

半封闭海湾潮间带部分围垦后纳潮量计算的商榷^{*}

——以胶州湾为例

杨世伦¹ 陈启明² 朱骏¹ 张经¹

(¹华东师范大学河口海岸国家重点实验室 上海 200062)

(²华东师范大学化学系 上海 200062)

摘要 传统的海湾(泻湖)纳潮量计算方法不能精确地反映潮间带被部分围垦后纳潮量的实际情况。本文考虑围堤的影响,将纳潮量分解为堤基以下的“梯形”区和堤基以上的“矩形”区两部分之和,在理论上更加严密。根据改进后方法算出的胶州湾近期纳潮量比传统方法算出的纳潮量大15%左右。可见,半个多世纪以来胶州湾的纳潮量只减少了约15%,而不是传统方法得出的约25%。

关键词 纳潮量,泻湖,半封闭海湾,胶州湾

中图分类号 P731.23 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)08-0043-04

纳潮量是一个水域可以接纳的潮水的体积。它的大小直接影响到海湾(泻湖)与外海的交换强度,从而制约着海湾(泻湖)的自净能力,因此,它对于维持海湾的良好生态环境至关重要。纳潮量的变化关系到泻湖潮汐水道(tidal inlet)的盛衰,从而影响泻湖的通航能力^[1]。可见,纳潮量计算的精度不仅在理论上而且在规划和管理上有重要的意义。

通常情况下,纳潮量是指平均潮差条件下泻湖或泻湖型海湾可能接纳的海水量(体积),其计算公式为

$$P_m = hS \quad (1)$$

式中 P_m 为平均潮差条件下的纳潮量, h 为平均潮差, S 为平均水域面积(即平均高潮位与平均低潮位面积之均值)。 h 即平均高潮位和平均低潮位之差值,可根据验潮站的多年实测资料求得;计算方法简单,计算结果趋于一致。然而, S 的计算较为复杂。地形图上一般只标出 0 m 线(理论最低潮位)和岸线(相当于最大高潮线),位于两者之间的平均高潮线和平均低潮线需经推算方能得到。当潮间带为坡度均匀的斜面时,推算简单。但当潮间带(即使原来是坡度均匀的斜面)出现围堤后,水域面积随潮位的变化就变为非线性关系。考虑海堤的存在与否,所得结果差异较大。虽然胶州湾潮间带已被高强度地围垦,但过去的纳潮量计算都未考虑海堤的影响^[2]①。尚未发现国内外其它文献对这一问题做过探讨。本文对潮间带出现海堤后纳潮量的计算公式做了改进,并同前人的计算

结果做了比较,旨在加深对这一问题的认识。

1 研究区自然概况

胶州湾是一个比较典型的中尺度半封闭海湾,也是我国海洋科学综合性研究最深入的海湾。它南北长约 33 km,东西宽约 28 km,口门最窄处仅 3.1 km(图 1)。胶州湾水域面积 1992 年为 388 km²^[3],过去曾达 560 km²^[4]。面积减小的原因主要是潮滩围垦。潮滩面积由 1935 年的 285 km²(占海湾总面积的 51%)减少至目前的 85 km²(占海湾总面积的 22%)^[3]。胶州湾潮汐为正规半日潮,平均潮差 2.7~3.0 m,最大潮差变化于 4.61 m 和 5.08 m 之间(6 个验潮站)。根据 Davies 1964 年的潮差分类(大潮潮差 < 2 m 时属弱潮, 2~4 m 时属中潮, > 4 m 时属强潮),胶州湾属于中-强潮海湾。

^{*} 国家自然科学基金重点项目 40036010 号;同时受到上海市重点学科资助。

第一作者:杨世伦,出生于 1954 年,博士,教授,博士生导师,主要从事海岸环境和过程研究。E-mail: shilunyang@hotmail.com

① 汪亚平. 胶州湾及邻近海区沉积动力学. 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 2000, 190

收稿日期:2002-03-12;修回日期:2002-07-10

2 纳潮量的计算

2.1 不考虑围垦影响的纳潮量计算(传统算法)

已有的纳潮量计算方法^{[5]①②}都不考虑围垦的影响。虽然计算公式的字母表达有所不同,但物理概念都一样。以汪亚平 2000 年方法^①为例:假定潮滩为坡度均匀的斜面,则任意潮位时的水域面积 S 与 0 m 水域面积 S_2 之间存在以下线性关系

$$S = a_0 h_i + S_2 \quad (2)$$

式中 a_0 为系数, h_i 为潮位。将多年平均高潮位 $h_i = 3.80$ m 及其对应的水域面积 S_1 和 0 m 水域面积 S_2 代入式(2),可得 a_0 ;再将求得的 a_0 、已知的 0 m 水域面积 S_2 和多年平均低潮位 1.02 m 代入式(2)便求得此潮位的水域面积 S_3 。

纳潮量 P_m 由下式计算:

$$P_m = h(S_1 + S_3)/2 \quad (3)$$

其中 h 为多年平均潮差(2.78 m)。

在应用以上公式进行胶州湾纳潮量计算时,汪亚平 2000 年^①将任一时期的总水域面积作为平均高潮位时的

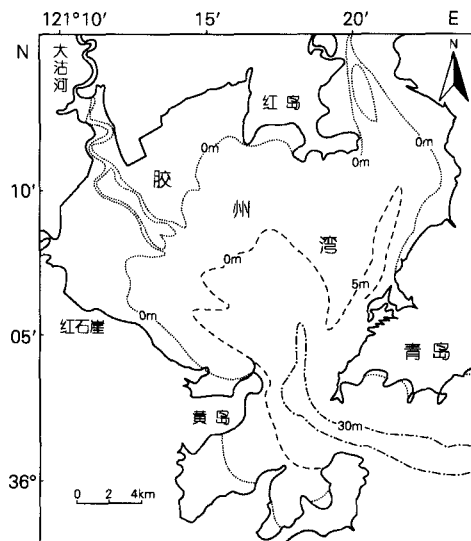


图 1 胶州湾示意图

Fig. 1 Sketchmap of the Jiaozhou Bay

表 1 胶州湾水域面积和纳潮量变化

Tab. 1 Temporal changes in water area and storage capacity for tidal water in Jiaozhou Bay

序号	年份	总水域面积 (km ²)	0 m 线水域面积 (km ²)	纳潮量(平均潮差条件下)(×10 ⁸ m ³)			
				刘学先、李秀亭 (1986)	汪亚平 (2000)	胡泽建等 (2000)	本文算法
1	1863	578.5*	295*			13.1	13.1
2	1928	560 ⁽¹⁾	274 ^{(1)*}		12.663		12.660
3	1935	559 ^{(1)(2)*}	274 ⁽¹⁾⁽²⁾	12.667	12.642	12.5	12.659
4	1958	535 ⁽³⁾	310 ⁽³⁾				12.929
5	1963	423 ⁽¹⁾⁽²⁾	264 ⁽¹⁾⁽²⁾	10.065	10.143		11.389
6	1966	470.3*	277.7*			11.0*	
7	1977	423 ⁽³⁾	298 ⁽³⁾				11.468
8	1980	400 ⁽¹⁾⁽²⁾	257.8 ⁽¹⁾⁽²⁾		9.674		10.959
9	1985	374.4 ⁽²⁾	256 ⁽²⁾			9.65	10.343
10	1988	390 ⁽¹⁾	256 ⁽¹⁾		9.479		10.724
11	1992	388 ⁽⁴⁾	303 ⁽⁴⁾			9.29	10.718

注:(1)汪亚平,2000,水域面积引自刘学先、李秀亭(1986)及郑全安等(1991);(2)刘学先和李秀亭(1986);(3)李善为,1983;(4)赵全基、刘福寿(1993);*胡泽建等(2000)明确将总水域面积(早期为平均大潮高潮位面积)作为平均高潮位面积来对待,并换算出相应的平均低潮位面积为 361.2 km²。

水域面积 S_1 ,将该时期的 0 m 线水域面积作为 S_2 ,得出 1928、1935、1963、1980 和 1988 年的纳潮量(表 1)。

从表 1 可知,刘学先和李秀亭 1986 年的计算结果与汪亚平 2000 年和胡泽建等 2000 年的结果非常接近。因此,前者的方法可能与后者相同(或类似)。郑全安等 1992 年^[6]对 1988 年纳潮量的计算方法也与之相同。上述各家都没有考虑若海堤建在平均高潮位之下

① 汪亚平。胶州湾及邻近海区沉积动力学。中国科学院海洋研究所博士学位论文,2000,190

② 胡泽建,边淑华,赵可光,等。半封闭海湾淤积灾害预测关键技术研究——以胶州湾为例。国家九五攻关(96-922-03-01)专题研究报告之一,国家海洋局第一海洋研究所,2000,75

时对纳潮量计算的影响。

2.2 考虑围堤影响的纳潮量计算(改进后算法)

由于近几十年来胶州湾面积的缩小主要是潮滩的围垦所致^[7],而围垦后海堤所在的高程往往低于平均高潮位。在这种情况下,上述纳潮量的计算公式宜做适当改进。如图2所示:假定A、D两点位于平均高潮位,B、C两点位于0m位置,AB和DC代表潮滩斜面;同时假定AD、BC和GH分别代表平均高潮位、0m和平均低潮位的水域面积 S_{MHW} 、 S_{0m} 和 S_{MLW} (此处假设图中梯形是海湾截面);再令 h 代表平均潮差, L_{MHW} 、 L_{MLW} 和 L_w 分别代表平均高潮位、平均低潮位和任意潮位。在上述假定情况下,没有海堤出现(或海堤位于平均高潮位之上),这时汪亚平公式完全适用,得:

$$S_w = K L_w + S_{0m} \quad (2)'$$

$$P_m = h(S_{MHW} + S_{MLW})/2 \quad (3)'$$

式中 S_w 为任意潮位 L_w 所对应的水域面积, P_m 为纳潮量。但是,当围堤的高程出现在低于平均高潮位的E、F点而0m位置出现在B'和C'(即0m水域面积发生了变化)时,纳潮量的合理算法应该是矩形A'EFD'所代表的纳潮量和梯形EG'H'F所代表的纳潮量之和,而不是梯形A'G'H'D'所代表的纳潮量(即上述汪亚平算法)。前一种方法比后一种方法多出图中阴影部分所代表的纳潮量。前一种方法的表达如下:

(1) 矩形A'EFD'所代表的纳潮量: E'和F'所在的潮位 $L_w = (S_w - S_{0m})/K$,其中 $K = (S_{MHW} - S_{0m})/L_{MHW}$ (由于E'、F'是新、老两种斜面的交点,故可用变化前的求法),矩形的宽A'E = D'F = $L_{MHW} - L_w$,从而,

$$P_{m \text{ 矩形}} = (L_{MHW} - L_w) S_w = [L_{MHW} - (S_w - S_{0m})/K] S_w = [L_{MHW} - (S_w - S_{0m})/K] S_w \quad (4)$$

假定没有围垦,平均高潮位水域面积无变化,这时 $L_w = L_{MHW}$, $S_w = S_{MHW}$, $P_{m \text{ 矩形}} = 0$ (即只有梯形而没有矩形)。

(2) 梯形EG'H'F所代表的纳潮量:变化后有关系式

$S_w = K' L_w + S_{0m} = K' (S_w - S_{0m})/K + S_{0m}$ [注:这里 $L_w = (S_w - S_{0m})/K$ 的原理同上],即 $K' = K(S_w - S_{0m})/(S_w - S_{0m})$,从而,变化后平均低潮位处的水域面积(由图中G'H'代表) $S_{MLW} = K' L_{MLW} + S_{0m}$,于是,

$$P_{m \text{ 梯形}} = (S_{MLW} + S_w)(L_w - L_{MLW})/2 = (K' L_{MLW} + S_{0m} + S_w) [(S_w - S_{0m})/K - L_{MLW}]/2 = [L_{MLW} K(S_w - S_{0m})/(S_w - S_{0m}) + S_{0m} + S_w] [(S_w - S_{0m})/K - L_{MLW}]/2 = [L_{MLW} (S_{MHW} - S_{0m})(S_w - S_{0m})/L_{MHW} (S_w - S_{0m}) + S_{0m} + S_w] [L_{MHW} (S_w - S_{0m})/(S_{MHW} - S_{0m}) - L_{MLW}]/2 \quad (5)$$

当不存在围垦时, $S_w = S_{MHW}$,这时上式变为:

$$P_{m \text{ 梯形}} = [L_{MLW} (S_{MHW} - S_{0m})/L_{MHW} + S_{0m} + S_{MHW}] h/2 = (S_{MHW} + S_{MLW}) h/2,$$

与汪亚平公式完全相同,其中 $S_{MLW} = K' L_{MLW} + S_{0m}$, $K' = (S_{MHW} - S_{0m})/L_{MHW}$ 。

综上所述,当总水域面积因围垦而缩小而0m处水域面积也因侵蚀或淤涨而发生变化时,纳潮量的变化可采用下式:

$$P_m = P_{m \text{ 矩形}} + P_{m \text{ 梯形}} = [L_{MHW} - (S_w - S_{0m})] L_{MHW}/(S_{MHW} - S_{0m}) S_w + \{L_{MLW} (S_{MHW} - S_{0m})(S_w - S_{0m})/[L_{MHW} (S_w - S_{0m})] + S_{0m} + S_w\} [L_{MHW} (S_w - S_{0m})/(S_{MHW} - S_{0m}) - L_{MLW}]/2 \quad (6)$$

式中 S_{0m} 代表变化后的0m水域面积, S_w 为围垦后的平均高潮位水域面积(由于围堤位置低于平均高潮位,围垦后的平均高潮位水域面积小于围垦前)。上式在理论上适用于与胶州湾类似的海湾。具体对胶州湾而言,取平均低潮位 $L_{MLW} = 1.02$ m,平均高潮位 $L_{MHW} = 3.8$ m^[8]。参考汪亚平2000年等做法,将最早的1928年总水域面积560 km²作为原始平均高潮位水域面积 S_{MHW} ;再将1928年的0m线水域面积274 km²作为原始的0m线水域面积 S_{0m} ,则上式可简化为:

$$P_m = [3.8 - (S_w - 274 \text{ 000 000}) \times 1.3287 \times 10^{-8}] \times S_w + \{2.9172 \times 10^{-8} (S_w - S_{0m}) \div [3.8 \times (S_w - 274 \text{ 000 000})] + S_{0m} + S_w\} \times 0.5 [3.8 (S_w - 274 \text{ 000 000}) \div 286 \text{ 000 000} - 1.02]$$

以1963年为例, $S_w = 423 \text{ km}^2 = 4.23 \times 10^8 \text{ m}^2$, $S_{0m} = 264 \text{ km}^2 = 2.64 \times 10^8 \text{ m}^2$,代入上式后得: $P_m = 769 \text{ 960 251 m}^3 + 368 \text{ 974 377 4 m}^3 = 11.389 \times 10^8 \text{ m}^3$,此值比汪亚平2000年原来算法的结果和刘学先、李秀亭1986年^[2]的结果(表1)分别多12.4%和12.3%。多出的部分即图2中阴影所代表的纳潮量。表1中列出了根据式(6)算出的从1928年至1992年的纳潮量变化:64年中减少了15%。

需指出:当潮间带全部被围垦后,若不考虑0m水域面积的变化,则式(6)和汪亚平公式在图2中都将表现为矩形(因为水位将在直墙上做升降变化)所

代表的纳潮量,两者的计算结果将和潮间带未被围垦前一样完全相同。只有在潮间带被部分围垦时,改进后的式(6)的结果才比原有方法的结果大;当围堤在中潮位附近时,两者差值最大。由表1中传统算法的计算结果可知,1928年以来的纳潮量减少25%左右;而根据本文改进后的算法得出的结果只减少15%。后者只相当于前者的60%。两种方法算出的1992年胶州湾纳潮量,改进后方法的结果比传统方法的结果大15%。

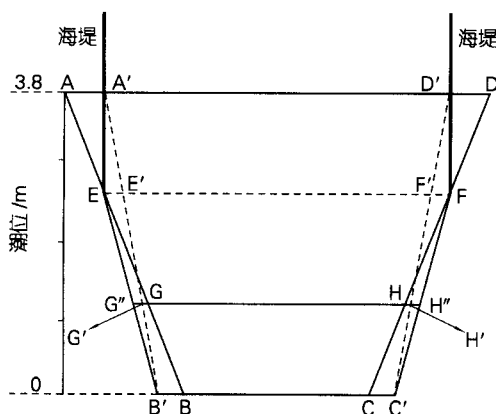


图2 潮间带部分围垦后海湾纳潮量的计算示意图
Fig.2 Sketch map for computation of tital prism in a partly reclaimed embayment

有一点值得进一步探讨:即表1中早期(如1928年或1935年)的总水域面积是否能代表平均高潮位水域面积?由于典型的潮间带剖面呈倒S形,在不受围垦或围垦强度低的情况下,平均高潮位以上潮间带还可能有很大宽度。假定表1中早期的总水域面积对应的是大潮高潮位而不是平均高潮位,则用前者来“冒充”后者算出的纳潮量将会偏大。有资料表明:1949年以前围垦对胶州湾总水域面积的影响不大^[2,3]。这一点在表1中也有所显示。因此,表1中50年代以前的纳潮量都可能偏大。由于地形图上未记载

潮滩的详细高程(未做测量),而潮滩上部又都被围垦,现在要推算早期平均高潮位的确切面积难以着手。不过,本文的核心是对潮滩被部分围垦后传统算法和改进后算法结果的比较,以说明后者的必要性和重要性。

3 结语

在潮间带未被围垦或全部被围垦后,传统的纳潮量计算方法是适用的。但当潮间带被部分围垦后,传统算法的结果将比实际的纳潮量小。当围堤筑在中潮位附近时,差异最大。本文在前人方法基础上改进获得的方法适用于以上3种情况(潮滩未被围垦、部分围垦、全部围垦)。根据改进后的方法算出的胶州湾近期纳潮量比传统方法算出的纳潮量大15%左右。可见,目前胶州湾的纳潮量尚有近11亿 m^3 。这一数据可供海湾水体交换数值计算参考。

参考文献

- 1 王宝灿,黄仰松.海岸动力地貌学.上海:华东师范大学出版社,1988,262
- 2 刘学先,李秀亭.胶州湾寿命初探.海岸工程,1986,5(3):25-30
- 3 印萍,路应贤.胶州湾的环境演变及可持续利用,海岸工程.2000,19(3):14-22
- 4 郑全安,吴隆业,张欣梅,等.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,1991,22(3):193-199
- 5 中国海湾志编辑委员会.中国海湾志(第四分册).山东半岛南部和江苏省海湾.北京:海洋出版社,1993.157-258
- 6 郑全安,吴隆业,戴懋瑛,等.胶州湾遥感研究:II.动力参数计算.海洋与湖沼,1992,23(1):1-6
- 7 赵全基,刘福寿.胶州湾水体缩小是主要环境问题.海岸工程,1993,12(1):63-67.
- 8 国家海洋局第一海洋研究所.胶州湾自然环境.北京:海洋出版社,1984.278

COMPUTATION OF STORAGE CAPACITY FOR TIDAL WATER OF SEMICLOSED BAYS WHERE THE INTER-TIDAL ZONE IS PARTLY EMBANKED ——TAKING JIAOZHOU BAY AS AN EXAMPLE

YANG Shi-Lun¹ CHEN Qi-Ming² ZHU Jun¹ ZHANG Jing¹

(¹State Key Lab of Estuarine & Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062)

(²Department of Chemistry, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Received: Mar., 12, 2002

Key Words: Storage capacity for tidal water, Semiclosed bay, Lagoon, Jiaozhou Bay

Abstract

The traditional method is not perfect in computing the storage capacity for tidal water of semiclosed bays when their intertidal zone is partly embanked. With the dam taken into account, this article decomposes the storage capacity into "trapezoid" portion below the base of the dam and "rectangle" portion above the base of the dam, which is theoretically stricter. The tidal storage capacity of the Jiaozhou Bay was calculated using the improved formula. The result is 15% larger than that based on the traditional formula. In view of this, the tidal storage capacity of the bay was reduced by 15% rather than by 25% during the last six decades. (本文编辑:张培新)