

# 莱州湾稀释扩散能力的研究

康兴伦 李培泉 刘毓珊

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

赵长荣 苗绿田

(青岛港务局)

收稿日期: 1987年11月4日

关键词 莱州湾, 稀释因子, 扩散系数

提要 在不同潮时不同地区测出了莱州湾的稀释因子和扩散系数。发现, 由于莱州湾水浅、坡降小, 潮差小等因素, 它的稀释扩散能力特别差。

我们用罗丹明-B 做示踪剂, 研究了莱州湾、莱州湾顶的稀释、扩散规律。

## I. 实验概况

1987年5月29日, 我们在位置1(图1)进行了第一次罗丹明-B 示踪实验(简称实验1), 该日高潮时为15:00, 低潮时为10:00, 抛放样品时的现场水深为0.6m。将3kg 罗丹明-B 溶于10kg 酒精(工业)之中, 然后用30kg 自来水冲稀, 将配好的罗丹明-B 溶液缓缓倒入海中, 然后

跟踪染料云团的核心采样, 并不断拉动绳子测量云团尺度和几何形状。云团沿涨潮流方向行进大约1h后, 离抛放样品的地方大约为1km, 云团即停止前进, 维持原地不动。经过一次高潮时, 然后开始退潮, 至16时38分, 染料云团的浓度、尺度、位置仍无显著变化, 在16时36分后, 我们在云团不同部位采集了三个样品, 可以看出它们的浓度基本一致, 如表1所示。这种现象说明了这时云团已混合均匀。

1987年8月20日在位置2进行了第二次实验。实验时, 西北风1级, 海况零级。高潮时为08:58, 低潮时为14:21, 抛放样品时的现场水深为2m。将0.7kg 罗丹明-B 溶解于1.4kg 酒精之中, 用10kg 自来水冲稀, 11时8分抛放样品, 然后按一定时间间隔采样, 观测方法与实验1相同。

1987年8月20日, 在位置3进行了第三次实验, 抛放样品现场水深为2.2m, 海况同实验2。将0.45kg 罗丹明-B 溶解于1kg 酒精之中, 用10kg 自来水冲稀, 14时41分抛放样品, 然后按一定时间间隔采样, 观测方法同前。

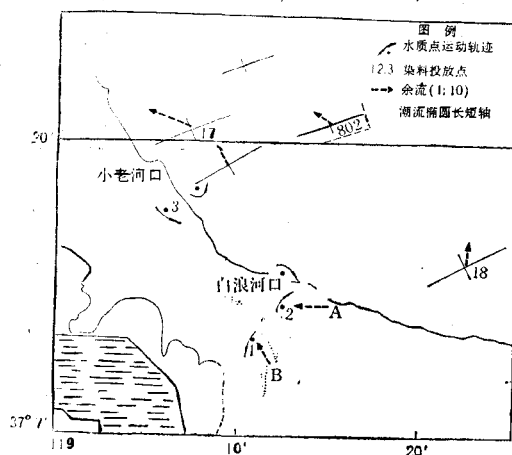


图1 实验位置

Fig. 1. Locations of measurements

## II. 样品分析与数据整理

将采集的样品存放于黑暗处并尽快带回实

实验室用 721 分光光度计测量, 测量结果分别见表 1、表 2。

表 1 实验 1 的浓度和稀释因子  
Tab. 1 Concentrations and factors of dilution, Experiment 1

采样时间 时:分 (抛样时间 10:38)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子
10:40	1.97	$3.62 \times 10^3$
10:42	56.70	$1.26 \times 10^3$
10:44	47.00	$1.52 \times 10^3$
10:49	13.00	$5.49 \times 10^3$
10:54	15.30	$4.68 \times 10^3$
10:59	14.00	$5.11 \times 10^3$
11:04	6.61	$1.08 \times 10^4$
11:14	9.73	$7.34 \times 10^3$
11:24+1	5.10	$1.40 \times 10^4$
11:30	6.05	$1.18 \times 10^4$
11:36	3.80	$1.88 \times 10^4$
11:41	4.82	$1.48 \times 10^4$
11:46	6.05	$1.18 \times 10^4$
12:00	5.03	$1.42 \times 10^4$
12:05	4.06	$1.76 \times 10^4$
12:10	3.80	$1.88 \times 10^4$
12:20	4.10	$1.74 \times 10^4$
12:30	3.34	$2.14 \times 10^4$
12:40	4.55	$1.57 \times 10^4$
15:51	1.84	$3.87 \times 10^4$
16:15	1.41	$5.04 \times 10^4$
16:25	2.03	$3.51 \times 10^4$
16:36	1.76	$4.05 \times 10^4$
16:37	1.28	$5.57 \times 10^4$
16:38	1.58	$4.53 \times 10^4$

### II. 1. 稀释因子 $f$ 的计算

稀释因子是了解污染物扩散的综合指标, 它能直接大体给人们提供某海区扩散能力的大小, 其  $f$  值等于原始浓度  $C_0$  与各个不同时刻的浓度  $C$  之比, 所得结果参见表 1, 2, 3。

### II. 2. 稀释因子 $f$ 与时间 $t$ 的关系—— $\lg f$ — $\lg t$ 关系

用最小二乘法分别求出第二次、第三次实验的  $\lg f$  与  $\lg t$  的回归方程式:

$$\lg f = 2.30 + 1.68 \lg t \quad (\text{第二次实验})$$

$$\lg f = 2.24 + 1.76 \lg t \quad (\text{第三次实验})$$

表 2 实验 2, 3 的浓度变化和稀释因子  
Tab. 2 Concentrations and factors of dilution, Experiment 2, 3

采样时间 时:分 (抛样 11:18)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子
11:20	66.80	$8.72 \times 10^2$
11:22	14.30	$4.08 \times 10^3$
11:25	6.81	$8.56 \times 10^3$
11:28	11.00	$5.30 \times 10^3$
11:31	11.80	$4.94 \times 10^3$
11:35	2.08	$2.82 \times 10^4$
11:40	1.30	$4.50 \times 10^4$
11:45	1.27	$4.59 \times 10^4$
11:50	2.45	$2.38 \times 10^4$
11:58	0.40	$1.44 \times 10^5$
12:05	0.30	$1.93 \times 10^5$
12:10	0.65	$8.90 \times 10^4$
12:15	0.59	$9.89 \times 10^4$
12:20	0.17	$3.42 \times 10^5$
12:35	0.12	$4.94 \times 10^5$
抛样 14:41		
14:42	10.00	$4 \times 10^2$
14:44	15.20	$2.64 \times 10^3$
14:46	3.32	$1.21 \times 10^4$
14:49	5.54	$7.25 \times 10^3$
14:52	1.86	$2.16 \times 10^4$
14:55	2.70	$1.49 \times 10^4$
15:00	3.16	$1.27 \times 10^4$
15:05	0.96	$4.20 \times 10^4$
15:10	0.26	$1.56 \times 10^5$
15:15	0.20	$2.06 \times 10^5$
15:20	0.41	$9.81 \times 10^4$
15:30	0.70	$5.75 \times 10^4$
15:35	0.67	$5.97 \times 10^4$
15:40	0.42	$9.58 \times 10^4$
15:45	0.17	$2.40 \times 10^5$

### II. 3. 扩散模式的选取

三次实验所在的海区水深分别为 0.6 m, 2m 和 2.2m。可以预料, 染料云团在这样浅的水体内将会很快混合到底, 所占用的时间与整个实验期间相比可不予考虑。因此罗丹明-B 染料源可看作一个线源向周围扩散<sup>[1]</sup>, 这样的扩散属二维扩散。

染料云团的二维扩散模式为:

$$C = \frac{M}{4\pi D t H} \exp \left[ -\frac{(x - \bar{u}t)^2 + y^2}{4Dt} \right]$$

由于实验期间是在染料云团的核心部分采样, 所以  $y = 0$ ,  $x - \bar{u}t = 0$ , 故上式可简化为:

$$C = \frac{M}{4\pi DtH}$$

式中,  $C$  为  $t$  时刻的罗丹明-B 浓度, 以  $\text{mg/L}$  或  $\text{g/m}^3$  表示;  $M$  为固体罗丹明-B 的质量, 单位为  $\text{g}$ ;  $H$  为水深, 单位为  $\text{m}$ ;  $D$  为扩散系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $t$  为时间单位是  $\text{s}$ 。

根据回归方程式, 当  $t = 10 \text{ min}$  时, 实验 2, 3 的  $f$  分别为 9550 和 10000, 相应的浓度为 6.10 和 4.02  $\text{mg/L}$ 。将有关值代入上式测得

$$D_2 = 0.0076$$

$$D_3 = 0.00675$$

用同样的方法算出  $t = 30.60$  和  $100 \text{ min}$  时的  $D$  值, 见表 3。

表 3 三次实验扩散系数和稀释因子

Tab. 3 Diffusion coefficients and dilution factors

实验序号	时 间 (min)	扩散系数 ( $\text{M}^2/\text{s}$ )	稀释因子*
1	10	0.0415	$3.72 \times 10^3$
	30	0.0355	$9.55 \times 10^3$
	60	0.0336	$1.45 \times 10^4$
	100	0.0242	$1.74 \times 10^4$
	180	0.0206	$2.00 \times 10^4$
	360	0.0194	$5.01 \times 10^4$
2	10	0.00761	$9.55 \times 10^3$
	30	0.0160	$6.03 \times 10^4$
	60	0.0257	$1.94 \times 10^5$
	100	0.0364	$4.57 \times 10^5$
3	10	0.00675	$1.00 \times 10^4$
	30	0.0156	$6.91 \times 10^4$
	60	0.0263	$2.34 \times 10^5$
	100	0.0388	$5.75 \times 10^5$

\* 本表中的稀释因子来自各次实验的回归曲线, 非实验结果

由计算扩散系数的公式得知, 表 3 中的扩散系数  $D$  为综合扩散系数,  $D = \sqrt{D_x D_y}$ , 式中,  $D_x$  为纵向扩散系数,  $D_y$  为横向扩散系数。据文献报道, 在一般河流中,  $D_x$  大约相当于  $D_y$  的 40 倍。以实验 2 的第 10 min 为例,  $D$  为

0.00761 (表 4),  $D_y = 0.0012$ ,  $D_x = 0.0482$ 。其它实验也可用同样的方法计算纵向和横向的扩散系数。

### III. 结 论

III. 1. 比较实验 1, 2, 3 发现, 从浅水区到深水区, 海水的稀释扩散能力依次升高。实验 1 所在的海区稀释扩散能力最低, 实验 2, 3 明显增强。实验 1 的  $\lg f$  与  $\lg t$  间没有线性关系, 随时间的增加, 曲线的斜率越来越小, 可见, 扩散系数在变小, 稀释扩散能力逐渐降低。影响稀释扩散能力的因素有气象、水动力和地形等。几次实验的气象因素基本一致, 风和日丽、海面平静, 有一定差别的是水深和海流。实验 1, 2, 3 所在海区水深分别为 0.6, 2, 2.2 m。根据艾尔德 (Elder) 公式<sup>[1]</sup>:  $D = aU_*H$ , 扩散系数与水深成正比。染料抛下后, 染料由表层向底层, 由中心向周围逐渐扩散, 实验 1 所在海区水特别浅, 染料很快就可以上下混合均匀, 与实验 2, 3 的海区水深相差几倍。相应地可供混合的水体也相差几倍, 水浅还对扩散带来其它不利因素, 远海的风浪和海流在向岸边运动的过程中, 由于水深逐渐变浅, 能量逐渐消耗, 当到达实验 1 区时, 基本消耗殆尽, 对扩散已不可能构成很大影响<sup>[3]</sup>。按一般规律扩散系数与海流速度的平方成正比<sup>[2]</sup>。因此, 三个实验海区的稀释扩散能力应该有较大的差别。实验 1 本身的变化也反映了这些规律。这一次实验抛放染料后正值涨潮期间, 染料云团随涨潮流向岸边移动, 水越来越浅, 流速也逐渐变小。因此稀释扩散速度渐小。三次实验足以证明, 随离岸距离的增加, 稀释扩散能力渐强。

III. 2. 本次研究的海域地处莱州湾湾顶, 滩涂广阔, 地势平坦, 所以潮流速度很小。5 月正值大潮期间, 零米等深线处的流速也只有 30~40  $\text{cm/s}$ , 8 月正值小潮期间, -1 m 等深线处的流速为 10~20  $\text{cm/s}$ 。-3 m 处的流速为 30~50  $\text{cm/s}$ 。前面虽已提到, 随离岸距离的增加, 扩散能力有增加的趋势。但总的来说,

在这样低的潮流速度之下, 稀释扩散能力普遍偏低, 污染物质在短期内难以得到冲稀。这一带的潮差也不大。大小潮差分别为 130cm, 70 cm。因此, 通过潮汐交换的物质也不多。

5 月对实验 1 和实验 2 海区的余流进行了观测, 其余流速分别为 9.6 cm/s 和 10.7cm/s。流向分别为 337° 和 258°。其它站位的观测结果见表 4。因此, 这一带的污染物将随余流缓慢地向羊角沟方向移动。长期作用因素还应考虑风场效应, 这里的风季节性很强, 3~9 月的风海流为北向的, 平均速度 3cm/s, 10 月至翌年 2 月, 风海流是南向的, 即流向莱州湾湾顶, 平均速度为 5.4 cm/s。

根据以上分析可以得出结论: 在所研究的海区内, 污染物质一是不容易得到稀释, 二是难以搬运到其它海区。总的来说, 自净能力较差。

III. 3. 前面已指出, 实验 1 区的稀释扩散能力最差, 但这仍不是海边。离海岸尚有一段距离。可以设想, 海边的稀释扩散能力还要差

表 4 余流计算结果

Tab. 4 Computed residual flow

站号		流速, 流向			
		801	802	17	18
表层	流速 (cm/s)	7.4	1.7	18.3	6.7
	流向 (°)	331	300	311	359
底层	流速 (cm/s)		1.7	11.0	2.1
	流向 (°)		300	255	252

一些。如果各厂家都把污水直接排放到海边, 很可能在海边形成一些以各厂家污水为特征的小水团。

III. 4. 本研究中多次测定了染料云团的几何形状和尺度。云团基本上呈椭圆形, 面积随时间有增加的趋势。但由于潮流的速度和方向在不断变化, 云团经常呈现无规则状态, 面积的增加也无规律可循。观测结果见表 5。

表 5 染料云团的尺度和形状

Tab. 5 Size and shape of the dye cloud masses

实验序号	观测时间 (时:分)	尺度、形状
1	12:33	圆形、直径 133m、面积 13266m <sup>2</sup> 、水深 30cm。
	15:47	椭圆形、长轴 200m、短轴 68m、面积 10676m <sup>2</sup> 、水深 30cm。
	16:33	椭圆形、长轴 150 m、短轴 100m、面积 11780m <sup>2</sup> 、水深 30cm。
2	11:53	椭圆形、长 71 m、宽 30 m、面积 1672m <sup>2</sup> 。
	12:38	长 200m、宽 38 m、面积 5966m <sup>2</sup> 、椭圆形。
3	15:13	椭圆形、长 90m、宽 40m、面积 2826 m <sup>2</sup> 。
	15:43	椭圆形、长 125m、宽 25 m、面积 2453m <sup>2</sup> 。

## 参 考 文 献

- [1] 赵文谦, 1986年。环境水利学。成都科技大学出版社, 26~28 页。
- [2] 李培泉、张法高等, 1984 年。渤海近岸海水扩散规律的研究。海洋与湖沼 15(2)。
- [3] Hugo B. fischer and others, 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic Press, 311.

## DILUTION AND DIFFUSION ABILITY OF LAIZHOU BAY

Kang Xinglun, Li Peiquan and Liu Yushan  
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao*)

Zhao Changrong and Miao Lütian  
(*Harbour Administration Bureau, Qingdao*)

**Received:** Nov. 4, 1987

**Key Word:** Laizhou Bay, Dilution factor, Diffusion coefficient

### Abstract

The ability of Laizhou Bay to dilute and diffuse, the experiments were measured three times with rhodamine-B as tracer in different region and tidal hour. The factor of dilution and the coefficient of diffusion of Laizhou Bay are obtained, indicating that the ability of Laizhou bay to dilute and diffuse is very poor because of its very shallow water depth, small slope, and small scope etc..