

附件八

关于“海利”轮沉船后
油对海域的污染情况的分析报告

中国水产科学研究院东海水产研究所

一九八七年一月

关于“海利”轮沉船后 油对海域的污染情况的分析报告

一九八四年五月十一日，巴拿马籍货轮“海利”号因海损事故在我国沿岸海域（ 27°N ， $121^{\circ}30'\text{E}$ ）沉没，船上载有燃料油176吨、柴油66吨，润滑油3640升以及其它化学药品等，造成了沉船海域大面积的环境污染，后果深为严重。我们受上海市海事法庭委托，对沉船后的溢油扩散、漂移及消散等情况进行了分析计算，以作为估算水产养殖和捕捞业受损程度时的参考。

一、溢油的基本状态分析

1、扩散

“海利”号溢油是因船体洞穿水下沉引起的。燃料油一般是闭式贮存，所以沉船瞬间燃料油全部溢出的可能性较小，而沉船后逐渐溢出的可能性较大。因此溢出属短期连续点源形式。对于这一形成的扩散目前尚未见可循的模式。我们试用细分连续源的方法来解决。也即没法把连续溢出的油细分成许多依次溢出的油，再考虑这些以瞬间源形式溢出的油各自独立的扩散和漂移，然后再把海上所有的分布综合起来作为近似的连续性溢油的扩散分布情况。这种方式，从传播和扩散理论角度而言是可行的，而我们得到的分布情况与实际采样调查也是基本吻合的。为此，我们采用此细分连续源的方法来讨论其扩散情况。

关于瞬间点源油污扩散模式，至今为止国内外已有较多的报导。点源扩散分为三个阶段。由重力和内摩擦力控制的阶段，重力和沾滞阻力作用的阶段和由表面张力和沾滞力作用的阶段。三个阶段都有不同的扩散模式。考虑到前两个阶段持续时间短，且我们讨论的是溢油后一段时期的情况，从而不考虑扩散的前两个过程。我们选用 Fay⁽¹⁾ (1969) 的计算模式：

$$D = 2 K \left(\frac{\sigma^2 + \rho^2}{\rho \nu} \right)^{1/4}$$

其中， σ 为油膜张力与海水张力差， ρ 为海水的比重， ν 为动沾滞系数， K 为一常数， D 为扩散直径。七%时间(秒) 参照苗绿田⁽²⁾ (1983) 所作的结果 $\sigma = 30$ 达因/厘米， $\rho = 1.03$ ， $\nu = 10^{-2}$ 厘米²/秒。据 Cormack⁽³⁾ (1983) 介绍 K 为介于 1 ~ 10 的数，我们取 9。

2. 油块的漂移

溢油在扩散的同时，在表面流和风的影响下不断地漂移。根据前人研究的结果看，这种漂移就起因而言可以分为两种主要的形式。一种是流载，一种是风吹。流载在流选相似的条件可以认为是整体搬运。风动漂移则与厚度有关，厚度越大漂速越快。

Cormack⁽³⁾ (1983) 介绍约在风速的百分之 1 ~ 4 之间，漂移方向在风向右侧 22° 处。考虑到溢油是粘度较高的燃料油，厚度相应较大的情况取了风选的 3% 和 2%。为简单起见忽略了膜上各点因厚度不同而产生的差异。这样我们也就把这两种不同的漂移都看作是整块统一的。用油膜的中心点（其运动与扩散无关的点）

的运动来表示。表 1 是台山附近 11 日~20 日各天油漂的平均速度。其中 V 表示速度 (m/s)， A 表示方向。下标 C 表示因潮流引起的，下标 r 表示因余流引起的，下标 w 表示因风引起的。无下标表示合成的。我们采用的潮流和风的资料均采自国家海洋局东海分局沿岸海洋台站观察资料。

表 1 台山附近海域中溢油漂移的平均速度

日 期	V _C	A _C	V _T	A _T	V _W	A _W	V	A
1 1	0. 0259	249. 1085	0. 0800	28. 5	0. 0626	259. 0728	0. 0684	316. 0191
1 2	0. 0201	279. 9488	0. 0800	28. 5	0. 0486	56. 0000	0. 1167	30. 1542
1 3	0. 0246	288. 0039	0. 0800	28. 5	0. 1240	55. 1718	0. 1890	38. 0811
1 4	0. 0224	294. 8041	0. 0800	28. 5	0. 1294	259. 9558	0. 1236	297. 5409
1 5	0. 0146	340. 8296	0. 0800	28. 5	0. 0908	247. 0000	0. 0698	314. 1095
1 6	0. 0066	444. 1196	0. 0800	28. 5	0. 1707	252. 4169	0. 1222	281. 0834
1 7	0. 0083	340. 8378	0. 0800	28. 5	0. 1187	247. 2568	0. 0807	293. 5251
1 8	0. 0242	88. 4862	0. 0800	28. 5	0. 1015	237. 0733	0. 0277	304. 6359
1 9	0. 0210	92. 788	0. 0800	28. 5	0. 1194	245. 7085	0. 0536	292. 0730
2 0	0. 0156	92. 0559	0. 0800	28. 5	0. 1155	247. 0000	0. 0581	295. 0827

从表 1 和其它台站资料计算结果看,溢油在这一阶段主要向西北方向漂移,影响我国温州地区沿岸海域。

3. 衰 减

由于我们考虑的是溢油对海洋的污染,油的衰减除挥发和登岸外其它的如分解氧化等都不会降低油污对海洋的污染程度。所以在此不予考虑。登陆的情况比较复杂且是漂移扩散到特定地点的结果。在此也不作讨论。所以这里仅涉及到油的挥发。

Cormack⁽³⁾(1983) 等的实验结果表明,原油的挥发在 2 小时内约为 20% 左右,8 小时为 25%~31%,波动是因风速和温度不同引起的,8 小时以后挥发明显减少。他们所用的原油中约 30% 的成分沸点低于 250℃,53% 的成分沸点低于 300℃,而“海利”号所载油是燃料油,柴油,润滑油,它们的沸点在 250℃~500℃ 之间,其中占比例最多的燃料油其沸点在 300℃ 以上。一般地说来,沸点低的油容易挥发,故“海利”号产生的油污的挥发显然是要低于 Cormack 实验的结果。作为估算,考虑到情况的复杂和可能的变化,我们取 10%~30% 作为估算时的总的挥发量。又因挥发主要在溢出初期起作用,而我们讨论的是溢出一段时间后油污所起的作用,为简单计认为挥发是瞬间完成的。

二、几项重要的参量

为了最终了解溢油对海洋的污染状况,除了上述最基本的状态外,还有几项重要的参量有必要作一讨论。

1. 溢油的截止时间

根据“海利”号的受损情况,船沉瞬间油全部溢出是可以排除

的。从事后的调查看，溢油在几天内达到了一定的数量，所以认为是沉船开始的短期连续溢油比较符合实际情况。由于19日在出事点附近测得很高的含油浓度，可以假定溢油至少到18日截止。我们就取18日作为截止时间，以使我们估算出的溢油的影响范围不至于过大，不至于产生不符合实际情况的结果。

2、油在海上的平面分布

油入海后，大多数的油将浮出海面形成海面油膜。它们边扩散，边被波浪破碎并随风、流漂移，在海面形成一定的分布状态。为了对“海利”号载油溢出后的情况有一空间概念，我们试模拟其溢出后在海面的平面分布状态。

根据细分的设想，我们设连续溢出的油是以一定的时间间隔依次溢出，然后再逐一跟踪它们各自的漂移和扩散情况，这样我们就能得到各时刻海上由这些点源所形成的油膜群。再考虑到连续溢出的事实，对其综合后，可得到模拟的连续溢出的近似分布。根据出事海域风、流的资料，分别作了溢出间隔为六小时和二十四小时的模拟，所得结果基本一致。为清晰起见，这里采用以二十四小时为间隔的分布图。图1是十四日的分布图，而图二、图三则分别为十九日和二十日的分布图。其中考虑到溢油截止的时间，最多的时候海上共有8个依次产生的油膜区，同样我们也得到了其它各天的油污分布。从图中可以清楚地看到5月14日南麂列岛已受到油膜的影响，以后不断面移，5月19日南麂列岛以南、台山列岛以北的广阔海域受到了溢油的污染。

3、含油浓度的估算

油污在海中除挥发外还有溶解、乳化、氧化、沉淀等作用，在

垂直方向上有一定的分布。油污在海中垂直方向上的分布很不均匀，越近表层浓度越大。

为了对海上不同区域的影响程度有一概念，我们在近表层引入浓度作为量算标准。对于一给定的均匀油污区域我们有

$$C = \frac{M}{Ah}$$

其中， M 为油污中的实际油量， A 为其面积， h 为等效污染深度。 h 的取法应满足在 h 的深度内污染浓度与 C 之间的差无数量级的差别。

三、结果

1. 溢油量

为了对溢出的油量作一数量级的估算，我们用采样比较集中的19日的油污分布（图2）与实际采样值（表2）进行对照。结果分布图与采样得出的污染分布情况基本一致。因测得的油污浓度量

值接近，取其平均值 $\bar{C} = \frac{\sum C_i}{n}$ 作为该区域油污浓度。在采样值

中去掉一个分布区外的点，加上18日的一个采样值，得

$\bar{C} = 0.2278 (\text{mg/l})$ 。再从分布图上量算得面积约为 $3366 (\text{Km}^2)$ 考虑到实测采样时取样水桶深度约 0.22 m 。则

表2 “海利”轮沉没区采样调查和检验结果

采样时间	采样地点	C (mg/l)
5月18日 1500	N27° 26' 45" E121° 04' 45"	0.22
5月19日 615	N27° 15' 00" E121° 04' 45"	0.27
5月19日 730	N26° 58' 45" E121° 08' 45"	0.30
5月19日 805	N26° 58' 30" E121° 11' 30"	0.25
5月19日 810	N26° 58' 30" E121° 11' 30"	0.21
5月19日 845	N26° 58' 00" E121° 01' 00"	0.24
5月19日 938	N27° 00' 45" E120° 50' 15"	0.26
5月19日 1025	N27° 03' 00" E120° 41' 45"	0.21
5月19日 1110	N27° 06' 00" E120° 30' 45"	0.24
5月19日 1540	N27° 21' 30" E120° 41' 45"	0.09

注①此表采自索赔报告书附件之六

②带*的采样值在分布区外

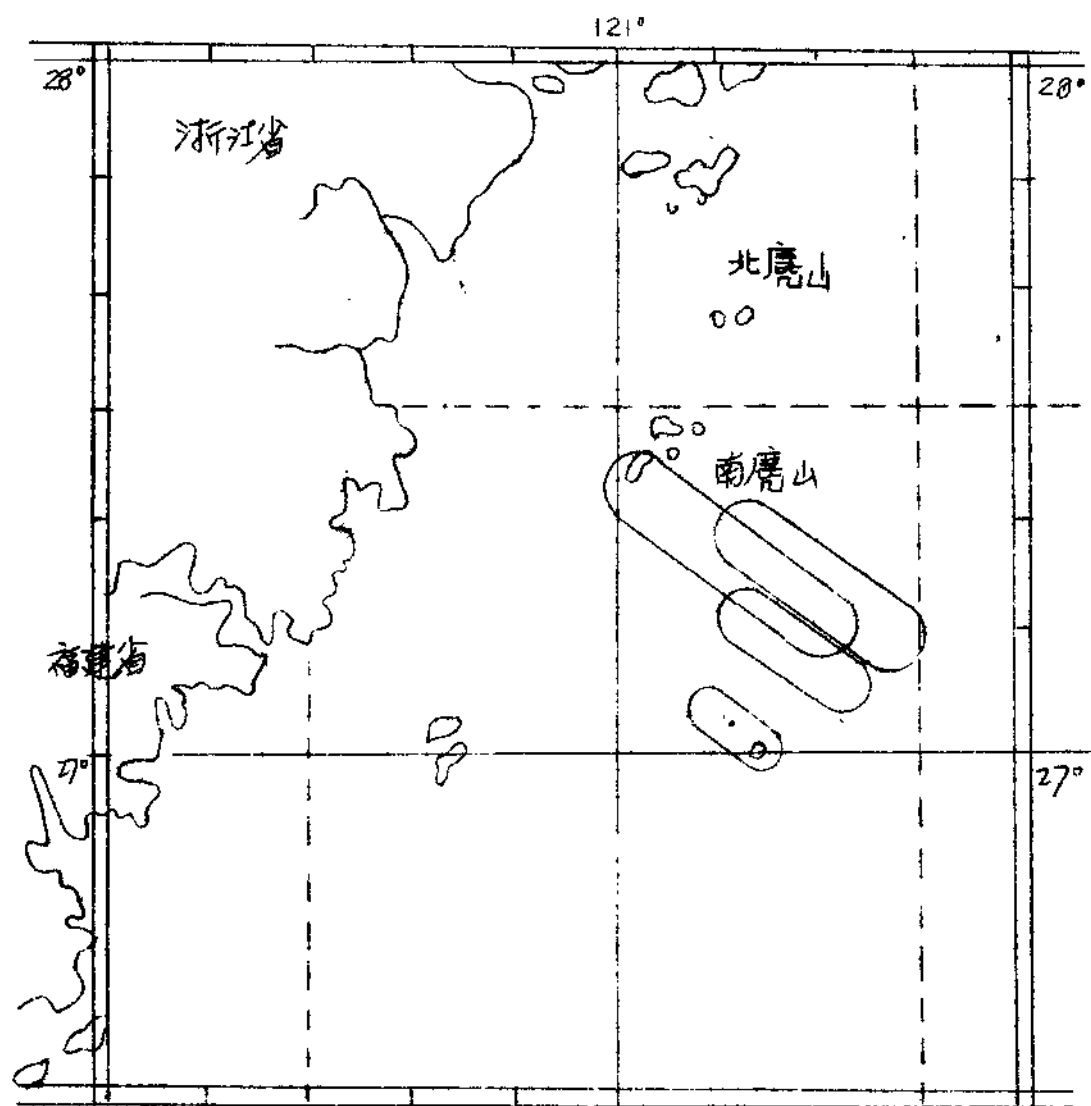


图1 1984、5、14油污分布

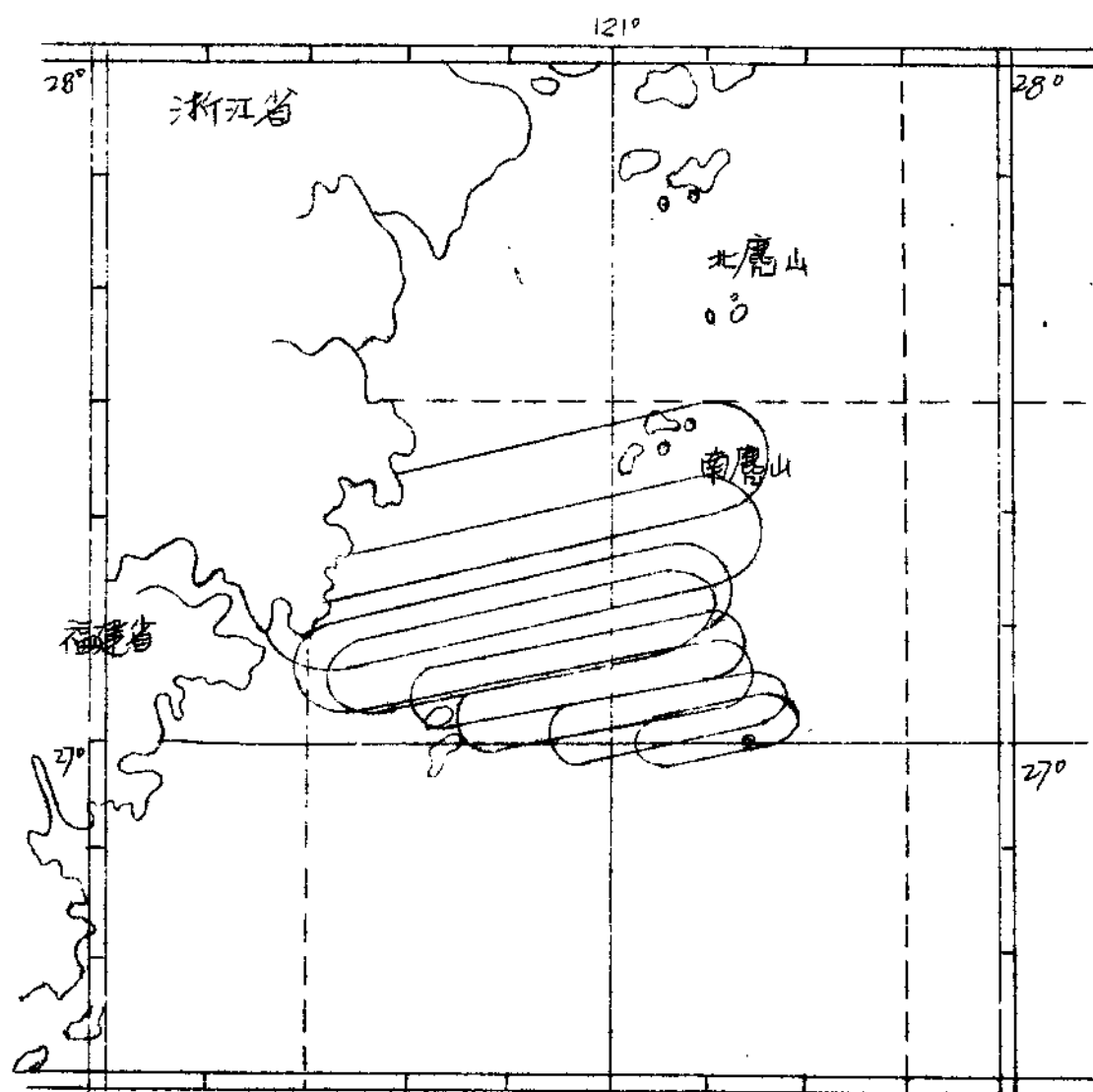


图2 1984、5、19油污分布

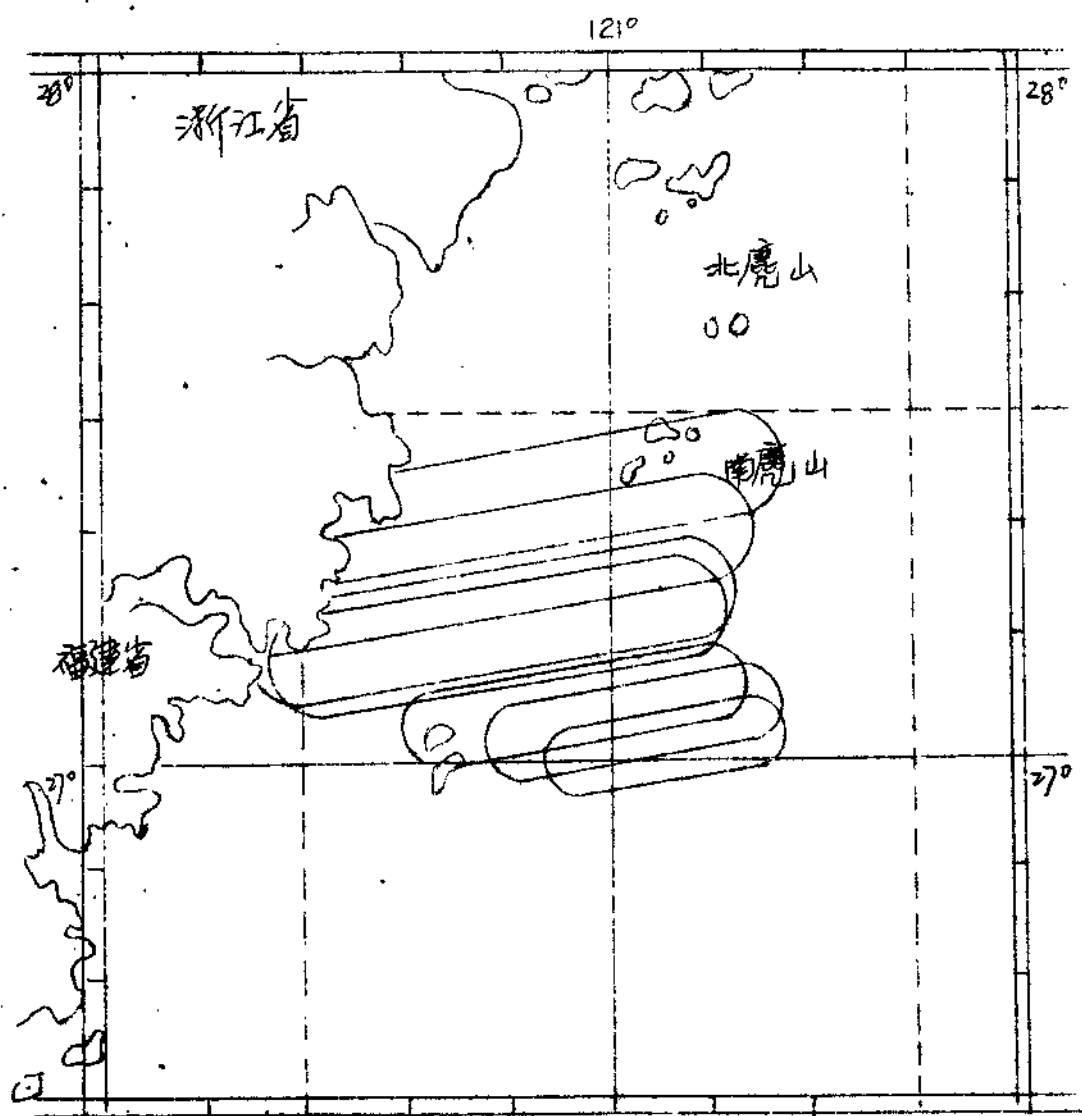


图3 1984、5、20 油污分布

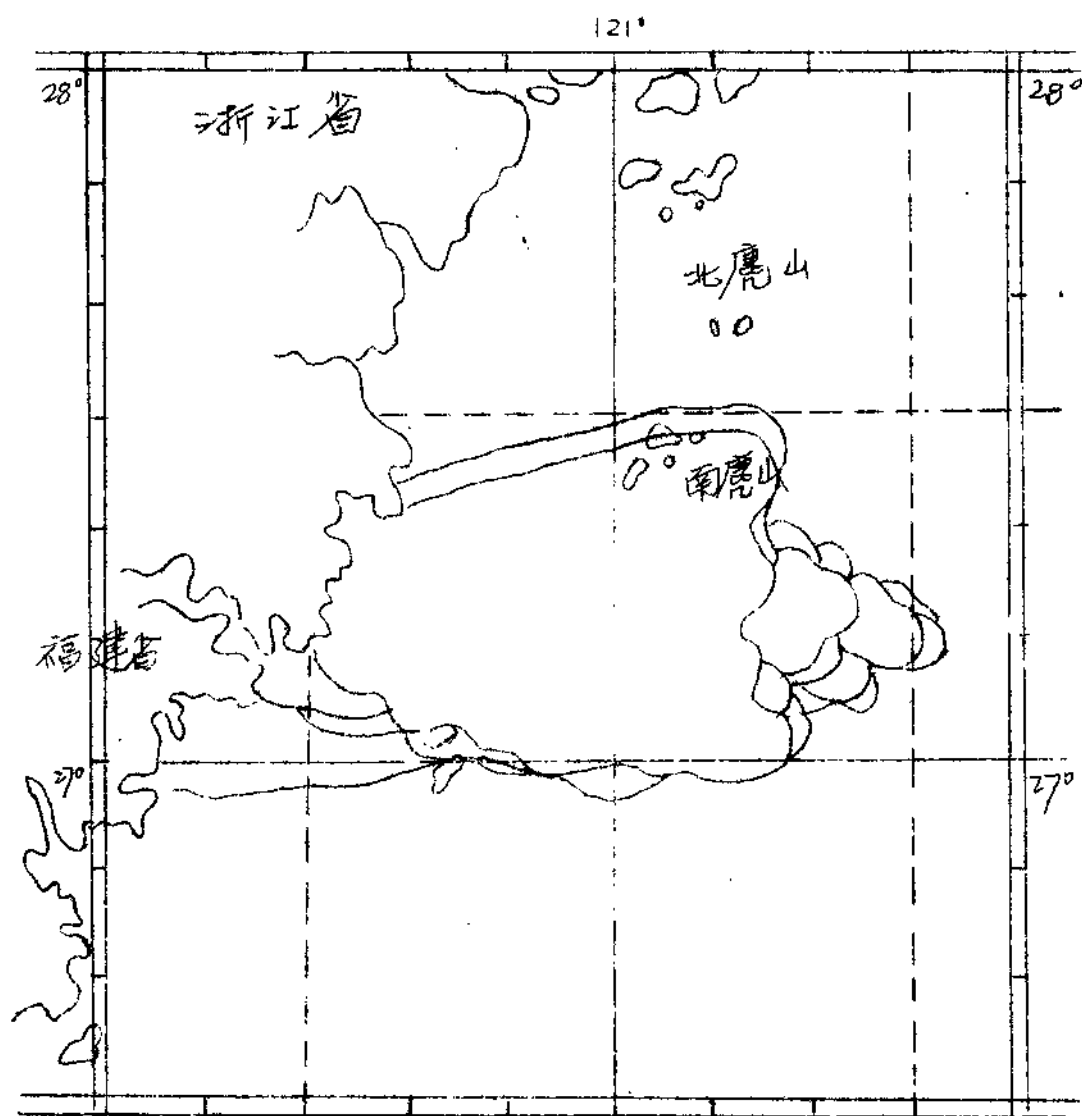


图4 1984. 5. 11~23总的污染效应面积

[$A = 5035 \text{ Km}^2$ (≥ 0.05)]

$$M = \bar{c} h A = 169(T)$$

即海面实际油量约为 169 吨。实际溢出的油量应是实际油量加上衰减的部分即 $M_s = M / (1 - a)$ 。a 为衰减率，这里就取挥发率，采用较小的挥发率 20%，则有

$$M_s = M / (1 - a) = 211(T)$$

即“海利”轮实际溢入海中的油约为 211 吨。每天平均溢出约 2636 吨油。

2. 污染效应时间

油在海里经过一段时间将会消散在较大体积的海水之中。由于讨论的是对渔业的影响，所以我们所谓的消散是指污染降低到对渔业无危害作用，污染的降低我们用近表层浓度降低来表示。

油的消散是其分布范围和纵向扩散增大的结果。平面分布范围就点源而言起因于扩散面积。纵向扩散则是波浪作用下的乳化，溶解和沉淀作用的结果。“海利”轮溢油的分布区域并没有大到表面波浪有太明显的差异的情况。所以，油的消散主要取决于扩散。

由于油随着海流和风漂移，所以先后溢出的油并不完全重叠，扩散面积则与时间有关，时间越长面积越大。所以先溢出的油势必比后溢出的油消散得早。所以只要对最后溢出的油的消散情况作出估算，也就能推算出从溢出起到消散间所经历的时间。

根据前而的细分方法，我们考虑每一瞬源溢油的消散情况。由

$\bar{c} = \frac{m}{h \cdot A}$ 来表征消散情况。其中 m 为被考察的溢油在海面的实际油

污量，h 为等效污染深度，A 为其扩散面积。着设扩散图型是椭圆，

则 $A = \pi a b$ 。代入 F_{ay} (1969) 的公式。我们有

$$\bar{C} = \frac{m}{k\pi \left(\frac{\omega^2 t^3}{\rho v} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot h} = \frac{m_0 (1-a)}{k\pi \left(\frac{\omega^2 t^3}{\rho v} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot h}$$

其中, $m_0 = 2636(T)$, a 取最大挥发系数 0.3。其它参量与前面的选择一致。最后得到 $\bar{C}$ 与 t 和 h 的关系, 也即 $\bar{C}$ 与 d (天数) 及 h 的关系。据此得到表 3。其中 d^* 表示的是溢油从开始入海起总

表 3 不同浓度相应的污染效应时间

$\bar{C}$ (mg/l)	h (m)	d (天)	d^* (天)	日期
0.05	0.5	10.54	18	5月28日
0.01	1.5	14.66	22	6月1日
0.005	2.5	16.55	24	6月3日
0.001	8	22.3	30	6月9日

的效应时间, 而 d 则表示某一天的溢油对海面的污染效应时间。面 $\bar{C}$ 应是视为消散的浓度上限。

5. 污染效应面积的估算

污染效应面积我们分为两个方面来讨论, 某一时刻海面的污染效应面积和总的污染效应面积。瞬间污染效应面积我们主要讨论其中最大的, 而其余则落在 0 与最大之间。

不言而喻, 最大的污染效应面积可望在第一天溢出的油层将消散前达到。由于不同的消散浓度所对应的效应时间是不同的 (见表 3),

它们所对应的最大效应面积似乎也应不同。然而，从我们得出的溢油分布图看，21日起部分溢油达岸，从面自此海而上的污染分布区不再增大，所以各不同消散浓度对应的最大效应面积间的区别体现不出。最大的污染分布区即最大效应面积都在20日达到，从图3中量算出其面积约为 3578km^2 。

总的污染效应面积是溢油影响过的区域的总和。我们共绘制了11日~25日各天的分布图，再把它们综合起来得到图4。图4也就示出了总的污染影响区域。从中量算出面积为 5035km^2 。

根据上述分析计算表明，“海利”轮沉没后，溢出的油对我国温州附近近岸海域及岛屿产生了一定程度的污染，对于包括南应，台山列岛地区的养殖业和这一海域的捕捞业造成了相当程度的污染影响。

参 考 文 献

(1) Fay, J. A., Spread of oil slicks on a calm sea. In Oil in the Sea (ed D. P. Honlt) Plenum Press new york(1969).

(2) 苗绿田, 新建石臼港海区污染预测预报. 海洋科学, 第四期, (1983).

(3) Cormack, D., Response to Oil and Chemical marine pollution, Opplied Science Pullishers, London and new york(1983).