

# 排污和溢油对杭州湾水质的影响

汪思明

成安生

(华东师范大学, 上海 200062)

(上海计算技术研究所, 200040)

**摘要** 应用非线性移动边界有限元法的水动力和水扩散数值模型,研究了杭州湾流场的时空变化;计算了上海金山炼油厂水域污水排海对杭州湾水质影响的范围和强度;研究了不同气象条件下,溢油事故可能造成的污染风险。结果表明:杭州湾潮差大、潮流急、垂向混合作用强,当水域排污强度为  $1.92 \times 10^4 \text{m}^3/\text{天}$  时,舟山本岛水域的污水浓度是排海污水浓度的十万分之一。冬季静风憩流时溢油,污染时间最长,强度最大;偏南风时,溢油码头附近的边滩及沿岸水域污染程度最严重,风险最大。由于成品油具有挥发性,因此溢油油膜在距溢油处为中心的半径 12km 范围内挥发殆尽。

**关键词** 排污,溢油,杭州湾

## 1 引言

杭州湾是钱塘江河口的口外海滨,为典型的喇叭形海湾。湾口宽约 100km,纵深近 95km,全湾水面面积达  $5000 \text{km}^2$ ,平均水深 9m。海湾岸线平顺,水底起伏平缓,海湾东南部密布着数十个岛屿。湾口北衔长江口,南连甬江口,东接东海,与著名的舟山渔场相连。大潮期间,一个潮汐过程中通过湾口断面的潮量高达  $1.8 \times 10^{14} \text{m}^3$ ,湾口至湾顶潮差沿程递增,芦潮港、金山和澈浦多年平均潮差依次为 3.21m、3.92m 和 5.54m,湾顶最大潮差达 8.93m,湾内最大实测流速 3.44m/s。潮差大、潮流急、水较浅,致使水体垂向充分混合,全湾平均盐度,冬季为 12.53,夏季降至 11.86。杭州湾是强潮和强混合型海湾,主要入湾的淡水径流—钱塘江的多年平均径流量  $3.42 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。水域平均气温  $15.7^\circ\text{C}$ ,平均水温  $16.9^\circ\text{C}$ ,平均风速 3.6m/s。冬季盛行风向 N~NE,夏季转变成 SE~S,全年统计常风向为偏东北方向,最大风速超过 30m/s。

北岸的上海金山石油化工总厂是杭州湾周边工业密度最大的岸段之一。随着工业和地区经济发展,污水排海不可避免;敷设海底油管、油轮频繁往来,存在着溢油风险。因此,研究污水扩散过程、污染范围和强度,预测不同自然状况下发生溢油事故的风险,对于发展生产,保护水域生态环境,保护渔业资源,具有重要的现实意义。

## 2 水动力环境

水动力数值模型是定量研究河口海岸过程的首选手段。其结果反映了水动力的空间分布及其随时间变化的过程。鉴于研究水域为浅水强潮区域,非线性作用强,潮间浅滩面积大,因

此,采用非线性动边界的水动力模型和可以较“真实”地拟合地形的三角网格及有限元技术。

## 2.1 水动力模型

浅海潮汐过程属海洋学中的“中尺度”问题,其水平尺度远大于垂向尺度,引入“近似水平流动”的假设,则三维水流问题可以用二维水平流动近似[Taylor 和 Davis, 1975]。

在地球直角坐标系中,自由表面的不可压缩的牛顿流体的二维运动学 Euler 方程形式为:

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} \right] U - fV = -g \frac{\partial}{\partial x} (h - h') - \frac{g \sqrt{U^2 + V^2} U}{C^2(H + h)} + \frac{aW_x}{(H + h)} \quad (1)$$

$$\left[ \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} \right] V + fU = -g \frac{\partial}{\partial y} (h - h') - \frac{g \sqrt{U^2 + V^2} V}{C^2(H + h)} + \frac{aW_y}{(H + h)} \quad (2)$$

$$\text{连续方程为 } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(H + h)U] + \frac{\partial}{\partial y} [(H + h)V] = 0 \quad (3)$$

式中,  $U = \frac{1}{H + h} \int_{-H}^h u dz$  和  $V = \frac{1}{H + h} \int_{-H}^h v dz$  为垂向平均的水平流速;  $f$  为 Coriolis 系数;  $C$  为 Chezy 系数;  $a$  为拖曳系数;  $g$  为重力加速度;  $W_x, W_y$  为水平风速分量;  $H(x, y)$  为水深;  $h(x, y, t)$  为自由表面水位;  $h'(x, y, t)$  为与气压等价的水头。

方程 (1)、(2)、(3) 组成未知量  $U, V$  和  $h$  的微分方程组。边界条件分固定和移动两种,固定边界中又分水—水边界和水—陆边界,数学表达式[Michel L., 1990]:

$$\text{固定的水—水边界: } h = h_b \quad (\text{给定值}) \quad (4)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_b \quad (\text{给定值}) \quad (5)$$

$$\text{固定的水—陆边界: } \vec{V}_b \cdot \vec{n} = 0 \quad \vec{n} \text{ 边界单位矢量法向} \quad (6)$$

$$\text{移动的水—陆边界: } \vec{V}_b \cdot \vec{n} = \frac{1}{k} \frac{\partial h}{\partial t} |_b \quad (7)$$

$k$  是边界法向的水底坡度。初始条件写成

$$h|_{t=0} = h_0(x, y) \quad U|_{t=0} = U_0(x, y) \quad V|_{t=0} = V_0(x, y) \quad (8)$$

实际计算时选取  $h_0(x, y)$  为平均海平面,  $U_0$  和  $V_0$  为零流速。

用已知的微分算子  $D$  将加权剩余技巧的基础概括成:

$$D \cdot \Phi = 0 \quad (9)$$

$\Phi$  是已知边界条件的区域  $A$  中的未知函数。将单元中的未知试函数  $\Phi_e$  用形函数  $N_i(x, y)$  和节点的函数值  $\Phi_i$  展开

$$\Phi_e = \sum_i N_i(x, y) \Phi_i \quad (10)$$

取方程 (1) 至 (3) 中各变量的试函数

$$U_e = \sum_i N_i(x, y) U_i, \quad (11a) \quad V_e = \sum_i N_i(x, y) V_i, \quad (11b)$$

$$h_e = \sum_i N_i(x, y) h_i, \quad (11c) \quad H_e = \sum_i N_i(x, y) H_i, \quad (11d)$$

$$f_e = \sum_i N_i(x, y) f_i, \quad (11e) \quad W_{xe} = \sum_i N_i(x, y) W_{xi}, \quad (11f)$$

$$W_{ye} = \sum_i N_i(x, y) W_{yi}, \quad (11g)$$

将式(11)代入方程(1)、(2)、(3)中,运用加权剩余技巧,经过整理和组装(推导省略)(汪思明、俞桂平,1995),得到 $\tau$ 时刻的矩阵形式的总刚方程

$$[M^*]\{\dot{q}\}_\tau + \{F^*(U, V, h)\}_\tau = 0 \quad (12)$$

矢量 $\{\dot{q}\}$ 第 $i$ 个元的表达式是

$$\dot{q}_i = \begin{bmatrix} \dot{U}_i \\ \dot{V}_i \\ \dot{h}_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

总刚矩阵 $[M^*]$ 是 $3\bar{m} \times 3\bar{m}$ 的方形矩阵, $\bar{m}$ 是总节点数。

形状函数 $N_i(x, y)$ 分线性和非线性,二维问题的线性形状函数对应斜面,表示成

$$N_i(x, y) = a_i + b_i x + c_i y \quad (14)$$

本模型采用三角形单元和线性的形函数,则

$$[N_1, N_2, N_3] = [1, x, y] \cdot \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

编号1,2,3为逆时针排序。

采用梯形法则,对时间求积分,则方程(12)写成

$$[M^*]\{q\}_{t+\Delta t} = [M^*]\{q\}_t - \frac{\Delta t}{2}\{F^*(U, V, h)_{t+\Delta t} + F^*(U, V, h)_t\} \quad (16)$$

方程(1)、(2)、(3)的非线性项包括在 $\{F^*(U, V, h)\}$ 中,通过叠代(推导略)(汪思明、俞桂平,1995),求方程(16)的解 $\{q\}_{t+\Delta t}$ 。

模型用潮汐或潮流调和常数为水—水边界值,在SGI工作站上连续计算2个潮周期以后,计算稳定。

## 2.2 水动力过程

根据模型试验结果,绘制了杭州湾潮流涨急、涨憩、落急和落憩平面流场分布图(见图1)。涨潮时,外海的潮流从东南朝向西北,进入杭州湾以东水域以后,分成两支,一支继续向西北方向流向长江河口区,另一支向东通过芦潮港至大洋山和大洋山至舟山本岛之间的水道,涌入杭州湾[李身铎、胡辉,1989]。由于流体惯性作用和地转效应,在湾口横断面上,北面的流速显著大于南面流速。湾口南部先涨潮,南北初涨时刻相差近1个小时。由于舟山群岛的阻挡,以及水流的惯性,涨潮时南部水域为弱动力区。潮波逐渐从湾口向湾顶传播,受断面缩窄的影响,潮能集中。海水进入海湾后,湾中水位上涨,潮间带和庵东滩地被淹没,高潮时,湾内水面面积达到最大。落潮时,湾口先落,湾内稍后,由于海湾为喇叭形,湾口落潮流不很大时,已有可观的落潮量,湾顶的落潮流速迅速增大,浅滩水流归槽,水位逐渐下降,浅滩再次显露。

从平面流场分布图(图1)可知:杭州湾有两个强动力区,即湾顶和湾口北部水域,湾中部次之,湾南部和边滩上,动力较弱,流速较小。杭州湾内潮流表现出往复流,湾外水域则是旋转流。不论是涨潮过程还是落潮过程,在岛屿背水面有一缓流区,水动力较弱。

(1) 汪思明、俞桂平,1995。非线性动边界水动力模型及其应用。

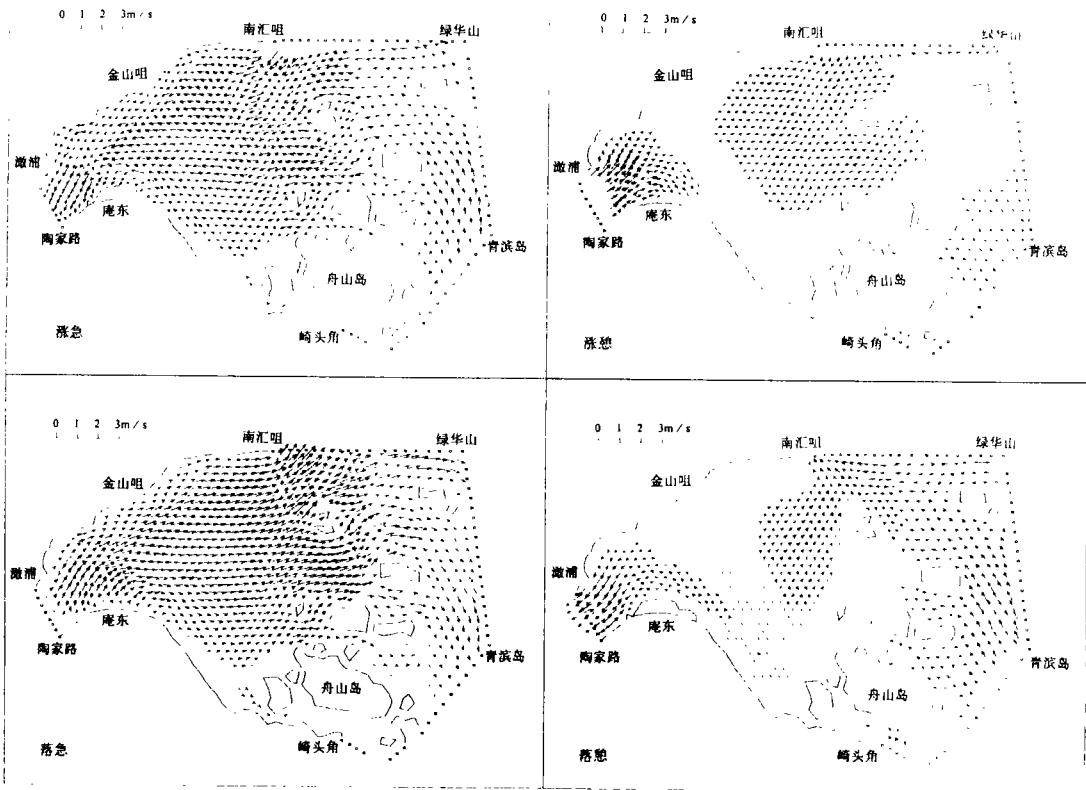


图 1 杭州湾平面流场

Fig. 1 The horizontal flow field of Hangzhou Bay

### 3 污水扩散

扩散可以分成对流扩散、紊动扩散和分子扩散。在水流流速较大,或流速梯度大的水域中,对流扩散占主导地位。杭州湾潮差大,非线性作用强,所以采用非线性的污水扩散模型。

#### 1. 扩散模型

由流体的运动学方程(1)、(2)、质量连续方程(3)和扩散方程组成二维水动力和水扩散方程组。扩散方程写成

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ E_x \frac{\partial S}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ E_y \frac{\partial S}{\partial y} \right] + P(x, y, t) \quad (17)$$

式中,  $S(x, y, t)$  为水体中污染物浓度;  $E_x, E_y$  为污染物扩散系数;  $P(x, y, t)$  为污染源函数。

运用加权剩余法中的 Galerkin 法,经过类似于上一节中所述的推导过程,可以得到扩散问题的总刚方程

$$[M^{**}]\{\dot{q}\}_r + \{F^{**}(U, V, h, S)\}_r = 0 \tag{18}$$

矩阵 $[M^{**}]$ 是  $4m \times 4m$  的方阵, 矢量 $\{\dot{q}\}$  的第  $i$  个矩阵元  $\dot{q}_i$  的形式是

$$\dot{q}_i = \begin{bmatrix} \dot{U}_i \\ \dot{V}_i \\ \dot{h}_i \\ \dot{S}_i \end{bmatrix} \tag{19}$$

固定的水—水边界条件:  $S = S_B(x, y, t)$  给定或满足条件:  $\left[ \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S \right]_B = 0$

水—陆边界条件:  $\vec{n} \cdot \nabla S|_B = 0, \vec{n}$  边界的单位法向矢量。

计算时采用  $S_{t=0} = 0$  的初始条件。

### 3.2 污染物质浓度场

工业污水中含有多种污染物质, 为简单起见, 选择化学耗氧量(COD)为研究指标。污水排入海域后, 在潮汐的作用下, 被掺混稀释和搬运。涨潮时, 污染物质随涨潮流流向湾顶; 落潮时, 被强大的落潮流推向湾外。污水不断地排入海湾, 不断地扩散稀释和被带出海湾, 经过相当一段时间以后, 潮平均污染物质浓度的等值线趋于稳定分布。大潮时, 潮汐动力强, 水体充分混合, 污染浓度梯度较小; 小潮时反之。当持续大风数天时, 由于风生流作用, 浓度等值线畸变。夏季钱塘江发生洪水, 迳流量显著增大, 致使等值线分布发生变化。从图 2 可见: 湾顶激浦水域和湾口水域 COD<sub>Cr</sub> 浓度梯度较小, 等值线稀疏, 这两个水域是潮流流速较大的强动力区, 对流扩散作用较强, 水体掺混均匀。金山与庵东中间有一最大浓度梯度分布带。

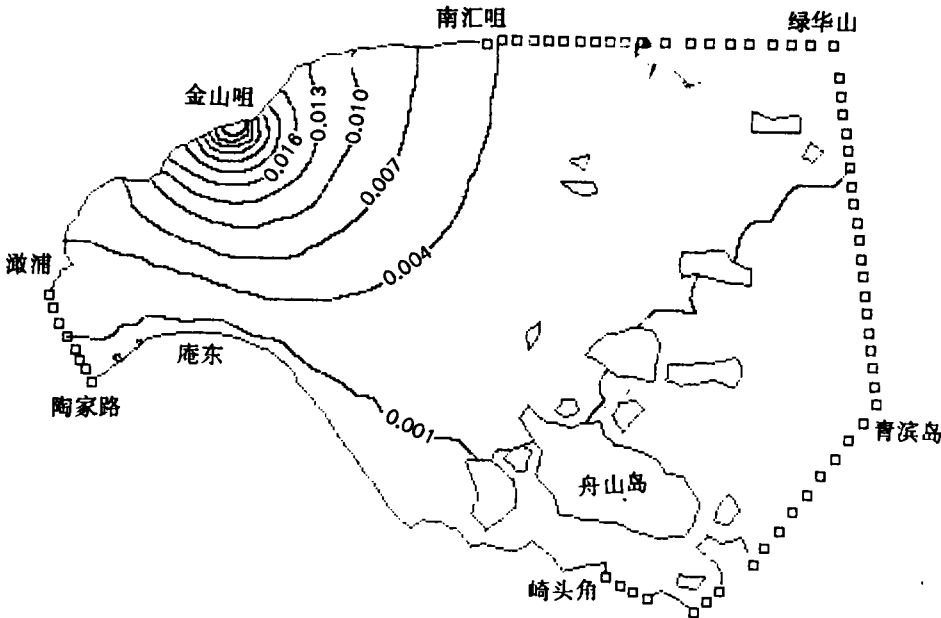


图 2 COD<sub>Cr</sub> 浓度等值线分布

Fig. 2 The isogram of COD<sub>Cr</sub> concentration

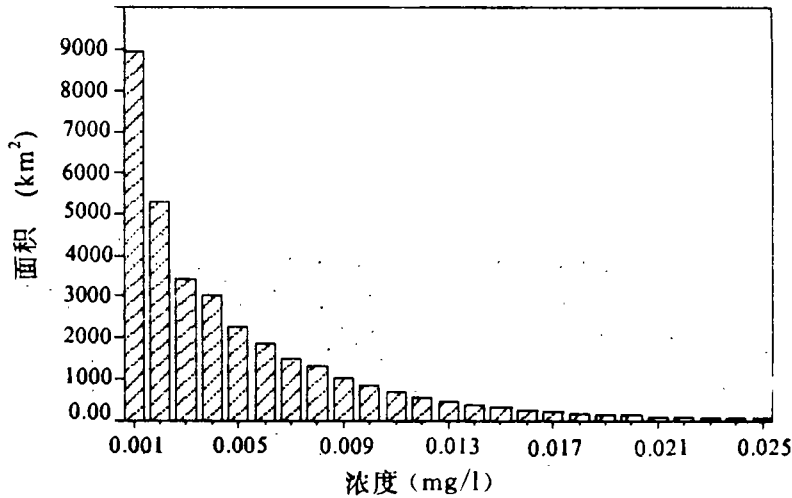


图3 COD<sub>Cr</sub>等浓度曲线内包围的面积

Fig. 3 The area in isopleth of COD<sub>Cr</sub> concentration

如果不考虑杭州湾内污染物质的本底,视湾内海水为“洁净水”,污水以  $1.92 \times 10^4 \text{m}^3/\text{天}$  的速度排入海湾,年排放污水量相当于钱塘江平均径流量的万分之二。污水中 COD<sub>Cr</sub> 的含量为 100mg/l,污水排入海湾后,垂向均匀混合,则浓度增量大于和等于 0.001mg/l 的水面面积达 8936km<sup>2</sup>,影响了部分湾口以外的北部水域(图2)。湾口浓度增量为 0.001mg/l 等值线的走向呈东北至西南,舟山渔场大部分水域 COD<sub>Cr</sub> 的平均浓度增量将小于 0.001mg/l。图3绘制了不同浓度等值线所包括的面积,浓度越大,面积越小,呈指数型衰减。根据国家的渔业水质标准[1979],规定当气温连续5天 20℃时,生化需氧量 BOD 和 COD 不超过 5.0mg/l。舟山渔场的平均浓度增量为该值的万分之二,影响不大。但是在污水排放口附近,仅化学耗氧量(COD)的潮汐平均浓度增量就达 0.06mg/l,若考虑 BOD 和 COD 本底总量,则生化耗氧量接近渔业水质所允许的极限标准,将影响该水域的水产品质量,值得引起重视。

## 4 溢油

根据国际海事组织统计,油轮在靠泊和离开码头时,以及输送油品的过程中,发生溢油事故的概率最大。本节重点研究成品油码头附近的溢油问题。

### 4.1 数学模型

成品油为汽油、航煤和柴油,比重分别为 0.62、0.76 和 0.80kg/m<sup>3</sup>,均小于海水比重,所以发生成品油溢油事故时,溢油漂浮在海面上,形成溢油油膜。受水体流速和风速的影响,油膜整

体作漂移运动;在自身重力惯性、流体粘滞性和油膜表面张力作用下,向四周水面扩展;成品油沸点较低,在常温常压条件下,溢油挥发,总体积减少。描述浮油在水面上漂移、扩展和挥发过程的数学模型如下[Al-Rabeh 等,1989]:

#### 4.1.1 油膜漂移轨迹模型

取平面二维直角坐标,  $x$  轴向东,  $y$  轴指北,  $U'$  和  $V'$  分别表示油膜质心所在水域水体的表面流速和风速的合成速度在  $x$  和  $y$  方向的速度分量。则溢油发生以后  $t$  时间,溢油油膜质心的坐标  $(x_c, y_c)$  可以表述成:

$$x_c = x_0 + \int_0^t U' dt \quad y_c = y_0 + \int_0^t V' dt$$

式中  $x_0$  和  $y_0$  为溢油发生地点的坐标。

#### 4.1.2 油膜扩展模型

在重力、粘滞力和表面张力作用下,油膜向水平方向扩展,致使油膜面积增大,厚度变薄,直至受水面扰动,膜层破碎溶解,颗粒吸附,油膜消失。设油膜为水平圆形分布,油膜直径  $D$  是扩展时间  $t$  的函数,油膜的三个不同扩展阶段为:

① 惯性扩展(Fay 模型)。该阶段的溢油扩展为初始阶段,在重力作用下,油膜迅速向四周扩展,油层变薄。油膜惯性扩展方程:

$$D = K_1 \left[ \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_w}\right) \cdot g \cdot V \right]^{1/4} \cdot t^{1/2}$$

式中,  $D$  为油膜直径;  $\rho_0$  为溢油密度;  $\rho_w$  为海水密度;  $g$  为重力加速度;  $V$  为溢油总体积;  $t$  为溢油发生时刻起计算的历时;  $K_1 = 2.28$  为油膜惯性扩展经验系数。

② 粘性扩展。油膜惯性扩展到一定阶段,进入粘性扩展阶段。粘性扩展方程:

$$D = K_2 \left[ \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_w}\right) \cdot g \cdot \frac{V^2}{v_w^{1/2}} \right]^{1/6} \cdot t^{1/4}$$

式中,  $v_w$  为海水运动粘滞系数;  $K_2 = 2.90$  为油膜粘性扩展经验系数。

③ 表面张力扩展。当油膜不断扩展,油膜厚度很薄时,使得油膜继续扩展的主要原因是表面张力,其扩展方程为:

$$D = K_3 (v_w^{1/2} \cdot \frac{C}{\rho_w})^{1/2} \cdot t^{3/4} \quad C = C_{aw} - C_{oa} - C_{ow}$$

式中,  $C_{aw}$ 、 $C_{oa}$  和  $C_{ow}$  依次为空气与水、油与空气和油与水界面的张力系数;  $K_3 = 3.20$  为表面张力扩展的经验系数。

#### 4.1.3 溢油挥发模型(Mackay 模型)

溢油挥发量是气温、风速和气压的函数,写成

$$F = \frac{1}{U} \cdot \left[ \ln P_0 + \ln \left( C \cdot ke \cdot t + \frac{1}{P_0} \right) \right] \quad \ln P_0 = 10.6 \times \left[ 1 - \frac{T_0}{T_e} \right]$$

$$C = 1158.9 API^{-1.1435} \quad K_e = K_m \frac{AV}{RTV_0} \quad m = 1, 2, 3$$

式中,  $F$  为溢油挥发量;  $U$  为水面以上 10 米高度处的风速;  $A$  为溢油油膜面积;  $V$  为溢油的克分子容积;  $T_e$  为环境的绝对温度;  $T_0$  为溢油的起始沸点(绝对温度);  $API$  为美国石油协会规定的油品比重;  $R$  为气体常数;  $T$  为溢油表面绝对温度,通常与气温接近;  $V_0$  为起始的溢油体积;  $P_0$  为大气温度  $T_e$  的初始挥发气压。

表 1 溢油的扩展与挥发  
Table 1 The expansion and volatilization of oil spill

油品	溢油量 (m <sup>3</sup> )	季节	风速 (m/s)	形成最大油膜面积时		挥发时间 (min)			
				面积(m <sup>2</sup> )	时间(min)	挥发 50%	挥发 80%	挥发 95%	面积<100m <sup>2</sup>
汽	500	夏季	0.3	16857	170	154	212	267	434
			4.5	9579	100	83	121	159	282
			11.7	7965	80	67	100	134	244
		冬季	0.3	20750	200	192	260	322	508
			4.5	11528	120	102	146	188	326
			11.7	9520	100	82	120	158	282
油	100	夏季	0.3	6025	130	121	170	218	353
			4.5	3515	80	66	99	132	230
			11.7	2960	70	54	83	112	200
		冬季	0.3	7367	160	150	207	262	412
			4.5	4191	100	81	118	156	265
			11.7	3497	80	66	98	138	229
航	500	夏季	0.3	10	180	170	234	296	486
			4.5	9674	110	92	134	177	318
			11.7	8058	90	74	112	149	278
		冬季	0.3	21020	220	212	288	358	570
			4.5	11696	130	113	162	211	368
			11.7	9657	110	91	134	177	318
煤	100	夏季	0.3	6089	150	133	188	242	395
			4.5	355	90	73	110	148	260
			11.7	2991	80	60	92	126	227
		冬季	0.3	7468	180	166	230	290	462
			4.5	4252	110	90	132	175	299
			11.7	3549	90	73	110	148	260
柴	500	夏季	0.3	20124	230	218	299	376	617
			4.5	11313	140	118	171	224	405
			11.7	9377	120	96	142	189	353
		冬季	0.3	25399	290	278	375	464	733
			4.5	13954	170	149	210	271	472
			11.7	11478	140	120	174	228	409
油	100	夏季	0.3	7174	190	172	240	307	501
			4.5	4136	110	96	140	188	331
			11.7	3468	100	77	117	160	289
		冬季	0.3	8986	230	218	299	376	594
			4.5	5052	140	118	170	224	386
			11.7	4187	120	95	141	190	334

表 2 溢油漂移的距离(单位:km)

Table 2 The drift distance of oil spill(km)

水流	油类	溢油量	风级	西南风	东南风	东北风	西北风
涨急	汽油	100m <sup>3</sup>	六级风	1.85	3.85	5.60	4.06
	柴油	500m <sup>3</sup>	六级风	3.46	3.86	5.59	9.5
	柴油	500m <sup>3</sup>	静风	7.8	7.5	8.1	8.4
落急	汽油	100m <sup>3</sup>	六级风	7.9	4.3	5.6	10.1
	柴油	500m <sup>3</sup>	六级风	8.8	4.5	9.7	11.2
	柴油	500m <sup>3</sup>	静风	7.2	7.0	7.0	7.2



## 4.2 溢油风险

从溢油的数学模型的表达式中可以知道,溢油油膜质心的漂移速度主要取决于表面水流流速和风速;溢油油膜的扩展面积与起始溢油的总体积和溢油历时有关;溢油挥发量则是风速、气温和挥发气压的函数。就静风(0.3m/s)、平均风速(4.5m/s)和6级大风(11.7m/s)三种不同的风速、不同的风向以及涨急或落急时溢油,分别计算不同品种的油品,溢油体积为 $100\text{m}^3$ 和 $500\text{m}^3$ 时的油膜扩展范围和油膜质心的漂移轨迹,并计算了冬季和夏季的溢油挥发量。计算成果(见表1和表2)表明:①溢油扩展和挥发过程中,溢油油膜最大的扩展面积为 $2960\sim 8986\text{m}^2$ ;经过挥发,减少溢油量95%的历时是112~376分钟;溢油油膜面积减至 $100\text{m}^2$ 的时间为200~733分钟。在同一气温和风速的条件下,三种油类中柴油的比重最大、沸点最高、挥发速度最慢,扩展面积最大;对同一油品,同样的溢油量而言,风速不变、气温越高、挥发越快,最大扩展面积越小;气温恒定时,风速越大、挥发越快,最大扩展面积越小。夏季6级大风天,同样溢油量的情况下,汽油挥发速度最快,自溢油时起算,经历112分钟以后,95%的溢油挥发了;历时200分钟以后,汽油的溢油膜减少至 $100\text{m}^2$ 。柴油、低温和静风,溢油污染时间最长,挥发速度也最慢,必须历时376分钟,才能挥发95%的柴油溢油量,须经过594分钟,溢油油膜面积才能减至 $100\text{m}^2$ (见表1)。②溢油油膜的漂移距离与油类的品种、风速、风向、溢油时潮流的流速和流向有关。同样的条件下,落急时溢油的油膜质心漂移距离大于涨急时油膜的漂移距离。由于水流流向与风速的风向定义相差 $180^\circ$ ,因此,漂移距离最大的是流向与风向相反,且为落急时的溢油。漂移时间和距离最短的是汽油、夏季、6级西南风、涨急时溢油,溢油量为 $100\text{m}^3$ 的情况,漂移最大距离仅为1.85km(见图4)。漂移距离最大,持续时间最长的是柴油、6级西北风、冬季、落急时溢油、溢油为 $500\text{m}^3$ 时,漂移距离达11.2km(见图5)。

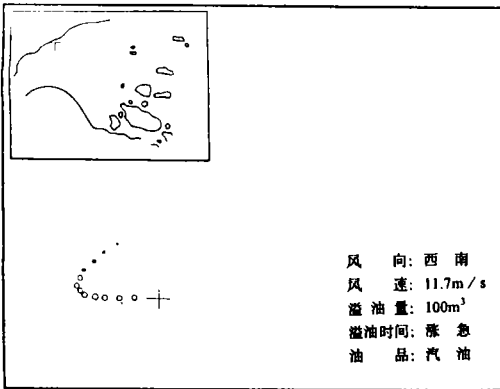


图4 汽油的漂移轨迹

Fig. 4 The drift locus of gasoline

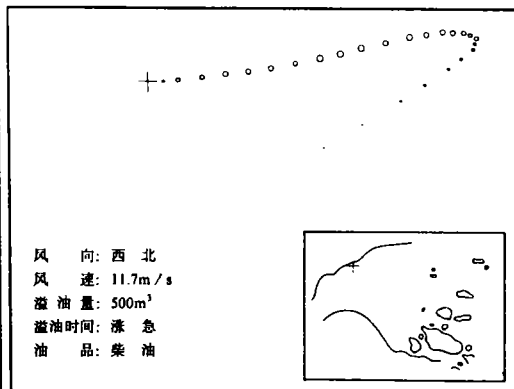


图5 柴油的漂移轨迹

Fig. 5 The drift locus of diesel oil

## 5 结论

1. 由杭州湾非线性动边界有限元水动力模型计算得到的杭州湾潮汐和潮流场与实际情况相符,反映了杭州湾水动力特征,达到流场模型的精度,是研究杭州湾水动力和水质环境的必

要手段,显示了非线性动边界水动力模型的优越性。

2. 文中建立了非线性动边界污水扩散模型。计算结果表明:杭州湾潮差大,潮能强,混合程度高,不考虑本底污染物分布时,金山水域污水排海量为  $1.92 \times 10^4 \text{m}^3/\text{天}$  和 COD<sub>Cr</sub> 浓度为 100mg/l 时,舟山本岛以东和以南水域垂向平均 COD<sub>Cr</sub> 浓度增量为 0.001mg/l,没有超过一级海水的指标,不会对舟山渔场造成严重环境污染。但在排污口附近,COD<sub>Cr</sub> 的浓度增量较大,平均达 0.06mg/l。目前该水域 COD 的平均值已达 2.40~3.59mg/l,总耗氧量接近渔业水质的最高允许量,现况不容乐观。

3. 根据溢油数学模型计算所得的汽油、航煤和柴油油膜的扩展最大面积、挥发时间,以及油膜漂移距离,溢油量为 500m<sup>3</sup>,冬季静风时,柴油挥发 95%所需时间最长,达 464 分钟,约 7.7 小时。由于成品油比重轻、沸点低,挥发速度快,因此发生溢油事故 10 至 20 小时以后,水面上的溢油油膜基本消失,溢油油膜最大漂移距离为 11.2km,最大油膜半径 90m。油膜到达舟山水域以前,已破碎,对舟山渔场可能有影响的是微量的颗粒吸附物质。

4. 由于油膜漂移方向与流向和风向有关,当向岸风速较大时,涨潮潮位升高,潮流涨上浅滩,油膜向海岸漂移,直接污染海岸和潮滩。部分油污将渗入海滩,进入再漂移和再降解的循环,其污染影响的时间较长,对海滩生物和景观影响较大。

5. 海面扰动造成油膜破碎,离散油溶入水中,污染水质。当溢油量不太大时,这种污染的程度尚可;如果造成特大溢油事故,则将大大提高海水中的油类成份及其含量。风速大,有益于成品油挥发,减轻污染。但是风速大溶入水中的离散油增加,加剧水质污染的程度,应予足够的重视。

### 参 考 文 献

- [1] 李身铎、胡 辉,1989. 杭州湾流场的研究. 中国海岸发育过程和演变规律,97—107. 上海科学技术出版社(沪)。  
 [2] 国务院环境保护领导小组等,1979. 渔业水质标准 TJ 35—79(试行),5—6. 中国建筑工业出版社(京)。  
 [3] Tayler, C. and J. Davis, 1975. Tidal and long wave propagation—a finite element approach, *Computers & Fluids*, Pergamon Press, (3): 125—148.

## THE IMPACTS OF WASTE WATER DISCHARGE AND OIL SPILL IN HANGZHOU BAY

Wang Siming

(Resources and Environment College, East China Normal University, Shanghai 200062)

Cheng Ansheng

(Shanghai Institute of Computing Technology, 200040)

**ABSTRACT** A nonlinear numerical modeling of hydrodynamic and diffusion, with moving boundaries and finite element scheme, is used to investigate the temporal and spatial variations of flow field in the Hangzhou Bay and the pollution risk caused by oil spill accident

in different weather conditions and to calculate the influencing scope and intensity on the water quality of the Hangzhou Bay, where the waste water discharge of the Shanghai Jinshan Refinerying Petroleum Company is pouring into. The results obtained indicate that the concentration of waste water in the waters of Zhoushan Island is about one per 0.1 million of discharging concentration when discharging quantity is  $1.92 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  because of big tidal difference, fast tidal current and intensive vertical mixing in the Hangzhou Bay. If oil spill occurs under no wind and slick tide in winter, the pollution time will be longest and the pollution degree will be most serious. The pollution degree in the bank and coastal waters will be most serious and the accidental risk will be largest near the wharf where oil spill occurs. Because product oil has volatility, the oil film of oil spill will be completely volatilized in the area with radius of 12 km from oil spill site.

**KEYWORDS** waste water discharge, oil spill, Hangzhou Bay

## 欢迎订阅 1996 年《现代渔业信息》杂志

《现代渔业信息》杂志系农业部主管、中国水产科学研究院东海水产研究所主办和农业部东海区渔政局等四十个单位协办的一本供全国农、林、水产系统各级领导、高等院校教师、科技人员以及生产单位工作者参阅的渔业科技综合性渔业信息刊物(月刊)。

本刊系全国水产系统优秀刊物,1993 年被美国收入国际期刊名录。向国内外公开发行人,报道的主要内容侧重于国外渔业生产、水产科学技术的新动态、新工艺、新材料和新方法等信息;同时报道国内渔业生产、科技及教育等方面进展动态。九十年代是信息时代,对您单位或个人及时了解国外渔业发展动向,掌握国内外水产科学发展趋势,特别是对各级领导正确决策、科研人员开阔思路、院校教师更新教材以及单位技术改造、引入竞争机制等均有参考价值。

本刊每期 2.00 元(包括邮费),全年 12 期,共计 24.00 元。欲订阅者请将款通过邮局直接寄往:邮编 200090 上海市军工路 300 号中国水产科学研究院东海水产研究所《现代渔业信息》杂志编辑部发行部。壹佰元以上请信汇,帐号为上海市杨浦区工商银行办事处 222—08900575

国际标准刊号:ISSN1004—S340 国内统一刊号:CN31—1465/S 国内外公开发行 邮政编码:200090