

文章编号: 1674-5566(2009)03-0345-06

长江口海域船舶突发性溢油 对渔业生态风险的评价

杨红¹, 陈莎¹, 洪波²

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

2. 上海市水产研究所, 上海 200433)

摘要: 应用美国 EMI 公司的 SMS (surface water modeling system) 软件计算长江口海域四季的潮流场, 并应用溢油全动力轨迹模式、溢油扩展扩散模式和溢油蒸发溶解模式等来模拟四季在南槽航道发生 250 t 溢油事故后油团的漂移轨迹、扩展范围以及油团中心浓度分布变化。结合美国农药办公室 (OPP) 提出的生态风险的表征方法即商值法进行风险区划。最后得出结论: 发生溢油事故对鱼类春夏季出现不可接受的风险区域, 对虾类影响很大, 四季均出现大面积不可接受的风险区域, 对贝类大部分为可缓和的风险区域。夏季发生溢油事故油团将影响到湿地生态自然保护区、中华鲟保护区和江苏省的滩涂围垦区。夏季溢油危害最严重, 其次为春季, 春季溢油同样将影响到湿地生态自然保护区和中华鲟保护区。冬季发生溢油事故要注意控制油团影响范围, 秋季发生溢油事故影响较小。

关键词: 溢油; 风险评价; 长江口; 渔业生态

中图分类号: X 171 **文献标识码:** A

The assessment of fishery ecological risk caused by oil spilled in the estuary of Yangtze River

YANG Hong, CHEN Sha, HONG Bo

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2. Shanghai Institute of Fisheries, Shanghai 200433, China)

Abstract: This paper uses the software of SMS to calculate the tidal field of Changjiang estuary in every season. It applied dynamical drifting model, spreading model and dissolution model to simulate the excursion, trail, the spread scope and the distributing of the oil's concentration when 250 t oil spilled in Nancao sea route. And it also uses the ecological risk characterization brought forward by American Pesticide Office to compartmentalize the risk area. Finally it comes to a conclusion that the oil spilled in summer will affect the everglade zoology nature protection area, China sturgeon protection area and the beach inning area of Jiangsu province. So the oil spilled in summer is the most dangerous. Next is in spring, the oil spilled in spring also will affect the everglade zoology nature protection area, China sturgeon protection area. It is important to control the oil incidence in winter and the oil spilled in autumn is the least dangerous.

Key words: oil spill; risk evaluation; the estuary of Yangtze River; fishery ecology

收稿日期: 2008-05-26

基金项目: 上海市 908 专项 (PJ1-2); 上海市教委海洋环境工程重点学科专项 (50702)

作者简介: 杨红 (1962-), 女, 江苏无锡人, 教授, 主要从事环境海洋学研究。E-mail: hlyang@shou.edu.cn

海上溢油是造成海洋环境污染损害的主要因素之一。长江三角洲是我国经济发达地区,随着工业和地区经济发展,敷设海底油管,油轮频繁往来,特别是长江口深水航道整治工程的进行以及洋山深水港建设使得长江口海域存在船舶溢油的风险大大增加。长江口是多种经济鱼、虾、蟹类产卵和珍稀水生生物育成索饵场所、入海或溯河洄游的通道,同时也是东海的良好渔场和主要捕捞作业水域之一^[1]。因此研究溢油在长江口海域的飘移区域、扩散范围并评估其对渔业资源影响的风险,对保护渔业资源,维护水域生态环境具有重要的现实意义。本文以急性中毒水平研究海洋船舶突发性溢油对渔业资源的影响,利用实时后果评价技术,模拟船舶突发性溢油实时的油团迁移轨迹,并根据美国农药办公室(OPB)的商值法进行风险表征,从而对长江口海域进行风险等级划分,为有关部门制定海上溢油应急反应措施从而最大限度减少溢油事故造成的渔业资源损害提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 长江口潮流场的数值模拟方法

应用美国 EM 公司提供的 SMS (surface water modeling system) 软件中 ADCIRC (高级环流模式) 模拟研究海域的四季潮流场。ADCIRC 模式采用冷启动,时间步长取 12 s,运行 7 d 流场稳定后输出结果绘图。软件生成的网格由 908 个结点组成,共有 1 660 个三角形单元。三角形最大边长为 5.56 km,最小边长为 926 m。

1.2 长江口溢油模拟方法

模拟的长江口海域范围为 121.71°E~123°E, 30.9°N~32°N,如图 1。由于溢油事故多由船舶碰撞引起,船舶碰撞又通常发生在航道处,所以本文选取南槽航道上的点位 31°08'02"N, 121°57'48"E 为溢油点,油种设为南海原油。根据长江口潮流场的数值模拟计算结果,取各季余流场平均值,风况选择各季主导风向和平均风速。应用溢油全动力轨迹模式、溢油扩展扩散模式和溢油溶解模式等来模拟四季在南槽航道发生 250 溢油事故后油团的漂移轨迹、到岸时间以及油团中心浓度分布变化。

应用全动力轨迹模式模拟油团漂移轨迹^[3]。该模式考虑溢油在海流和风力共同作用下,油膜中心初始位置经一个时间步长 Δt 后漂移到了新的位置

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \int_0^{\Delta t} \vec{v}(x, y, z, t) dt$$
 式中 \vec{v} 为 t 时刻的油膜中心的漂移速度,它是空间和时间的函数。空间每个节点在每时刻的速度为: $\vec{V} = \vec{V}_c + \alpha \vec{\omega}$, \vec{V} 为油膜质心漂移速度 (m/s), \vec{V}_c 为潮流流速,在此取余流流速, $\vec{\omega}$ 为海面上 10 m 高度处的风速, α 为经验常数,通常取 0.02~0.05。

油团扩展、扩散模拟选取 Zhao 等^[4]提出的椭圆形扩延模式,该模式同时考虑了油膜扩展和扩散作用,得到油膜扩延范围的计算模式。以 s, n 分别表示油膜的主要扩展方向 (一般为油膜的漂移方向) 和与之垂直的次要扩散方向,则油膜在 s 方向的长轴尺度为: $D_s = k_1(d_s + d_t)$, 油膜在 n 方向的短轴尺度为: $D_n = k_2(d_n + d)$; 油膜等效圆的直径为: $D_{eq} = \sqrt{4A/\pi}$, A 为油膜面积; d_s ($d_s = \omega \sigma_s$)、 d_n ($d_n = \omega \sigma_n$) 分别为扩散引起的 s 方向和 n 方向的油膜尺度增加; σ_s, σ_n 为油膜在 s 方向和 n 方向的质量分布标准差。

根据杨庆宵等^[5]的海上现场实验结果表明,石油烃在海水中的水平浓度随时间为对数递增,而随水深的垂直分布呈指数递减规律,即: $n_z = n_0(1 - e^{-k_z z})$ 。式中 n_z 为油烃在 z 米水深处的浓度 (mg/L), n_0 为油烃的饱和溶解度 (mg/L), S 为油膜的扩展面积, k 为扩散系数, k_z 为垂直分布常数, ω

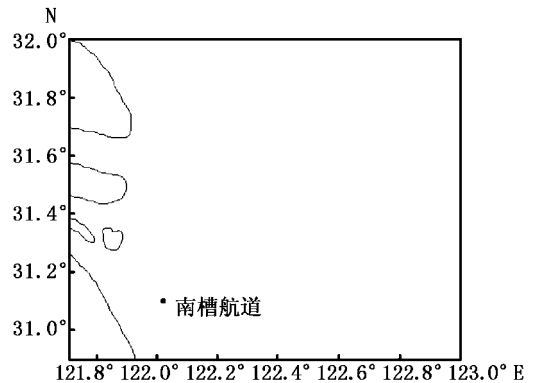


图 1 模拟的长江口海域范围和溢油点位置
Fig 1 The scope of the Changjiang estuary simulated and the location of oil spilled

时间 (h), z 为水深 (m)。本文应用该油烃浓度分布公式对油团在不同时刻不同水层的浓度进行模拟。

1.3 风险区划方法

本文重点是考察溢油对渔业资源的急性致死的影响, 利用美国农药规划办公室 (OPP) 提出的生态风险的表征方法即商值法^[9], 见表 1 所示。以急性致死的 96 h 半致死浓度 L_{50} 为依据, 阈值分别为 $1/10 L_{50}$ 和 $1/2 L_{50}$ 。根据由上述油烃浓度分布公式计算所得的各水层不同时刻的油烃浓度 (estimated environmental concentration, EEC) 与阈值相比较, 结合溢油漂移轨迹和扩展范围在油团经过的路径, 划分三个风险等级区域, 即无风险区域、可缓和的风险区域和不可接受的风险区域。

在生态系统中可能遭受危害的生物种类很多, 不同种类的受体对溢油化学物质 (PAH) 的反映也不一样。本文主要以鱼类、虾类和贝类为受体, 根据文献 [7] 取鱼类幼体 96 h- L_{50} 为 2.34 mg/L , 虾类幼体 96 h- L_{50} 为 0.72 mg/L , 贝类幼体 96 h- L_{50} 为 6.73 mg/L , 建立相应风险等级进行评估。

表 1 OPP 商值法风险表征原理
Tab 1 The Principle of acute risk assessment from OPP

$EEC < 1/10 L_{50}$	$1/10 L_{50} \leq EEC \leq 1/2 L_{50}$	$EEC \geq 1/2 L_{50}$
无风险	控制条件下可缓和风险 (可接受的风险)	不可接受的风险

2 风险评价结果和讨论

2.1 长江口潮流

应用 SMS 软件模拟得到, 长江口海域涨潮时流向为 $270^\circ \sim 320^\circ$, 落潮时流向 $90^\circ \sim 135^\circ$ 。该海域春季口门内平均流速为 $0.82 \sim 0.95 \text{ m/s}$; 口门外相对较小, 为 $0.63 \sim 0.85 \text{ m/s}$ 。夏季由于受强大长江径流的影响, 落潮时流速最高可达 1.15 m/s 。夏季处于研究海域的丰水期, 长江径流对该海域的影响最大达到 122.6°E 。秋季仍然可见径流对研究海域的影响, 涨潮时平均流速 $0.73 \sim 0.8 \text{ m/s}$; 落潮时口门内流速达到 0.9 m/s ; 径流影响区域达到 122.4°E 。冬季涨潮时全场平均流速为 0.84 m/s 。

根据 SMS 模拟的长江口海域四季受径流和潮流作用下的余流场方向为 $110^\circ \sim 135^\circ$ 。春季余流流速为 $15 \sim 25 \text{ cm/s}$; 夏季口门内流速最大达到 60 cm/s ; 秋季, 余流流速为 $10 \sim 35 \text{ cm/s}$; 冬季余流流速为 $15 \sim 28 \text{ cm/s}$ 。

2.2 油团漂移扩散

采用全动力轨迹模式基本公式, 代入上述 SMS 软件模拟的流场和现有风场数据计算出油团的漂移方向和漂移速度, 从而计算油团随时间的漂移距离, 见表 2 所示。此处风况选择各季主导风向和平均风速, 春季为东南风, 取 $8 \sim 10 \text{ m/s}$; 夏季为东南风, 取 $8 \sim 50 \text{ m/s}$; 秋季为东北风, 取 $8 \sim 30 \text{ m/s}$; 冬季为西北风, 取 $9 \sim 10 \text{ m/s}$ ^[8]。采用椭圆形扩延模式计算的扩展面积如表 3 所示。依据这些数据, 可以绘制出春、夏、秋、冬四季南槽航道发生 250 溢油后的溢油轨迹和扩展范围, 如图 2。

油团的漂流轨迹和风作用力的方向基本一致或成一锐角, 这说明风力在油团的漂移过程中起到了非常重要的作用。春夏两季, 由于受强大东南季风的作用, 南槽航道的油团沿西北方向朝陆地运动。春季的到岸时间为 27.2 h 。在夏季, 由于强大长江冲

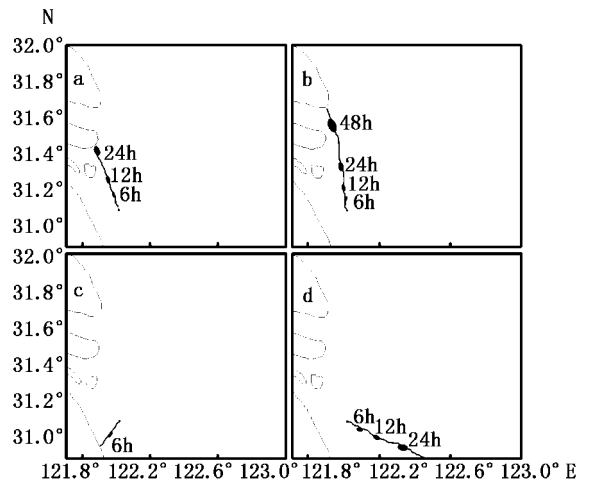


图 2 南槽航道溢油漂移和扩展轨迹
Fig 2 The excursion and expansion track of oil masses in Nancao sea route
a 春季, b 夏季, c 秋季, d 冬季

淡水的作用,油团的漂移方向和速度发生了明显的变化,漂移方向明显偏离崇明岛方向,到岸时间为 59.7 h,漂移路径夏季比春季要长,使得该油团在到岸之前扫海面积达到了 68.12 km^2 ,扩展面积到了 18.44 km^2 的范围。秋季,由于受东北风的作用,油团沿西南方向朝陆地运动,历时 11.7 h 到岸。冬季,该海域受强大西北风影响,向东南方向漂移,在 34.8 h 飘出模拟海域。

表 2 南槽航道 250 油团漂移随时间的变化
Tab 2 The excursion of 250 t oil mass with time changing from Nancao sea route km

季节	方向	速度 (m/s)	6 h	12 h	24 h	48 h
春	335.32°	0.43	9.33	18.66	37.31	到岸
夏	359.00°	0.30	6.48	12.96	25.92	51.84
秋	203.15°	0.58	12.57	到岸	到岸	到岸
冬	111.27°	0.50	10.74	21.47	42.94	出域

表 3 南槽航道 250 油团扩展面积随时间的变化
Tab 3 The expanding area of 250 t oil mass with time changing from Nancao sea route km^2

	6 h	12 h	24 h	48 h
春	1.63	4.02	11.05	到岸
夏	1.63	4.02	11.05	18.44
秋	1.63	到岸	到岸	到岸
冬	1.63	4.02	11.05	出域

2.3 溢油溶解

应用上述溢油溶解模拟方法,垂直分布常数 k 取 $1.077^{[5]}$,春季油烃饱和溶解度为 4.551 mg/L ,夏季油烃饱和溶解度为 5.600 mg/L ,秋季油烃饱和溶解度为 4.000 mg/L ,冬季油烃饱和溶解度为 3.500 mg/L ,可以算得油团在四季不同时间不同水层的浓度分布情况,如图 3。

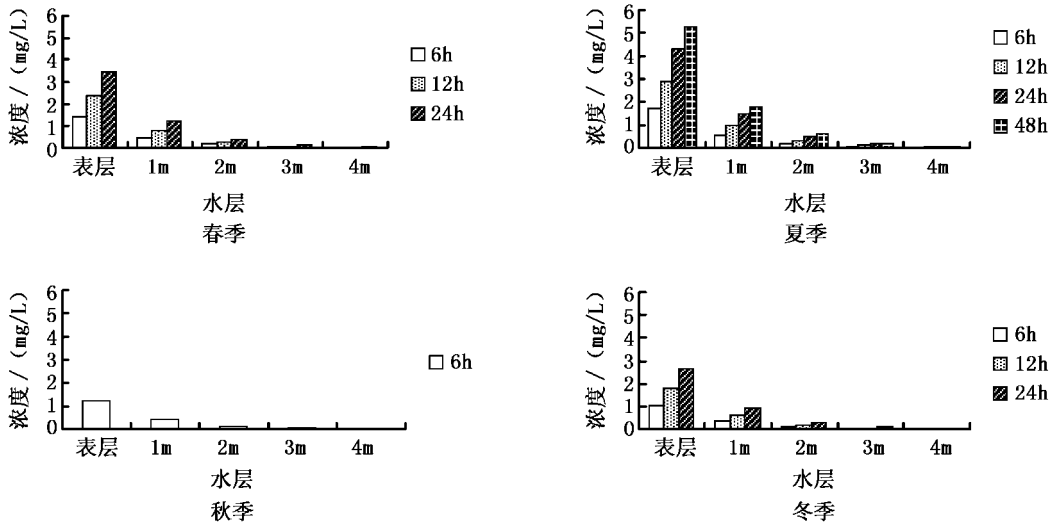


图 3 四季油团中心油烃浓度随时间变化

Fig 3 The PAH concentration with time changing in the central part of the oil mass

油团的中心油烃浓度随时间增加而增大,其原因是油团在水中不断溶解。同时水层越深,浓度越低。模拟计算结果可得,同等扩散时间下,夏季水中油烃浓度明显比其他三季大,因为夏季温度高,水中油烃溶解度大。对于浓度需要增加说明的是,模拟计算出的表层浓度远远超出了渔业水质标准中规定的石油烃的浓度 0.05 mg/L ,模拟计算出的四季表层油烃浓度超标倍数最高达 106 倍,出现在夏季 48 h 表层浓度。随着水层深度的增加,超标倍数渐小,至 4 m 水层大部分已不超标。对于长江口海域,由于养殖区甚多,所以在发生溢油 48 h 内,应把养殖网箱降至 4 m 水层以下,才能保证养殖渔业不受损害。

但对于中华鲟保护区、水产资源保护区等敏感环境区域将不可避免受到污染。

2 4 溢油风险评价

2 4 1 风险区划

根据建立的鱼类、虾类、贝类溢油影响的风险等级, 比较油烃浓度 1 m 层 EEC, 可以得出假设的溢油对鱼类、虾类和贝类出现各风险区域的临界时间。四季在南槽航道发生溢油后, 对鱼类、虾类和贝类幼体影响的风险区划见图 4。

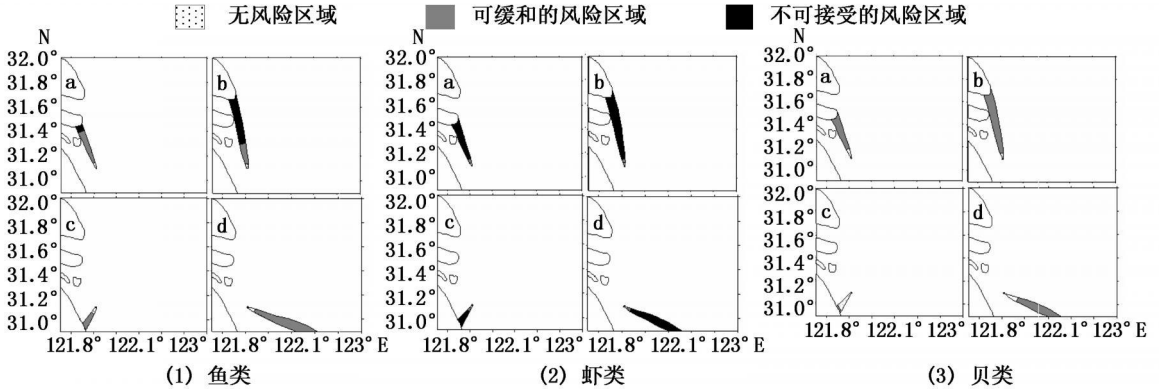


图 4 四季溢油对鱼类、虾类和贝类的风险区划

Fig 4 The acute risk classification for the juvenile species of fishes, shrimps and shells in case of crude oil from the South China Sea
a春季, b夏季, c秋季, d冬季

2 4 2 危险面积的计算

根据油团的扫海面积以及浓度阈值具体计算出的三个危险等级的面积, 见表 4。

表 4 南槽航道 250 t 溢油对不同渔业资源的风险面积

Tab 4 The risk area of 250 t crude oil in Nancao sea route to various fisheries km²

		无风险区域		可缓和的风险		不可接受的风险		总扫海面积
		面积	区域面积	区域面积	区域面积			
春	鱼类幼体	0.57	42.00	14.94		57.51		
	虾类幼体	0.05	1.46	56.00				
	贝类幼体	7.02	50.49					
夏	鱼类幼体	0.26	13.22	92.65		106.13		
	虾类幼体	0.02	0.64	105.47				
	贝类幼体	2.88	103.25					
秋	鱼类幼体	1.07	13.27			14.34		
	虾类幼体	0.09	2.64	11.61				
	贝类幼体	13.61	0.73					
冬	鱼类幼体	1.22	107.12			108.34		
	虾类幼体	0.11	3.11	105.12				
	贝类幼体	17.28	91.06					

2 4 3 风险分析

对于鱼类幼体, 春季在溢油刚发生时, 油烃在水中的溶解浓度还不足以超过鱼类幼体的 1/10 96 h-L50, 所以此时的扫海范围为无风险区域; 2.7 h 后油烃溶解浓度超过鱼类幼体的 1/10 96 h-L50, 开始出现可缓和风险区域; 23.4 h 后油烃溶解浓度超过鱼类幼体的 1/2 96 h-L50, 出现不可接受的风险区域。夏季温度较高, 油烃在水中溶解度高, 所以较早地出现危害风险区域, 可缓和风险区域和不可接受

风险区域面积的临界时间分别为 2.2 h 和 12.5 h。秋季油烃在 11.7 h 靠岸。冬季虽然油烃扫海面积大,但是由于油烃溶解度低,所以出现可缓和风险区域的时间较晚,为 3.7 h,且油烃在 34.8 h 之后便飘出了本文所研究的区域。总体而言,对于鱼类幼体,夏季会出现大面积的不可接受的风险区域,占扫海面积的 87.3%,春季有部分不可接受的风险区域,占扫海面积的 26%,其余大部分为可缓和的风险区域。

虾类幼体对油烃非常敏感,油烃扫海路径所经之处绝大部分为不可接受的风险区域。春夏秋冬出现不可接受的风险区域的临界时间分别为 4.4 h、3.5 h、5.1 h、6 h。溢油之后很快出现不可接受的风险区域,所以发生溢油事件对虾类幼体极为不利,应引起极大重视。

贝类幼体对油烃较为不敏感,其对油烃的 96 h-L50 较高,所以模拟结果未出现不可接受的风险区域,大部分为可缓和的风险区域,春夏秋冬四季出现可缓和的风险区域的临界时间分别为 9.5 h、7.3 h、11.4 h、3.9 h。可缓和的风险区域分别占总扫海面积的 87.8%、97.3%、0.05%、84.1%。

仅从对渔业资源的影响考虑划分风险区划是不够的,还必须结合长江口环境敏感区分析风险水平。春季在风和流的共同作用下,油团朝着崇明岛方向漂移,24 h 靠岸,威胁崇明岛沿岸水域的湿地生态自然保护区和中华鲟保护区,所以春季发生溢油事故应当引起极大的重视,迅速采取应急措施。夏季在强大长江冲淡水作用下,油团偏离崇明岛并穿过九段沙湿地生态自然保护区和中华鲟保护区朝江苏省沿岸漂移,同样属于高风险。而且夏季漂移路径比春季长,使得该油团在到岸之前扫海面积较春季大,受污染水体面积大。值得注意的是夏季正值中华鲟洄游至长江口崇明一带时期,所以在夏季发生溢油事故要引起特别重视。秋季在南槽航道发生溢油事故后油团朝上海沿岸方向漂移,由于航道距上海岸线近,所以油团约 6 h 后即到达岸边,污染水体面积较小,沿岸主要为滩涂围垦区,也不容忽视。冬季油团朝着外海运动,要注意控制油团的扩散,尽量避免污染到水体附近的育肥场。

夏季发生溢油事故油团扫海面积大,对鱼类和虾类出现大面积不可接受风险区域,且夏季溢油油团将影响到湿地生态自然保护区、中华鲟保护区和江苏省的滩涂围垦区,所以夏季溢油影响最大。其次为春季,春季溢油对虾类出现大面积不可接受的风险区域,对鱼类出现部分不可接受的风险区域,同样春季溢油将影响到湿地生态自然保护区和中华鲟保护区。冬季发生溢油事故要注意控制油团影响范围,秋季发生溢油事故影响较小,但对虾类幼体的影响同样要警惕。

3 结 论

本文模拟长江口四季南槽航道发生 250 南海原油溢油后油团的环境影响特征。其中,夏季发生溢油对生态环境和渔业资源影响最为不利,对鱼类和虾类出现大面积不可接受风险区域应该提高警惕,呼吁有关部门采取严厉的措施控制和防范夏季的突发性溢油事故。

参考文献:

- [1] 陈渊泉. 长江口河口锋区及邻近水域渔业[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 91-102
- [2] 鲁海燕. SMS模型在杭州湾潮流模拟中的应用[J]. 浙江水利科技, 2003, (3): 4-6
- [3] 龙绍桥. 海上溢油行为与归宿数值模拟及其对环境的影响研究[D]. 中国海洋大学, 2006: 21-22
- [4] Zhao W, Qiu W, Zhang H. A model of spreading, dispersion and advection caused by an oil slick on the unstable sea surface [R]. Japan. Proc of 6th APD-IAHR Congress, 1988.
- [5] 杨庆雷,徐俊英,李文森. 海上溢油溶解过程的研究[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(3): 24-28
- [6] 胡二邦. 环境风险评价实用技术和方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 305-306
- [7] 倪朝辉,翟良安. 石油对鱼类等水生生物的毒性[J]. 淡水渔业, 1997, 27(6): 38-40
- [8] 全国海岸带办公室《中国海岸带气候调查报告》编写组. 中国海岸带气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991.