

## 钦州湾潮流模拟及其纳潮量和水交换周期计算\*

## Calculation of Tidal Prism and Water Exchange Period and Simulation of Current about Qinzhou Bay

蒋磊明<sup>1</sup>, 陈波<sup>2</sup>, 邱绍芳<sup>2</sup>, 韩姝怡<sup>3</sup>JIANG Lei-ming<sup>1</sup>, CHEN Bo<sup>2</sup>, QIU Shao-fang<sup>2</sup>, HAN Shu-yi<sup>3</sup>

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530004; 2. 广西科学院, 广西南宁 530007; 3. 广西师范学院资源与环境学院, 广西南宁 530001)

(1. Forest College of Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. Faculty of Resource and Environmental Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要: 根据 FVCOM 模式的模拟结果和 2006 年至 2008 年间对钦州湾海流的观测资料, 分析钦州湾的潮流特征, 并计算该湾在平均海平面的纳潮量和大、小潮的水交换半更换周期。结果表明, 该湾潮差很大, 潮流主要为往复流, 平均潮差纳潮量为  $7.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 大、小潮水交换的半更换周期分别为 1.70 个周期和 4.53 个周期。

关键词: 潮流 纳潮量 水交换

中图分类号: P731.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2009)02-0193-03

**Abstract** Based on simulant results of FVCOM model and field data of current in Qinzhou Bay by our lab from 2006 to 2008, the characteristics of current in Qinzhou Bay has been analysed, then tidal prism of average sea level and water half-exchange period between spring tide and neap tide have also been computed. The results show that Qinzhou Bay has a large tidal range of to and from current. Tidal prism of average tidal range reach  $7.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ , water half-exchange period is 1.70 tidal periods and 4.53 tidal periods.

**Key words** current, tidal prism, water exchange

钦州湾位于北部湾顶部, 广西沿岸中段, 即  $108^\circ 28' 20'' \sim 108^\circ 45' 30'' \text{ E}$ ,  $21^\circ 33' 20'' \sim 21^\circ 54' 30'' \text{ N}$ , 属于弱谷型海湾。该湾由内湾(茅尾海)和外湾(钦州湾)构成, 中间狭窄, 两端宽阔, 东、西、北三面为陆地环绕, 南面与北部湾相通, 是一个半封闭型天然海湾; 全湾海岸线总长 336km, 海湾面积为  $380 \text{ km}^2$ , 其中滩涂面积为  $200 \text{ km}^2$ 。钦州湾深水区位于青菜头至亚公山之间, 水深为 10~20m<sup>[1]</sup>。

由于钦州湾海域潮差大(5.95m), 滩涂面积广阔(占 52.6%), 所以, 在水动力学模式中要充分考虑到海水对滩涂“淹”和“露”的特点, 采用可变边界的“漫滩”数值模式才会更好地再现钦州湾的潮汐和潮流动

力过程<sup>[2]</sup>。2008年3月, 中国海洋大学与广西科学院共同承担的“钦州港永鑫散货码头项目”海域使用论证, 采用了 FVCOM (Finite-Volume Coastal Ocean Model) 模型模拟了钦州湾的潮流运动状况。该模拟结果较好的反应出钦州湾海底地形复杂、滩涂面积大而且分布不均匀、岸线弯曲不规则、潮差很大等特点<sup>[2]</sup>。本文利用 FVCOM 模型的模拟结果并结合 2006 年至 2008 年我们实验室 4 次采用 SLC9-2 直读式海流计, 对布置的钦州湾观测点进行为期 26h 连续观测所获得的实测数据, 分析钦州湾的潮汐、潮流特征和水交换现状, 为钦州湾内的工程建设提供科学依据。

## 1 调查站位与模拟计算方法

### 1.1 调查站位和验证站位

2006年7月25~26日在钦州湾布设3个观测点 A1( $108^\circ 34' 23'' \text{ E}$ ,  $21^\circ 44' 14'' \text{ N}$ )、A2( $108^\circ 35' 21'' \text{ E}$ ,

收稿日期: 2008-11-18

修回日期: 2009-03-26

作者简介: 蒋磊明(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事物理海洋研究。

\* 国家自然科学基金项目(40566001)资助。

21°43'11"N), A3(108°35'25"E, 21°42'47"N); 2006年11月30日~12月1日在企沙港布设2个观测点 B1(108°28'49"E, 21°33'45"N), B2(108°29'02"E, 21°34'02"N); 2007年8月25~26日金鼓江布设2个观测点 D1(108°38'03"E, 21°43'50"N), D2(108°37'59"E, 21°43'02"N); 2008年6月16~17日沙井港布设2个观测点 E1(108°33'54"E, 21°52'37"N), E2(108°35'27"E, 21°50'41"N)(见图1)。

验证站位包括9个潮流观测站 C1(108°35'23.2"E, 21°41'51.6"N), C2(108°37'23.4"E, 21°41'26.4"N), C3(108°37'50.4"E, 21°42'16.2"N), C4(108°38'27"E, 21°40'6"N), C5(108°37'20.4"E, 21°39'24.6"N), C6(108°35'12"E, 21°37'30"N), S1(108°41'11"E, 21°41'16"N), S2(108°39'47"E, 21°39'11"N), S3(108°42'50"E, 21°36'20"N)和2个验潮站龙门(108°33'E, 21°45'N), 鹰岭(108°37'8.4"E, 21°42'7.2"N), FVCOM模型验证时将这此潮位和潮流资料与模型的模拟结果相比较,比较时采用大潮表层实测流速、流向、潮位等资料。

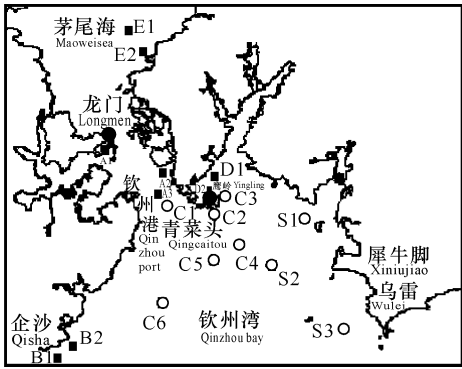


图1 钦州湾潮位(●), 调查潮流(■)和验证潮流(○)观测点

Fig. 1 Station and observation station among tide(●), observation current(■) and test current(○)

### 1.2 水动力模式计算范围

为了更全面地了解钦州湾海域的水动力状况,通过FVCOM模型对该湾的潮汐、潮流进行数值模拟<sup>[2]</sup>。钦州近岸海域潮流数值模型的计算域划定为:108°28'~108°50'E, 21°30'~21°50'N所围成的海域,包括钦州湾、茅尾海、金鼓江和鹿耳环江、龙门岛等大小岛屿在内。

### 1.3 纳潮量计算方法

海湾的纳潮量不仅是衡量海湾开发价值的一个水文指标,也是反映湾内外海水交换的一个重要参数。纳潮量的大小对海洋环境、海湾水体的交换以及航道水深的维持等都具有十分重要的意义<sup>[3]</sup>。计算得平均海平面和最高高潮位情况下钦州湾的海域面积和潮差,纳潮量就可按公式:  $N = sd$  ( $N$ 为纳潮量,  $s$

为海表面面积,  $d$ 为潮差)计算

### 1.4 水交换周期计算方法

为求出整个钦州湾海水的总体积,根据海图资料算出该湾的平均水深,这样可计算出整个湾的海水总体积的平均值  $V_a$ 。而在平均潮差的情况下涨潮期间流进湾内海水的平均水量为  $Q_f$ 。

根据海图资料可知钦州湾口的口门宽度(从企沙到乌雷),为了能更精确的计算出湾口的截面积,根据水深和海底地形把湾口断面分成9个小断面(如图2): A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9,然后计算湾口截面积  $S = \sum_1^9 (A_1 + A_2 + \dots + A_9)$ ,依据邱绍芳等<sup>[4]</sup>对钦州湾落潮流速的研究,算出在一个大潮周期内通过该截面的净流出水量  $Q'_j$ ; 在一个小潮周期内通过该截面的净流出水量  $Q'_k$ 。

由海水平均交换率的计算公式<sup>[5]</sup>:  $V = Q / V_a$ ,可得钦州湾海水在大潮期的平均交换率为  $V'$ ; 在小潮期时平均交换率为  $V''$ 。

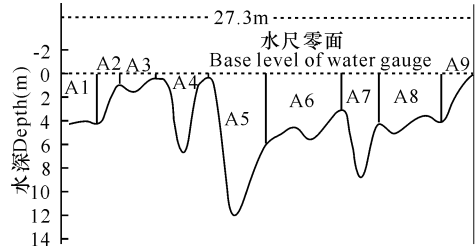


图2 湾口截面

Fig. 2 Figure of section in bay mouth

把钦州湾看成是一个单箱模型,假设钦州湾湾内海水与湾外海水作直接交换,湾内外海水均匀混合,则水交换的半更换周期计算公式<sup>[5]</sup>为:  $T_{1/2} = 0.693V_a / (Q - V)$ 。

## 2 模拟与计算结果

### 2.1 模型验证

验证结果显示,潮位站的模拟值与验证值比较接近;除小潮期的C1站流速、C3站流向和S1站流向以外,潮流的验证曲线与模拟曲线也比较吻合。这主要是由于C1站位于钦州港内,过往的船只对实测数据影响比较大,而C3站和S1站离岸比较近,沿岸的开发建设对实测数据也有一定的影响。总体来看该模型很好的反应了钦州湾潮位、流速和流向的状况,模拟结果与实测结果基本吻合<sup>[2]</sup>。

### 2.2 模拟结果

从图3~6中的模拟结果可以看出,龙门附近海域在大潮、小潮中流速都为最大,这与钦州湾的地形有关。钦州湾两端宽中间窄,而且有钦江、茅岭江、金鼓江、揽埠江和大揽江等河流与之相连。

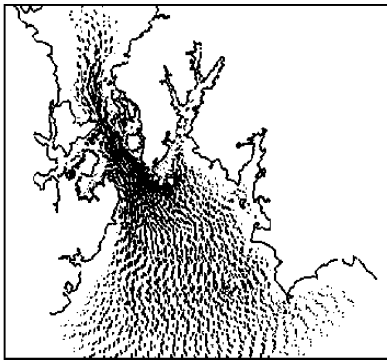


图 3 大潮涨急时刻  
Fig. 3 Flood of spring tide

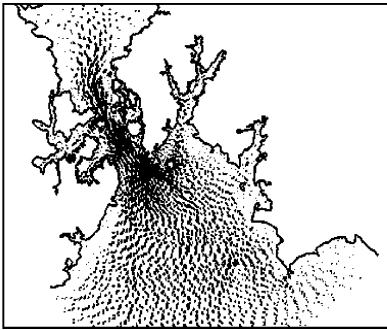


图 4 大潮落急时刻  
Fig. 4 Ebb of spring tide

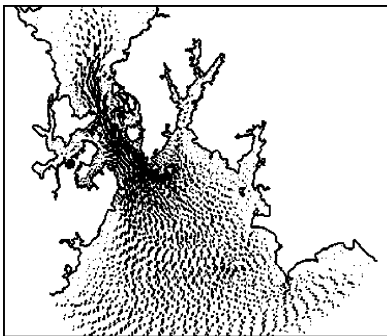


图 5 小潮涨急时刻  
Fig. 5 Flood of neap tide

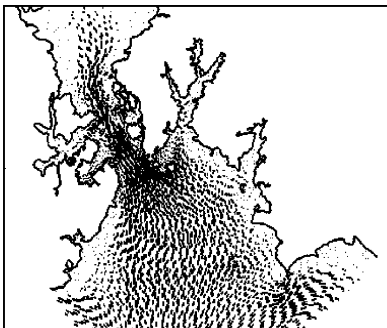


图 6 小潮落急时刻  
Fig. 6 Ebb of neap tide

从我们对钦州湾海流调查资料以及文献 [2] 中潮流模拟资料分析得知, 整个钦州湾涨潮方向指北, 即涨潮流由南进入湾内后, 受东侧边界的影响, 在东侧呈 NNW 流向青菜头, 并沿潮汐通道进入茅尾海。落潮流由茅尾海向外, 沿潮汐通道直冲青菜头, 而后由

北向南逐渐向 SW 方向偏转。涨落潮流均与航道走向大体一致。涨潮时平均流速为 15~60 cm/s, 落潮时平均流速为 29~82 cm/s。由此看出落潮平均流速比涨潮平均流速大 1.5 倍左右。

### 2.3 钦州湾潮流的纳潮量及水交换周期

钦州湾海域面积在平均海平面和最高高潮位情况下分别为 277.55 km<sup>2</sup>, 380.00 km<sup>2</sup> [21], 潮差分别为: 2.72 m, 4.18 m, 平均水深约为 5.2 m, 口门宽度为 27.3 km,  $V_a = 14.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $Q = 6.69 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $S = 9.22 \text{ hm}^2 (92200 \text{ m}^2)$ ,  $Q'_j = 1.27 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,  $Q''_j = 4.69 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $V = 0.88$ ,  $V'$  为 0.33, 平均潮差纳潮量为  $7.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 最高高潮位纳潮量为  $15.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 钦州湾海水大潮期的半更换期约为 1.70 个周期; 小潮期的半更换期为 4.53 个周期。

### 3 讨论

从研究的结果来看, 钦州湾是正规的全日潮类型, 潮流以往复流为主, 涨潮时流向由南向北进入钦州湾, 在东侧边界的影响下呈 NNW 流向青菜头, 并沿潮汐通道进入茅尾海; 落潮流向与涨潮流向正好相反。这与以往研究的钦州湾潮流特征 [1] 相似。由于地形的因素, 龙门附近海域流速为最大, 其次为西部、中部、东部。邱绍芳等 [4] 对钦州湾潮流的研究数据表明, 从西到东流速逐渐减小, 而且无论夏季大小潮期还是冬季大小潮期, 龙门口的流速都是最强的 (大潮期平均涨落潮流速分别为: 49 cm/s, 114 cm/s; 小潮期平均涨落潮流速分别为: 51 cm/s, 82 cm/s), 这与我们实测资料的分析基本相符, 但是我们的实测资料显示东部有些区域的涨落潮流速大于西部。根据海湾志广西分册以及陈波等 [6] 对广西沿岸主要海湾潮流数值计算的研究, 发现其中的原因是由于东部有的观测点在金鼓江口, 受到径流的影响流速大于湾内; 西部有的观测点在企沙港附近, 受到地理环境和港口建筑物的影响流速显著的减小。钦州湾涨潮历时大于落潮历时, 一般在 1~5 h, 但是实测资料中, 在茅尾海北边, 沙井港附近海域由于钦江径流和地形 (航道) 的影响而导致落潮流历时多于涨潮流约 9 h。

计算结果显示, 在平均海平面时, 纳潮量为  $7.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 最高高潮位时, 纳潮量为  $15.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。大小潮水交换的半更换周期分别为 1.70 个周期和 4.53 个周期, 表明钦州湾的水交换能力较好, 与以往的研究结果相比基本相同, 而且钦州湾的地形、流速、流向等都有利于湾内外海水的交换, 使得钦州湾拥有良好的水质。因此, 适当的开发对钦州湾的水质、纳潮

(下转第 199 页 Continue on page 199)

### 3 结束语

北仑河区的护岸工程现状是我国北岸的护岸工程建造标准低而且年久失修,红树林资源逐年减少。北仑河口主航道北移与水动力条件作用有关,其中主要是由于水内存在的横向环流产生的离心加速度和科氏加速度引起的河岸后退、海水入侵,其次影响北仑河口主航道北移的因素还有北仑河口喇叭型的地形、夏季风、风暴潮以及人为因素等。这些因素加剧北仑河口海水向我国方一侧海岸侵蚀,导致北仑河口主航道北移,威胁到了我国的国土安全和北部湾的经济开发。

参考文献:

- [1] 陈波,邱绍芳.北仑河口河道冲蚀的动力背景[J].广西科学,1999,6(4): 317-320.
- [2] 沈焕庭,胡辉.北仑河口中方一侧综合整治研究报告[R].北京:国家海洋局,1994.
- [3] 胡辉,沈焕庭.北仑河口河槽演变研究报告[R].北京:国家海洋局,1994.

- [4] 国家海洋局第二海洋研究所.北仑河口工程措施整治方案建议[R].杭州:国家海洋局第二海洋研究所,1994.
- [5] 韩忠南.北仑河口国土综合治理研究报告[R].北京:国家海洋局,1994.
- [6] 王暄.大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室研究进展[J].力学进展,2007,37(2): 309-311.
- [7] 朱建荣,胡松.河口形状对河口环流和盐水入侵的影响[J].华东师范大学学报:自然科学版,2003,6(2): 68-72.
- [8] 陈波,邱绍芳.北仑河口动力特征及其对河口演变的影响[J].湛江海洋大学学报,2000,20(1): 39-44.
- [9] 陈波,邱绍芳.河流动力及海洋动力对北仑河口河槽演变的影响[J].广西科学,1999,6(2): 227-230.
- [10] 国家海洋局第一海洋研究所.防城港及其邻近海域海洋环境调查报告[R].青岛:国家海洋局第一海洋研究所,1996.
- [11] 邱绍芳,陈波,何碧娟.广西沿岸两大入海河口区域的环境变化与水流动力影响分析[J].海洋湖沼通报,2003,3(3): 26-31.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第 195 页 Continue from page 195)

量、水交换能力等影响不大,但是在龙门附近海域由于是茅尾海和钦州湾的必要通道而且流速最大、交换能力最强,海岸工程的开发应慎重,特别是大面积的围填海项目工程必须要考虑到上述不同区域的水交换状况。因为,围填海项目不但直接减少纳潮量,而且还会改变海岸的冲淤环境,包括海岸的地质单元、生物单元、动力单元的改变等。海水交换能力直接关系海湾航道水深、物质输送、污水排放等,所以,研究海湾海水交换对于工程合理开发和生态环境保护具有很重要的意义。

本文计算得到的海水半更换周期是整个湾的平均情况,因为单箱模型是假设湾外海水一旦流入湾内即与整个湾内海水充分混合,但是实际应考虑到各个海域流况、水深及形态的差异。一般来说,靠近湾口的海水比较容易被更换,而湾内相对湾口来说更换时间就会较长。此外,本文计算出的海水交换率和海水半更换周期是平均潮差情况下的平均值,但是在大小

潮时,潮差和纳潮量相差很大,湾内外海水的交换量在每个周期都会不同。

参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志:第十二分册[M].北京:海洋出版社,1993.
- [2] 庄军莲,张荣灿.钦州港永鑫散货码头项目海域使用论证报告书[R].南宁:广西科学院,2008.
- [3] 叶海桃,王义刚,曹兵.三沙湾纳潮量及湾内外的水交换[J].河海大学学报,2007,35(1): 96-98.
- [4] 邱绍芳,侍茂崇,陈波.钦州湾潮流特征分析[J].海洋通报,2003,22(3): 9-14.
- [5] 胡建宇.罗源湾海水与外海水的交换研究[J].海洋环境科学,1998,17(3): 51-54.
- [6] 陈波,邱绍芳,葛文标,等.广西沿岸主要海湾潮流的数值计算[J].广西科学,2001,8(4): 295-300.

(责任编辑:韦廷宗 邓大玉)