

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^[1],首先建立渤海湾潮流数值模型^[2],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^[3]

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

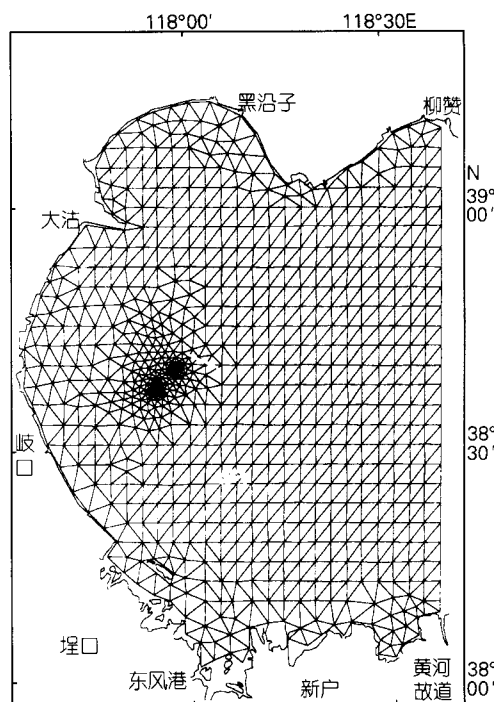


图1 计算域与网格图

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 Δt 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; Δt 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: ∇ 为 $(\rho_w - \rho) / \rho$; ρ 和 ρ_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。

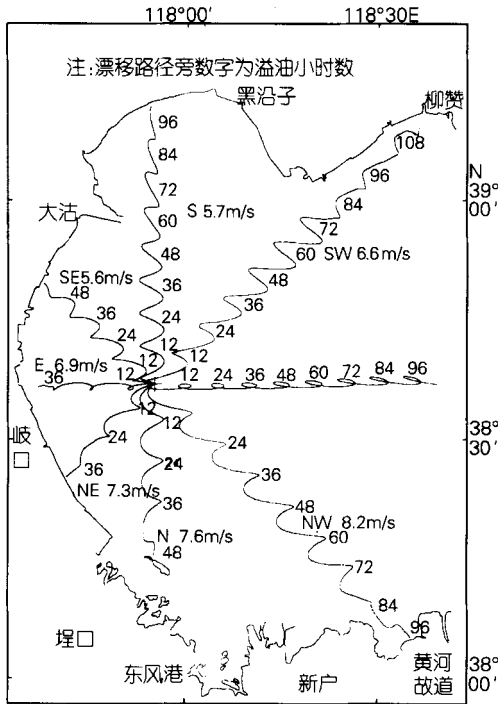


图2 溢油漂移路径及影响范围

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

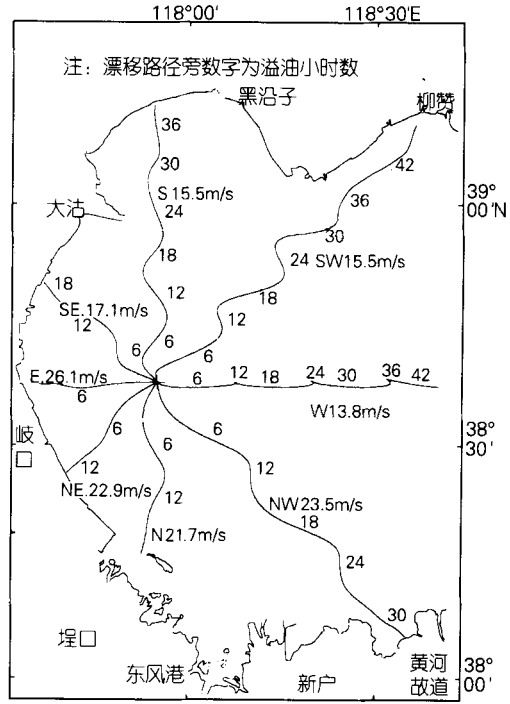


图3 溢油漂移路径及影响范围

Fig.3 Oil spill trajectory and affected area
最大风,风向为 N,NE,E,SE,S,SW,W,NW
Biggest wind, N,NE,E,SE,S,SW,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 ²)	残油量 (t)	时间 (h)	油膜扫海 面积(km ²)	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 ²)	残油量 (t)	时间 (h)	油膜扫海 面积(km ²)	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			
SW	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			
NW	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)