

# 渤海湾海面溢油数值计算

孙长青 赵可胜 郭耀同

(中国海洋大学环境科学与工程学院 青岛 266003)

**提要** 采用不规则三角形网格的分布杂交法,建立渤海湾潮流数值模型,在此基础上建立溢油飘移模型,计算在不同风场和潮流场的共同作用下,溢油飘移的输移轨迹、可能抵岸的时间、地点及残留量等。

**关键词** 渤海湾,海面溢油,输移轨迹,数值计算

中图分类号 P731.2, P752 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)11-0063-05

海面溢油的行为和归宿受油品特性和多种环境因素的支配,经历着飘移、扩展、蒸发、分散、乳化、溶解、光氧化、生物降解及其相互作用等诸多复杂过程。

溢油的飘移是指其在风、表层和次表层流作用下的平移运动,实质上是溢油在风的切应力、表层及次表层流合成的环境动力作用下的拉格朗日飘移过程。

溢油的扩展过程决定着油在海表面的影响范围,油在静水中的扩展过程主要受重力、惯性阻力和粘性作用,在不同的扩展阶段驱动油膜扩展的作用力也不同。

溢油蒸发是溢油风化的主要过程,是溢油初期降解最重要和最快的过程。其蒸发量受溢油面积、油蒸汽压和质量转换系数等影响。环境条件(风速、温度等)是蒸发过程的控制因素。分散、乳化、沉降及生物降解等过程,由于存在各种控制条件和多种渠道的降解过程,目前尚无可用于计算的成熟的研究成果,因此,在本计算中没有涉及。

## 1 溢油飘移的计算

本文采用不规则三角形网格的分布杂交法<sup>[1]</sup>,首先建立渤海湾潮流数值模型<sup>[2]</sup>,在此基础上进行溢油飘移模型的计算,计算海域及网格见图1。

### 1.1 溢油飘移模型<sup>[3]</sup>

$$\text{油膜质心的运动速度 } \vec{V} = \vec{V}_c + a\vec{W} \quad (1)$$

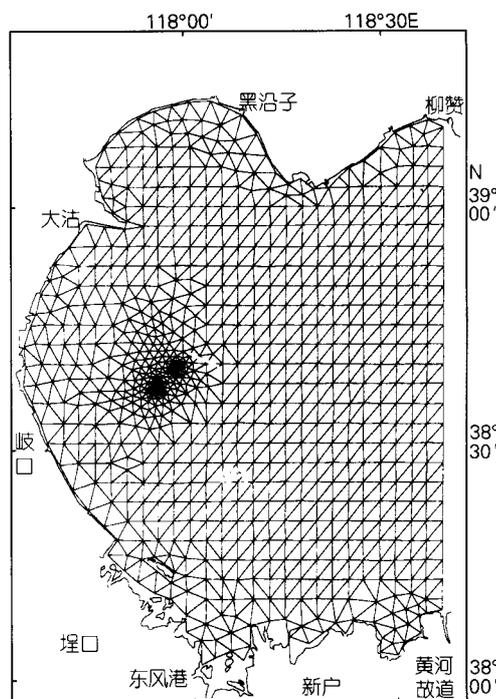


图1 计算域与网格图

Fig.1 Computed area and compute grids

第一作者:孙长青,出生于1957年,高级工程师,主要从事海洋环境及海洋环境影响评价等领域的研究工作。电话:0532-2032983, E-mail: sunty@ouc.edu.cn

收稿日期:2003-05-12;修回日期:2003-07-09

式中:  $\vec{V}$  为油膜质心运动速度;  $\vec{V}_C$  为潮流流速;  $\vec{W}$  为海面上方 10 m 处风速;  $a$  为风因子, 一般取为 0.01 ~ 0.05。

$$\text{油膜质心位置: } \vec{S} = \vec{S}_0 + \int_{t_0}^{t_0+T} \vec{V} dt \quad (2)$$

式中:  $\vec{S}_0$  为溢油初始位置;  $t_0$  为初始溢油时间;  $\vec{S}$  为溢油后  $\Delta t$  时刻的油膜质心位置。

静止点源连续溢油的体积:

$$\text{溢油阶段} (t \leq t_j), V(t) = \sum_{j=1}^n Q \Delta t [1 - K(t - j \Delta t)] \quad (3)$$

$$\text{停止溢油后} (t > t_j), V(t) = V_j [1 - K(t - t_j)] \quad (4)$$

式中:  $Q$  为油的流量;  $t_j$  为溢油持续时间;  $K$  为油体积衰减系数;  $j$  为计算时间步长数;  $\Delta t$  为时间步长;  $V_j$  为  $t = t_j$  时的油体积。

溢油的扩展: 油膜除随风和潮流共同作用而飘移外, 油膜还在溢油后不同阶段受重力、惯性力、粘性力和表面张力的不同作用而扩展, 油膜将扩展成椭圆状, 椭圆的长轴在潮流和风海流的合成方向上。其短轴  $dn$  和长轴  $ds$  分别为:

$$dn = C_1 \nabla^{-1/3} V^{1/3} t^{1/4} \quad (5)$$

$$ds = C_1 (\nabla V)^{1/3} t^{1/4} + C_2 W^{4/3} t^{3/4} \quad (6)$$

式中:  $\nabla$  为  $(\rho_w - \rho) / \rho$ ;  $\rho$  和  $\rho_w$  为油和海水的密度;  $W$  为海面风速;  $t$  为溢油经历时间;  $C_1, C_2$  为经验常数, 一般取  $C_1 = 1.7, C_2 = 0.03$ 。

$$\text{溢油的蒸发: } G = at^b \quad (7)$$

式中系数  $a = A_0 + A_1 T + A_2 W + A_3 H$  和  $b = B_0 + B_1 W + B_2 H$ , 说明系数  $a, b$  与油种、风速  $W$  (m/s)、油膜厚度  $H$  (cm) 有关,  $a$  还与温度  $T$  (°C) 有关;  $G$  为蒸发速率。  $a, b$  均为经验系数, 由实验得出, 其中:  $A_0 = 0.001, A_1 = 0.005, A_2 = 0.015, A_3 = 0.012, B_0 = 0.893, B_1 = 0.007, B_2 = -0.006$ 。

据此可以计算不同时刻于不同地点发生溢油时, 油膜在潮流与不同风速和风向作用下的输移轨迹、可能抵岸的地点、时间及残留量等。

### 1.2 溢油计算参数选取

溢油位置:  $38^{\circ}36'56.6''N, 117^{\circ}54'48''E$ , 见图 2 中“+”。

溢油方式: 连续点源排放, 即井喷模式, 持续时间 7.5h。

溢油量: 假定溢油量为 500 t, 即 66.67 t/h。

溢油时刻: 涨潮中间时。

海面温度: 年平均温度 12.55 °C。

风场选取: 表 1 给出 8 方位多年平均风速及最大风速。

表 1 平均风速及最大风速

Tab.1 Average wind and biggest wind

风向	平均风速	最大风速
	(m/s)	(m/s)
N	7.6	21.7
NE	7.3	22.9
E	6.9	26.1
SE	5.6	17.1
S	5.7	15.5
SW	6.6	15.5
W	5.7	13.8
NW	8.2	23.5

## 2 计算结果

### 2.1 飘移路径及平均速率

图 2、图 3 分别为 8 方位风场平均风和最大风与潮流场耦合条件下, 溢油飘移路径示意图。溢油飘移路径取决于风场和潮流场耦合后的合成流场, 漂移方向与合成流方向相同。漂移速度为合成流的速度, 表 2 给出 8 方位平均风和最大风条件下溢油飘移的平均速率。

表 2 溢油飘移平均速率

Tab.2 Average excursion speed of the oil spilled

风向	平均速率 (km/h)	
	平均风时	最大风时
N	1.22	2.71
NE	1.02	2.51
E	0.96	2.78
SE	0.94	1.97
S	1.01	1.86
SW	1.26	2.06
W	1.31	1.67
NW	1.33	2.67

### 2.2 油膜扫海面积及残油量

表 3 表示 8 方位风场下, 平均风、最大风分别与潮流场耦合条件下, 油膜飘移时的扫海面积及残油量随时间的变化。当溢油抵岸或流出计算域时, 计算中止。

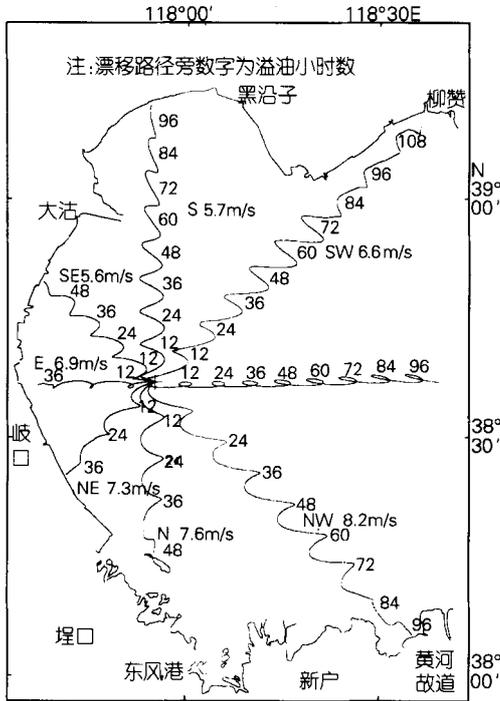


图 2 溢油漂移路径及影响范围

Fig.2 Oil spill trajectory and affected area  
平均风,风向为 N,NE,E,SE,S,S,W,W,NW  
Average wind, N,NE,E,SE,S,S,W,W,NW

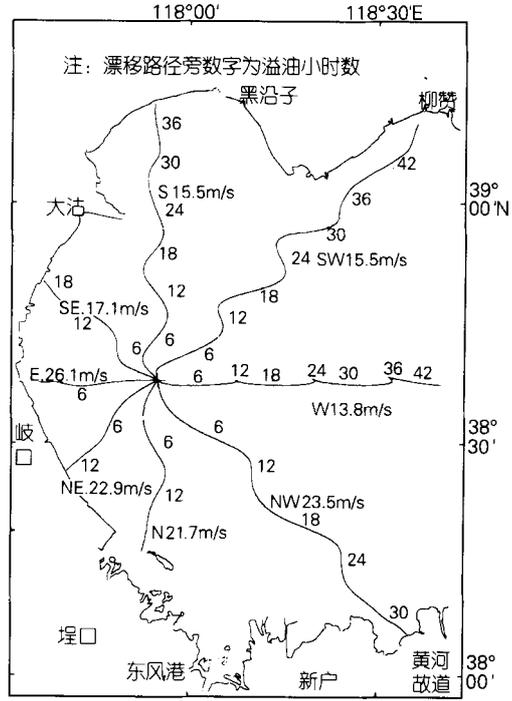


图 3 溢油漂移路径及影响范围

Fig.3 Oil spill trajectory and affected area  
最大风,风向为 N,NE,E,SE,S,S,W,W,NW  
Biggest wind, N,NE,E,SE,S,S,W,W,NW

表 3 油膜扫海面积及残油量(北风)

Tab.3 Spreaded area of oil film and residual oil amount (north wind)

风向	平均风速时			最大风速时		
	时间 (h)	油膜扫海 面积(km <sup>2</sup> )	残油量 (t)	时间 (h)	油膜扫海 面积(km <sup>2</sup> )	残油量 (t)
N	4	0.6	265.8	4	1.2	264.7
	8	1.3	496.7	8	3.0	491.5
	20	3.5	485.2	16	7.3	471.4
	40	8.2	457.0			
	48	9.6	443.3			
NE	4	0.7	265.7	4	1.4	264.6
	8	1.1	496.1	8	3.1	491.2
	20	3.2	482.2	12	5.0	481.6
	36	6.5	455.9			
E	4	0.7	265.7	4	1.5	264.4
	8	0.9	496.2	8	3.4	490.3
	20	2.9	482.9	10	4.5	485.2
	36	6.0	457.7			

表 3(续)

风向	平均风速时			最大风速时		
	时间 (h)	油膜扫海 面积(km <sup>2</sup> )	残油量 (t)	时间 (h)	油膜扫海 面积(km <sup>2</sup> )	残油量 (t)
SE	4	0.5	265.8	4	1.0	264.9
	8	0.7	496.7	8	2.1	492.9
	20	2.2	485.4	18	6.3	471.2
	40	5.9	457.8			
	58	8.8	425.8			
S	4	0.4	265.8	4	0.7	265.1
	8	0.7	496.7	8	1.9	493.3
	20	2.3	485.2	20	6.2	468.4
	40	5.8	457.2	38	14.3	414.2
	100	19.7	325.8			
	102	20.3	319.6			
S W	4	0.2	265.7	4	0.5	265.1
	8	1.1	496.3	8	2.2	493.3
	20	2.9	483.5	20	6.5	468.4
	40	6.0	452.1	40	15.3	407.2
	100	22.0	304.7	46	18.9	385.1
	118	29.5	235.3			
W	4	0.2	265.8	4	0.3	265.2
	8	1.1	496.7	8	2.1	493.9
	20	2.8	485.2	20	6.1	471.1
	40	4.9	457.2	40	12.6	415.2
	100	18.0	325.8	42	14.1	408.6
	102	19.6	319.6			
N W	4	0.4	265.6	4	1.0	264.5
	8	1.5	495.8	8	3.4	491.0
	20	3.9	480.5	20	10.1	456.4
	40	7.7	443.3	32	17.1	409.0
	80	19.2	337.9			
	96	24.4	284.4			

### 3 结语

3.1 海面溢油发生后,溢油的漂移路径取决于风场和潮流场耦合后的合成流场,漂移方向与合成流方向相同。

3.2 8 方位溢油飘移的平均速率,平均风速条件下最大值为西北风时的 1.33 km/h,最大风速条件下最大值为东风时的 2.78 km/h。

3.3 由表 3 可看出,当溢油抵岸或流出计算域时,平均风条件下有 235(西南风)~457 t(东风)的残油。最大风条件下有 385(西南风)~485 t(东风)的残油,将对岸边造成一定影响。

3.4 平均风条件下溢油蒸发慢,抵岸时间长,扫海面积大,影响岸段相对较长。最大风条件下溢油蒸发快,合成流速大,抵岸时间短,扫海面积小,对岸段的影响范围相对较短,但残油量大,对岸边的影响程度随之增加。

3.5 流出计算域的残油将会沿着风和潮流的合成方向继续飘移,经历扩展、蒸发、分散、乳化等过程。

3.6 平均风速条件下溢油抵岸或流出计算域的最长时间为西南风情况,时间为 118 h,最短时间为东北风情况,时间为 36 h。最大风速条件下溢油抵岸或流出计算域的最长时间为西南风情况,时间

## 研究报告 *REPORTS*

为 46 h,最短时间为东风情况,时间为 10 h。

### 参考文献

1 吴江航.计算流体力学的理论、方法及应用.北京:科学

出版社,1988.

2 王学昌,娄安刚,孟伟,等.大鹏湾潮流数值计算.海洋科学,2001,25(12):37-40

3 娄安刚,王学昌,孙长青,等.胶州湾海面溢油轨迹的数值计算.黄渤海海洋,2001,19(1):1-7

# DIGITAL MODELING FOR OIL - SPILL IN BOHAI BAY

SUN Chang - Qing ZHAO Ke - Sheng GUO Yao - Tong

( The College of Environment Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao,266003)

**Received:** May,12,2003

**Key Words:**Bohai Bay, Oil spill on sea surface, Drifting trajectory, Numerical computation

## Abstract

Using split steps finite element method, a numerical model of tidal current in Bohai Bay was constructed. Then, taking into account the variables of sea wind and tide fields, a numerical model of an oil - spill trajectory on the sea - surface, including the expected destination of the spill, the expected time needed for the spill to reach the coast, and the oil remaining in Bohai Bay was constructed.

(本文编辑:刘珊珊)