

胶 州 湾 遥 感 研 究

II. 动力参数计算*

郑全安 吴隆业 戴懋瑛 潘家祎 纪育强

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

提要 应用从卫星遥感图像中提取的平均高潮线水域面积和水边线水域面积推算零米以下水域面积, 以及结合潮位实测资料推算海湾纳潮量与沉积速率的方法, 得出胶州湾现有(1988年)零米以下水域面积为 257km^2 、纳潮量为 $9.48 \times 10^8 \text{m}^3$ 。这些数值比历史数据减小。胶州湾 1963—1988 年间的平均沉积速率为 1.4cm/a , 是 1915—1963 年间的 2.7 倍。文中还对湾口最大涨潮流速的推算方法进行了探索, 应用于胶州湾得出最大涨潮流速为 1.2m/s , 也比历史数据有所减小。

关键词 动力参数 遥感信息 数学模式 陆地卫星 TM 图像

一、卫星遥感信息的提取与潮位订正

通常采用的纳潮量计算公式为:

$$W = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) H \quad (1.1)$$

式中, S_1 , S_2 分别为高、低潮位的水域面积; H 为其潮差¹⁾。

为了从卫星遥感图像中提取 S_1 和 S_2 , 首先要制取高质量的影像地图。本研究采用的是我国接收的美国陆地卫星 5 号 (Landsat-5) “主题绘图仪 (TM)” 图像, 经计算机几何纠正处理, 消除了原始图像中的畸变, 达到了定量量算地物面积的要求。为了突出海湾的平均高潮线和水边线, 采用了假彩色合成影像信息增强技术。选用 $4(0.76-0.90\mu\text{m})$, $7(2.08-2.35\mu\text{m})$ 和 $1(0.45-0.52\mu\text{m})$ 波段进行假彩色合成, 以便突出水陆边界。经过纠正和信息增强处理后的图像再将比例尺放大为 1:10 万, 作为量算的工作图。以此为基础, 经透图作业, 利用透明涤纶薄膜制取专题解译图。然后采用人为误差小、工作效率高的微机-数字化仪方法进行面积量算。图 1 即以 1988 年 10 月 25 日的图像 TM881025 为基础, 制取的胶州湾平均高潮线和水边线解译图。由解译图上测出的 S_{11} 即为式(1.1)中的 S_1 , 但 S_{22} 不能直接用于计算纳潮量, 应据此求出 S_2 。这里介绍两种依据 S_{11} , S_{22} 计算 S_2 (即潮位订正) 的方法。

1. 线性内插法

* 本工作得到国家“七五”攻关项目 76-04-06 专题资助。参加现场调查和内业工作的还有张欣梅、孙玉星、修树孟、张东、马小兵、于衍桂等同志。本文“1”刊载于本刊 22 卷 3 期 193—199 页。

接受日期: 1990 年 12 月 20 日。

1) 国家海洋局第一海洋研究所港湾室, 1987, 胶州湾东北部围填海湾对胶州湾纳潮量影响的估算, 1—2。

任意海湾的面积均可分为随着潮位变化和随潮位变化的两部分,即

$$S = f(h) + b$$

式中, $f(h)$ 是以潮高 h 为自变量的函数, 不同的海湾, $f(h)$ 的函数形式也会有差别。作为最简单的情况, 设 $f(h)$ 为一线性函数, 即

$$f(h) = kh,$$

于是

$$S = kh + b \quad (1.2)$$

式(1.2)对滩涂为正规斜平面的海湾精确成立, 当滩涂不为斜平面时, 可视为一级近似。上述讨论并没对海湾形状作某种限定, 例如对一侧为滩涂, 另一侧为直壁的海湾(如胶州湾)式(1.2)同样成立。

由卫星图像上提取的不同潮时的水域面积 S_{11} 和 S_{22} 自然也满足式(1.2), 即

$$\begin{cases} S_{11} = kh_{11} + b \\ S_{22} = kh_{22} + b \end{cases} \quad (1.3)$$

由此求得

$$\begin{cases} k = \frac{S_{11} - S_{22}}{h_{11} - h_{22}} \\ b = \frac{S_{22}h_{11} - S_{11}h_{22}}{h_{11} - h_{22}} \end{cases} \quad (1.4)$$

将式(1.4)代入式(1.2), 即可确定 $S-h$ 函数关系, 于是对任意给定的 h , 都可求出对应的 S 。

2. 等价圆法

对圆形海湾, 水域面积的潮位订正方法可用

图 2 来说明。

如前所述, 卫星过境时水边线面积不能直接代入式(1.1)来计算纳潮量, 而必须依据 S_{11} 和 S_{22} 求出平均低潮位的水域面积 S_2 (图 2)。设 S_2 与 S_{22} 的潮位仅差一个小量 Δh , 此时滩涂宽度的改变量为 $\Delta \xi$, 于是

$$S_2 = S_{22} + 2\pi r \Delta \xi \quad (1.5)$$

当滩涂为斜平面时, 可以推出:

$$\frac{\Delta \xi}{\xi} = \frac{\Delta h}{h} \quad (1.6)$$

即

$$S_2 = S_{22} + 2\pi r \xi \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \quad (1.7)$$

而

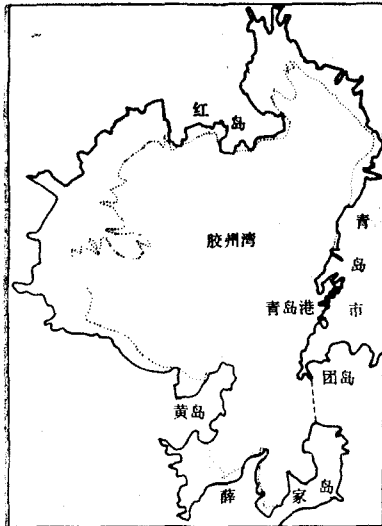


图 1 由图像 TM881025 提取的胶州湾海岸线和水边线(1988年10月25日10时06分)

Fig. 1 The Line corresponding to average high tide (solid) and the line of sea water boundary (dash) of the Jiaozhou Bay abstracted from image TM881025 (10:06 AM Beijing Time, Oct. 25, 1988)

—海岸线; - - -水边线。

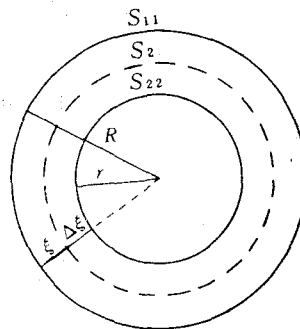


图 2 圆形海湾的水域面积潮位订正示意图
Fig. 2 A scheme for tidal correction of the area covered by sea water in a circular bay
 S_{11} 为由卫星遥感图像确定的海湾平均高潮位水域面积, 其半径为 R ; S_{22} 为卫星过境时(潮位为 h)的水边线面积, 其半径为 r ; ξ 为滩涂正射投影宽度。

$$\xi = R - r$$

所以

$$S_2 = S_{22} + 2\pi r(R - r) \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \quad (1.8)$$

又从图 2 知

$$S_{22} = \pi r^2 \quad (1.9)$$

于是

$$S_2(h + \Delta h) = S_{22}(h) \left[1 + 2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \right] \quad (1.10)$$

因此, 对已知的 $S_{22}(h)$, 当潮位增量为 Δh 时, 由式(1.10)可简捷地求出 $S_2(h + \Delta h)$ 。

实际上, 精确的圆形海湾是不存在的, 上述推导结果只能作为一种理想模型。不过, 在某种特定条件下, 可以把已知的海湾水域面积等价为一个半径为 r 的圆, 这时便可使用式(1.10)来进行潮位订正。当然这种方法仅适合于 $\Delta h/h$ 不太大的情形。

二、零米下水域面积、纳潮量和沉积速率计算

根据陆地卫星图像 TM881025 绘制的解译图(见图 1), 测得胶州湾平均高潮位面积(即总水域面积) S_{11} 为 390km^2 , 对应的平均高潮位为 $3.77\text{m}^{[1,1]}$ 。而当时(1988年10月25日10时06分)的水边线面积 S_{22} 为 278km^2 , 由潮汐表查出, 此时对应的潮位为 0.60m (青岛验潮站)。由线性内插法式(1.4)求出 k 为 $35.3\text{km}^2/\text{m}$, 而 b 为 257km^2 。于是, 得出胶州湾不同潮时的水域面积与潮位的线性回归方程为

$$S = 35.3h + 257 \quad (2.1)$$

由回归方程(1.2)和(2.1)可以得出如下结果。

1. 零米以下水域面积

设 $h = 0$, 得出 $S_0 = b = 257\text{km}^2$ 。

2. 纳潮量

胶州湾的平均高潮位为 3.77m , 对应的水域面积为 390km^2 。平均低潮位为 $0.99\text{m}^{[1]}$, 由式(1.2)~(1.4)和(2.1)得出对应的平均低潮位水域面积为:

$$S_2 = 292\text{km}^2$$

取平均潮差为 2.78m , 上述数据代入式(1.1), 得出胶州湾纳潮量(1988)为:

$$W = 9.48 \times 10^8 \text{m}^3 \quad (2.2)$$

3. 沉积速率

导出海湾沉积速率的几何关系如图 3 所示。沉积厚度 d 可表示为:

$$d = \Delta r \sin \theta \quad (2.3)$$

如用等价圆法处理海湾, 则

$$\Delta r = \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} - \sqrt{\frac{S'_0}{\pi}} \quad (2.4)$$

1) 平均海平面取为 2.39m , 以青岛(大港)潮高基准面为零面。

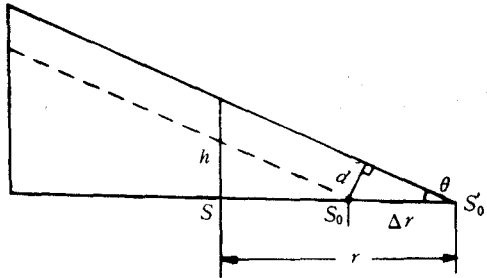


图3 导出海湾平均沉积速率的几何关系
Fig. 3 Geometry used to deduce average deposit rate in a bay

d 为沉积厚度; S_0 , S_0' 分别为原有和现在的零米下水域面积; S 为潮高 h 对应的水域面积。

θ 通常很小, 因此

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{\frac{S_0}{\pi}} - \sqrt{\frac{S_0'}{\pi}}} \quad (2.5)$$

式中, h 为潮位; S 为对应的水域面积。将式(2.4), (2.5)代入(2.3)得出:

$$d = \frac{\sqrt{S_0} - \sqrt{S_0'}}{\sqrt{S} - \sqrt{S_0'}} h \quad (2.6)$$

根据本研究对 TM881025 图像的测量结果, 当潮位为 0.60m 时, 水边线面积为

278km², 推算得出的零米以下水域面积为 257km²。而 1915 年和 1963 年的零米以下水域面积分别为 274km² 和 264km²。以上数据代入式(2.6), 得出 1915—1963 年 48 年间的沉积厚度为 25cm, 平均沉积速率为 0.52cm/a; 而 1963—1988 年 15 年间的沉积厚度为 21cm, 平均沉积速率为 1.4cm/a, 后者是前者的 2.7 倍。

三、最大潮流速度计算

在求出纳潮量之后, 可进一步推算最大潮流速度。对胶州湾这样的半封闭海湾, 最大潮流速度自然出现在湾口。如果忽略河流径流对海湾纳潮量的贡献, 那么, 在涨潮期内流经湾口截面的海水总量 Q 应与海湾纳潮量 W 相平衡。即

$$Q = W \quad (3.1)$$

为计算 Q , 我们建立如图 4 所示的坐标系。取 z 轴向下为正, 坐标原点取在湾口北界与平均海平面交点上, x 轴向南为正, $B(x)$ 为湾口截面海底底形函数。湾口宽度 L 为 3km。由于海底摩擦效应, 使得潮流流速在 z 方向有变化, 即

$$V_0(z) = V_0 v(z) \quad (3.2)$$

式中, V_0 为最大表层流速; $v(z)$ 为归一化潮流流速剖面函数, 可由实测数据经归一化处理求出。

考虑到潮汐的周期性, 我们有任意时刻的潮流流速剖面函数为:

$$V(z, t) = V_0 v(z) \cos \frac{2\pi t}{T} \quad (3.3)$$

式中, T 为潮周期。胶州湾潮汐为正规半日潮, 潮周期主要由 M_2 分潮决定。即 T 为 12.4h。实测表明, 胶州湾涨、落潮时间稍不对称, 涨潮时间 T_1 比落潮时间 T_2 短 1.1h。于是由

$$T = T_1 + T_2 \quad (3.4)$$

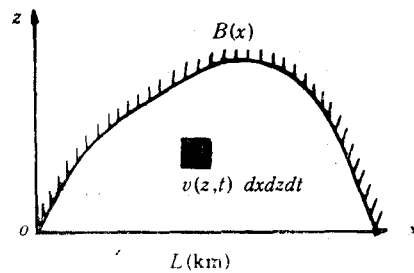


图4 导出湾口截面海水流量示意图
Fig. 4 A scheme used to deduce the flux of sea water past through the section of inlet of a bay

求出 T_1 为 5.65h。

湾口截面内任意点的流量元则为:

$$\begin{aligned} dQ &= V(z, t) dx dz dt \\ &= V_0 v(z) \cos \frac{2\pi t}{T} dx dz dt \end{aligned} \quad (3.5)$$

于是, 我们有涨潮时间内流经济口截面的总流量为:

$$\begin{aligned} Q &= 2V_0 \int_0^{T_1} \int_0^L \int_0^{B(x)} V(z) \cos \frac{2\pi t}{T} dz dx dt \\ &= V_0 \left(\frac{T}{\pi} \sin \frac{\pi T_1}{T} \right) \int_0^L \int_0^{B(x)} V(z) dz dx \end{aligned} \quad (3.6)$$

式中, dz 的积分上限 $B(x)$ 也由湾口海底地形实测数据求出。

由式(1.7)和(2.2)知湾口最大表层潮流流速表达式为:

$$V_0 = \frac{W}{\left(\frac{T}{\pi} \sin \frac{\pi T_1}{T} \right) \int_0^L \int_0^{B(x)} V(z) dz dx} \quad (3.7)$$

上式右端各量均为已知, 由此求出:

$$V_0 = 1.2 \text{ m/s.}$$

四、讨 论

本文得出的主要结果如下:

1. 胶州湾现有(1988)零米以下水域面积为 257km², 与文献[2]给出的数据(1935 年为 274km², 1963 年为 264km², 1980 年为 257.8km²) 构成一个时间系列。总的趋势是逐年略有缩小。

2. 胶州湾现有(1988)纳潮量为 9.48 × 10⁸m³, 与文献[2]给出的数据(1935 年为 12.667 × 10⁸m³, 1963 年为 10.065 × 10⁸m³, 1980 年泄潮量为 9.626 × 10⁸m³) 构成一个时间系列。总的趋势是逐年递减。

3. 胶州湾 1963—1988 年间的平均沉积率为 1.4cm/a, 是过去半个世纪(1915—1963 年)的 2.7 倍, 这说明胶州湾的沉积速率正在加快。

4. 胶州湾湾口现有(1988)最大表层涨潮流流速为 1.2m/s, 与文献[2]给出的数据(1935 年为 1.8m/s, 1963 年为 1.4m/s, 1980 年为 1.2m/s) 构成一个时间系列。总的趋势呈逐年递减状态, 但与 1980 年测量结果持平。

以上 4 点与文献[3]得出的胶州湾总水域面积缩小, 总岸线长度增长的结果是一致的。同时, 进一步从宏观水动力角度证明, 胶州湾功能处于衰退过程中。

参 考 文 献

- [1] 王文海, 1986, 胶州湾自然环境概述, 海岸工程, 5(3): 18—24。
- [2] 刘学先, 李秀亭, 1986, 胶州湾寿命初探, 海岸工程, 5(3): 25—30。
- [3] 郑全安等, 1990, 胶州湾遥感研究 I. 总水域面积和总岸线长度量算, 海洋与湖沼, 22(3): 193—199。

A REMOTE SENSING STUDY OF JIAOZHOU BAY II. CALCULATION OF DYNAMICAL PARAMETERS

Zheng Quanan, Wu Longye, Dai Maoying, Pan Jiayi and Ji Yuqiang

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

ABSTRACT

Landsat TM data are used to measure the area corresponding to average high tide of a bay, S_{11} , and the area covered by sea water at the time when satellite past, S_{22} . And the area covered by sea water in a bay can be expressed by a linear equation:

$$S = kh + b, \quad (1)$$

where h is tidal level, k and b are constants to be determined.

By substituting satellite remote sensing data, S_{11} and S_{22} , into Eq. (1) the constants, k and b , can be determined. Then, when the tidal level is measured, the area covered by sea water in the bay corresponding to the tidal level can be calculated by using Eq. (1). Therefore, the dynamical parameters such as the area covered by sea water below zero meter, the tidal flux volume, and average deposit rate of the bay can be deduced. When the tidal flux volume, the function of bottom topography at inlet, and of the vertical profile of tidal current velocity are known, the maximum velocity of tidal current of inlet of the bay can be calculated by integration.

The dynamical parameters of Jiao Zhou Bay obtained with the above method are as follows: the total area is 390 km^2 , the area below zero meter 257 km^2 , the tidal flux volume $9.48 \times 10^8 \text{ m}^3$, the average deposit rate 1.4 cm/a , and the maximum tidal current velocity 1.2 m/s .

The method to assimilate satellite remote sensing data into the dynamical study of the bay presented in this paper makes real time, dynamical, continuous monitoring of dynamical situation of a bay possible.

Key words Dynamical parameters, Remote sensing information, Mathematical model, Landsat TM image, Jiaozhou Bay