

珠江口海域沉船后油类的分布特征

张 和 庆

(国家海洋局南海海洋环境监测中心, 广州)

摘 要

本文以1984年4月珠江口东侧发生的一起沉船溢油事故为例, 分析了珠江口海区发生海难事故后油类的分布特征。通过分析认为:(1)海面油类的漂流方向和速度取决于风和表层海流的方向和速度;(2)海面油膜的扩散及其影响范围与溢出油类的理化特征、数量和水文气象因素等有关;(3)水体中油类浓度的分布具有沉船附近高, 沿油带漂流方向逐渐降低的特点;(4)水体中油类的扩散和迁移的方向主要受水体运动的影响, 因此与海水中的温、盐等要素密切相关。

随着国际贸易的增长和海上航运事业的发展, 因船舶碰撞、触礁、搁浅、起火爆炸等海难事故所造成的溢油污染事故也不断发生。根据国际海事组织(IMO)的事故统计报告, 1968—1981年全世界发生的重大油轮事故达1 093起^[1]。世界上迄今最大的油轮溢油事故是1983年8月6日发生在好望角附近的“Castillo de Bellver”号超级油轮的起火爆炸, 溢油约24万吨。我国近年来船舶溢油事故也时有发生, 1973—1985年发生了18起较大的事故, 其中最大的是1976年发生在广东省陆丰县近海的“南洋”号油轮事故, 溢油量达8000多吨。

由于这些事故大都发生在河口或近岸海区, 在较短的时间内将大量的油类倾入海中, 不仅对渔业捕捞、水产养殖和海水综合利用造成了巨大的经济损失, 而且对海洋环境和海洋生物资源造成了严重的危害和影响, 为此日益引起许多沿海国家的政府和海洋学家的重视。Fay (1970) 和 Hoult (1972) 提出的平静海面溢油扩散的数学模式, 至今仍被许多学者所采用。K. S. Aravamudan等 (1982) 报道了预报不平静海面溢油扩散的简化数学模式, 提出了海上溢油现象综合模型, 包括扩展和挥发、油滴形成、油滴扩散、表面油扩散等数学模型^[2]。W. E. Mffis (1983) 提出了河口石油扩散的模式^[3]。近藤五郎 (1979) 较详细地介绍了油类的特性和世界上几起重大的溢油事故, 并着重介绍了 P. C. 希劳卡和元良教授的油扩散公式以及提出了东京湾大量原油溢出时的扩散设想^[4]。国内近年来也陆续发表了一些论文, 忻韦方 (1984) 发表了关于海面溢油扩散的计算方法, 总结和介绍了国外一些溢油扩散的数学模式^[5]。吴廷芳 (1985) 发表了南海北部海面溢油漂移可能路径初步研究的论文, 该文用矢量合成的方法假设溢油事故发生后油类漂流的路径^[6]。然而, 以实

本文于1988年10月18日收到, 修改稿于1989年1月26日收到。

际海难溢油事故为例进行研究的论文甚少。

珠江口是我国海难污染事故的多发海区,1976年至1988年3月在南海发生的9起较大规模的沉船溢油事故中,有3起是发生在珠江口海区〔7〕。这里既是广州、深圳、珠海、中山以及香港、澳门的门户,海上运输繁忙,又是渔业捕捞、水产养殖(尤其是近几年发展起来的网箱养殖)、幼鱼保护、海滨风景和海水浴场等重要经济区域。每次重大海难溢油事故都可能对经济和海洋环境造成巨大的损失和严重的损害。本文根据1984年4月初发生“拉亚埃勒”号货轮沉船溢油事故为例,分析珠江口海区海难溢油后油类的分布特征及其影响的因素。

一、沉船海区环境要素的概况

沉船位于珠江口担杆列岛的东北面,海洋环境要素受季风影响明显。10月至次年3月为冬季风海流时期,在东北季风的吹送下,海流流向偏西,流速0.5节左右;6—9月为夏季风海流时期,海流流向偏东,流速0.3—0.4节〔8〕。在本次事故的溢油期间,一直为东北季风所控制,风力3—7级(现场实测)。在3—4级东北风的情况下实测表层海流流向西北偏西,流速0.2—0.5节(图1)。由于部分珠江径流自西北向东南逐渐与外海水交汇混合,因此调查海区的温、盐变化受珠江径流和外海水所控制,由东南向西北有规律地递降。调查期间主要受外海水控制,表层水温为21.98—22.34℃,盐度为33.54—34.60。

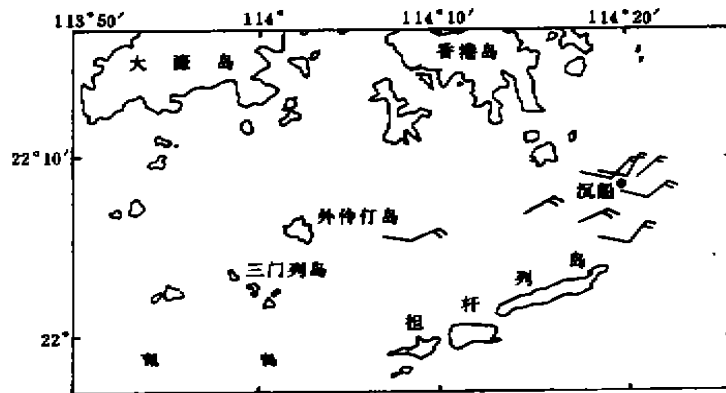


图1 实测海流和风向示意图

上述环境要素的变化,直接影响沉船溢出的油类的分布、迁移和扩散。

二、海面油类的分布及其影响的因素

(一) 海面油带的漂流

沉船溢出的油类由于其密度小于海水而浮在海面上,在风和海流的作用下迅速扩展成油带。海面油带在风的剪应力和海流的拖曳作用下朝着风和流合成的方向漂流,现场两次跟踪观测油带的结果见图2。

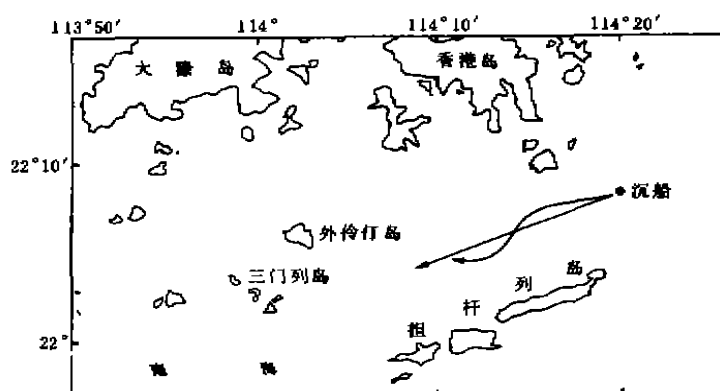


图2 海面浮油带漂流的观察结果

许多国家的学者对海面油膜漂流的研究结果认为,海面油膜的漂流主要受风和流的作用^[9,10]。Hoult把风和流作用下油带的漂流用矢量合成的方法描述为:

$$V_{油} = V_{流} + KV_{风}$$

式中, $V_{油}$ 、 $V_{流}$ 、 $V_{风}$ 分别表示为油、海流和风的向量, K 为风力系数。根据黄礼贤等(1982)在珠江口海区进行的油膜漂流试验,求得 K 值为 0.035^[11]。有了 K 值,我们可以根据现场观测的风和流的单参数求取油带漂流方向:

$$D = C_{流} - r$$

式中, D 为油带的漂流方向, $C_{流}$ 为表层海流的流向, r 用下式求得:

$$\operatorname{tg} r = \frac{KV_{风} \sin \psi}{V_{流} + KV_{风} \cos \psi}$$

式中, r 为油带漂流方向与海流流向的夹角, ψ 为流向风向的夹角, $V_{风}$ 、 $V_{流}$ 分别表示风和流的速度。利用上述计算式,我们考察了油带的漂流方向,理论计算值与实际观察结果的差异见表1。

表1 油带漂流方向的计算值与实际观测值的比较

时 间	风 向 (度)	风 速 (m/s)	流 向 (度)	流 速 (m/s)	计算值 (度)	实际观测值 (度)	差 值 (度)
沉船后 4 天	30	5.3	300	0.25	263.4	260	3.4
沉船后 5 天	30	4.7	292.6	0.23	259.6	250	9.6

这个比较结果与我们以往对其他溢油事故中油带漂流的考察结果基本相同^{[12],1)}。掌握海面油类的漂流特性对河口海区尤为重要,特别是珠江口东侧既是事故多发区,又是广东近海的传统渔场。尤其东北面的大鹏湾为幼鱼保护区和水产养殖区,并有小梅沙海滨浴场。其西面的外伶仃、桂山和万山群岛等岛屿网箱养业发达。冬半年该区发生海难溢油事故,可能对外伶仃、桂山、万山群岛及其邻近海域造成危害。大规模溢油还可能造成珠

1) 国家海洋局南海分局,“大庆236”号油轮沉船海区调查报告,1984。

江口西侧被誉为“东方夏威夷”的上川岛海滨浴场的沾污, 而夏半年则可能对大鹏湾、大亚湾等港湾和海域造成污染。

(二) 海面油膜影响范围和分布特征

沉船溢出的油类在漂流的过程中, 同时扩散形成油膜, 扩散的速度与油膜的面积增大的速度成反比, 随着油膜面积的不断增大, 扩散速度逐渐降低, 当油膜扩散到最大面积时, 扩散速度为零。^[1]油膜在破碎波的作用下破裂形成碎块, 脱离联贯的油膜。K. S. Aravamudan 等将油膜的破裂分成三个阶段: 碎块形成前、碎块形成瞬间和碎块扩散后^[2]。而这些油膜碎块随着进一步的扩散和挥发, 使油膜的厚度不断变薄, 达到临界厚度后油分不易挥发, 且随风和流飘散, 因此影响范围较大。本例事故发生后的头 5 天内溢出油类约 400 吨, 油膜影响的范围约 300 平方千米 (图 3)。

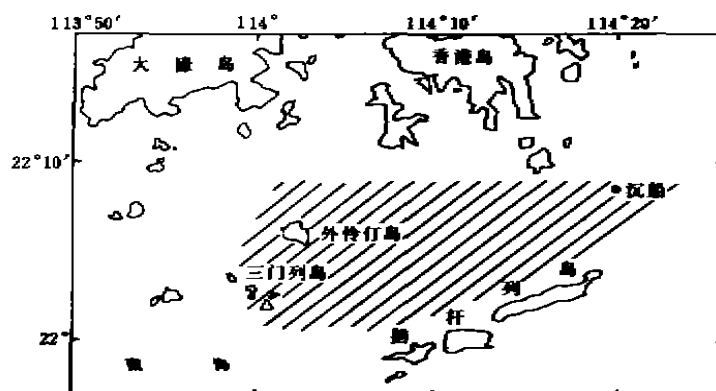


图 3 海面油膜的涉及范围

油膜覆盖率在以沉船为中心面积约 10 平方千米的范围内较高, 达 60—80%, 且油膜较厚。覆盖率和油膜厚度由沉船向周围渐减, 且其西侧高于东侧。油膜影响的范围及分布状况与溢油源的强度、溢出油类的性质、油带的漂流及环境因素有关。

对于连续油膜的最大扩散面积, A. J. Elliott 等 (1986) 于 1984 年 7 月至 8 月在英国北海南部进行了油膜的扩散和分散实验^[13]。实验结果认为, 油膜的扩散和分散与风、波浪、油的密度和粘度有关。油膜扩散的椭圆形面积主要由风所决定, 并可用 Fay (1971) 的模式表示:

$$A = 10^5 V^{3/4}$$

式中, A 为油膜面积, V 为溢出的油类体积。从本例事故现场观测的情况和溢油量估算来看, 连续油膜的面积大致符合 Fay 的估算模式。扩散和分布的情况与 Elliott 等描述的实验结果相似。

三、水体中油类浓度的分布特征

(一) 水体中油类浓度的分布特征

浮在水面上的油类,在水文气象等因素的作用下一部分形成小油滴掺合到水体中,同时油膜中的可溶性组分也逐渐地溶解到海水中.K.S.Aravamudan等把油滴掺合到水体中的过程描述为:当油滴连续地被击入水中时,最初阶段被击入的油滴又上升到水面,再与表面

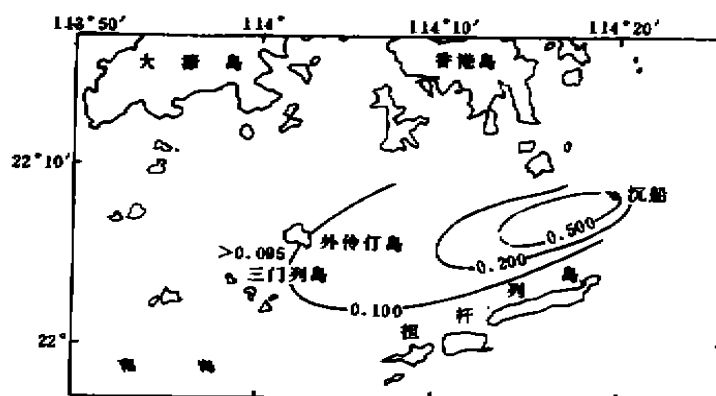


图4 表层海水含油量(mg/l)的平面分布

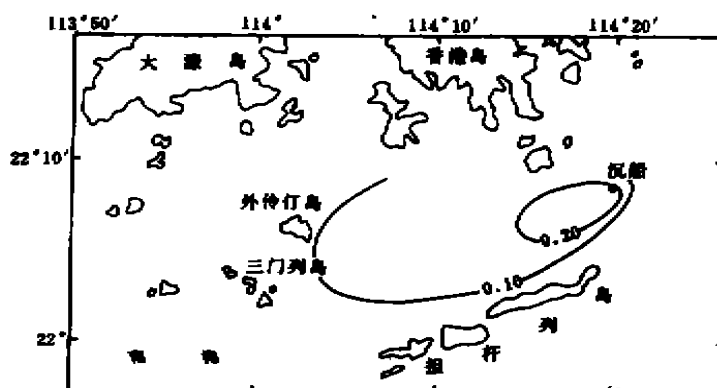


图5 底层海水含油量(mg/l)的平面分布

的油相聚,因而实际上扩散到水中的油量少于重新聚到表面的油量.他们并把进入海水中的油的体积变化率描述为:

$$V(t) = NA(t)h(t)$$

式中, N 为单位时间受破碎波作用的油膜碎块数, A 与 h 分别为油膜的平均面积与厚度.

上式形象地表达了水体中油类的主要来源.因此,水体中油类浓度的分布明显地受油膜分布的影响.形成以油带为轴线的椭圆形分布(图4和图5).

根据测定结果, 调查海区水体中油类浓度均超过国家海水水质标准 (GB 3097-82) 中第一类水质的最高允许浓度 (0.050 mg/l), 其中约 200 平方千米海区超过第二类水质的最高允许浓度 (0.10 mg/l), 而沉船附近则超过第三类水质的最高允许浓度 (0.50 mg/l)。水体中油类浓度的分布具有下列特征: (1) 由沉船点向周围渐减; (2) 油类浓度等值线由沉船点向西南偏西呈椭圆状分布, 并与油带漂流方向一致; (3) 海面油膜覆盖率较高的区域水体中油类的浓度也较高。

(二) 水体中油类迁移的方向

进入水体中的油类的迁移和其他污染物质一样, 取决于水体运动的方向和速度, 同时也与海面油膜的活动有关。珠江口东侧的海流流向主要受季风的影响, 东北季风盛行期间, 流向偏西, 西南季风盛行期间, 流向偏东^[8]。因此, 冬半年该区域发生溢油事故时, 水体中油类以向西迁移为主。本例事故期间实测风向东北, 流向西北偏西, 在沉船的不同方向和距离水体中油类浓度的测定结果和平均每海里的下降速率 [$R = (C_0 - C_1)/S$, C_0 、 C_1 分别为沉船点和其他测站的油类浓度, S 为沉船点至各测站的距离] 见图 6 和表 2。

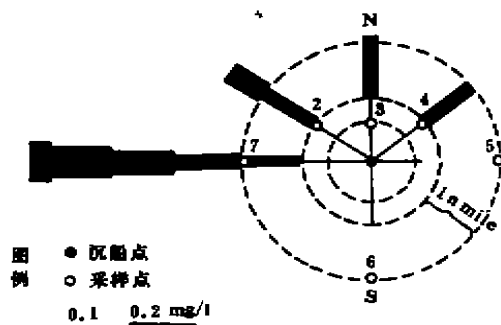


图 6 不同方向和距离水体中油类的浓度

表 2 水体中油类浓度的平均下降速率

站 号	R	站 号	R
2	1.000	5	0.589
3	1.135	6	0.551
4	1.140	7	0.128

由图 6 和表 2 可见, 水体中油类的迁移方向与海流方向基本相同, 说明了溢油后水体中油类迁移的特点。

(三) 油类浓度变化与海水理化要素的关系

掺合和溶解到水体中的油类随着水体的运动而逐渐稀释扩散, 水体中油类浓度朝迁移方向随着距离增加的变化规律见图 7。

本例事故发生区为外海水与珠江径流的混合区, 温、盐变化明显。由于温、盐的变化能反映水体运动的过程, 因此水体中油类浓度的变化同样可以从海水的温、盐变化反映出来。根据现场观测资料统计, 表层 (-1 米) 水体中油类朝迁移方向的浓度变化与温、盐有如下关系:

$$Y = 33.68 + 10.87 \ln X_{(T)} - 18.68 \ln X_{(S)}$$

式中的复相关系数 (R) 为 0.997, 标准差 (S) 0.036。

上述两种情况说明了水体中油类的变化过程与环境因素的关系十分密切。水体中油类的扩散稀释依赖于水体的运动。

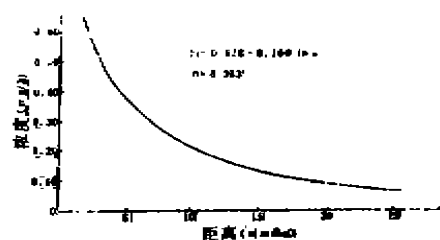


图 7 水体中油类浓度随距离的变化

四、结 语

1. 海面油膜的漂流方向取决于风和表层海流的方向和速度,基本上符合 $D = C_{\text{流}} - r$ [r 由 $\lg r = (KV_{\text{风}} \sin \psi) / (V_{\text{流}} - KV_{\text{风}} \cos \psi)$ 求取] 的计算式。在东北季风时期珠江口东侧发生海难溢油事故,海面油类一般向西或西南漂流,可能对珠江口诸岛和海域造成污染。

2. 海面油膜的扩散、分布以及影响范围与溢油数量、性质、油带漂流的方向和长度、水文气象等因素有关。连续油膜的面积大致可用Fay的 $A = 10^5 V^{1/4}$ 模式来表示。

3. 水体中油类浓度的分布具有沉船周围高,朝着油带漂流方向渐减的特点。由于水体中油类来自油膜破碎后的油滴和油类中的可溶性组分,因此水体中油类浓度的分布基本上与海面油膜分布的情况相似。

4. 水体中油类的迁移和稀释扩散主要受水体运动的影响,因此与海水中的温、盐等要素密切相关,它们的关系为 $Y = 33.68 + 10.87 \ln X_{(T)} - 18.86 \ln X_{(S)}$,基本符合在东北季风盛行期间珠江口东侧水体中油类随水体运动的稀释扩散的特点。

5. 为了确切反映事故发生后水体中油类的浓度,测定时所用油类标样必须用事故现场采集的油类来制备。制备方法按《海洋污染调查暂行规范》²⁾ 的有关操作步骤进行。

参 考 文 献

- [1] 郑文君译,一九八一年油轮事故率回升,交通环保,1983,4: 48—49.
- [2] K.S.Aravamudan等著,李曼译,预报不平静海面溢油扩散的简化数学模型,交通环保,1984,6: 15—22.
- [3] W.E.Maffis著,孙佩君译,河口石油扩散模型,交通环保,1984,6: 22—24.
- [4] 近藤五郎著,李柯华译,流出油的特性,交通环保(国外科技增刊第一辑),1984,1—28.
- [5] 忻韦方,关于海面溢油扩散的计算方法,交通环保,1984,1: 8—12.
- [6] 吴廷芳,南海北部海面溢油漂移可能路线的初步研究,热带海洋,4(1985),3: 67—73.
- [7] 张和庆等,广东沿岸海区油类污染的特点及防治措施,海洋通报,7(1988),2: 44—48.
- [8] 陈特固,香港地区的水文概况,南海海洋科技,1982,4: 14—26.
- [9] 松崎宪四郎,海上流出油シミュレーションとその利用、公害と対策,18(1982),12: 14—20.
- [10] Samuels, W. B., An oilspill trajectory analysis model with a variable wind deflection angle, *Ocean Engineering*, 9(1982), 4: 347—360.
- [11] 黄礼贤等,石油在海洋中扩散,环境科学丛刊,3(1982),1: 7—12.
- [12] 张和庆等, A平台附近油膜来源的分析,海洋通报,6(1987),1: 54—57.
- [13] Elliott, A. J., et al., Shear diffusion and the spreading of oil slick, *Mar. Poll. Bull.*, 17(1986), 7: 308—313.

2) 国家海洋局,海洋污染调查暂行规范,1975,112—114.