

胶 州 湾 自 净 能 力 的 研 究

康兴伦 李培泉 刘玉珊

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

夏达英 朱儒弟 边洪村

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

摘 要

本文论述了在胶州湾用罗丹明 B 作示踪剂, 模拟可溶性污染物的稀释扩散, 采用水中荧光计现场实地检测及取样实验室分析, 共进行了五次实验。实验表明: 风、浪、潮、流对扩散速度都有一定的影响, 发现了罗丹明 B 染料云团随海流运动的规律。总的说来, 污染物在胶州湾的稀释扩散速度较快, 也就是说胶州湾的自净能力较强。如果合理地选择排污地点和气象因素, 就能充分发挥其自净能力。

随着工农业生产的迅速发展, 胶州湾所接受的污染物越来越多。然而, 胶州湾的环境容量是有一定限度的, 如何合理利用胶州湾的自净能力, 达到既能排污又不污染环境的目的, 已成为人们日益关注的重大问题。本文从海上现场实验物理扩散的角度, 研究了胶州湾的自净能力。

于1986年8月11, 12, 15, 18和30日共五次使用荧光示踪染料——罗丹明 B 作为示踪剂进行海上现场模拟试验(以下顺次称实验 1, 2, 3, 4, 5 次), 基本搞清了可溶性污染物在胶州湾口海域的稀释扩散状况。

一、试 验 设 备

1. 试验使用船只为薛拖 1 号轮、海鹰轮、小舢舨数艘。
2. 试验使用仪器为 LGC2-1A 型水中荧光计、直读式海流计、风速计、721 分光光度计。
3. 试验用示踪剂为荧光示踪染料罗丹明 B 及工业酒精。

二、海上现场实验

用酒精溶解罗丹明 B, 然后用水配制为母液, 取出其中少部分带回实验室分析。将盛有罗丹明 B 母液的大桶吊放在海面上, 拉动大桶底部的拉绳, 使罗丹明 B 母液作瞬时点源排入海中, 数分钟后小舢舨跟踪染料云团的峰值区定时采样(所采集的样品应避光保存), 约 20min 后, “海鹰轮”拖曳着 LGC2-1A 型水中荧光计穿过染料云团, 测量染料

本文于1988年3月1日收到, 修改稿于1990年3月17日收到。

云团浓度的时、空分布^[4, 5]。并由该轮及时定位以确定染料云团的运动轨迹(图 1)。将五次试验测量结果分别列于表 1~5。

在采样的同时, 薛拖 1 号轮上定点测流、测风, 观测结果分别列于表 6 和 7。

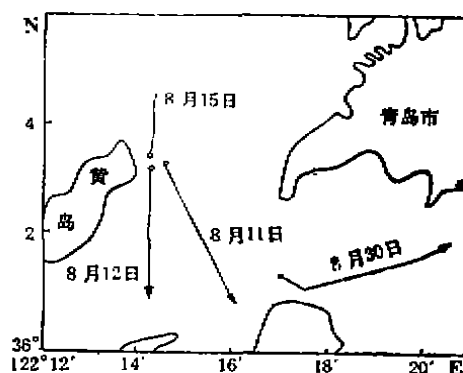


图 1 染料云团的运动轨迹

表 1 罗丹明 B 监测结果

时 间 (h:min)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子	综合扩散系数 cm^2/s
10:13	5.80	1.43×10^4	370
10:21	1.29	6.42×10^4	277
10:31	0.490	1.69×10^5	277
10:42	0.644	1.29×10^5	152
11:02	0.438	1.89×10^5	120
11:12	0.299	2.77×10^5	130
11:22	0.206	4.02×10^5	144

样品投放时间: 1986年8月11日10:10;

母液样品浓度: $8.28 \times 10^4 \text{ mg/L}$;

母液样品的配制: 4500g的罗丹明B溶解于14000g工业酒精中, 然后用38000g自来水配制成母液样品。

表 2 罗丹明 B 监测结果*

时 间 (h:min)	浓 度* (mg/L)	稀 释 因 子	扩散直径 (m)
10:35	0.18	4.6×10^5	90
10:39	0.6	1.38×10^5	135
10:41	0.5	1.66×10^5	90
10:44	0.3	2.76×10^5	90
10:48	0.3	2.76×10^5	135
10:57	0.3	2.76×10^5	135
10:54	0.12	6.9×10^5	180
11:01	0.4	2.07×10^5	225
11:06	0.5	1.66×10^5	203
11:11	0.5	1.66×10^5	225
11:15	0.25	3.31×10^5	225
11:20	0.2	4.14×10^5	405
11:24	0.18	4.6×10^5	247
11:27	0.15	5.52×10^5	135
11:31	0.029	2.86×10^6	113
11:38	0.14	5.91×10^5	225

时 间 (h:min)	浓 度* (mg/L)	稀 释 因 子	扩 散 直 径 (m)
11:53	0.045	1.84×10^6	293
11:56	0.022	3.76×10^6	270
12:04	0.022	3.76×10^6	315
12:11	0.032	2.59×10^6	360
12:16	0.014	5.91×10^6	383

母液样品投放时间: 1986年8月12日10:30, 母液浓度 8.28×10^4 mg/L。

* 本表所有监测结果由LGC2-1A型水中荧光计测定。

表 3 罗 丹 明 B 监 测 结 果

时 间 (h:min)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子	扩 散 直 径 (m)
8:26	448	1.90×10^2	
8:28	34.0	2.50×10^3	
8:30	19.1	4.45×10^3	
8:34	6.96	1.22×10^4	
8:38	5.77	1.47×10^4	
8:40	0.232	3.66×10^5	
8:42	0.165	5.15×10^5	
8:44	0.18	4.72×10^5	
8:46	0.18	4.72×10^5	
8:48	0.08	1.06×10^6	113
8:54	0.09	9.4×10^5	203
9:00	0.06	1.33×10^6	103
9:04	0.06	1.33×10^6	203
9:12	0.04	2.12×10^6	90
9:10	0.03	2.83×10^6	113
9:15	0.025	3.4×10^6	90
9:22	0.01	8.5×10^6	248
9:28			286(286)
9:42			375

母液样品投放时间: 1986年8月15日8:25,

母液样品配制: 4000g罗丹明B溶解于10000g工业酒精中, 用35500g自来水冲稀, 母液样品浓度为 8.5×10^4 mg/L。

* 双线以下用LGC2-1A型水中荧光计测定。

表 4 罗 丹 明 B 监 测 结 果

时 间 (h:min)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子	扩 散 直 径
4:51	30927	2.75	
4:53	55.7	1.53×10^3	
4:55	26.3	3.23×10^3	
4:57	8.76	9.70×10^3	
4:59	3.74	2.27×10^4	
5:01	2.05	4.15×10^4	
5:03	2.01	4.23×10^4	
5:05	1.19	7.14×10^4	
5:07	1.00	8.5×10^4	
5:09	0.412	2.06×10^5	

母液样品投放时间: 1986年8月18日16:50, 母液样品浓度: 8.5×10^4 mg/L。

表 5 罗丹明 B 监测结果

时 间 (h:min)	浓 度 (mg/L)	稀 释 因 子	扩 散 直 径 (m)
14:14	21.9	3.29×10^3	
14:16	59.3	1.95×10^3	
14:18	40.7	2.85×10^3	
14:20	24.5	4.73×10^3	
14:22	15.7	7.38×10^3	
14:24	13.9	8.34×10^3	
14:28	12.6	9.20×10^3	
14:30	9.02	1.28×10^4	
14:32	7.73	1.50×10^4	
14:34	2.86	4.05×10^4	
*			
14:35	0.3	3.86×10^5	100
14:38	0.2	5.80×10^5	120
14:41	0.12	9.56×10^5	210
14:48	0.12	9.56×10^5	380
14:55	0.09	1.28×10^6	270
14:59	0.05	2.32×10^6	240
15:05	0.038	3.05×10^6	240
15:08	0.035	3.31×10^6	420
15:14	0.04	2.90×10^6	300
15:20	0.025	4.64×10^6	240
15:26	0.065	1.78×10^6	330
15:32	0.03	3.88×10^6	540
15:41	0.024	4.83×10^6	630
15:48	0.018	6.44×10^6	450
15:52	0.015	7.72×10^6	540
16:02	0.014	8.28×10^6	510

母液样品投放时间: 1986年8月30日14:12,

母液样品浓度: $11.59 \times 10^4 \text{ mg/L}$, 母液配制: 8000g罗丹明B溶解于20000g工业酒精中, 用46000g自来水冲稀。

* 双线以下用LGC2-1A型水中荧光计测量。

表 6 流速流向观测结果

实 验 序 号	时 间 (h:min)	流 速 (cm/s)	流 向 (°)	水 深 (m)	备 注
1	10:10	116	90	2	高 潮 时 8:57
	10:15	132	40	2	
	11:15	60	70	1	
2	10:25	132	20	2	高 潮 时 9:40
3	8:22	100	0	2	低 潮 时 7:18
	8:45	126	0	2	
	8:50	136	220	2	
	9:00	136	220	2	
	9:10	100	210	2	
	9:30	158	200	2	
	9:59	96	200	2	

实 验 序 号	时 间 (h:min)	流 速 (cm/s)	流 向 (°)	水 深 (m)	备 注
4	17:00	28	0	3	高 潮 时 15:15
	17:15	12	0	3	
	17:20	12	0	3	
5	14:10	12	40	2	高 潮 时 13:29
	15:00	16	5	2	
	15:55	20	8	2	

表 7 风 速 风 向 观 测 结 果

实 验 序 号	时 间 (h:min)	风 速 (m/s)	风 向 (°)	
1	11:00	2.7	160	
	13:00	2.7	180	
	14:00	4.3	135	
2	11:11	4.9	170	
	11:45	6.7	180	
	12:12	6.8	190	
3	9:00	7.0	90	
	10:00	6.0	115	
	11:00	7.3	115	
4	18:00	5.0	155	
	19:00	4.7	180	
	20:00	2.3	180	
5	15:00	5.3	205	
	16:00	3.7	205	
	17:00	5.7	205	
	18:00	5.0	205	
	18:00			

三、室 内 分 析

海上现场试验样品采集后应尽快用721分光光度计进行分析测量。采用罗丹明B水溶液的可见光吸收峰值波长($\lambda = 555\text{nm}$)作为测量波长, 比色槽采用1 cm的标准样品槽, 参比液为蒸馏水, 测量结果填入表1~5中。

四、数 据 处 理

稀释因子等于投放前的罗丹明B原始母液浓度与投放后不同时刻的浓度之比^[1], 它是衡量海水稀释扩散能力的主要标准。稀释因子越大, 海水的扩散能力越强, 反之, 海水的稀释扩散能力越弱。根据定义计算出不同时刻的稀释因子填入表1~5中。

根据海鹰轮穿过染料云团所用的时间计算染料云团的扩散直径 R 。

于1986年8月12, 15和30日进行实验所得示踪染料云团的扩散直径 R 与扩散时间 t 的关系曲线分别表示在图2~4内。

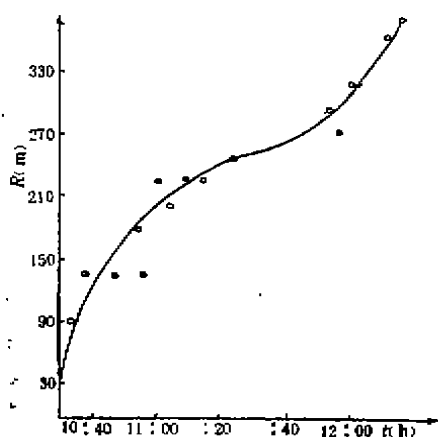


图2 染料云团扩散直径 R 随时间 t 的变化
(1986年8月12日)

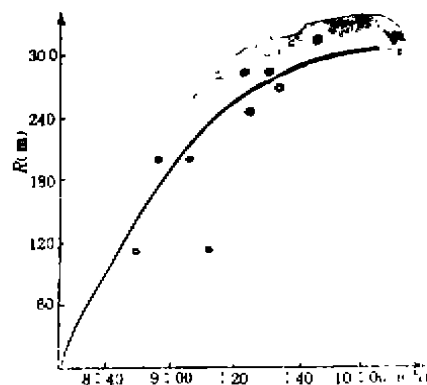


图3 染料云团扩散直径 R 随时间 t 的变化
(1986年8月15日)

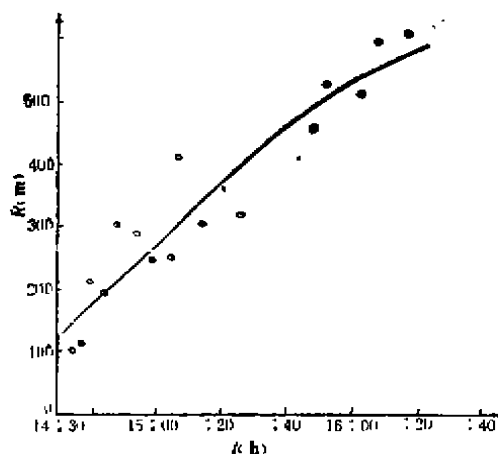


图4 染料云团扩散直径 R 随时间 t 的变化
(1986年8月30日)

将染料云团的峰值浓度 C 与相应的观测时刻 t 取对数, 得到一系列的 $\lg C_i$ 和 $\lg t_i$, 对 $\lg C_i$ 和 $\lg t_i$ 进行回归分析, 分别得到实验1(8月11日)、实验3(8月15日)、实验4(8月18日)和实验5(8月30日)的回归方程。

$$\text{实验1} \quad \lg C_1 = 1.2095 - 0.9673 \lg t_1 \quad (1)$$

$$\text{实验3} \quad \lg C_3 = 2.0781 - 1.203 \lg t_3 \quad (2)$$

$$\text{实验4} \quad \lg C_4 = 3.1833 - 2.6936 \lg t_4 \quad (3)$$

$$\text{实验5} \quad \lg C_5 = 2.5494 - 1.2641 \lg t_5 \quad (4)$$

以浓度 $C(\text{mg/L})$ 为纵座标, 时间 $t(\text{min})$ 为横座标得到实验1, 4, 5的回归曲线分别表示在图5~7。

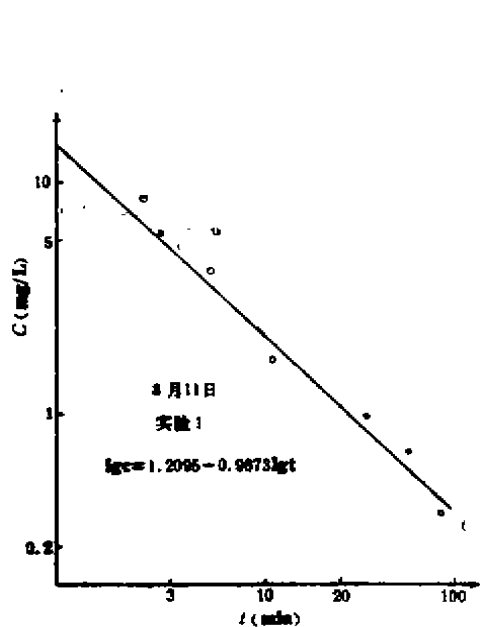


图 5 浓度C随时间t的变化(实验1)

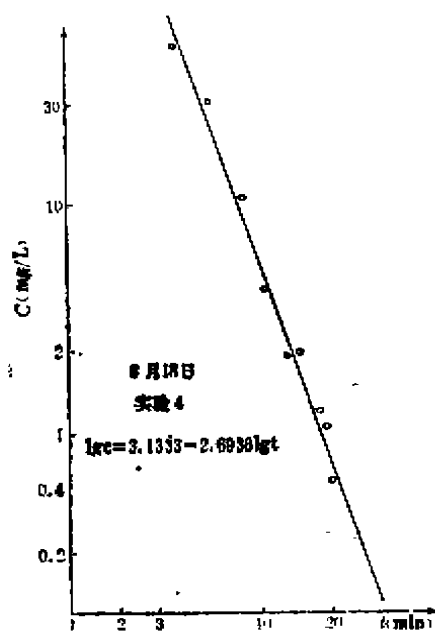


图 6 浓度C随时间t的变化(实验4)

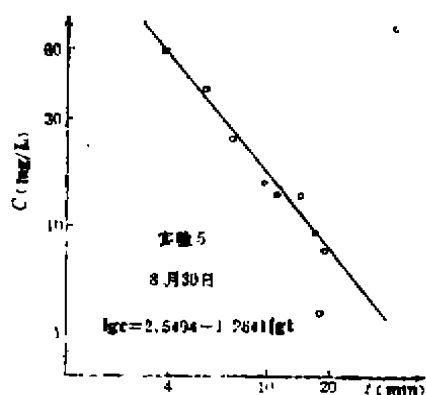


图 7 浓度C随时间(t)的变化(实验5)

五、讨 论

1. 罗丹明B在海水中的稀释扩散, 实际上就是海水的混合过程。在我们的实验中, 海水的涡动混合占主导地位, 它是由海水的运动引起的, 确切地说是速度梯度引起的。在这里风起着独到的作用^[1], 风的切应力作用于海面, 使海水扰动, 从而上下层海水混合。海面的扰动产生波浪, 风力的增强使波浪破碎, 涡动混合变得更加激烈。另外, 风可产生风海流, 在水平

和垂直方向上的流速、流向差别也可使涡动混合加强。

此外, 潮汐现象对涡动混合也有较大影响, 潮流的速度和方向是周期性变化, 在水平和垂直方向上必然产生较大的速度梯度, 从而促进了涡动混合。

本次实验的地点均处于潮流盛行的海域而且实验期间都遇上了风, 海面上已泛起了团团白色浪花。因此, 由表1~5和图2~4可以看出, 这次实验的稀释扩散速度普遍较快^[1]。在抛放样品后的20min, 稀释因子都达到 10^4 以上。在1h可达 10^5 以上。

正如前述, 影响罗丹明B在海水中的扩散的水文要素和气象要素。由表6和7可以看出, 几次实验期间的水文气象要素都不尽相同。因此, 各次实验期间的 $\lg C - \lg t$ 回归方程彼此有相当大的差别。

本研究属瞬时点源扩散, 它的扩散方程为:

$$C = \frac{M}{(\sqrt{4\pi Dt})^3} \exp \left[\frac{-(x-ut)^2 - y^2 - z^2}{4Dt} \right]$$

式中 C 为示踪剂浓度, t 为时间, D 为扩散系数, u 为流速。在染料云团的峰值区(云团核心)采表层样品, 所以, $x-ut=0$, $y=0$, $z=0$ 。上式转变为:

$$C = \frac{M}{(\sqrt{4\pi Dt})^3} \quad (5)$$

在四次实验中, 第一次实验的风速最小, 将该实验的有关数据代入式(5), 得到一系列的 D 值(表 1)。

采用式(5)求得的扩散系数为综合扩散系数, $D = \sqrt[3]{D_x D_y D_z}$, 式中 D_x , D_y , D_z 分别为 x , y , z 三个方向上的扩散系数。

在计算中, 引用了与时间 t 相对应的浓度 C 。前面已指出, 浓度与现场的气象和水动力因素有关。因此, 这样求出的 D 是对应于现场实验条件下的扩散系数。如果水文气象条件有变化, D 也相应地起变化。

由于实验海区属强潮流区, 流速较大(表 6), 稀释扩散速度快, 物理自净能力强。如果把排污口选择在流速较大的地区, 并且尽量选择在风浪较大的时候排污, 就能充分发挥胶州湾的自净能力。

据文献[7]报道, $D_z \approx 40D_y \approx 80D_x$ 。在实验 1 中, 当 $t=20\text{min}$ 时, $D_{20}=195\text{cm/s}$, $D_z=35.9\text{cm/s}$, $D_y=71.8\text{cm/s}$, $D_x=2872\text{cm/s}$ 。

2. 由图 1 可以看出, 罗丹明 B 染料云团基本上是按潮流的方向漂移^[3]。除实验 5 以外, 其它四次实验均在黄岛东部投放样品。四次实验表明: 在涨潮期间染料云团向北漂移; 退潮期间, 染料云团往南漂移。这正是该海域潮流的流向。

罗丹明 B 易溶于水, 云团在海洋中除颜色与周围的水体有差别之外, 其它物理与化学性质与周围水体完全相同。因此, 罗丹明 B 染料云团在海洋中理所当然的应该与周围水体一道随海流运动。这一点在我们的实验中得到了证实。所以, 排污应选择在退潮期间进行, 这样污染物将随退潮流到远海。

3. 罗丹明 B 的染料云团在海洋中刚形成时呈圆形^[6], 在风和流的作用之下很快拉成椭圆形, 以后在途中流速、流向几经变化, 相应的云团也呈多种形式, 有时被流冲成几块, 故染料云团没有固定的形式可循。由图 2~4 也可看出, 染料云团的直径确实随着时间 t 而增加, 但这种增加缺乏显著的规律性。由表 1 可看出, 当到达 1 h 后, 染料云团的扩散直径普遍达到 500m 左右。

参 考 文 献

- [1] 康兴伦等: 青岛大港港池稀释扩散规律的研究, 海洋科学, (3)1987: 6~9。
 [2] 张法高: 表层Ekman剪切流场中的瞬时点源扩散, 海洋与湖泊, 11(4)1980: 10。
 [3] 赵文谦: 环境水利学, 成都科技大学出版社, 1985: 27~28。
 [4] 夏达英等: 水中荧光计及其海上实验研究, 黄渤海海洋, 4(3)1986: 48~56。
 [5] 夏达英等: 水体混合扩散实验中的水中荧光计研究, 海洋与湖泊, 20(1)1989: 58~65。

THE STUDY OF SELF-PURIFICATION CAPACITY OF JIAOZHOU BAY

Kang Xinglun Li Peiquan Liu Yushan
(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)
 Xia Daying Hu Fuchen Bian Hongcun
(First Institute of Oceanography, SOA)

Abstract

A modeling experiment on the dilution and diffusion of soluble contaminants in Jiaozhou Bay using Rhodamine-B as a tracer was performed five times. In determining the diffusion velocity of Rhodamine-B in sea water, it was shown that wind, current, wave, and tide all influenced the velocity and the regular pattern of the movement of the dye cloud mass of Rhodamine-B along with sea current was found out.

In a word, the diffusion velocity of contaminants was fairly fast, the dilution factor reached over 10^4 after 20 minutes, i.e. the capacity of self-purification of Jiaozhou Bay was strong. If the site of pollutant discharge and meteorological factors are selected rationally, the capacity of self-purification can be brought into full play.