

NOAA 的 GNOME 溢油模型在湄洲湾的应用

赵东波, 姬厚德, 杨顺良, 任岳森

(福建海洋研究所, 福建 厦门 361013)

摘要:在湄洲湾试用 GNOME 溢油模型模拟溢油扩散. 先用 EFDC 建立潮流场, 并选用主导风形成常风场, 一并输入 GNOME 建立起溢油模型, 模拟涨、落潮过程叠加不同风况下敏感海域的溢油扩散. 模拟结果: 初始溢油量为 100 t, 扩散到第 6 小时, 8 种不同条件下挥发油量都为 7.7 t, 附岸和漂浮油量和为 92.3 t, 其中漂浮油量为 6.4~92.0 t, 相应附岸油量为 85.9~0.3 t; 溢油扩散最大范围为 1.3~30.0 km², 90% 置信区间为 2.0~56.0 km², 最大距离为 1.2~14.6 km; 与前人模拟溢油扩散结果相比基本一致. 经分析, 溢油扩散主要受 3 个方面影响: (1) 岸线走向: 当岸线靠近油膜漂移的路线时, 大量油膜附着在岸上, 扩散范围较小; (2) 风况与流场关系: 如果两者方向一致, 油膜会扩散较远; (3) 风区长度: 风区越长, 油膜扩散范围越大. 总之, 建立 GNOME 溢油模型较好地模拟了溢油扩散趋势, 对溢油应急响应具有参考作用.

关键词:海洋环境科学; GNOME 溢油模型; 模拟; 溢油扩散; 湄洲湾

DOI:10.3969/J. ISSN. 1000-8160. 2011. 03. 007

中图分类号: P76

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2011)03-0341-08

随着经济全球化带来的石油工业、交通运输业的发展, 石油开采、炼制和水上运输量的逐年增加, 每年都有相当数量的石油由于突发事件进入海洋. 石油入海后对海洋环境带来的严重污染, 对海洋生物资源、渔业、海岸环境和人类自身都会造成严重危害. 溢油污染已成为全球重大的环境问题和社会问题.

石油进入海洋后, 在海上将经历扩散、蒸发、溶解、乳化、氧化、降解、生解等十分复杂的变化过程. 欧美等国家从 20 世纪 60 年代就开始对海上溢油进行预测研究, 至今已建立了很多模型^[1-2]. 目前, 国内外研究者使用较多的是跟踪粒子流的方法: 将整个溢油团看作若干个体积很小的“油质点”组成, 利用油质点群的扩展、漂移过程模拟溢油油膜的扩展和漂移^[2]. 而为溢油应急决策支持的需要, 许多发达海洋国家在计算机技术和地理信息系统技术的基础上利用溢油模型建立了溢油预报系统, 如美国 ASA 的 OILMAP 模型、英国的 OSIS 模型、挪威的 OSCAR 模型、美国大气海洋局的 GNOME 模型等^[1-2].

我国溢油预测模型多属于改进型. 如赵文谦等 (1990、1992) 的溢油行为预测组合模型^[3-4], 姜安刚

等 (1994) 的海面溢油轨迹的分析预报模型等^[5]. 国家海洋局海洋环保所与比利时北海数学模型管理署合作, 建立了辽河油田浅海开发区“溢油行为可视系统 OILSYS”^[6]. 大连海事大学的殷佩海等 (1996) 研制的“大连地区海上溢油应急反应专家系统”^[7]. 熊德琪 (2002) 在国外先进的溢油应急信息系统基础上开发了“大连海域溢油模拟信息系统”^[8]. 俞济清等 (2002) 在 OILMAP 基础上, 结合自己开发的舟山港风场软件和舟山港水动力模型, 对中国舟山港的溢油扩散进行了预报^[9]. 国家海洋局第三海洋研究所的汤军健等 (2002) 建立的溢油模型对湄洲湾溢油进行了预测^[10].

然而, 大部分溢油模型, 往往缺乏便捷的操作界面或使用手册, 通常也只能供数值模式开发者做最有效的应用; 而绝大部分成熟的溢油软件, 往往费用昂贵^[11]. 本研究拟用的 GNOME 模型是免费的溢油软件, 有友好的用户界面, 前后处理比较方便, 模拟速度快, 采用目前国际上常用的欧拉-拉格朗日油粒子法, 模拟效果较好, 已广泛应用于美国的溢油预测. 而在国内该软件还鲜有使用, 目前国内只有陈家兴等 (2010) 利用 GNOME 模型在内河水域进行了溢

收稿日期: 2010-11-19

基金项目: 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项资助项目 (2009R10004-5)

作者简介: 赵东波 (1979~), 男, 硕士, 助理研究员; E-mail: zdb1979xm@yahoo.com.cn

油模拟^[12];台湾的陈志朋(2004)对 GNOME 模型进行了较详细的介绍^[11];陈筱华(2009)利用 GNOME 模型进行了桃园外海漏油扩散研究,以甄别溢油事故责任人^[13]。基于以上原因,本研究选用 GNOME 模型,以湄洲湾作为试验海区,来验证该模型在中国近海的适用性。

1 研究方法 with 内容

1.1 GNOME 模型简介

GNOME 模型是由美国国家海洋与大气局(NOAA)反应和恢复办公室(OR&R)紧急反应部(ERD)开发的溢油模型软件,可从如下网址 <http://response.restoration.noaa.gov/software/gnome/gnome.html> 免费下载。

1.1.1 基本功能 GNOME 模型是从 20 世纪 70 年代 NOAA 开发的现场溢油模型(OSSM)演化而来的。它利用风向、风力、洋流、潮水、溢油量和溢油性质等资料来模拟溢油的扩散。

GNOME 模型既可以模拟风、洋流及其他因素的变化造成的溢油扩散和漂移(最佳推测),也可以模拟洋流和风观测、预报中出现的不确定性造成的溢油扩散轨迹的分布,并估计其分布的 90% 置信区间,从而估计潜在的威胁^[14]。GNOME 模型使用简单化的三相蒸发算法计算几种不同油的挥发性,可以设置柴油、汽油、煤油/喷气发动机燃料、4[#]燃料油、6[#]燃料油、中质原油和无风化油等 7 种。

1.1.2 基本原理 GNOME 模型采用标准欧拉-拉格朗日法模拟油粒子的漂移扩散^[15],在物理区域模拟的欧拉(连续)流场内,用拉格朗日法追踪溢油粒子漂移。其方程为:

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \vec{V}_0(x(t_0), y(t_0), t_0) dt \quad (1)$$

式中: \vec{S}_0 为 t_0 时刻的油膜初始位置,经过时间步长 Δt 后漂移到新位置 \vec{S} ; \vec{V}_0 为 t_0 时刻的油膜漂移速度,它是空间和时间的函数;而油膜初始位置不一定在潮流场模型网格节点上,其速度用其周围的网格节点速度内插而得。

而在空间每个网格的节点速度在某时刻为:

$$\vec{V} = \vec{V}_t + \alpha \vec{V}_w \quad (2)$$

式中: \vec{V}_t 为 t 时刻该节点上的潮流速度; $\alpha \vec{V}_w$ 为 GNOME 模型采用的简单的线性风生流, \vec{V}_w 为 t 时刻节点上的风速, α 为经验系数。

1.1.3 GNOME 模型的优点 (1)可读取各种网格的流场数据,应用性较广。GNOME 模型是与网格无关的溢油轨迹模型,它本身不模拟流场,但可以基本

读取所有的直角网格、正交曲线网格和三角形网格的流场数据。GNOME 模型可以使用时间序列的风数据文件,或者直角网格模型的流场。在读取流场和流场数据后,模拟速度快,故应用性较广。本研究采用 EFDC 模型为 GNOME 模型提供潮流场,EFDC 模型具体介绍见下节。(2)模拟结果后处理方便。GNOME 模型可输出油粒子扩散的图片和动画,并可估计出某时刻的附岸、漂浮、蒸发、分解等不同状态的溢油量;目前最新版本可以溯源模拟,推测“神秘”溢油的最初发生点,以排查溢油肇事人的嫌疑者;可利用其后处理 GNOME Analyst 软件把油粒子扩散范围生成油膜扩散浓度等值线图;还可以将运行得到的轨迹动态变化图输出至 GIS 软件(如 MOSS、ARC/INFO 和 Arcview 等)进行查看、修改,或者与已有的电子地图(包括栖息地、港口、湿地、取水口等敏感位点信息)整合。(3)可进行实时溢油预测,指导溢油应急反应。在具备精确的海区电子地图情况下,配合准确、实时的现场溢油、风况、洋流数据(包括现场取样、卫星、航拍资料),在诊断模式中修改相应参数,使其与实际情况相符合,可将其应用于实时溢油预测,并对溢油应急反应进行指导。(4)可建立溢油地理信息档案。NOAA 在船运密集的海区,建立了许多地理信息档案支持美国海岸防护海洋安全办公室的工作;每个地理信息档案包含了实际海区的潮、流、岸线等基础信息,GNOME 模型可以在标准模式下使用地理信息档案包含的信息进行该区域溢油轨迹的简单预测。NOAA 已建立了几十个地理信息档案,主要分布在美国周围的北冰洋区、大西洋区、墨西哥湾区和太平洋区四个区域,以及波斯湾和阿拉伯湾区。但是由于地理信息档案只是包含了一般的气象水文信息,而没包含具体时间的相关信息,不能进行实际的预测。在真实的溢油过程中,NOAA 反应组在诊断模式下使用 GNOME 模型,输入实时潮汐、流、风等数据,进行溢油轨迹预测。

1.2 EFDC 模型简介

EFDC 模型是由美国弗吉尼亚海洋研究所的 Hamrick 等根据多个数学模型集成开发研制的综合模型^[14,16-19]。它是一个多任务、高集成的环境流体力学模块式计算程序包,用于模拟水系统一维、二维和三维流场、物质输送(包括温、盐、非粘性和粘性泥沙的输送)、生态过程及淡水入流。其模拟范围为河口、河流、湖泊、水库、湿地及自近岸到陆架的海域,可以同时考虑风、浪、潮、径流的影响,并可同步布设水工建筑物。本模型原理和很多计算方法与广泛应用的 Blumberg-Mellor 模型、美国陆军工程兵团

的 Chesapeake Bay 模型相同;在水平向采用 x 、 y 正交曲线坐标系,垂向采用 σ 坐标系,基本方程简要介绍如下,动量方程为:

$$\begin{aligned} & \partial_t(mHu) + \partial_x(m_y Huv) + \partial_y(m_x Hvu) + \\ & \partial_z(mwu) - (mf + v\partial_x m_y - u\partial_y m_x)Hv = \\ & -m_y H\partial_x(g\zeta + p) - m_y(\partial_x h - z\partial_x H)\partial_x p + \\ & \partial_z(mH^{-1}A_v\partial_z u) + Q_u \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \partial_t(mHv) + \partial_x(m_y Huv) + \partial_y(m_x Hvv) + \partial_z(mwv) - \\ & (mf + v\partial_x m_y - u\partial_y m_x)Hu = -m_x H\partial_y(g\zeta + p) - \\ & m_x(\partial_y h - z\partial_y H)\partial_x p + \partial_z(mH^{-1}A_v\partial_z v) + Q_v \end{aligned} \quad (4)$$

$$\partial_z p = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb \quad (5)$$

连续性方程为:

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_y Hu) + \partial_y(m_x Hv) + \partial_z(mw) = 0 \quad (6)$$

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_y H\int_0^1 u dz) + \partial_y(m_x H\int_0^1 v dz) = 0 \quad (7)$$

式中: u 为正交曲线坐标系下 x 方向的水平速度分量; v 为正交曲线坐标系下 y 方向的水平速度分量; m_x 、 m_y 均为水平坐标变换因子,且 $m = m_x m_y$; w 为坐标变换后 z 方向的速度; H 为水深, $H = h + \zeta$, ζ 为瞬时水位, h 为平均海平面到海底的距离; p 为实际压力, ρ_0 为参考密度; f 为科氏力参数; g 为重力加速度; b 为浮力; A_v 为垂向涡粘系数; Q_u 和 Q_v 分别为水平方向和垂直方向动量方程的源汇项。

该模型采用由 Mellor 和 Yamada(1982) 提出并由 Galperin 等(1988) 后来改进的二阶湍封闭模型^[20-21], 求得垂向涡粘系数 A_v 和涡动扩散系数 A_b 。表达式如下:

$$A_v = ql = 0.4(1 + 36R_q)^{-1}(1 + 6R_q)^{-1}(1 + 8R_q)ql \quad (8)$$

$$A_b = \phi_b ql = 0.5(1 + 36R_q)^{-1}ql \quad (9)$$

$$R_q = \frac{gH\partial_z b}{q^2} \frac{l^2}{H^2} \quad (10)$$

式中: A_v 为垂向涡粘系数, q 为紊动强度, l 为紊动长度, A_b 为涡动扩散系数, R_q 为 Richardson 数, ϕ_v 和 ϕ_b 是稳定函数以分别确定稳定和非稳定垂向密度分层环境的垂直混合或输运的增减。

1.3 湄洲湾作为 GNOME 溢油模型试验海区的选择

根据《福建省湄洲湾石化基地发展规划(2006~2020)》^[22], 将以湄洲湾南岸的泉港石化区为龙头, 带动泉惠石化区和湄洲湾北岸的东吴石化区(图1)共同发展, 把湄洲湾建设成为国家级石化产业基地, 使其成为国家规划新建的六大石化基地之一。而相应的液体化工原油码头主要位于肖厝和斗尾, 其中斗尾港区已建青兰山 3×10^5 t 级原油泊位,

通过海底输油管道把原油输送到肖厝港区, 而肖厝港区已建成 1×10^6 t 级原油及成品油码头。因此可以预料, 随着石化基地、码头和输油管线的建设, 湄洲湾内来往运输石油船舶会越来越多, 船舶碰撞溢油风险和输油管道漏油概率会不断增大。如果发生溢油事件, 必然会对湄洲湾海洋生态环境造成严重影响。而湄洲湾存在一些较大的敏感生态环境目标, 如湄洲岛生态保护区、山腰盐场和湾顶的养殖区等, 故本研究选择湄洲湾作为试验 GNOME 模型的海区, 进行事故发生后的溢油扩散模拟试验。

1.4 湄洲湾溢油模型的建立

1.4.1 模型的建立 本研究利用美国环保署推荐的水动力模型 EFDC, 建立湄洲湾的潮流场; 在进行潮位和潮流验证满足规范要求后, 转换成 GNOME 模型需要的潮流场。风况对溢油的影响也很大, 本模型取常风场, 选择常年主导风向东北风和夏季主导风向西南风, 风速取其平均风速, 东北风风速为 7.3 m/s, 西南风风速为 4.6 m/s。把得到的潮流场和风场导入 GNOME 模型后, 建立起湄洲湾 GNOME 溢油模型。

1.4.2 溢油模型的参数设置 流场扩散不确定比例: 平行流向的比例为 30%, 垂直流向的比例为 10%; 油污扩散系数为 1×10^5 m²/s^[23]; 风场不确定量: 风速大小为 1 m/s, 角度为 10°; 附岸油膜半再漂浮期(refloat half life)取为 30 min, 表示 30 min 后粘附到岸上的油粒子的一半再次漂浮到水中^[24]; 溢油位置的设置: 溢油位置设在肖厝液体化工码头前沿和斗尾液体化工码头前沿(图1); 溢油类型: 本研究假设是石化原油船舶溢油, 选用中质原油, 溢油吨数为 100 t。

2 模拟结果与分析

2.1 模拟结果

由于湄洲湾为正规半日潮, 为了模拟涨落潮溢油扩散的最大范围, 本研究模拟了东北风和西南风风况下在高潮和低潮时刻分别在肖厝、斗尾液体化工码头前沿发生溢油事件, 共 8 种情况下第 6 小时的溢油扩散范围。扩散范围的最大面积和距离见表 1, 而不同条件下溢油第 6 小时附岸、漂浮和蒸发分解等不同状态的溢油量见表 2。溢油初始总量为 100 t, 根据质量守恒定律溢油总质量在扩散过程一直维持不变; 但由于 GNOME 模型挥发性算法比较简单, 而本研究油性质不变和溢油经历扩散时间相同, 则每种情况下的挥发溢油量相同, 均为 7.7 t; 则剩余附岸和漂浮 2 种状态溢

油量总和为 92.3 t,只是随着油膜附着到岸和再悬浮进入海中的过程的进行,2 种状态油膜量不断相

互变化. 简单描述如下:

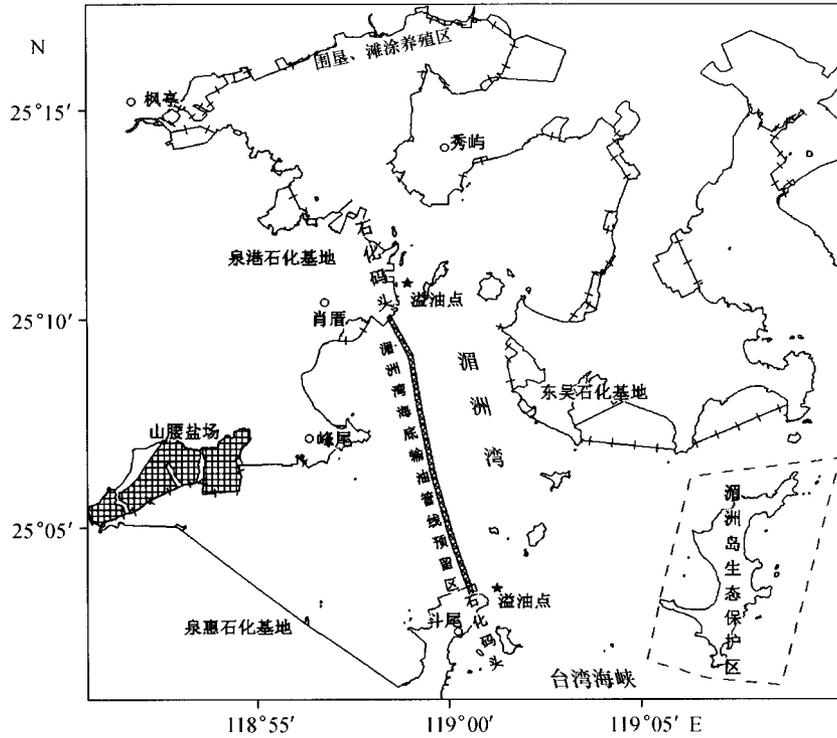


图 1 湄洲湾区位及石化基地、液体化工码头及其他主要敏感目标

Fig. 1 Geographic position of Meizhou Bay, China, and the petroleum bases, liquid chemical docks, and main sensitive objects

肖厝液体化工码头前沿溢油情况: 东北风低潮溢油时, 由于东北风与涨潮流向基本相反, 油膜很难飘向湾内, 大部分油膜被风吹到肖厝液体化工码头附近岸上, 达 85.9 t, 扩散范围很小约为 1.3 km², 影响距离最小约为 1.2 km, 局限在溢油点附近海域 (图 2a、表 1). 东北风高潮溢油时, 由于东北风与落潮流向基本相同, 故溢油往南漂移范围较大, 但由于地形的走向, 东北风会把很大一部分油膜吹到峰尾附近岸上, 达 43.9 t, 略小于漂浮的溢油量, 扩散范围较大约为 21.2 km², 会影响到峰尾以南海域 (图 2b、表 1). 西南风低潮溢油时, 由于西南风与涨潮流向基本相同, 与图 2a 相比, 溢油可以往湾内漂移较远到达湄洲湾湾顶海域, 但由于岸线影响西南风会把很大一部分油膜吹到秀屿附近岸上, 不过扩散范围仍较大, 约为 16.7 km² (图 2c、表 1). 西南风高潮溢油时, 由于西南风与落潮流向基本相反, 西南风的顶托作用使油膜不容易到达峰尾附近岸上, 油膜反而有向东吴漂移的趋势, 但由于距离东吴较远, 附在岸上油膜很少, 大部分仍漂浮在海中, 影响范围最大约为 23.0 km², 90% 置信区间最大约为 37.4 km², 溢油扩散距离也最大达 12.0 km (图 2d、表 1).

斗尾液体化工码头前沿溢油情况: 东北风低潮溢油时, 由于东北风有效风区较长, 对表面流影响较大, 使油膜在涨潮时基本沿着斗尾所在的东周半岛近岸向西南漂移, 大部分油粒子浮在岸上, 达 79.1 t, 扩散影响范围较小约为 8.2 km² (图 3a、表 1). 东北风高潮溢油时, 由于东北风与落潮流向基本相同, 溢油往西往南漂移, 但由于地形的走向, 东北风会把很大一部分油膜吹到斗尾以南的东周半岛沿岸上, 达 73.6 t, 扩散范围达 14.7 km² (图 3b、表 1). 西南风低潮溢油时, 这时西南风与涨潮流向基本相同, 油膜往东北部漂移较远, 接近肖厝, 整个溢油扩散范围呈东北西南走向, 扩散范围较大约为 24.3 km², 同时 90% 置信区间也很大达 54.9 km², 扩散距离最大约为 14.6 km; 而由于油膜漂移方向离岸较远, 故绝大部分油膜都漂浮在水上, 漂浮油膜量最大约为 92.0 t (图 3c、表 1). 西南风高潮溢油时, 在西南风与落潮流合力的作用下, 油膜先向湾外漂移, 然后有向湄洲岛东北漂移的趋势, 扩散范围最大约为 30.0 km², 90% 置信区间也最大约为 56.0 km², 绝大部分的油膜漂浮在水上, 漂浮油膜量约为 88.9 t (图 3d、表 1).

表 1 不同条件下溢油第 6 小时的扩散影响范围

Tab. 1 Predicted extent of oil spill scatter at 6 h after oil spill under different conditions

溢油条件	扩散范围/km ²	90% 扩散范围置信区间/km ²	最大扩散距离/km
东北风低潮肖厝溢油	1.3	2.0	1.2
东北风高潮肖厝溢油	21.2	25.3	10.8
西南风低潮肖厝溢油	16.7	25.2	10.0
西南风高潮肖厝溢油	23.0	37.4	12.0
东北风低潮斗尾溢油	8.2	15.5	8.2
东北风高潮斗尾溢油	14.7	20.1	8.3
西南风低潮斗尾溢油	24.3	54.9	14.6
西南风高潮斗尾溢油	30.0	56.0	13.5

表 2 不同条件下溢油第 6 小时不同状态的溢油量

Tab. 2 Predicted oil weight at 6 h after oil spill under different conditions

溢油条件	浮在海面的溢油质量/t	附着到岸上的溢油质量/t	挥发、降解的溢油质量/t
肖厝东北风低潮溢油	6.4	85.9	7.7
肖厝东北风高潮溢油	48.4	43.9	7.7
肖厝西南风低潮溢油	56.2	36.1	7.7
肖厝西南风高潮溢油	87.5	4.8	7.7
斗尾东北风低潮溢油	13.2	79.1	7.7
斗尾东北风高潮溢油	18.7	73.6	7.7
斗尾西南风低潮溢油	92.0	0.3	7.7
斗尾西南风高潮溢油	88.9	3.4	7.7

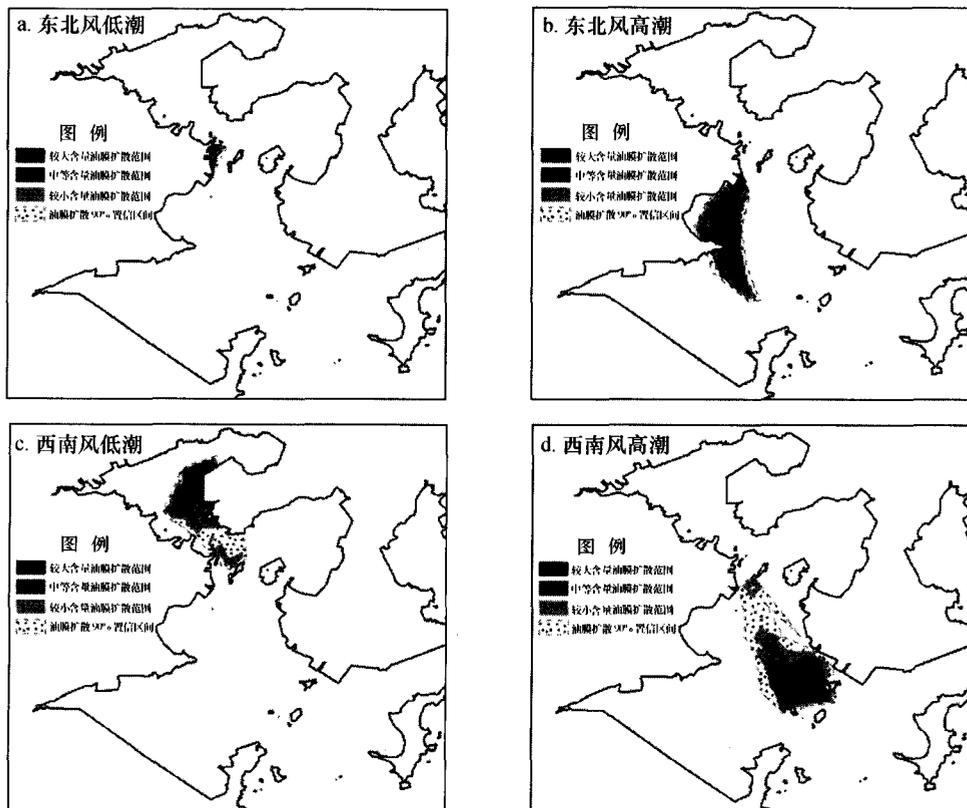


图 2 不同情况下肖厝海域溢油第 6 小时溢油油膜扩散范围分布

Fig. 2 Oil diffusion extent at 6 h after a Xiaocuo oil-spill under different conditions

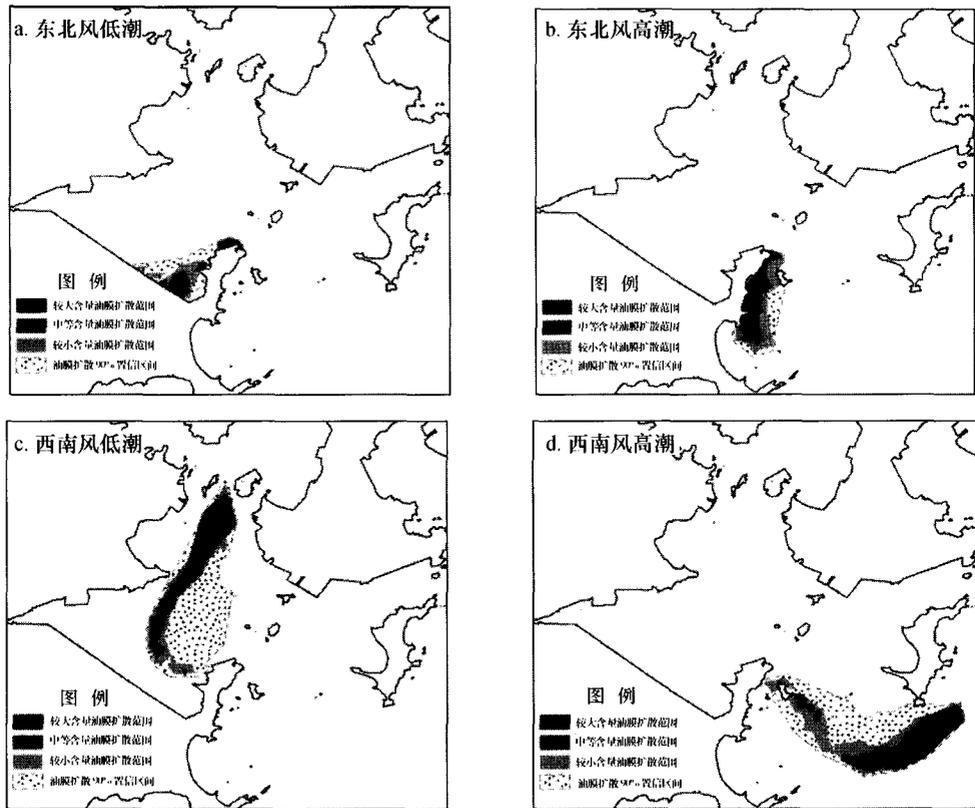


图 3 不同情况下斗尾海域溢油第 6 小时溢油油膜扩散范围分布

Fig. 3 Oil diffusion extent at 6 h after a Douwei oil-spill under different conditions.

另外,这里有必要对图 2 和图 3 中油膜扩散范围图简单说明,图中含量是利用 GNOME Analyst 软件根据泰森多边形分析法^[14,25]对油粒子扩散结果处理转化得到的,为相对含量.从油膜扩散范围图可以看出,中间含量最大,往外变小,图中虚线为油膜扩散的 90% 置信界限,范围最大,为可能的扩散范围.

2.2 结果分析

为了验证模拟结果,与汤军健等(2002)用拉格朗日法采用概率预测模式模拟的斗尾溢油扩散结果进行比较^[10].汤军健等模拟的东北风下发生溢油,涨潮过程油膜全部进入山腰湾南部海域,落潮过程油膜主要集中向斗尾所在的东周半岛南岸扩展,这与本研究模拟的东北风下低潮时刻和高潮时刻溢油扩散范围(图 3a、b)基本一致;而 GNOME 模型考虑了油膜附岸作用,大部分油粒子会附在岸上;但本研究模拟的落潮过程溢油往南扩散范围更大一些.汤军健等模拟的西南风发生溢油,认为油膜更易展开,溢油往东北可以扩散到接近峰尾和东吴海域;本研究模拟的扩散范围也类似于这种结果,而且往湾内和湾外扩散范围更大.只是由于模拟的方法和结果表现方法不一致,不便于完全比较,但是模拟溢油

扩散的总趋势还是基本一致的.

本研究与汤军健等的模拟结果不同的主要原因可能有:(1)GNOME 模型模拟了潮流和风况等的不确定性造成的溢油扩散,并估计分布 90% 置信区间,这可能会导致扩散范围较大;(2)GNOME 模型考虑了油膜的附着到岸和再悬浮作用,这可能与实际比较相符合;(3)GNOME 模型考虑了油的挥发性,本研究溢油类型选用中质原油;(4)一些参数设置不一致,如流场扩散不确定比例、油污扩散系数等.

从以上模拟结果可以看出,溢油模拟的扩散范围可能主要与以下 3 个因素关系比较密切:(1)岸边地形走向.如果岸线靠近油膜漂移的路线,就会有很多油膜浮在岸上,相应剩余漂浮在水中的溢油量较少,扩散范围和油膜浓度较小.(2)风况与流场作用关系.如果两者作用方向一致,油膜会漂移扩散较远;如果相反,会互相抵消一部分漂移能量,油膜漂移扩散较近.(3)有效风区长度越长的,风对油膜扩散范围影响也越大.

3 结论

(1) 通过建立潮流场并采用常风场输入 GNOME 模型构建了湄洲湾 GNOME 溢油预测模型,

较好地模拟了湄洲湾敏感海域溢油扩散范围,所模拟结果对制定溢油应急预案具有参考作用。

(2)在发生溢油事故后,如果能得到实际溢油情况、实时风况资料、潮流资料等实时边界条件,在输入本模型后,可以进行实际溢油扩散范围的预测,对实际溢油事故应急响应具有一定指导意义。

(3)模拟采用长期统计的风资料,所模拟结果可能仅代表长期的平均意义下的结果,实际预测应

根据实时风场的资料进行计算,或者通过建立风场模型提供风场边界。

(4)由于缺乏实际的溢油扩散资料,很难进行溢油结果的真正验证,这里只是简单与其他人模拟的结果进行比较。如果能搜集到溢油扩散的航拍资料和卫片资料,可对本模型的结果进行较好的验证,使预测的结果更可信,对溢油事故应急反应更具有指导意义。

参考文献:

- [1] 郭为军. 基于 POM 的溢油数值模拟研究[D]. 大连:大连理工大学,2007.
- [2] 姜超. 海底输油管线的溢油预报研究[D]. 大连:大连海事大学,2007.
- [3] 赵文谦,武周虎. 海面溢油预报中风过程的模拟[J]. 水利水运科学研究,1990(2):167-175.
- [4] 武周虎,赵文谦. 海面溢油扩展、离散和迁移的组合模拟[J]. 海洋环境科学,1992,11(3):33-40.
- [5] 娄安刚,奚盘根,黄祖珂,等. 海面溢油轨迹的分析与预报[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版,1994,24(4):79-84.
- [6] Zhang B,Zhang C Z,Ozer J. SURF—a simulation model for the behavior of oil slicks at sea. [C]//Ozer J. Oil pollution: environmental risk assessment (OPERA). Belgium:Springer,1991:61-85.
- [7] 殷佩海,任福安. 海上溢油应急响应专家系统[J]. 交通环保,1996,17(2):14-17.
- [8] 熊德琪,杜川,赵德祥,等. 大连海域溢油应急预报信息系统及其应用[J]. 交通环保,2002,23(3):5-7.
- [9] 俞济清,魏敏,黄立文,等. 中国舟山港溢油模拟信息系统研制[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2002,26(4):463-465.
- [10] 汤军健,温生辉,陈彬. 事故性溢油对湄洲湾环境影响的预测[J]. 台湾海峡,2002,21(3):332-33.
- [11] 陈志朋. 台湾中西部海域溢油模拟系统之研究[D]. 台中:逢甲大学,2004.
- [12] 陈家兴,杜娟,付金锋. 基于 GIS 的三峡库区溢油模型研究[J]. 中国水运,2010(9):96-99.
- [13] 陈筱华,张恒文. 桃园外海漏油扩散研究:海上污染防治及应急技术[C]. 北京:中国环境科学出版社,2009.
- [14] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). GNOME user's manual. [M]. Washington: NOAA, 2006.
- [15] Beegle-Krause C. J. General NOAA oil modeling environment (GNOME): a new spill trajectory model [R]. St. Louis: Mira Digital Publishing, 2001:865-871.
- [16] Hamrick J M, Wu T S. Computational design and optimization of the EFDC/HEM3D surface water hydrodynamic and eutrophication models[C]//Delich G, Wheeler M F. Next generation environmental models and computational methods. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics,1997:143-161.
- [17] Hamrick J M. A three dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects [R]. Williamsburg, Virginia: The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, 1992.
- [18] Hamrick J M. Users manual for the environmental fluid dynamic computer code [R]. Virginia: The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, 1996.
- [19] Jin K R, Hamrick J H, Todd T. Application of three dimensional hydrodynamic model for Lake Okeechobee [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(10):758-771.
- [20] Mellor G L, Yamada T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems[J]. Rev Geophys Space Phys, 1982, 20:851-875.
- [21] Galperin B, Kantha L H, Hassid S, et al. A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows[J]. J Atmos Sci, 1988, 45(1):55-62.
- [22] 福建省发展和改革委员会. 福建省湄洲湾石化基地发展规划(2006~2020)[R]. 福州:福建省人民政府,2007.
- [23] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). GNOME workbook of diagnostic mode [M]. Washington: NOAA, 2006.
- [24] Engie K, Klinger T. Modeling passive dispersal through a large estuarine system to evaluate marine reserve network connections [J]. Estuaries and Coasts, 2007, 30(2):201-213.
- [25] Galt J A, Payton D L, Norris H, et al. Digital distribution standard for NOAA trajectory analysis information, HAZMAT report 96-4[R]. Washington: NOAA, 1996.

Application of the NOAA oil-spill model, GNOME, to Meizhou Bay

ZHAO Dong-bo, JI Hou-de, YANG Shun-liang, REN Yue-sen
(Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361013, China)

Abstract: The current study simulated the spread of an oil spill in Meizhou Bay, China, using the GNOME computer program, an oil-spill trajectory model developed by the United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Tidal current field modeled by the environmental fluid dynamics code (EFDC) and the constant wind field established by the annual dominant wind (NE, 7.3 m/s) and the summer dominant wind (SW, 4.6 m/s) were used as parameters for GNOME to develop a Meizhou Bay oil-spill model. Some parameters used include: the current uncertainty rate (30% in the down-current direction and 10% in the cross-current direction); diffusion coefficient ($1 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$); the refloat half-life of the coast oil slick (30 min); and wind uncertainty (wind speed: 1 m/s, wind direction: 10°). The sea areas adjacent to the Xiaocuo Petrochemical Port and Douwei Petrochemical Port were selected as the two initial oil-spill locations and 100 tons of medium crude were set as the initial spill to model the oil-spill diffusion process under different wind conditions during flood tide/ebb tide. The model predicted that at 6 h of oil spreading, the evaporated and dispersed volume under different conditions was always 7.7 tons, and the beached and floating oil-spill volume was 92.3 tons in which the floating range was 6.4 ~ 92.0 tons, and the amount beached was 85.9 ~ 0.3 tons. The maximum scatter extent was approximately 1.3 ~ 30.0 km^2 with a 90% confidence of 2.0 ~ 56.0 km^2 , and the maximum scatter distance approximately 1.2 ~ 14.6 km. These predictions were highly similar to a previous study using a Lagrangian probability model of Meizhou Bay. Analytically, the spreading and transport of the oil-spill is possibly related to three main factors: (1) the coastline trend: if the coastline is near the oil spreading route, there will be more oil particles stuck to the shore and less oil will float over the sea leading to less range of scatter; (2) the relationship between wind and current: if both are in the same direction, oil spill will spread farther; (3) the wind fetch length: longer wind fetches the farther the oil spill will scatter. In summary, we successfully simulated oil-spill spreading for Meizhou Bay by setting up a GNOME model that will provide a useful reference for establishing protocols for oil-spill crisis response.

Key words: marine environmental science; GNOME oil-spill model; modeling; oil diffusion; Meizhou Bay
DOI: 10.3969/J. ISSN. 1000-8160. 2011. 03. 007

(责任编辑:王 静)