y M, ZHENG Y H. A two-layer mathematical model for oil spill transport and transformation in the sea[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2006, 38(4): 452-460.
- [7] 李彤, 谢志宜. 水上事故溢油漂移轨迹预测模型研究与应用[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(7): 56-61.
LI T, XIE Z Y. Study and application of oil spill trajectory model[J]. Environmental Science and Management, 2013, 38(7): 56-61.
- [8] 赵如箱. 浅谈溢油模型的发展及其应用设想[J]. 交通环保, 2000, 21(4): 15-17.
ZHAO R X. Study on development of oil spill model and its application[J]. Environmental Protection in Transportation, 2000, 21(4): 15-17.
- [9] 娄安刚, 王学昌, 于宜法, 等. 蒙特卡罗方法在海洋溢油扩展预测中的应用研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(5): 7-9.
LOU A G, WANG X C, YU Y F, et al. Studies on Monte-Carlo method application for predicting marine oil spill diffusion[J]. Marine Science, 2000, 24(5): 7-9.
- [10] 黄娟, 曹雅静, 高松, 等. 渤海海上溢油漂移扩散数值模拟研究[J]. 海洋科学, 2014, 38(11): 100-107.
HUANG J, CAO Y J, GAO S, et al. Numerical simulation of oil spill drift-diffusion in the Bohai Sea[J]. Marine Science, 2014, 38(11): 100-107.
- [11] 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.
HUANG D J, SU J L, ZHANG L R. Numerical study of the winter and summer circulation in the Bohai Sea[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 1998, 16(1): 115-121.
- [12] ZHAO B R, CAO D M. Dynamic analysis and numerical modeling of forming mechanisms of winter circulation in the Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1998, 29(1): 86-96.

(责任编辑: 竺利波, 陆雁)