

基于Fay理论的油膜扩散漂移模型

摘要

石油泄漏事故一直是对环境影响最严重的事故之一，对海洋生态系统、沿岸居民的生命财产安全都会造成严重的影响。本文以渤海湾蓬莱19-3油田漏油事件为背景，建立反映石油泄漏扩散规律的数学模型，分析了在不同条件下石油扩散的规律，在所给的条件下确定了漏油点的大致位置，并根据实际泄漏情况确定了陆地监测站的最佳位置和最少数量。

第一问，关于一个泄漏点的石油泄漏的扩散规律的数学模型，这是最基本的问题，对这一问题我们建立了由“特殊”到“一般”的两个模型。首先我们利用Fay理论建立了静水条件下的油膜扩散基本数学模型，并通过对重力、表面张力、粘滞力和惯性力的计算，得出油膜扩散重力阶段，粘滞力阶段，表面张力阶段三个阶段的数学表达式，从而较全面研究了在平静海面上发生原油泄漏的情况；其次，建立融入风—洋流条件的一般性数学模型，这里我们利用D.P.Hoult的理论对油膜扩散漂移的两个阶段的规律进行了探索，得到了油膜扩散漂移不同阶段的数学模型，最终得到了油膜扩散漂移模式第一阶段的合速度方程和第二阶段油带长度与连续溢油时间的关系式，从而得出了油膜扩散的规律。

第二问，通过对模型一分析，利用时间和空间变化条件，用MATLAB软件进行求解，得到了通过检测时间空间节点确定石油泄漏位置的方法，确定了泄漏石油的具体区域；我们又利用风—洋流进阶数学模型和实际泄漏点情况，确定了漏油后安排陆地监测站的最佳位置和最少数量。我们求解的结论：在水风合速度影响下：油膜前端呈圆形，圆心位置即水风合速度作用的位移，后端被拉长过泄漏点。通过找出扩散时间和蓬莱北、旅顺南经纬度，在平面直角坐标系中进行换算，最终通过两圆交点确定了漏油点的位置。

第三问，基于第二问模型结论，可以将监测站确定转化为求三个互呈120度角圆形的油膜的交点的数学模型求解问题，这样获得的监测站可完整监控油膜状态，通过计算大圆与陆地的交汇点，我们确定了三个监测站的位置。本模型操作性强，易于推广应用。

关键词：Fay理论，石油泄漏，扩散漂移模型，最优选址问题，MATLAB

目录

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 1 问题重述 | 3 |
| 1.1 题目背景 | 3 |
| 1.2 问题重述 | 3 |
| 2 模型假设与约定 | 3 |
| 3 符号说明及名词解释 | 4 |
| 4 模型建立与求解 | 4 |
| 4.1 油膜扩散基本模型 | 4 |
| 4.1.1 油膜扩散第一阶段 | 5 |
| 4.1.2 油膜扩散第二阶段 | 5 |
| 4.1.3 油膜扩散第三阶段 | 6 |
| 4.1.4 基本溢油模型关系式 | 6 |
| 4.2 油膜扩散漂移模式 | 6 |
| 4.2.1 第一阶段 | 6 |
| 4.2.2 第二阶段 | 6 |
| 4.3 问题一的分析与求解 | 7 |
| 4.4 问题二的分析与求解 | 7 |
| 4.4.1 风-洋流进阶模型的建立 | 7 |
| 4.4.2 问题二的求解 | 8 |
| 4.5 问题三的分析与求解 | 12 |
| 5 模型评价 | 13 |
| 5.1 模型优点 | 13 |
| 5.2 模型缺点 | 14 |
| 5.3 未来改进方向 | 14 |

1 问题重述

1.1 题目背景

原油泄漏事故一直是人类工业进程中影响最严重的事故种类之一，原油泄漏会造成环境污染和生态破坏，对海洋生态链、沿海居民的生命财产安全都造成影响。为了减少海洋原油泄漏所带来的影响，用有关理论建立原油泄漏扩散的相关模型，来预测原油泄漏的方向和速率和影响范围，使人们能在最短时间内结束泄漏灾难，一直是人们努力解决的问题。2011年6月4日，蓬莱19-3油田B、C平台出现泄漏，对附近海域的生态环境、人员的生命财产安全都造成了极大的危害。当日16时可以清晰看到一条千米以上的油带浮在海面，渤海蓬莱19-3油田漏油事故发生两个多月以来，溢油单日最大分布面积达到158平方公里，甚至蔓延到840平方公里。康菲石油单方面的最新通报称，截至2011年8月29日，其所巡视的几千公里海岸上收集了75份样品，全部送至独立实验室作检测分析，绝大多数与燃料油相似，油样继续显示溢油不会对海岸造成实质性影响。在此情况下，我们若能建立石油扩散数学模型，找到石油扩散的规律，预测石油扩散的面积和影响范围，则会对现在以及未来石油事故的后续处理有极大地帮助。

1.2 问题重述

2011年六月，蓬莱19-3油田B、C平台出现石油泄漏，对海洋生态造成严重污染对沿岸居民的生命财产安全都造成了严重影响。我们需要建立数学模型，模拟预测石油泄漏扩散情况，通过所给条件确定溢油位置，并根据泄漏点位置建议陆地观测站的位置和数量。

问题一要求在只有一个泄漏点的条件下，建立单点源泄露扩散规律的数学模型，刻画油膜的扩散特点和规律。原油扩散规律要通过具体数学公式或模型来呈现，来客观反映原油泄漏的实际情况，从而更好的把握原油泄漏的具体情况，以对此情况做出具有时效性的措施来减少原油泄漏对海洋生态环境所带来的影响。

问题二要求根据所提出的数学模型以及问题一中得到的油膜扩散特点和规律，并通过蓬莱（6月26日）大连（6月27日）两个观测到油膜的观测站点的时间和空间位置确定假定的单一溢油点的大致位置，从而为问题三的解决提供参考和方案。

问题三要求根据实际溢油点情况确定陆地观测站的位置和最少数量，观测点的建立要符合实际情况，在保证观测站最少数量的情况下确定其具体位置并能观测到原油溢油区域的具体情况，并且是在陆地上的观测站而不是海洋里的观测站。

2 模型假设与约定

- 1 渤海海域海平面面积足够大并且海水总容量基本保持不变，由于原油泄漏时间较短故可忽略自然状态下的海洋自净过程，不考虑船舶等交通工具造成的影响，也不考虑海洋生物的影响。
- 2 不考虑原油的蒸发和与海水某些物质的化学反应，以及原油扩散过程中各种性质的改变，如密度、表面张力等，我们也不考虑油滴在浮力作用下与海水互相作用形成油滴的水下扩散。

3 被原油污染的区域水质等情况一致，原油的扩散速率相同，即不考虑水质在不同海域的差别。

4 不考虑地球自转对结果所产生的影响。

3 符号说明及名词解释

| 符号 | 符号说明 |
|----------|--------------|
| ρ_w | 海水密度 |
| ρ_o | 原油密度 |
| u | 油膜边缘初速度 |
| Q | 溢油点溢油流量 |
| ν_w | 海水运动粘度 |
| δ | 静表面张力系数 |
| K_1 | 油膜扩散第一阶段扩张系数 |
| K_2 | 油膜扩散第二阶段扩张系数 |
| K_3 | 油膜扩散第三阶段扩张系数 |
| u_{0t} | 石油自身扩散速度 |
| $u_{水流}$ | 水流速度 |
| $u_{风}$ | 风速 |
| b | 风对油膜运动的作用系数 |
| R_0 | 初始扩散半径 |
| $U_{合}$ | 水风叠加速度 |
| U_t | 扩散漂移速度 |
| t | 连续溢油时间 |
| ζ | 风力系数 |
| η | 洋流系数 |
| u_{w0} | 风速 |
| r | 油膜半径 |

4 模型建立与求解

4.1 油膜扩散基本模型

在平静的海平面上，原油泄漏可以看成是在无风无洋流波浪并且海水各向同性的理想条件下进行。若忽略原油挥发、乳化等因素，则原油的扩散也具有各向同性，所以原油在海平面的扩散应该是以泄漏点为中心的平面点源扩散，油膜的形状可以看成以漏油点为中心的圆。根据Fay等人的理论^[1-4]，原油的扩散过程主要受重力、惯性力、粘滞力和表面张力的影响。依据主要作用力的不同可以把扩散过程分为：惯性力与重力、重力与粘滞力、粘滞力与表面张力三个阶段。

以漏油点为极点，正东方向为极轴，建立极坐标系。根据流体力学控制方程，选取油膜运动任意时刻垂向断面上的微小油滴段dr，得到四个主要作用力的方程表达式。

$$\text{重力: } \tilde{G} = (\rho_w - \rho_0) g \frac{h}{2} \frac{\partial h}{\partial r} dr, \quad \text{惯性力: } F_1 = \rho_0 h \frac{\partial u}{\partial t} dr + \rho_0 u \frac{\partial(hu)}{\partial r} dr,$$

$$\text{粘滞力: } F_2 = \rho_w v_w \frac{2u}{h} \frac{\partial h}{\partial r} dr, \quad \text{表面张力: } F_3 = \frac{1}{2} \beta \frac{\partial h}{\partial r} dr,$$

其中, r 为油膜扩展半径, t 为溢油时间, h 为油膜平均厚度, u 为油膜边缘处速度, Q 为溢油点溢油流量待求解, g 为重力加速度取9.8。 ρ_0 为原油密度为 $810 kg/m^3$, ρ_w 为海水密度, 取 $1022 kg/m^3$ 。 δ 为净表面张力系数, 取值 $7.105 * 10^{-2} N/m$, v_w 为海水运动粘度, 取值 $1.01 * 10^{-6}$, 受力分析图如下:

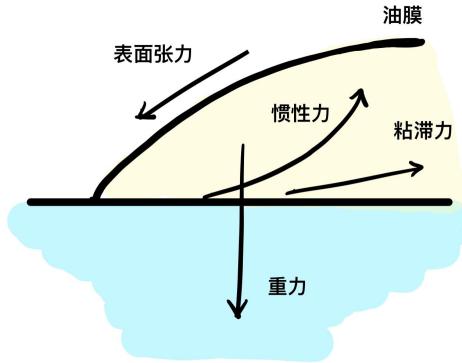


图1.油膜受力分析图

4.1.1 油膜扩散第一阶段

油膜扩散开始时速度较快为第一阶段, 重力占优势, 主要以重力为动力, 惯性力为阻力, 油膜在海面上迅速扩散, 有扩散方程:

$$\rho_0 u \frac{\partial(hu)}{\partial r} dr = (\rho_w - \rho_0) g \frac{h}{2} \frac{\partial h}{\partial r} dr \quad (1)$$

有油膜平均厚度 $h = V/(\pi r^2) = Qt/(\pi r^2)$, 油膜边缘处扩散速度 $u = dr/dt$, 得到

$$r_1 = K_1 \left(\frac{\Delta}{1 - \Delta} g Q \right)^{\frac{1}{4}} t^{\frac{3}{4}} \quad (2)$$

其中 K_1 为扩张系数, 为1.14。 $\Delta = 1 - \rho_0/\rho_w$ 。

4.1.2 油膜扩散第二阶段

油膜扩散一段时间后, 速度减小达到第二阶段, 以重力为动力, 粘滞力为阻力, 有

$$\rho_w v_w \frac{2u}{h} \frac{\partial h}{\partial r} = (\rho_w - \rho_0) g \frac{h}{2} \frac{\partial h}{\partial r} \quad (3)$$

代入相应关系, 得到

$$r_2 = K_2 (\Delta g)^{\frac{1}{5}} v_w^{-\frac{1}{5}} Q^{\frac{2}{5}} t^{\frac{3}{5}} \quad (4)$$

其中, K_2 为扩张系数, 取值1.45。

4.1.3 油膜扩散第三阶段

油膜扩散的第三阶段，扩散继续，表面张力为主要作用力，以表面张力为动力，粘滞力为阻力，有

$$\rho_w v_w \frac{2u}{h} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{1}{2} \delta \frac{\partial h}{\partial r} \quad (5)$$

代入变量关系，得到

$$r_3 = K_3 \delta^{\frac{1}{3}} Q^{\frac{1}{3}} \rho_w^{-\frac{1}{3}} v_w^{-\frac{1}{3}} t^{\frac{3}{3}} \quad (6)$$

其中 K_3 为扩张系数，为1.6。

4.1.4 基本溢油模型关系式

Q 的求解由于未知溢油流量 Q ，我们通过蓬莱19-3溢油事故从六月四日到七月十四日溢油量1500桶，总时长40天，换算得出

$$Q = \frac{1500 \times 159 \times 10^{-3}}{40} = 9.43 \text{ (m}^3/\text{D}) \quad (7)$$

将所有数据代入，得到三个阶段的半径随时间扩张的表达式：

$$r_1 = 0.131 t^{\frac{3}{4}} \quad (8)$$

$$r_2 = 26.45 t^{\frac{3}{5}} \quad (9)$$

4.2 油膜扩散漂移模式

根据D.P.Hoult提出的石油在海洋中的运动关系式，可将油膜扩散漂移模式分为两个阶段：

4.2.1 第一阶段

第一阶段，当流入水体的石油扩散达到最大稳定面积之前或瞬间，石油（或油膜）的扩散漂移运动受石油自身扩散和洋流与海风的混合作用，即此时的运动是扩散加漂移的合运动。

$$\vec{U}_t = \vec{U}_{0t} + \vec{U}_{水流} + b \vec{U}_{风} \quad (10)$$

式中， \vec{U}_t 表示石油的扩散漂移速度矢量， \vec{U}_{0t} 为石油自身扩散的速度矢量， $\vec{U}_{水流}$ 为水流速度矢量， $\vec{U}_{风}$ 为风的速度矢量， b 为待定系数，可实测得到，成为风对油膜运动的作用系数，主要取决于风、油类和水体性质，一般认为 b 数值在0.02到0.05之间。其中，对 \vec{U}_{0t} ，有

$$U_{0t} = at^{-\beta} \quad (11)$$

4.2.2 第二阶段

第二阶段，当油膜扩散达到最大稳定面积后， $U_{0t} = 0$ 时，此时油膜的扩散漂移运动就完全转变为漂移运动了。

$$\vec{U}_t = \vec{U}_{水流} + b \vec{U}_{风} \quad (12)$$

4.3 问题一的分析与求解

问题一要求构建单一漏油点的漏油数学模型。

蓬莱19-3油田漏油形成油膜，主要影响油膜面积的是海底漏油的流量、影响形成油膜的重力、粘滞力、表面张力，风力、洋流主要影响的是油膜位置和油膜形状。若不考虑风力、洋流，采用基本模型，即静水状态下的油膜扩张模型，令 $r_1 = r_2$ ，得出油膜扩张第一阶段和第二阶段的转换时间节点，求解得出 $t = 2331798119579302.5s$ ，即油膜扩张第一阶段向第二阶段转变共需要 $2.70 * 10^{10}$ 天，而渤海湾漏油时间在两个月内就已经结束，故可认为整个过程一直处于第一阶段内，即油膜扩散主要靠的是漏油点提供的流量。在漏油时间内，油膜呈漏油点为圆心的圆形向外扩散。

扩散模型即

$$r_1 = 0.131t^{\frac{3}{4}} \quad (13)$$

将第一阶段油膜扩散漂移模式的向量关系式分解，对于任意一个方向的 θ ， θ 为与水平面x轴的夹角，则 \vec{U}_{0t} 与其夹角为 θ_1 ， $\vec{U}_{水流}$ 与其夹角为 θ_2 ， $\vec{U}_{风}$ 与其夹角为 θ_3 。

即在该方向上的合速度为

$$U_{合} = U_{0t} \cos \theta_1 + U_{水流} \cos \theta_2 + bU_{风} \cos \theta_3 \quad (14)$$

在第二阶段漂移所形成的油带的长度为

$$L_t = R_0 + \int_0^t U_t dt \quad (15)$$

其中， t 为连续溢油时间， R_0 为初始扩散半径， U_t 为扩散漂移速度

4.4 问题二的分析与求解

4.4.1 风-洋流进阶模型的建立

实际情况下，油膜在海面的扩散速度、迁移方向和距离主要受风和洋流的影响，因此基本不会形成以漏油点为圆心的圆形油膜，而是在风和表层洋流的作用下发生漂流，漂流方向受风和表层洋流合力方向的影响，这可以理解为第一滴原油到达海面后，由外力作用导致漂移，并在漂移的过程中逐渐扩散，然而此时仍有原油不停到达海面并且漂移扩散，刚到达海面的原油厚度大，而半径相对较小，在漂移过程中厚度不断减小而且半径加大，因此，在无数次类似叠加后，假设外力作用大小和方向一直恒定，便形成了一个类似于鸡蛋纵切面的轮廓。

设海面风力和洋流和速度为 $u_2 = \eta u_{s0} + \zeta u_{w0}$ ，称为水风叠加速度，其中 η 为洋流系数， u_{s0} 为洋流漂移速度， ζ 为风力系数， u_{w0} 为风速。 η 为综合考虑油膜内力影响后，做出的表面修正系数。风力系数 ζ 为风力场修正系数， η 和 ζ 分别为0.6和0.035。以漏油点为坐标原点、正东为z轴正方向、正北为y轴正方向建立直角坐标系，对刚到达海面的油膜，油膜边缘同时有油膜自身运动速度和水风合速度两类速度，设任意油膜边缘位置 (z, y) 点处的油滴微元速度 u 的方向与轴正方向夹角为 α ，水风合速度与轴正方向的夹角为 β ，得合速度 u_0 沿x轴的分量为 $u_{0x} = u \cos \alpha + u_2 \cos \beta$ ，沿y轴的分量为 $u_{0y} = u \sin \alpha + u_2 \sin \beta$ 。对 t 时刻到达海平面的原油，考虑油膜边缘任意点 (z, y) 处的油滴微元，经过微小时间 dt 后位移到 $(x + u_{ox}dt, y + u_{oy}dt)$ ，因此油膜边缘参数方程

$$\begin{cases} x = 0.131(t - t_0)^{\frac{3}{4}} \cos \alpha + u_2 t \cos \beta & , 0 \leq \alpha \leq 2\pi \\ y = 0.131(t - t_0)^{\frac{3}{4}} \sin \alpha + u_2 t \sin \beta & , 0 \leq \alpha \leq 2\pi \end{cases} \quad (16)$$

从而认为截止到 t_0 时刻，实际原油泄漏情况将是一系列上述过程的叠加，原油刚泄漏到海平面时，受重力作用向各个方向均匀扩散，但由于同时也受到洋流和风速的合作用影响，导致扩散方向杂乱无章，假设洋流和风速的合速度大小不变，方向正东，得到油膜形状如图3所示，图中原点O即为漏油点

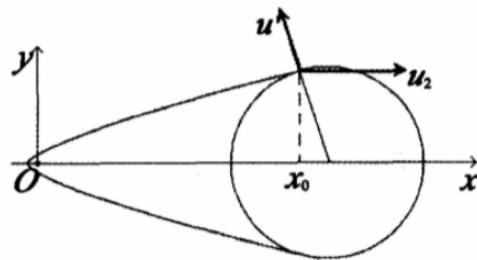


图2.油膜形状和油膜边缘速度图

油膜边缘x轴正半轴处的原油滴微元所受合外力方向与自身运动方向相同，所以求得右侧圆的圆心为 $(u_2 t_0, 0)$ ，半径 $r = 0.131 t_0^{0.75}$

4.4.2 问题二的求解

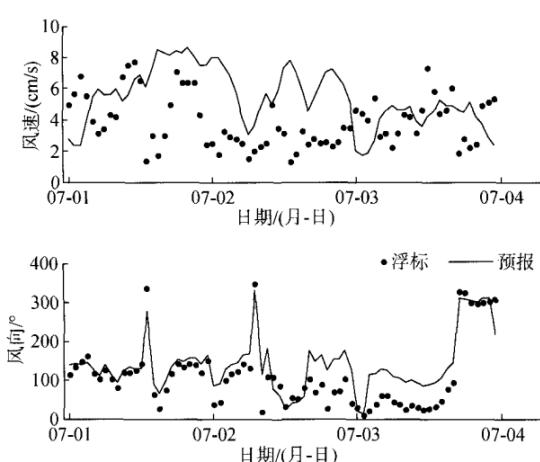


图3.BQF109得到的风速、风向图

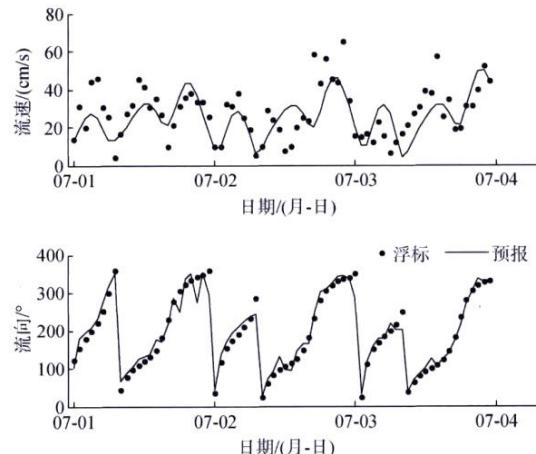


图4.BQF109得到的流速、流向图

上图是BQF109浮标得到的渤海海域七月初的风速风向、流速流向。以此作为参考考虑渤海区域在六月的风速风向、水流流速流向。由于未找到6.26,6.27具体的渤海海域洋流气象相应数据，考虑到与七月一日、二日数据相差不大，拟用2011年7月1日和2日的相关数据模拟2011年6月26日和27日的数据。

经计算，七月一日风速平均值为 4.2cm/s ,风向为100度，七月二日风速平均值为 2.7cm/s ,风向90度，七月一日、二日流速平均值分别为 31cm/s 流向175度， 39cm/s 流向180度，得出六月二十六日的水风叠加速度

$$u_2 = 0.68 * 0.31 + 0.035 * 0.042 = 0.212m/s \quad (17)$$

，同理得出六月二十七日的水风叠加速度

$$u'_2 = 0.6 * 0.31 + 0.035 * 0.027 = 0.187m/s \quad (18)$$

$$\beta = 167.32^\circ \quad (19)$$

$$\beta' = 176.04^\circ \quad (20)$$

针对 β' 进行修正，修正得出 $\beta' = 3.96^\circ$ 。

从六月四日开始计算，到六月二十六日，共1900800s，即t=1900800 到六月二十七日，t'=1987200
据此，我们可以画出26,27日蓬莱、旅顺监视到的油膜覆盖示意图

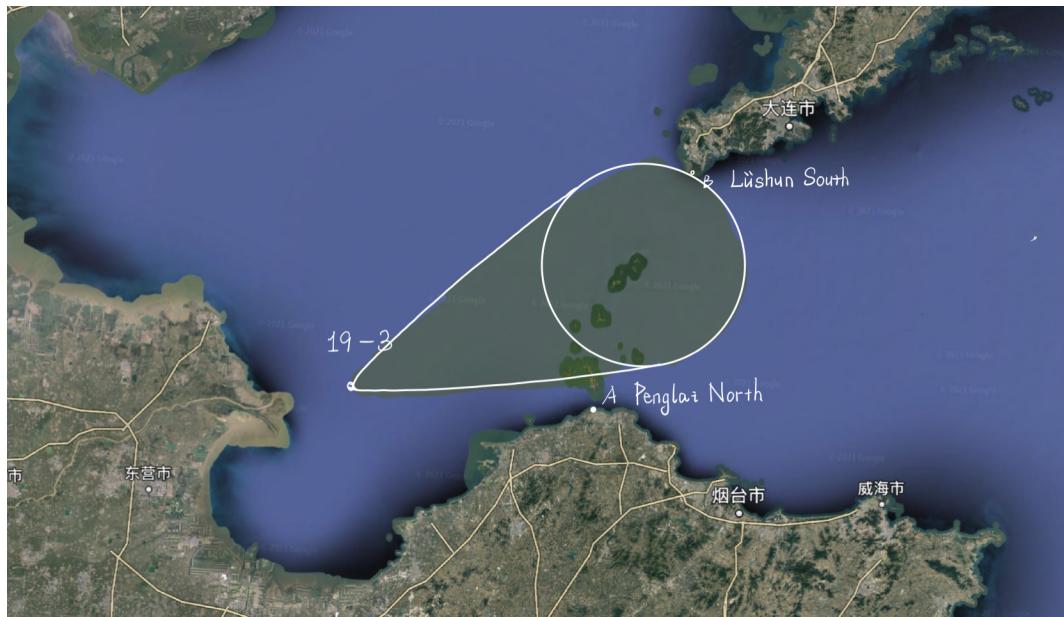


图5.旅顺南端检测油膜图

该图即表示旅顺南端监测到油膜时油膜的覆盖形态（示意图）

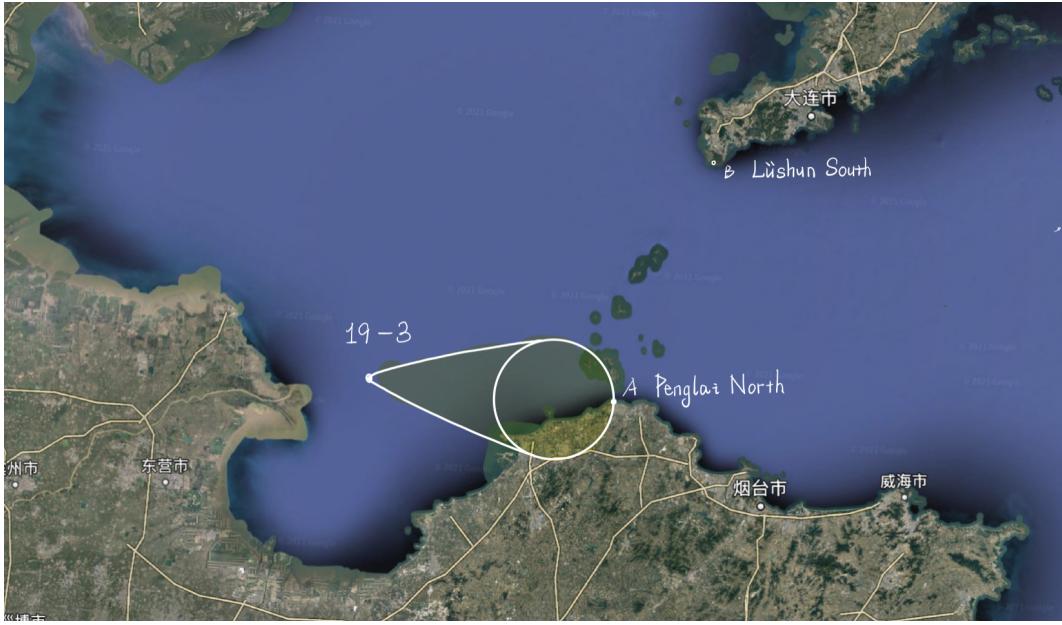


图6.蓬莱北端检测油膜图

该图即表示蓬莱北端监测到油膜时油膜的覆盖形态（示意图）由于油膜对称轴方向即为水风叠加方向，我们可以算得油膜中心点在22,23天内前进的路程分别为 $6716.16m$ 和 $6193.44m$ ，前进方向即分别为他们的水风叠加方向，油膜基本半径即基本模型求得的半径 r 与 r' ，其中有

$$r = 6706.155m \quad (21)$$

$$r' = 6933.499m \quad (22)$$

$$L = 6716.16m \quad (23)$$

$$L' = 6193.44m \quad (24)$$

同时，我们得到蓬莱北端，旅顺南端的经纬度如下：

$$\text{蓬莱北端}(37.082633^\circ N, 120.073550^\circ E) \quad (25)$$

$$\text{旅顺南端}(38.072033^\circ N, 120.015533^\circ E) \quad (26)$$

通过经纬度-距离换算公式，即 $\Delta x = 111$ 纬度差值， $\Delta y = 111$ 纬度差值 $\cos(\text{纬度角度})$ 将它们分别换算到以蓬莱北为原点的平面直角坐标系中，以km为单位分别做出等效油膜关系图。

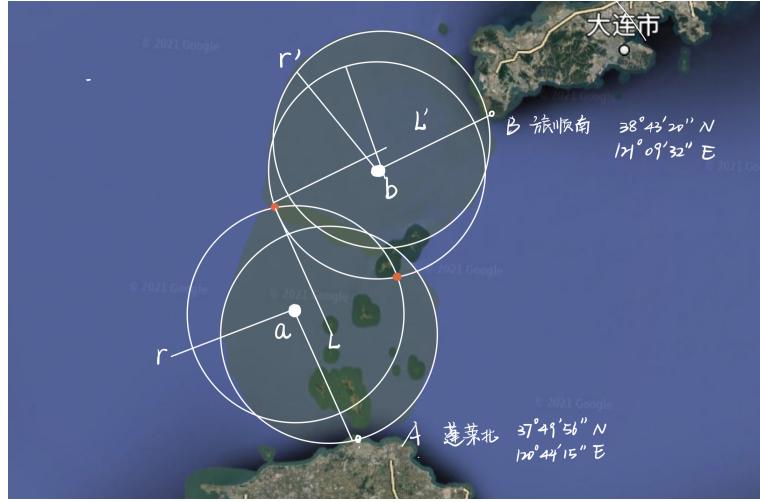


图7.等效圆中心求解

以此，分别以蓬莱、旅顺在北偏西 12.68° 做长为 L 的点、西偏南 3.96° 长为 L' 的点为圆心，以 r, r' 为半径，做两圆，两圆交点即为漏油点位置。

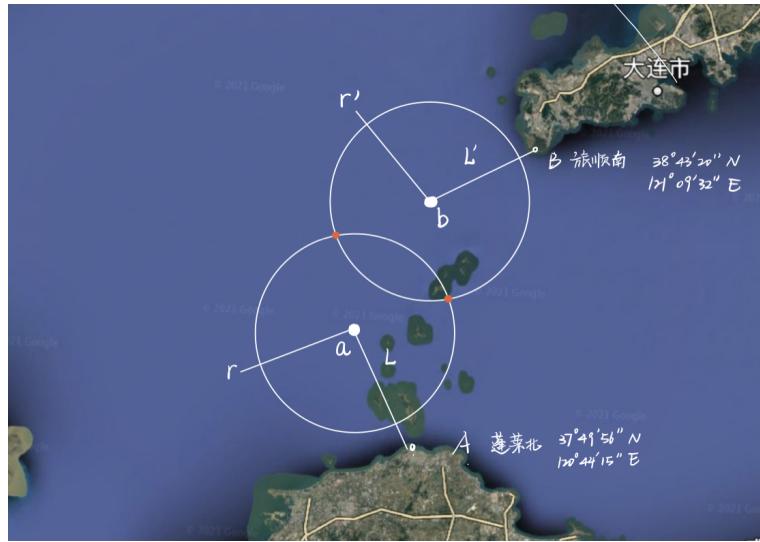


图8.等效圆求解油膜中心图

以蓬莱北为坐标原点，有

$$\begin{cases} x_a = -L \sin \alpha, & y_a = L \cos \alpha \\ x_b = x_B - L \sin \alpha', & y_b = y_B + L \cos \alpha' \end{cases} \quad (27)$$

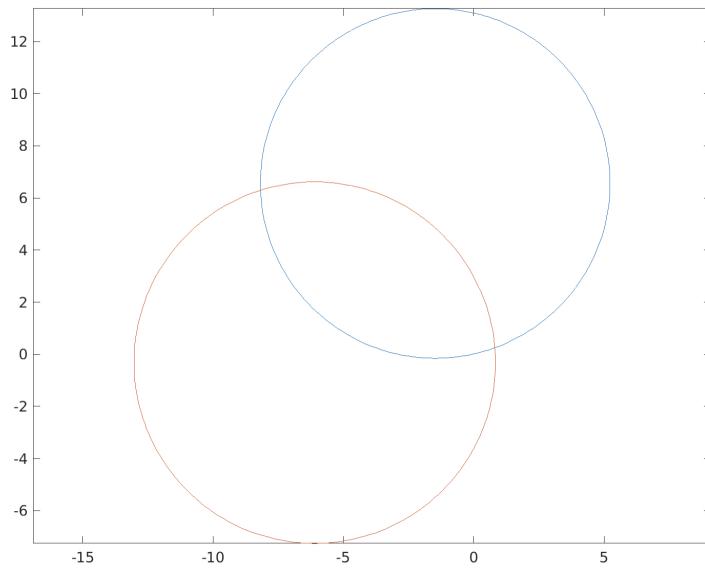


图9.MATLAB两圆交点求解(以km为单位)

通过Matlab解得合适交点的坐标为(-37.8,48),换算为经纬度为(37.515°N, 119.8°E)

4.5 问题三的分析与求解

对于问题三，目的是为了求得陆地观测站的具体位置和最少数量。所以可以以问题二中的原油泄漏点为圆心，漏油面积为圆的面积，所以要使得陆地观测站的数量最少，极限条件是每个观测点的视觉范围角度为180度，但现实生活中不能满足，所以至少需要三个观测点。

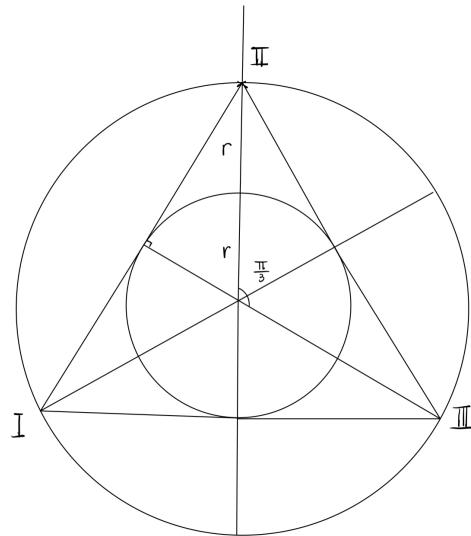


图10.三点观测位置图

如图，当三个陆地观测站以漏油点为圆心互呈120度夹角时，观测范围刚好能覆盖整个油膜。当油膜半径最大，三个陆地观测站能完全观测整个油膜时，观测站的设置能够刚好满足要求。

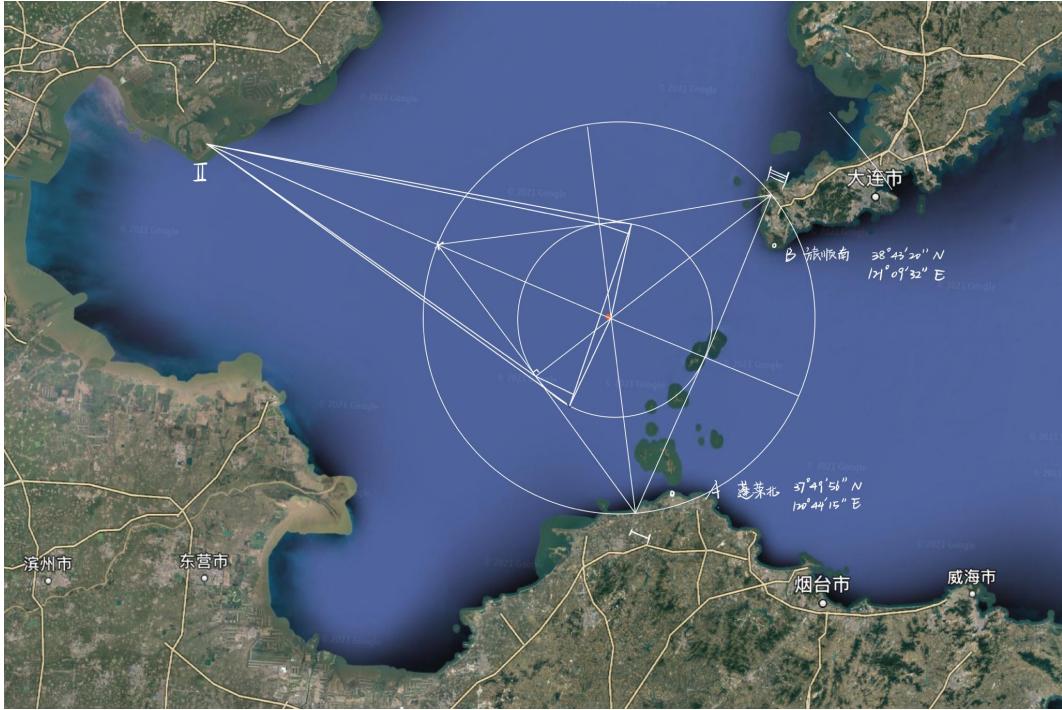


图11.实际观测站观测图

如图，油膜最大时的观测站设置如上所示。其中，二号观测站由于没有较好的陆地选址，延长到腰坨沿海，实际观测时通过长度比例换算就能够得到原二点观测到的边界位置。

由此，我们得到三个观测站的经纬度为：

$$\text{一号观测站}(39^{\circ}02'39''N, 118^{\circ}38'35''E) \quad (28)$$

$$\text{二号观测站}(38^{\circ}54'23''N, 121^{\circ}07'48''E) \quad (29)$$

$$\text{三号观测站}(37^{\circ}45'46''N, 120^{\circ}35'47''E) \quad (30)$$

5 模型评价

5.1 模型优点

模型中，我们考虑了主要影响因素是洋流和海风，抓住了主要矛盾，通过基本模型大大简化的效果节省了计算量，通过考虑到洋流和海风进阶模型逼近了实际扩散情况。结合了所制作的关于溢油的原理图更直观的展现实际情况，为接下来问题的分析提供了帮助。模型具有坚实可靠的数学基础。很多数学理论已经证明这是设计中泄油点分布的最好的方法；模型易于实现；模型使中继站发挥最大的效能。

1. 本模型清晰的分析了渤海湾蓬莱19-3油田溢油事故的主要因素，在确保实用的前提下，模型简洁直观，可以充分还原渤海湾蓬莱19-3油田事故的场景。

2. 以渤海湾蓬莱19-3油田事故为背景，建立数学模型。并且结合Fay公式等在只有一个泄漏点的条件下，建立反映这次石油泄漏的扩散规律的数学模型。

3. 利用了微分方程等数学方法，确定了泄漏石油的大致地点或区域，帮助我们更好地把握对渤海湾蓬莱19-3油田溢油分析的把握。所得结果与实际基本基本相符。

4. 最后利用了简单模型的数学几何的方法，根据实际泄漏点情况，确定陆地监测站的最佳位置和最少数量。最终所求的结果与实际相符。

5. 第二问建立的模型较好的模拟了实际海洋的主要影响因素，计算结果比较可靠，符合实际情况。

5.2 模型缺点

1. 我们的基本模型只考虑了静水中的油膜扩散规律，未考虑风、洋流、波浪对其扩散造成的影响。改进模型虽然考虑到了风，洋流对实际扩散效果的作用，仍然相比于实际情况大大简化。现实的海洋千变万化，石油在海洋中的扩散漂移运动，势必受到风、海流、潮流、波浪、水温、盐度、密度、海底地形等因素的影响。当波浪产生的力大于油分子间的拉力内摩擦力时，油膜就可能被波浪冲破而变成许多面积大小不一、形状不一的油膜，从而对估算油膜面积产生困难。

2. 未找到6月26日和6月27日的有关蓬莱原油泄漏具体的海风大小和风向，洋流流速和流向等数据，而采用7月1日和7月2日的相关数据做了模拟，数据结果可能不太准确会有所偏差，但考虑到与所求日期相差不大，所以产生的影响也不会很大。

3. 假定一天中的风速和风向、流速和流向保持不变，采用了一天中风速和风向、流速和流向的平均值，但一天中这些基本数据是不断改变的且变化幅度较大，所以会产生较大的误差，对结果造成影响。

4. 考虑的影响因素较少，在处理问题时可能存在一些误差，对所得出的结论会有影响。

5. 对问题三的分析不够深刻，容易造成歧义，对计算出的观测站经纬度可能会有所偏差，不能达到理想结果。

5.3 未来改进方向

第二问中，找到6月26日和6月27日每个小时段的具体流速流向、风速风向数据，并在此基础上建立每个小时段的数学模型，对每个小时段进行分析，并做出每个小时段所对应的区域的原油区域，将两天每个小时段计算出的漏油点源叠加在一起会形成一个点域，去掉个别误差较大的点，余下集中点域，此点域即为实际漏油点域。改进时应对水流速度，方向以及风速，风向使用卷积进行积分，这样求得的水风合速度的速度大小和方向应该更为准确。

第三问观测站问题中可以对海岸线和漏油点量化，进行数学规划，确定以漏油点为圆心和海岸线相切的切点，确定观测站的最佳位置。同时，考虑到风，水流的作用效果，油膜形状将被拉长，可根据水文变化规律确定油膜的运动拖拽轨迹，从而设置观测点。

参考文献

- [1] Fay J A. *Physics processes in the spread of oil on a water surface*[J].Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, 1979:463-467
- [2] 李大鸣, 陈海舟, 付庆军. 海上溢油数学模型的研究与应用[J], 哈尔滨工程大学学报, 2008,29 (7): 1291-1297
- [3] 刘伟峰, 孙英兰. 海上溢油运动数值模拟方法的探讨与改进[J], 华东师范大学学报 (自然科学版), 2009,5 (3):
- [4] 娄夏, 刘曙光. 溢油模型理论及研究综述[J], 环境科学与管理: 2008-33 (10): 33-37
- [5] Henrilk R. *A mult-component oil spil model for calcplation of evaporation and dissolution of condensate*[J], Environmental Modelling Seminar,1994.179-189
- [6] 刘彦呈. 等基于GIS的海上溢油扩散和漂移的预测研究[J], 大连海事大学学报, 2002.28 (3): 41-44
- [7] 张永良等. 溢油污染数学模型及其应用研究[J], 环境科学研究 1991 113) 7-28
- [8] 万肇忠. 石油在海洋中扩散漂移的研讨[R], 广东省环境保护研究所
- [9] 万肇忠. 石油在海洋中扩散漂移的研讨[R], 广东省环境保护研究所
- [10] 万肇忠. 石油在海洋中扩散漂移的研讨[R], 广东省环境保护研究所
- [11] 黄礼贤, 万肇忠. 石油在海洋中扩散漂移的研讨[J], 环境科学丛刊1: 7-12, 1982

附录

Matlab程序源代码

```
clear all;clc  
la=6.71616;  
lb=6.19344;  
ra=6.706155;theta=0:pi/100:2*pi;  
xa=-la*sin(0.2213)+ra*cos(theta);  
ya=la*cos(0.2213)+ra*sin(theta);  
plot(xa,ya,'-')  
hold on;  
axis equal  
rb=6.933499;thetb=0:pi/100:2*pi;  
xb=83.4146*0.001-lb*sin(0.0691+pi/2)+rb*cos(thetb);  
yb=109.8234*0.001+lb*cos(0.0691+pi/2)+rb*sin(thetb);  
plot(xb,yb,'-')  
hold on;  
axis equal
```