

大连湾海水交换及自净能力的研究

吴俊 王振基

(大连市环境科学研究所)

控制污染物入海,是当前国内外防治海域污染的重要途径。但如何把污染物的入海量控制的最经济、最合理,即如何以最小的经济代价,去换取最大的环境效益,就必须知道海域的环境容量,而环境容量的核心问题又是环境的自净能力问题。所以研究环境容量,必须首先研究环境的自净能力。

据调查统计,1972至1980年排入大连湾海域的油约17万吨、砷约1.2万吨、COD约67万吨,可是大连湾现状海水和底质中只有油5万多吨、砷1千吨、COD3千多吨(水体中)。可见大连湾海域所以能容纳大量污染物,主要不是靠它本身的几何容积,而是因为它有着很大的自净能力,而这个自然净化能力的时间和空间到底有多大,能容纳多少污染物,是我们致力于研究解决的问题。

一、基本思路及原理

从自净机制方面分析大连湾的自然净化能力,大体可分为水动力作用下的水文物理自净;污染物入海后各种化学成分彼此相遇进行反应而带来的化学自净;以及由于生物的吸收、代谢、分解等作用而产生的生物自净,但其主要方面是水文物理自净,因为海水中污染物的迁移扩散主要取决于水动力因素。

鉴于大连湾内的潮型为规则的半日潮,海水在潮汐作用下通过湾口往复运动,其间进行内湾与外海的海水交换,因此湾内流主要是潮汐引起的往复流。涨潮时,由于流入的外海水在水动力作用下与湾内原有海水混合,使湾内海水浓度变低,当潮位最高时浓度最低;退潮时,则潮位最低时浓度最高,潮位与浓度呈现明显的反相关,(见图1)而且退潮时伴随海水的流出,湾内一定数量的污染物被搬运到湾

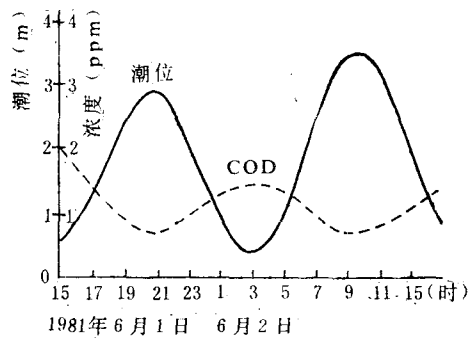


图1 大连湾海水COD浓度与潮位时空变化过程

外。所以潮汐是制约大连湾海水运动和污染物迁移扩散的主要水动力因素,潮汐搬运是大连湾水体自净的主要途径,是研究大连湾海域环境容量,实行总量控制,制定区域性排海标准必不可少的重要研究内容和科学依据。

本文认为潮汐和潮流反映的乃是统一的潮波过程,只是表示的形式不同而已。潮位的高低,涨落率的大小,包含着流速、流量、水深等水文因素的相应变化,特别是多年连续的潮汐观测资料包括了各种天气状况下的各种水文特征,有着充分的代表性。从而我们引用了大连港多年连续的潮汐观测资料,并在大连湾内13个站位和湾外有关站位进行了连续25小时的同步监测,通过求潮差移动量及涨落潮浓度差和海水交换率,初步推算了潮汐搬运能力,研究了污染物输送与海水运动之间的定量关系。

二、海水交换率及潮汐搬运数学模式的研究

由于海水通过湾口进行内外交换,因此设涨潮时流入湾内的水量为 Q_F ,流入浓度为 C_F ,进入湾内的海水在各种水动力作用下与湾内原有海水混合,落潮时又流向湾外,设流出水量

为 Q_E ，流出浓度为 C_E ，则一个潮周期污染物的输出量（潮汐搬运能力或平流交换迁移速率）为：

$$W = Q_E C_E - Q_F C_F \quad (1)$$

如果流入水量 Q_F 与流出水量 Q_E 相等，即

$$Q_F = Q_E = Q$$

则

$$W = Q(C_E - C_F) \quad (2)$$

我们把 Q 称为潮差移动量（ m^3 ），把 $(C_E - C_F)$ 称为涨落潮浓度差。因此只要知道通过湾口的潮差移动量和涨落潮浓度差，就能求出潮汐搬运能力。潮差移动量可用下式求得：

$$Q = H \frac{1}{2} (A_1 + A_2) \quad (3)$$

式中， H 为潮差（ m ）， $\frac{1}{2}(A_1 + A_2)$ 为高低潮海域表面积平均值（ m^2 ）。

国外有人通过在湾口进行连续观测和求潮汐交换率（海水交换率）的方法研究海湾的海水交换能力。

Parker等把涨潮时流入湾内的水量 Q_F 看成是由最初流入湾内的外海水量 q_0 和落潮时流出、涨潮时又返回的内湾水量 $q_E = (Q_F - q_0)$

所组成，并把 q_0 所占的比例 $r_0 = \frac{q_0}{Q_F}$ 定义为潮汐交换率。做为指标物质的浓度，把外海水浓度 C_0 做为 q_0 的浓度，退潮时的平均浓度 C_E 为 q_E 的浓度，设涨潮时的平均浓度为 C_F ，则得：

$$Q_F C_F = q_0 C_0 + q_E C_E$$

把 $q_0 = r_0 Q_F$ ， $q_E = Q_F (1 - r_0)$ 代入则得：

$$r_0 = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_E} \quad (4)$$

这一公式表明，只要知道湾口海水的涨落潮浓度差和外海海水便可计算出海水交换率。

柏井则把落潮时流出水量 Q_E 中的最初流出的内湾水量 q_B 所占的比例 $r_B = q_B / Q_E$ 定义为潮汐交换率，把 C_E 做为落潮时的平均浓度，把 C_B 做为湾内海水的平均浓度，用同样方法推导出：

$$r_B = \frac{C_F - C_E}{C_F - C_B} \quad (5)$$

这一公式表明，只要知道湾口涨落潮浓度差和湾内海水平均浓度便能求得海水交换率。

柏井还提出，如果内湾海水和外海水做直接交换，对一个潮周期来考虑，把新进入湾内的外海水量作为 q_{EX} ，把 $r_G = q_{EX} / Q_F$ 定义为潮汐交换率，把 Q_r 做为一个潮周期向湾内供应的污水量，则物质输送有以下关系：

$$Q_F C_F - Q_E C_E = q_{EX} (C_0 - C_B) - Q_r C_E$$

由于 $Q_r = Q_E - Q_F$ ，将其代入上式则得：

$$r_G = \frac{q_{EX}}{Q_F} = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_B} \quad (6)$$

这一公式是用内湾海水平均浓度及外海海水浓度和湾口涨落潮浓度差计算出海水交换率。

以上方法和公式虽然各不相同，但只要加以分析就不难看出，其结果都只不过证明通过湾口断面的潮差移动量乘以涨落潮浓度差等于湾内污染物输出量即平流交换迁移速率而已。如：在以上各式等号两边同乘以潮差移动量 Q 则得：

$$r_0 Q = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_E} Q, \text{ 则 } r_0 Q (C_0 - C_E) = Q (C_F - C_E)$$

$$r_B Q = \frac{C_F - C_E}{C_F - C_B} Q, \text{ 则 } r_B Q (C_F - C_B) = Q (C_F - C_E)$$

$$r_G Q = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_B} Q, \text{ 则 } r_G Q (C_0 - C_B) = Q (C_F - C_E)$$

从而下式成立：

$$r_0 Q (C_0 - C_E) = r_B Q (C_F - C_B) = r_G Q (C_0 - C_B) = Q (C_F - C_E) \quad (7)$$

这一结果与本课题提出的(2)式 $W = Q(C_E - C_F)$ 相同。

三、研究结果

1. 海水交换率

以COD做为指标物质，经过湾内13个站位、4个横断面进行同步监测，(见图2)测得其浓度特征值并统计于表1。算得其海水交

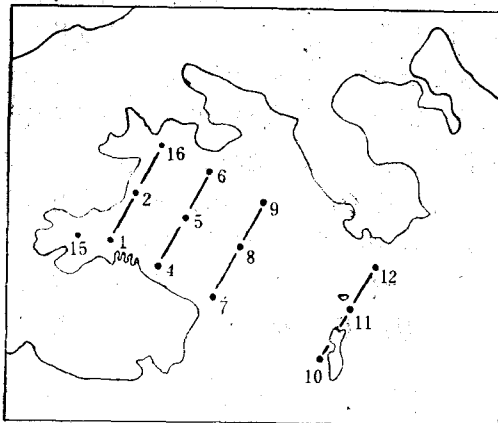


图2 大连湾海上同步监测站位

表1 大连湾各断面浓度差

项目	断面	湾口	I	II	III
$C_1 - C_2$		0.0867	0.057	0.046	0.041
$C_1 - C_3$		0.156	0.051	0.090	0.369
$C_1 - C_4$		0.251	0.200	0.358	0.446
$C_2 - C_3$		0.182	0.206	0.314	0.136

表2 大连湾各断面海水交换率

断面	湾口	I	II	III
海水交换率 r_G (%)	34.5	28.5	12.8	8.94

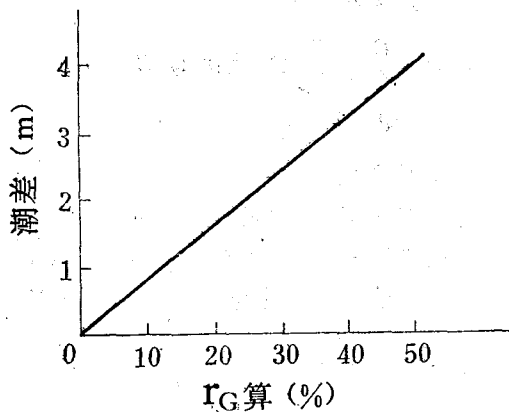


图3 潮差同海水交换率关系

换率见表2。并得出海水交换率与潮差成比例的初步结论(见表3、图3)。

Parker和松本等在旧金山湾和东京湾的分

表3 大连湾潮差与海水交换率关系

潮差(m)	1	1.5	2.0	2.5	3	3.5
海水交换率(%)	13.0	19.5	25.9	32.4	38.9	45.4

表4 三个海湾潮汐交换率比较

项目	海湾	东京湾	旧金山湾	大连湾	
潮差(m)		1.5	1.74	1.5	26.6
潮汐交换率 r_c (%)		10	31-36	31.4	55.5
潮汐交换率 r_G (%)		5	16-18	19.5	34.5

析结果也是潮汐交换率大致与潮差成比例。大连湾与该两湾比较结果见表4。

从以上比较结果可看出,大连湾水交换能力明显好于东京湾和旧金山湾。对这一结果我们用湾口流速进行了验证。大连湾湾口最大流速为2.5—3节,而东京湾只有1.2—1.5节,可见大连湾潮汐交换率高于东京湾是符合实际的。

2. 潮差移动量

根据潮汐观测和有关资料,算得大连湾当潮差为2.66m时全区和各断面潮差移动量,见表5;并算得不同潮差的全区潮差移动量,见表6、图4。

3. 潮汐搬运能力

根据潮汐交换率、潮差移动量及涨落潮潮度差,用(7)式初步推算了大连湾潮汐搬运能力,见表7。

初步算得大连湾1972—1980年通过平流交

表5 大连湾各断面潮差移动量

断面	湾口	I	II	III
潮差移动量 Q (亿米 ³ /潮)	5.96	3.73	1.86	0.675

表6 大连湾潮差与潮差移动量关系

潮差 H (m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
潮差移动量 Q (亿米 ³ /潮)	2.24	3.36	4.48	5.60	6.72

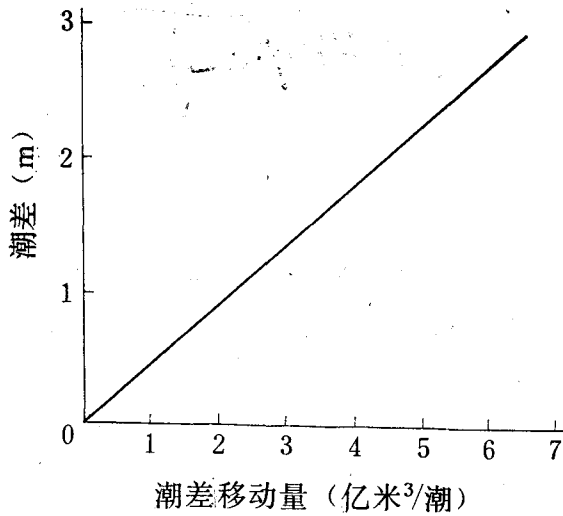


图4 大连湾潮差同潮差移动量关系

换迁移共输出 COD 67 万吨、砷 1 万吨、油 10 万吨。

四、结 语

以上仅是我们在大连湾进行的初步尝试，看来，对于有着多年潮汐观测资料、受潮汐往

表7 大连湾潮汐搬运能力推算结果

项 目	单 位	COD	油	砷
1981年6月1 —2日搬运能力	吨/潮	51.61	4.107	0.286
	吨/日	103.2	8.214	0.572
	吨/年	37668	2998.1	208.8
现状年平均 搬运能力	吨/潮	52.18	4.02	0.161
	吨/日	104.35	8.04	0.323
	吨/年	38087.75	2934.6	117.8
多年平均 搬运能力	吨/潮	102.2	16.02	1.567
	吨/日	204.4	32.04	3.13
	吨/年	74606	11693	1143.7

复流制约的半封闭式海湾，用上述方法估算其自净能力，探索海水运动与污染物输送之间的定量关系，以及海水运动对污染物的稀释扩散作用，能够为对污染物入海量实行总量控制和制定区域性排海标准提供一定的科学依据，从而达到海湾污染防治的目的。有些问题还有待今后进一步深入研究。（参考文献略）

THE TURN-OVER AND SELF-CLEANING CAPABILITY OF SEAWATER IN DALIAN BAY

Wu Jun and Wang Zhenji

(Institute of Environmental Science, Dalian)

Abstract

The turn-over rate and the ability of the tide to carry away the pollutants from Dalian Bay are studied based on many successive years measurements of the tide, multi-stational synchronous observation on the two cycles of the tides both inside and outside of the Bay, sample analysis and relevant monitoring data of several years.

