

86-91

大连湾潮交换能力的数值研究

韩康 张存智 张砚峰 杨连武

(国家海洋局海洋环境保护研究所, 大连 116023)

P 731.23

摘要 采用欧拉-拉格朗日方法对大连湾的潮交换能力进行了数值研究, 用平均交换率的概念表示了大连湾的交换能力。得出大连湾的平均交换率为 14.05%, 这一计算结果介于世界各海湾交换率 (5%~35%) 之间。若按好、中、差三级划分, 大连湾潮交换能力属中等偏差。

关键词 数值研究, 潮交换, 大连湾

潮汐, 交换能力

海水交换能力的研究主要有两种方法, 即观测方法和数值计算方法。本文采用数值计算方法, 亦称质点跟踪法。它通过对标识质点运动轨迹的数值跟踪计算, 求出通过湾口断面的进出水量, 然后确定该断面上的海水交换率。

大连湾是我国北方的一个典型的封闭海湾 (38°54'—39°03'N, 121°35'—121°50'E), 海岸线长约 80km, 面积约 220km², 湾口自大弧山至黄白嘴连线, 长约 18km。大连湾沿岸是大连市的主要生活区和工业区, 厂矿多而集中, 有 100 多个排污口向湾内排放污水, 其排放量占大连市污水排放总量的 80%。因此, 研究大连湾的海水交换能力对大连湾的污水排放控制和治理具有重要意义。

1 计算方法

采用欧拉-拉格朗日 (Euler-Lagrangian) 方法, 通过计算标识质点的拉格朗日运动来揭示水体之间的交换过程。

这种计算方法是传统的欧拉方法与拉格朗日方法的结合, 称为欧拉-拉格朗日方法。在数值计算时, 先用浅水潮波计算欧拉意义上的潮流场, 然后计算各标识质点在潮流场中的运动轨迹, 以确定不同时刻各标识质点的状态, 计算在一定时间间隔后标识质点与外界水体的交换, 得到海水的交换率。

在 $t=t_0$ 时刻, 位于初始位置 X_0 的标识质点, 其拉格朗日速度与欧拉速度有如下关系:

$$\vec{U}_L(\vec{X}_0, t) = \vec{U}_E[\vec{Y}(\vec{X}_0, t), t] \quad (1)$$

式中 $Y(X_0, t)$ —— 标识质点的运动轨迹。也就是在质点的运动轨迹 Y 上, 其欧拉速度与拉格朗日速度相等。 Y 可由下式求得:

$$\vec{Y}(\vec{X}_0, t) = \vec{X}_0 + \int_{t_0}^t \vec{U}_L(\vec{X}_0, t') dt' \quad (2)$$

这样便可得到各标识质点的运动轨迹。

用一条分界线将考查的水体与其相邻的水体“隔开”,并将考查的水体分为许多水柱“微元”,使每个水柱“微元”足够小,以致每个“微元”可视为一个标识质点,于是可用式(2)来计算这些标识质点的运动轨迹。如果在一个潮周期内有标识质点穿过“界线”,则意味着该水体与外界发生了水交换。通过计算穿过“界线”并最终留在界外的标识质点的数量,便可估算出一个潮周期的水交换率。

计算时,将考查水域所包含的所有计算网格均作9等划分,每个质点代表面积为网格面积九分之一的水柱“微元”。这样整个考查水域被标识质点群所代替,水交换问题便归结为计算这些水质点的拉格朗日运动问题。

2 数值计算结果

2.1 潮流场的数值模拟

根据潮流实测资料分析结果得知,本计算海区 M_2 分潮流为绝对优势分潮流。因此, M_2 分潮流的流场可基本反应本海区的潮流特征。数值计算表明,计算海区外部海域的流速比湾内流速大一倍以上,流速分布比较均匀,从湾口到湾顶,流速呈递减分布。岛屿附近存在明显的绕流现象。计算域内,除大连湾中部和湾顶部分外,均为往复流。在湾口内侧有一偏涡区,该偏涡区随着水位的变化呈周期性变化:涨潮时,海水从湾口东侧流入,从湾口西侧流出;落潮时则相反。偏涡区内最大流速位于湾口两侧,约 40cm/s 。图1给出的是大连湾及附近海域 M_2 分潮流椭圆长、短轴的分布。

2.2 潮交换的数值模拟

以大连湾湾口的大孤山到黄白嘴的连线作为计算水交换的界线,考查湾内水体与湾外水

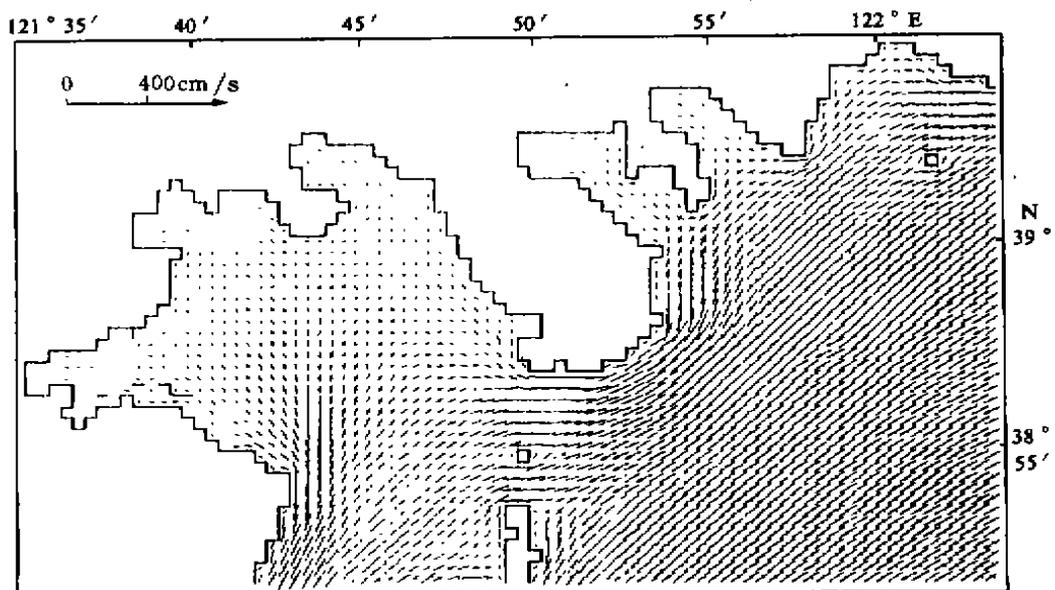


图1 大连湾开发区附近海域 M_2 分潮流椭圆长、短轴分布

体的交换情况。

水质点的拉格朗日运动轨迹是质点初始位置和初始时刻的函数。因此, 计算不同时刻投放的水质点将得到不同的交换率。这里采取 4 个具有代表性的潮位相作为初始投放时刻: 落潮中间时、低潮时、涨潮中间时和高潮时, 分别计算其交换率。图 2~图 5 给出的是把上述 4 个时刻作为质点初始投放时刻, 标识质点在一周期内每隔 1h 的状态。

从标识质点的状态来看, 于落潮中间时刻投放的水质点, 在起初的几个小时, 由于流速较小, 标识质点的位移幅度较小, 只在边界附近摆动。之后, 由于流速的增大, 有大量的标识质点从湾口东侧流到界外, 到 $t=8$ 时, 流到界外的标识质点数量达到最大。在这之后由于周期性潮流的作用, 流出的标识质点向相反方向流动, 有一部分曾经流到界外的标识质点又流回界内, 至 $t=12$ 时完成一个潮周期的潮运动。标识质点的流入和流出表明在潮流的作用下内部水体与外部水体发生了水交换。这种交换过程使得进入内部的水体(有的曾经流出过)与

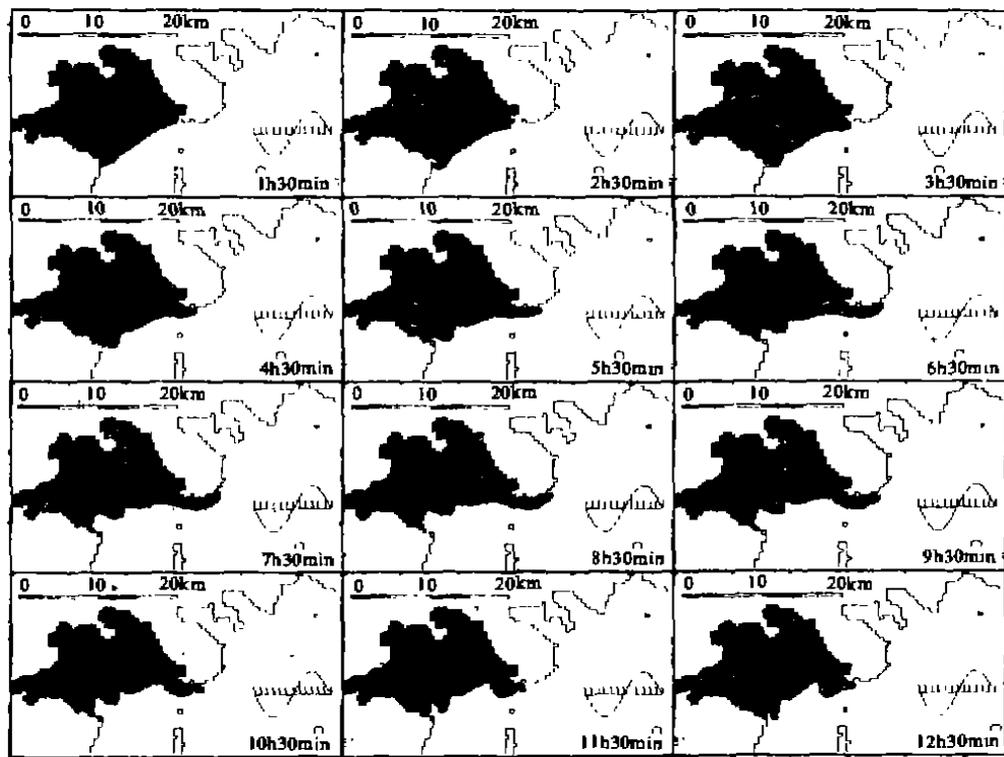
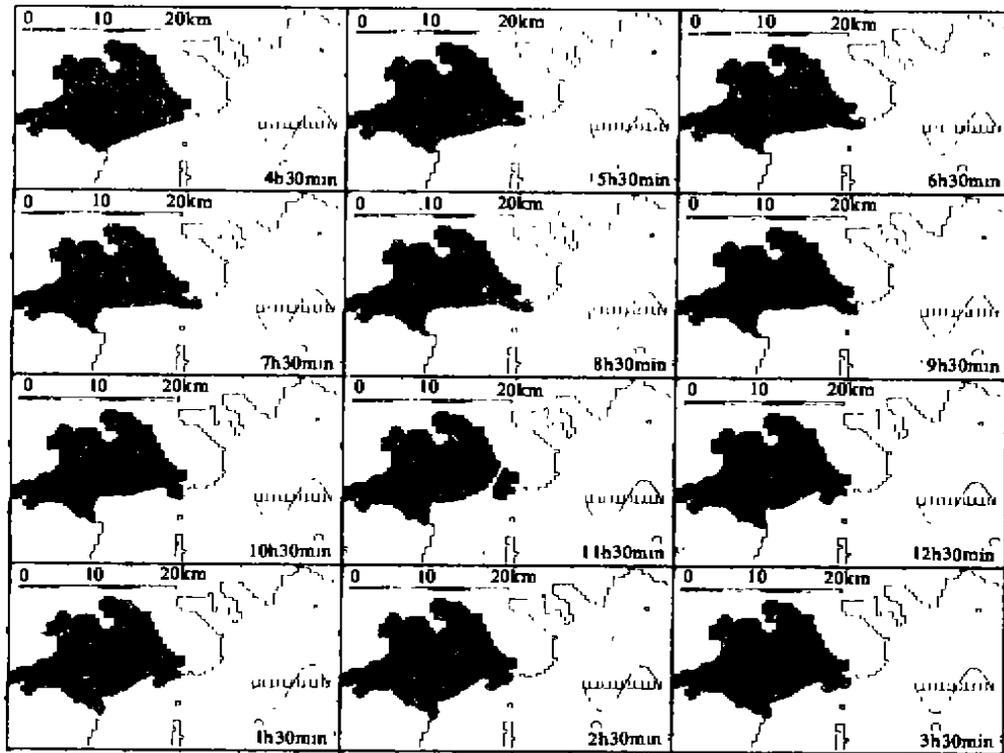


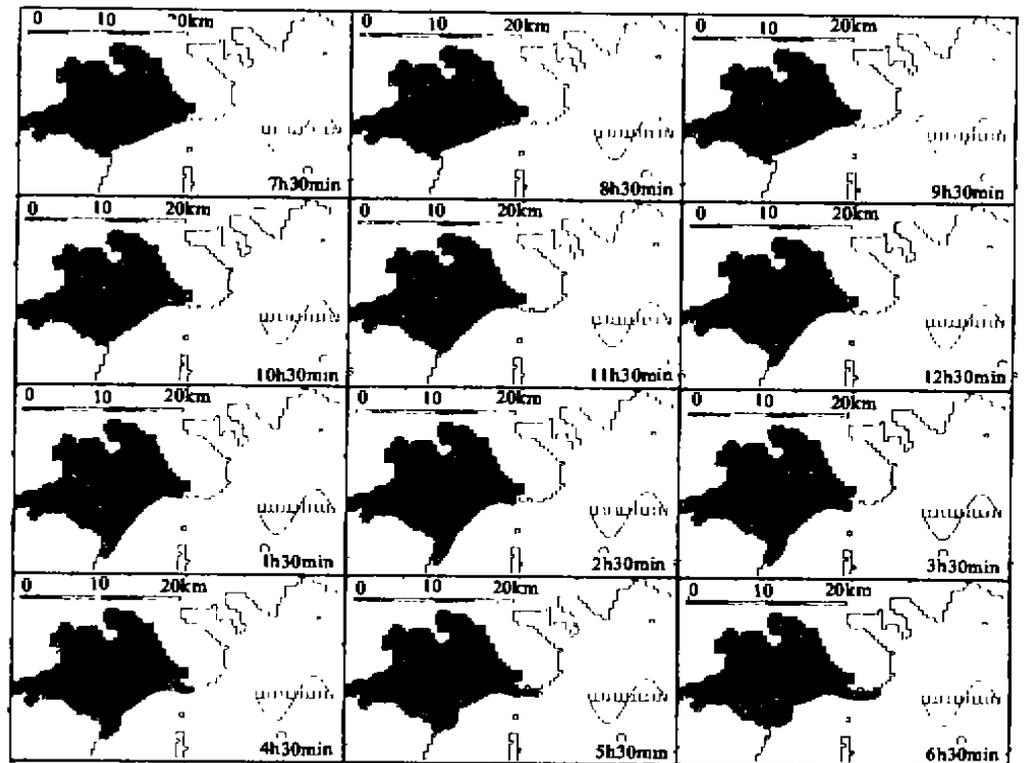
图 2 一个周期内每隔 1h 的标识质点状态 (落潮中间时投放)

滞留下来的水体(在交换过程中也发生移动)产生混合, 从而使内部水体不断更新。

通过比较不同时刻投放的标识质点的水交换过程可以清楚地看出, 由于初始投放时刻的不同, 标识质点在一个潮周期内的运动过程和整个水体的交换过程也有所不同。由图 5 可见, 流到界外的标识质点数量相对较多, 流出的距离也较远, 距离湾口两侧最远的达 6km。这说明在此投放时刻的条件下, 界内外水体的混合较强, 湾内水体的更新更快。



◀ 图 3 一个潮周期内每隔 1h 的标识质点状态 (低潮时投放)



▶ 图 4 一个潮周期内每隔 1h 的标识质点状态 (涨潮中间时投放)

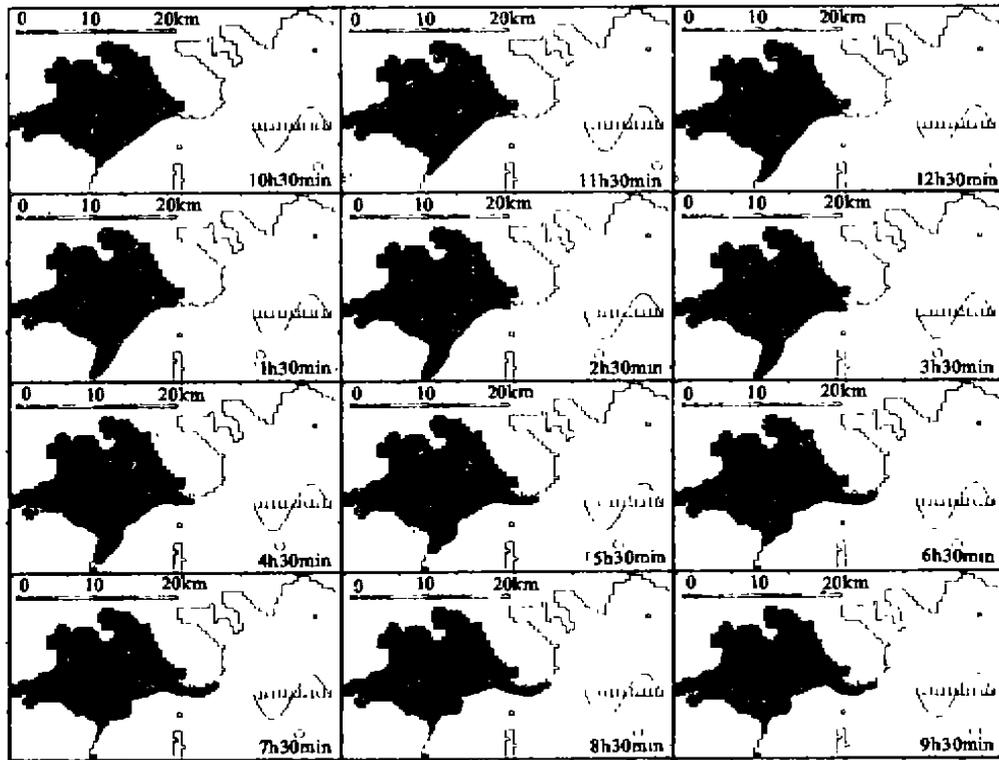


图5 一个潮周期内每隔 1h 的标识质点状态 (高潮时投放)

2.3 潮交换率的计算

为了定量地说明大连湾的潮交换能力,我们引进潮交换率的概念。由于每个标识质点代表一个水柱“微元”,因此,根据流到界外的标识质点的数量可以近似地求出其水体的体积,进而以一个潮周期流到界外的水体体积 V_0 与初始投放时刻界内水体的总体积 V_T 之比 R 定义潮交换率。

$$R = V_0 / V_T \quad (4)$$

由于初始投放时刻不同,标识质点的拉格朗日运动也就不同,因而得到的潮交换结果也不同。因此,这里以一个潮周期内不同初始投放时刻所得潮交换率的平均值作为一个潮周期内的平均交换率,它反映的是一个潮周期内潮交换的平均状态。本计算得出,大连湾的平均交换率为:14.05%,这一结果介于世界各海湾潮交换率(5%~35%)之间,如果按好、中、差三级划分,则大连湾的潮交换属中等偏差。但是由于本计算只考虑 M_2 分潮流,所以计算结果可能偏低。

参考文献

- 1 韩康,张存智,张砚峰,杨连武.大连湾及其附近海域潮流场数值模拟.海洋通报,1994,13(4):20~25
- 2 李龙草,窦振兴,张存智.渤海海峡拉格朗日余流的数值模拟.海洋学报,1988,10(1)

- 3 Toshiyuky Awaji, Norihisa Imasato and Hideaki Kunishi. Tidal Exchange Through a Strait, a Numerical Experiment Using a Simple Model Basin. *Journal of Physical Oceanography*. 1980. 10 (10)
- 4 甘雨鸣. 大鵬灣的海水交換. 中山大學學報 (自然科學) 論叢, 1991, 10 (1)

NUMERICAL STUDY ON TIDAL EXCHANGE IN DALIAN BAY

Han Kang, Zhang Cunzhi, Zhang Yanfeng and Yang Lianwu

Institute of Marine Environmental Protection, SOA, Dalian 116023

Abstract A numerical experiment has been performed by using Eulerian-Lagrangian method to study the tidal exchange in Dalian Bay. The tidal exchange ability is expressed by using the average tidal exchange rate. The average tidal exchange rate of the bay is 14.05%, which falls in the range of the tidal exchange rates (5%~35%) of the bays in the world.

Key Words numerical study; tidal exchange, Dalian Bay