

文章编号: 1674 - 5566(2014)02 - 0238 - 07

## 长江河口内溢油轨迹的数值模拟研究

李曰嵩<sup>1,2,3</sup>, 潘灵芝<sup>4</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家海洋局东海预报中心, 上海 200081)

**摘要:** 构建了海洋与溢油模型相耦合的长江河口的溢油轨迹预报系统, 海洋模型能较好模拟该海域的表层流场; 溢油模型采用拉格朗日和随机游走的油粒子追踪法, 可快速预测油粒子的漂移扩散轨迹和扫海面积。研究表明, 大潮时溢油的油粒子的分布范围和扫海面积均比小潮时刻大, 在南支溢出的油粒子会漂移到南、北港和南、北槽, 对生态环境危害最大, 会影响陈行和青草沙两大水库取水口, 并对中华鲟和九段沙湿地保护区产生潜在的生态危害; 在北支溢出的油粒子主要分布在北支水道和两岸, 如果溢油点位于上段会倒灌进南支水道, 将会产生较大的生态危害; 在南港溢出的油粒子会漂移到南北槽, 不会对两大水库和中华鲟保护区产生危害, 但会对九段沙保护区造成潜在的危害; 在北港溢出的油粒子则会漂移到崇明岛外海, 且扩散范围很大, 只对中华鲟保护区造成危害。

**研究亮点:** 长江河口内水域水动力复杂, 开展三维溢油模拟的研究并不多。应用高分辨率三维海洋模型和先进溢油轨迹模型, 对长江河口内溢油多发地油粒子漂移轨迹进行模拟, 并对周围生态敏感区的潜在危险进行分析, 为长江河口内溢油污染事故的快速应急决策提供支持。

**关键词:** 溢油; 长江口; 生态环境; FVCOM; GNOME

**中图分类号:** X 55

**文献标志码:** A

长江在流经河口区域, 被崇明岛分为南支和北支, 被长兴岛分为南港和北港, 这些河口通道是长江三角洲地区、长江流域的重要运输通道, 也是上海国际航运中心建设和发展的重要基础, 其中南支和南港航道是长江黄金水道中通航条件最好、船只密度最大的区段, 随着上海航运吞吐量的加大, 该水域中船舶碰撞溢油和漏油概率会不断增大。北支和北港河床变化较为频繁, 水流条件复杂, 过往船只相对较少, 但由于航道狭窄、剧烈变迁的沙洲淤积使船舶搁浅的几率增大, 另外沿江众多工厂、码头、大桥的建设, 使该水域发生溢油污染事故的风险也大大增加。

长江河口内水域既有上海市重要的水源地

陈行和青草沙水库, 又有紧邻上海九段沙湿地国家级自然保护区、崇明东滩鸟类国家级自然保护区和中华鲟自然保护区等一些较大的生态敏感区, 一旦发生溢油事故, 必然会对上海市民生活和长江口海洋生态环境造成严重影响, 因此准确地预测该区域溢油轨迹将对市政供水、自然保护区等部门制定应急对策和快速反应十分有益。

对长江河口区域溢油轨迹进行数值模拟, 研究的水动力模型大都采用二维模式<sup>[1-3]</sup>, 或研究区域大多在河口外区域<sup>[4-5]</sup>, 但长江河口内海域地形复杂, 并受长江超大径流和潮汐影响, 水动力多变, 具有明显的三维特征<sup>[6-7]</sup>。因此, 本文选择长江河口段(包括南支、北支、南港、北港)作为

收稿日期: 2013-10-22 修回日期: 2013-12-16

**基金项目:** 上海市教育委员会科研创新项目(13YZ092); 上海市水务局海洋科研项目(2012-03); 上海市教育委员会重点学科建设项目(J50702); 上海海洋大学博士科研启动基金(A-2400-12-0000333); 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室开放基金(A-0209-13-0501-1)

**作者简介:** 李曰嵩(1976—), 男, 博士, 研究方向为海洋环境学。E-mail: liys@shou.edu.cn

**通信作者:** 潘灵芝, E-mail: panda4work@126.com

研究区域,基于三维海洋模型,利用溢油轨迹漂移模型,建立适于长江河口的精细溢油轨迹预测模型,并使用该模型对长江河段的典型多发溢油区域开展溢油事故数值实验,预测溢油漂移规律,探讨不同溢油时间和地点对长江口水源地及周围生态敏感区造成的潜在风险,为长江河口溢油污染事故的快速应急决策提供有效服务。

## 1 模型设置

### 1.1 海洋模型

本文使用 FVCOM (finite volume coast and ocean model, FVCOM) 模拟长江河口海域的三维水动力,该模型在理论和数值计算方面基本解决了浅海陆架、河口物理海洋和生态动力学模型中最令人头痛的复杂几何岸界拟合和计算有效性的难题。该模式最大特点和优点是结合了有限体积法易拟合边界、局部加密的优点和有限差分便于离散计算海洋原始方程组的优点。有限元体积采用三角网格,给出线性无关的基函数,求其待定系数,特点是三角网格易拟合边界、局部加密;而有限差分直接离散差分海洋原始方程组,特点是动力学基础明确、差分直观、计算高

效。FVCOM 兼有两者的优点,数值计算采用方程的积分形式和更好的计算格式,使动量、能量和质量具有更好的守恒性,用干湿判断法处理潮汐移动边界,应用改进的 Mellor 和 Yamada 的 2.5 阶 (MY-2.5) 以及 Smagorinsky 湍流闭合法用于垂直和水平混合模型,使模型在物理和数学上闭合,垂直采用  $\sigma$  变换来体现不规则的底部边界, FVCOM 使用了模分离的方法,外模和内模分裂以节省计算时间<sup>[8]</sup>,并在最新版本中包含了导堤丁坝模块<sup>[9]</sup>,该模型对长江河口区域的特殊性尤为适用。海洋模型的计算区域包括了长江口、杭州湾、舟山群岛及其邻近海域(图 1a),共有网格节点数 49 306 个,三角网格数 94 088 个,在河口区和复杂岛屿水平分辨率小于 200 m(图 1b),该模型在垂向上按  $s$  坐标方法分了 10 层,在深水超过 5 m 的水域,表底层各分出 2 层 0.5 m 的薄层,能够使表层流场更加准确反映与水深有关的如风、热等过程的影响。模型中包括了两条主要河流,长江径流量使用大通站 2008 年 7 月份统计流量的平均值,为  $37\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ,钱塘江径流设定为  $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  常量<sup>[10]</sup>。

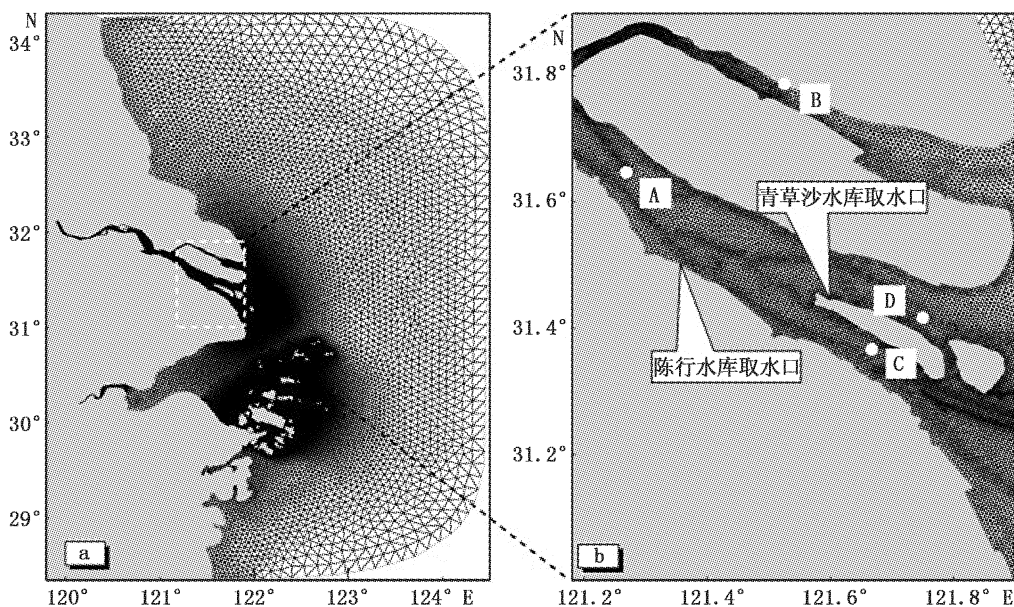


图 1 FVCOM 的计算区域和网格 (a) 以及长江口处放大图 (b)

Fig.1 Computational domain and mesh of FVCOM (a), and enlarged view of Yangtze River Estuary (b)

图 b 中 A、B、C、D 分别代表南支、北支、南港、北港潮流观测点和模型中假设溢油点。

本模式用 3 维、10 km 分辨率的月平均初始

温盐场,使用 8 个主要分潮 (S<sub>2</sub>、M<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>、

P1、O1、Q1)来预报开边界上的潮位。使用时空分辨率为6 h和0.25°的NCEP(National Centers for Environmental Prediction)来分析风场数据。地形数据来源于ETOPO1<sup>[11]</sup>,为了提高模拟的精度,长江口内地形来源于最新的大比例尺海图和调查实测数据<sup>[10]</sup>。模型使用1 s外模和10 s内模的时间步长,每小时输出3维流场、温盐场以及湍流扩散系数的物理场,通过转换为溢油模型提供所需的表层流场。

## 1.2 溢油模型

溢油事故发生后,油膜在潮流、径流、风等诸多因素的作用下扩散漂移<sup>[7]</sup>,溢油轨迹的预测就是根据溢油的理化特征,结合当时、当地的水文气象条件,对溢油的漂移做出快速有效的预测,可以使应急处置有的放矢,达到事半功倍的效果<sup>[4]</sup>。本文采用的溢油模型是美国国家海洋与大气局(NOAA)开发的GNOME(general NOAA oil modeling environment, GNOME)。该模型是采用油粒子方法,利用风场、流场、扩散系数来预测相互独立的油粒子的移动轨迹和扩散范围<sup>[10]</sup>。GNOME读取经过格式转化的风场、流场,采用拉格朗日方法模拟追踪在风和海流作用下油粒子的水平漂移运动过程。在设定的水平扩散系数下,采用随机游走的方法模拟由湍流引起的扩散过程<sup>[12-13]</sup>,最终预测油粒子的溢油轨迹和扩散范围。

## 1.3 溢油事故的设定

为了检验溢油轨迹预报模型的有效性和准确性,本文在长江河口中的南支、北支、南港、北港发生过溢油事故站点周围设定4个溢油点<sup>[7]</sup>和海流监测站点(图1b),假设4个站点同时发生溢油事故,详细溢油点地理位置见表1。溢油时刻分别在天文小潮和大潮两个时刻,即2008年7月13日08:00(小潮,落潮)和7月21日04:00(大潮,落潮)。为了预测溢油后最大潜在危害,选取无挥发性的原油油粒子,假设每个站点瞬时溢出1 000个油粒子。

本模拟设定GNOME中水平扩散系数为系统默认的 $1 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ <sup>[14-15]</sup>;因为流场模拟比较准确, $x$ 、 $y$ 方向上的速度分量的不确定比例都设为10%;风速的不确定大小为1 m/s,角度取 $10^\circ$ ,风对油粒子作用(wingage)率为1%~4%<sup>[5,7,16-17]</sup>;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<sup>[14]</sup>;为了保证油粒子漂移轨迹的准确性,模型的时间步长设为6 min,GNOME会根据输入物理场进行时间上的插分来驱动溢油模型,模拟预测未来48 h内的油粒子的漂移扩散轨迹和扫海范围。

表1 长江河口段的溢油事故地点

Tab.1 Oil spill accident site in Yangtze River Estuary

溢油点	位置	经度	纬度
A	南支	121°15.65'E	31°38.50'N
B	北支	121°30.90'E	31°47.14'N
C	南港	121°40.00'E	31°22.00'N
D	北港	121°45.00'E	31°25.00'N

## 2 结果与分析

### 2.1 海洋模型的验证

海流是直接驱动油粒子产生漂移运动的主要因素,因此海洋模型表层流场的正确性直接影响溢油模型轨迹推测的准确性。本文采用2008年7月,南支和南港中的站点A和C(图1b)现场观测数据与海洋模型模拟的表层流场进行对比验证,从图2和图3中小潮(图a,b)和大潮(图c,d)时刻的表层流速、流对比情况可看出,长江河口内是典型的沿着长江流向方向的往复流。由于长江河口区地形复杂,水动力多变,但模拟的流速和流向结果与实测数据比较吻合,说明海洋模型可以基本再现深水航道内的表层流场结构及涨落潮的变化过程,能够模拟长江河口及其邻近水域水动力特征和过程,可为溢油模型提供可靠的表层流场。由于篇幅限制,B、D站点的对比情况,本文就不赘述。

### 2.2 溢油漂移的分析

从图4中不同地点在不同时刻的漂移油粒子的轨迹可看出,因为所有的溢油点都在长江航道中,受长江影响很大,不管是大潮和小潮,虽然在潮汐的作用下有小幅的往复运动,但由于7月份长江巨大的径流量,使油粒子整体趋势是沿长江向下游运输,并且大潮时的分布普遍比小潮时的分布要广一些,说明潮汐对油粒子的漂移影响更大。在溢油24 h后,南支溢油站点A不管小潮或大潮,油粒子都快速地向下游漂移,在漂移到长兴岛前端浅滩附近,被分成两部分,分别进入

南港和北港,并有部分油粒子粘附在崇明岛南岸和上海北岸;北支 B 站点的溢油,由于北支水动力的限制,不管大潮和小潮,油粒子都被限制在狭窄的北支水道中,在长江径流和潮汐作用下,以溢油点为中心作长距离往复周期性运动,向长江口下游漂移速度很慢,并有大量油粒子粘附在北支两岸;南港中的溢油点 C,油粒子也分成了两

部分,一部分进入了北槽的深水航道,另一部分将要进入南槽航道中,大潮时刻分布范围比小潮时刻要广些,并且有油粒子粘附在长兴岛和横沙岛南岸,在两岛之间的狭窄水道中也有少量油粒子分布;北港溢油站点 D,油粒子快速漂移出北港航道,有向偏北的崇明东滩漂移的趋势。

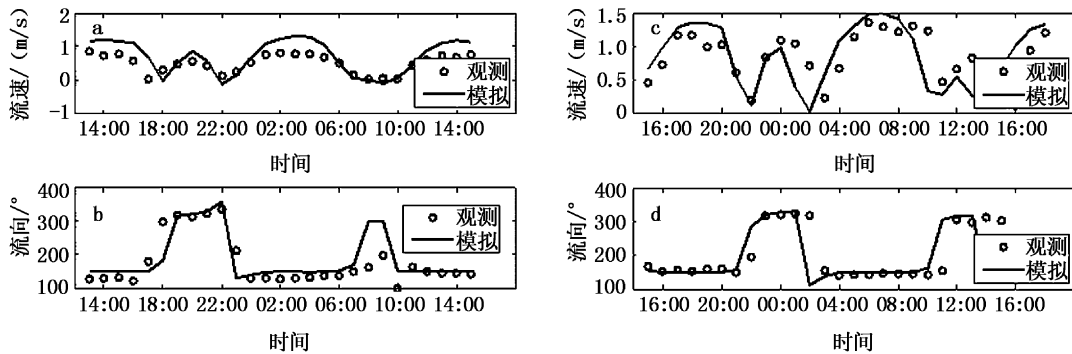


图 2 南支站点 A 表层流速、流向模拟和观测数据对比  
 Fig. 2 Model-data comparison for velocity and current direction at surface with observation data at station A in south branch

a、b. 12-13 日(小潮); c、d. 17-18 日(大潮)。

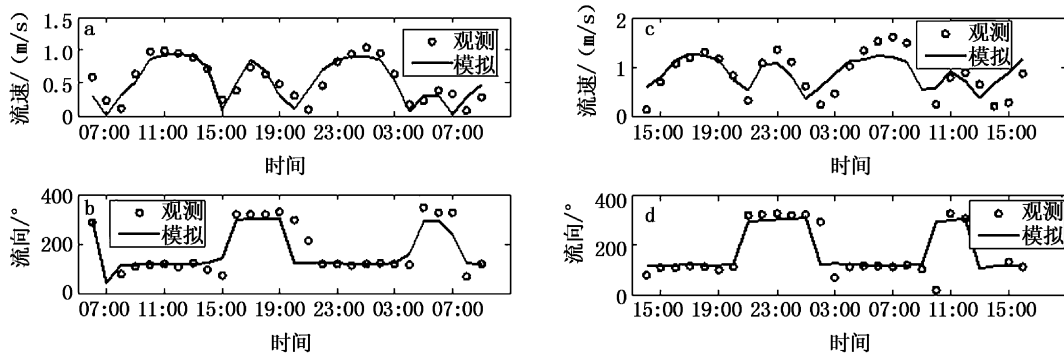


图 3 南港站点 C 表层流速、流向模拟和观测数据对比  
 Fig. 3 Model-data comparison for velocity and current direction at surface with observation data at station C in south channel

a、b. 11-12 日(小潮); c、d. 17-18 日(大潮)。

溢油 48 h 后,溢油点 A 的油粒子进一步向下游漂移,漂移进北港的油粒子最远已经到达崇明东滩的南部外缘,尤其是大潮时刻,部分油粒子向北部漂移已经进入了中华鲟保护核心区内部,进入南港的油粒子已经逐渐追赶上 C 站点溢油的油粒子,将要进入北槽的深水航道和南槽水域,小潮时粘附到崇明和长兴岛南岸的油粒子数量比大潮时增多;B 站点的溢油分布与 24 h 没有太大变化,还局限于北支的水道内,既没有油粒

子被长江径流带出北支向外海输运,也没有在潮流的作用下,逆流而上,倒灌进南支,但仍有大量的油粒子粘附在启东和崇明岛两岸;C 站点的溢油,由于导堤丁坝的限制和约束,大部分在北导堤丁坝附近高密度聚集,此刻南槽航道内的油粒子较少,大潮时刻油粒子漂移的较远,有的已经逐渐向外漂移出深水航道;D 站点的溢油,小潮时刻已经漂越过中华鲟保护区,向偏北的北支外海漂移,大潮则更向偏东的外海漂移。

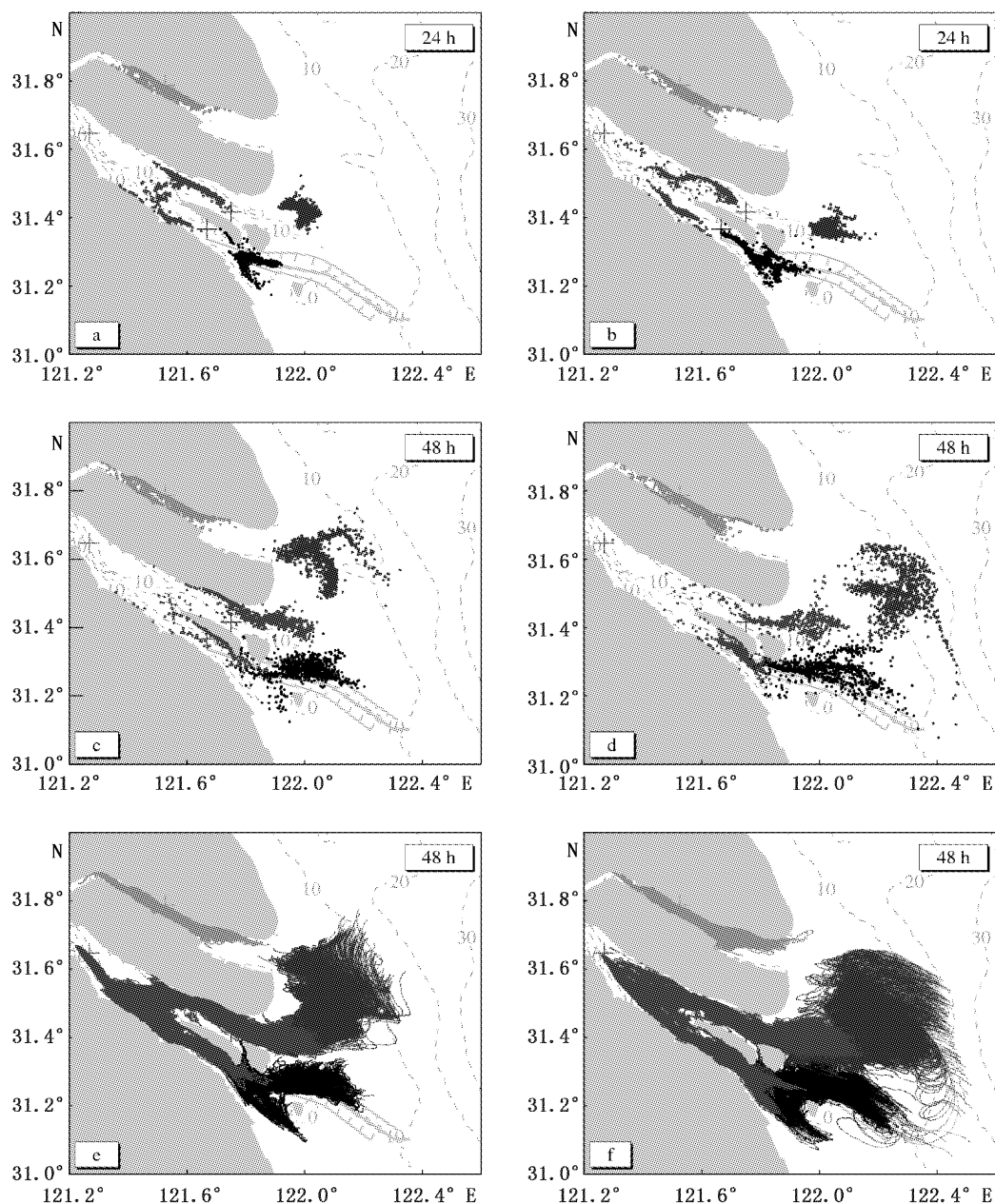


图 4 不同时刻油粒子分布和 48h 后油粒子扫海面积

Fig. 4 Trajectory of oil particles in different time and swept areas after 48 hours

a. 24 h(小潮); b. 24 h(大潮); c. 48 h(小潮); d. 48 h(大潮); e. 48 h 扫海面积(小潮); f. 48 h 扫海面积(大潮); “+”表示最初溢油点;红色、绿色、黑色和蓝色分别代表南支、北支、南港和北港溢油点溢出的油粒子的分布和扫海。

从油粒子漂移 48 h 后的扫海面积图上可看出,由于长江巨大的径流量,使各站点的下游油粒子有较大的扫海面积,各站点大潮时刻的扫海面积都比小潮时刻要大,南支溢油点 A 主要扫过溢油点的下游,几乎覆盖了整个南、北港的航道水域,并对陈行水库、青草沙水库的取水口造成污染,大潮时刻要比小潮时刻严重,从北港漂移出去的油粒子,会扫过崇明东滩和中华鲟生态保

护区,对该海域造成污染,另外随着时间的推移,从南港向外海飘移出去的油粒子会扫过九段沙生态保护区,同样是大潮时刻的溢油危害大于小潮时刻;溢油点 B 的污染范围主要集中在北支水道内,是唯一会对溢油点上游造成大范围污染的溢油点,高密度的油粒子粘附在启东南岸和崇明北岸,会给两岸造成较大的污染;南港 C 站点的溢油,油粒子主要扫过溢油点的下游和深水航道

所处的北槽和南槽,小潮时会对深水航道和南槽中上段产生较严重污染,而大潮时刻的油粒子扫海会扩大到整个深水航道;北港 D 站点的溢油是 4 个站点中扫海面积最大的,主要污染崇明岛外面的大面积海域,小潮时刻主要向北扩散,而大潮时刻,还有向南部北槽深水航道水域扩散的趋势。

由于溢油事故具有突发性,难以获得真实、完整的相应水域溢油扩散资料,本文中由于进行的溢油假设试验,更难对溢油预测轨迹结果进行验证。但本文对海洋模型模拟的流场进行了验证,CHENG 等<sup>[15]</sup>研究表明,如果流和风是准确的,那么 GNOME 将会预测出比较准确的油粒子漂移轨迹。另外本研究的主要目的是假设在该海域溢油,油粒子的漂移轨迹和分布范围,以及对该海域生态敏感区产生的生态危害。

溢油的时间对油粒子的漂移扩散有影响,但不同特征的潮流对溢油面积基本无影响<sup>[18]</sup>,本文设定的 4 个溢油点,在该区域的溢油事故中具有典型的代表性,下面分析在本文设定的时段溢油中,不同溢油点对该区域的环境和生态敏感区的风险分析。如果在南支中发生溢油,在 4 个站点溢油中对生态环境的危害是最大的,油粒子会污染溢油点下游的水域,包括南、北港和南、北槽,会对陈行水库取水口和青草沙取水口造成污染,另外,随着时间的推移,也会对崇明东滩和中华鲟保护区以及九段沙湿地保护区造成潜在的生态风险和危害;如果北支中下段附近发生溢油,油粒子主要会集中在北支水道内或部分漂移到北支航道向北部启东外海漂移,但如果在上段溢油,油粒子很可能会随潮水倒灌进南支,就像南支溢油一样,会造成较大的环境危害;如果溢油发生在南港水域,一般不会有大量油粒子漂移到溢油点的上游水域,就不会对成行水库和青草沙水库的取水口造成危害,同时也验证了 2012 年 5 月份发生在南港的沉船事故,不会对青草沙取水口造成影响,但会对长兴岛南岸造成污染的专家推测,另外也会对九段沙湿地自然保护区造成潜在的生态风险;如果在北港发生溢油事故,同样也不会对两大水库的取水口造成影响,但会对崇明岛外面的中华鲟保护区造成生态风险。

### 3 结论

构建了 FVCOM-GNOME 相耦合的长江河口

的溢油轨迹预报系统,FVCOM 能较好地模拟该海域流场,能为溢油模型提供准确的表层流场;溢油模型采用拉格朗日和随机游走的油粒子追踪法,可快速预测油粒子的漂移扩散轨迹和扫海面积。此系统的建立为开展该海域溢油实时预报提供技术基础,并对实际溢油事故开展应急响应和制定预案具有参考和指导意义。

长江河口溢油的油粒子漂移和扫海受长江径流和潮汐的共同影响,大潮时溢油的油粒子的分布范围和扫海面积比小潮时大,在南支溢出的油粒子会漂移到南、北港和南、北槽,在北支溢出的油粒子主要分布在北支水道和两岸,在南港溢出的油粒子会漂移到南北槽,在北港溢出的油粒子则会漂移到崇明岛外海,且扩散范围很大。

在南支溢油对生态环境危害最大,会影响陈行、青草沙两大水库取水口,并对中华鲟和九段沙湿地保护区产生潜在的生态危害,在北支溢油主要看溢油的地点,在南港溢油不会对两大水库和中华鲟保护区产生危害,但会对九段沙保护区造潜在的危害,在北港的溢油只对中华鲟保护区造成危害。

对华东师范大学河口所丁平兴教授课题组无偿提供的地形和流场观测数据以及葛建忠博士提供的具有导堤丁坝模块的长江口 FVCOM 模型表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 巫丽俊. 感潮江段事故溢油二维数值模拟[D]. 南京: 河海大学, 2006: 1-69.
- [2] 程聪. 黄浦江突发性溢油污染事故模拟模型研究与应用[D]. 上海: 东华大学, 2006: 1-128.
- [3] 姜卫星. 黄浦江溢油事故的数值模拟研究[D]. 上海: 同济大学, 2007: 1-105.
- [4] 潘冲, 王惠群, 管卫兵, 等. 长江口及邻近海域溢油实时预测研究[J]. 海洋学研究, 2011, 29(3): 176-186.
- [5] 潘灵芝, 李曰嵩, 杨红. 长江口及其邻近海域溢油轨迹预报系统的构建[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(5): 756-762.
- [6] 傅利辉, 朱建荣, 陈昞睿, 等. 崇启大桥建成后流场变化及溢油的数值模拟[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2008(4): 114-123.
- [7] 陈士谦. 黄浦江和长江河口溢油事故对水源地影响的三维数值模拟[D]. 上海: 华东师范大学, 2012: 1-120.
- [8] 陈长胜. 海洋生态系统动力学与模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 1-404.
- [9] GE J Z, CHEN C, QI J, et al. A dike-groyne algorithm in a terrain-following coordinate ocean model ( FVCOM ): <http://www.shhydxxb.com>

- Development, validation and application [J]. *Ocean Modelling*, 2012, 47: 26–40.
- [10] GE J Z. Multi-sale FVCOM model system for the East China Sea and Changjiang Estuary and its applications [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010:1–178.
- [11] EAKINS B E. ETOPOI[DB/OL]. [www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html).
- [12] BEEGLE-KRAUSE C J. General NOAA oil modeling environment (GNOME): a new spill trajectory model [C]. *International oil spill conference*, 2001:865–871.
- [13] 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.
- [14] 赵东波, 姬厚德, 杨顺良, 等. NOAA 的 GNOME 溢油模型在湄洲湾的应用[J]. *台湾海峡*, 2011, 30(3): 342–347.
- [15] CHENG Y, LI X, XU Q, et al. SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(2): 350–363.
- [16] 许婷. 厦门港刘五店航道海域溢油扩散数值模拟[J]. *海洋学研究*, 2011, 29(1): 90–95.
- [17] 黄毅峰, 许婷, 刘涛. 瓯江口航道海域溢油扩散数值模拟[J]. *水道港口*, 2011, 32(5): 373–380.
- [18] 桂青, 史云鹏, 陈江海. 长江口溢油事故对东风西沙水库取水的风险预测[J]. *人民长江*, 2012, 43(11): 78–81.

## Numerical simulation of oil spill trajectory in Yangtze River estuary

LI Yue-song<sup>1,2,3</sup>, PAN Ling-zhi<sup>4</sup>

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 4. *East China Sea Forecast Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200081, China*)

**Abstract:** In this paper, coupling ocean and oil spill model, an oil spill trajectory forecast model for Yangtze Estuary was developed. The ocean model can better simulate the sea surface current field. Oil spill model by using oil particles tracking method of random walk and Lagrange, can quickly predict the drift trajectory and swept area of oil particles. Result shows that oil particle distribution and swept areas in spring tide are greater than those in neap tide. Spilled oil particles in the south branch would drift to south and north channels and south and north passages. The greatest harms to ecological environment will affect water intake of Chenhang and Qingchaosha reservoirs, and has potential ecological harm to the Chinese sturgeon and Jiuduansha wetland reserve; Spilled oil particles in the north branch are mainly distributed in the north branch channel and both shores. If oil spill spot is in upper north branch, oil particles would flow backward into the south branch channel, will do great harm to ecology; spilled oil particles in south channel would drift to the north and south passage, and will not harm two reservoirs and Chinese sturgeon reserve, but will do potential harm to Jiuduansha reserves; Spilled oil particles in the north channel would drift to Chongming island out sea, and diffusion range is very large, only harming the Chinese sturgeon reserve.

**Key words:** oil spill; Yangtze River Estuary; ecology and environment; finite volume coast and ocean model; general NOAA oil modeling environment