

广西沿岸主要海湾潮流的数值计算*

Numerical Calculation about the Tidal Currents in the Main Bays of Guangxi

陈波 邱绍芳** 葛文标** 侍茂崇***

Chen Bo Qiu Shaofang Ge Wenbiao Shi Maochong

(广西科学院 南宁市星湖路 32号 530022)

(Guangxi Academy of Sciences, 32 Xinghulu, Nanning, Guangxi, 530022, China)

摘要 广西沿岸的铁山港、廉州湾、钦州湾、防城港湾的潮流数值计算结果显示, 4个海湾的落潮流均大于涨潮流, 最大落潮流速 120 cm/s, 最大涨潮流速 100 cm/s 潮流为往复流型式, 落潮由北向南, 涨潮由南向北, 流向具有明显的规律性, 这与实测结果较为吻合。但在钦州湾口外, 其流向较为杂乱, 存在 2个互反方向的回旋式流动, 究其原因, 可能是与该湾的地理环境条件有关。

关键词 潮流运动 数值计算 广西海湾

中图法分类号 P731.21

Abstract The numerical calculation of tidal currents in four bays of Guangxi including Tieshan, Lianzhou, Qinzhou and Fangchenggang are dealt with. The velocities of the ebb currents in these bays is greater than the flood currents. The greatest velocities of ebb current and flood current are 120 cm/s and 100 cm/s respectively. The tide is a type of reversing current in which the tidal current has obvious regularity, the ebb current flowing from north to south and the flood current from south to north, being in accordance with the survey data. But the direction of the tidal current in the Qinzhou bay is unorderly. There are two reverse spinning currents. It may relate to the geographical environment in this bay.

Key words movement of tidal current, numerical calculation, bays of Guangxi

广西海岸线蜿蜒曲折, 海湾众多。据调查, 从与广东省接壤的英罗港到与越南交界的北仑河口全长 1595 km 海岸线中分布有大小海湾 20多个, 其中主要海湾有铁山港、廉州湾、钦州湾、防城港湾及其珍珠港湾等 5个。在这些海湾内, 岛屿、沙洲、岸礁密布, 河流、浅滩、水道交错, 构成了各自独特的地理环境单元, 潮流特征十分明显。

1 潮流数值计算基本方法

潮流是近岸浅水海域的基本流动, 潮流数值计算是研究海水运动和入海污染物随潮输移及扩散的基础。

1.1 运动方程

用以描述充分混合海域二维长波平均运动方程组向量形式为^[1]:

$$\frac{dV}{dt} + fK \times V + g \nabla Y - \frac{\vec{\tau}_s - \vec{\tau}_b}{dH}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + \nabla \cdot (H\vec{V}) = 0, \quad (2)$$

式中: \vec{V} 为平均流速; t 为时间坐标; f 为柯氏参量; K 为 Z 方向的单位向量; g 为重力加速度; Y 为自静止水面起算的水位; $\vec{\tau}_s$ 为海面风应力; $\vec{\tau}_b$ 为海底摩擦力; h 为自静止水面起算的水深; d 为海水密度; $H = Y + h$

2001-04-11收稿, 2001-06-11修回。

* 国家自然科学基金资助项目 (批准号 40066001) 及广西自然科学基金匹配项目 (桂科配 0135012)。

** 广西海洋研究所, 北海市长青东路 92号, 536000 (Guangxi Institute of Oceanography, 92 East Changqinglu Beihai, Guangxi, 536000)。

*** 青岛海洋大学, 青岛市鱼山路 5号, 266003 (Ocean University of Qingdao, 5 Yushanlu, Qingdao, Shandong, 266003)。

1.2 边界条件

(i)陆地边界: 陆边界各点的流速法向分量为 0,

即:

$$V_n = 0, \quad (3)$$

(ii)水边界: 给出水边界各点的水位值:

$$\eta_{\text{水界}} = Y. \quad (4)$$

1.3 初始条件

流速和水位值均取零初始场, 即

$$Y = 0, \quad (5)$$

$$\vec{V} = 0. \quad (6)$$

1.4 计算条件参数

(i)计算域: 铁山港湾全域、钦州湾全域、廉州湾全域及防城港湾全域;

(ii)空间步长: $\nabla x = \nabla y = 490 \text{ m}$;

(iii)时间步长: $\nabla t = 4 \text{ min}$;

(iv)水深: 取自广西壮族自治区测绘图 6-49-74-甲;

(v)海底摩擦力: 采用 $\vec{\tau}_b = \frac{dg}{C} |\vec{V}| (u, v)$, 其中 $C = \frac{4.93}{n} H^{1/6}$, n 为表征海底粗糙度的曼宁系数 (取值为 0.12);

(vi)海面风应力: $\vec{\tau}_s = 0$;

(vii)开边界条件的确定.

开边界取于远离计算域之外, 北部为广东水东港至海南抱虎角连线, 南面取在海南三亚至越南岬港连线, 岸边点的调和常数由实际资料给出, 中间用内差.

2 计算结果与分析

广西沿岸海域是我国最为典型的日潮海区之一。当太平洋潮波传入南海后进入北部湾, 由于北部湾的特定地理环境条件, 在海南岛西南与越南海岸中间形成了日分潮无潮点。由这个无潮点控制的北部湾潮汐, 越靠湾底日潮的作用越明显, 而广西沿岸的铁山港湾、廉州湾、钦州湾及防城港湾等 4 个海湾, 均位于北部湾的北部, 因此, 其潮汐及潮流性质均具有典型的日潮特征^[2]。即其潮汐一天出现一次高潮和一次低潮, 其潮流基本上是半日为涨潮流, 继而半日为落潮流, 属正规日潮海域。

文中按照运动方程所建立的海洋环境动力与数值模型模拟的方法, 进行一个潮周期内逐时潮流的计算, 以高潮最小流速时刻 ($T = 1 \text{ h}$)、落潮最大流速时刻 ($T = 9 \text{ h}$) 和涨潮最大流速时刻 ($T = 19 \text{ h}$) 的潮流场为指标讨论。现对广西沿岸的铁山港湾、廉州湾、钦州湾及防城港湾的潮流消长过程及分布特征分析如下。

2.1 铁山港

铁山港湾位于广西沿岸的东部, 近似于喇叭状湾北为陆岸, 湾口朝南敞开, 湾北部和东、西两侧发育有大面积的浅滩。湾西岸被沙带所包围, 沙滩由北向南转而向西延伸; 湾东岸的沙滩呈块状分布; 湾口中央有小沙洲堆积, 将水道分成东、西 2 支。东水道顺直宽阔, 为落潮冲刷槽; 西水道较弯曲, 底部地势也较复杂, 上有沙坎, 下有拦门沙, 属涨潮冲刷槽。东、西水道几乎平行, 由南向北伸向港湾内。

铁山港湾的潮流运动受地理环境影响条件较为明显, 从一个潮周期内逐时潮流场分布看, 不同的区域、不同的时段其港湾内流速差异很大。

图 1 (a) ($T = 1 \text{ h}$) 为铁山港湾高潮时刻的潮流场, 此时为转流时刻, 潮流型变复杂。湾口在沙田以北形成一个顺时针方向的回旋, 西侧已转为流出湾外的落潮流。湾的中部为北向的微弱涨潮流。由于流速较小, 在向湾底流动的过程中形成了许多小回旋。全域流速均很小, 在 $10 \text{ cm/s} \sim 20 \text{ cm/s}$ 之间。到了 $T = 3 \text{ h}$ 时全域已明显转为落潮流型。因转流时间尚不久, 流速仍很低。

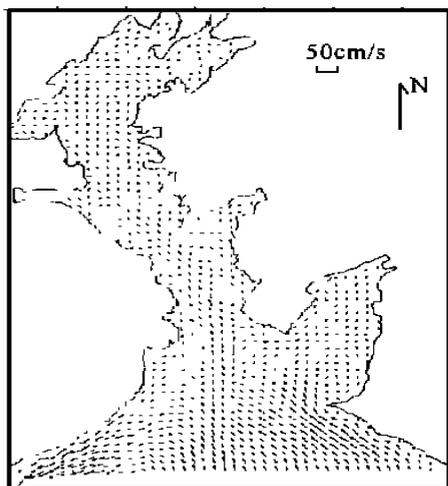
$T = 5 \text{ h}$ 时, 此时全域已发展成典型的落潮流型式。全域均为自北向南的流向湾外的落流, 而且随着时间的推移, 流速在不断增加。直至 $T = 7 \text{ h}$ 时, 流速达全日最大值, 尤以石头埠东侧的深水航道处, 流速可达 100 cm/s 以上。湾口处的流速也较强, 为 80 cm/s 左右, 湾口西侧, 呈一微弱的顺时针向小回旋, 流速较小。

图 1 (b) ($T = 9 \text{ h}$) 为落潮后 8 h 的流场。全域仍保持落潮流况, 但流速随时间推移而逐渐降低。湾中部的深水航道上流速仍较高, 可达 80 cm/s 以上。到了 $T = 13 \text{ h}$ 后, 此时已接近低潮, 流动明显减弱, 深水航道处流速也仅为 50 cm/s 。近岸处流速已很低, 不超过 20 cm/s 。

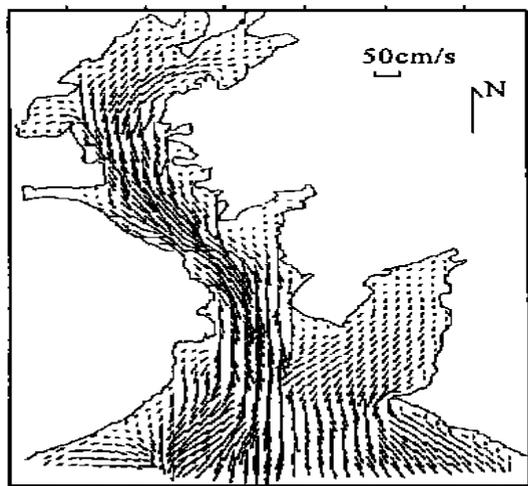
$T = 15 \text{ h}$ 时为低潮时刻。此时为转流时期, 流动型式异常复杂, 无规律可循。湾口处已初步形成涨潮流趋势, 而沙田以北区域仍保持落潮流, 因此在湾的中部形成一个顺时针向大回旋。深水航道处的流速也极微弱。沿水道各点的流向, 时南时北, 形成几个弱回旋。全域流速达全日最低值, 低于 10 cm/s 。

图 1 (c) ($T = 19 \text{ h}$) 为涨潮后的潮流场。全域已是涨潮流型式, 此时流速接近全日最大值。在湾中部的深水航道处, 最大值可达 100 cm/s 以上。近岸处流速不低于 20 cm/s 。到了 $T = 23 \text{ h}$ 时, 全域仍为涨潮流, 仅在湾口西侧出现一个弱的逆时针向回旋, 呈流向湾外的出流状。随着时间的推移, 流速不断减弱。已接近

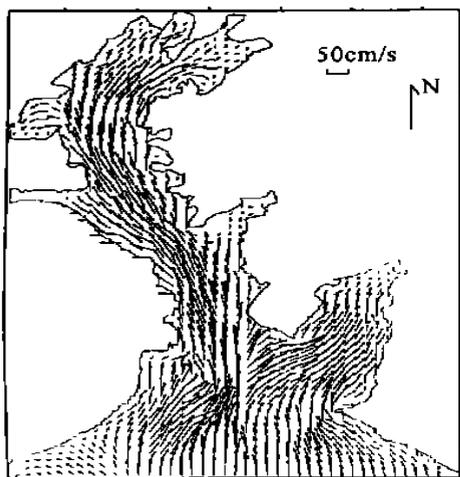
高潮，流速相对减弱。湾中部深水航道处的流速虽也减弱了，但仍保持在 50 cm/s 以上。近岸流速已很小，在 20 cm/s 以下。



(a)



(b)



(c)

图1 铁山港湾不同时刻的潮流场

Fig. 1 Chart of tidal currents at different time at Tieshangang bay

2.2 廉州湾

廉州湾位于广西沿岸的中部，近似于半圆形。廉州湾东部为陆岸所围，北部为南流江三角洲，南部为开阔的北部湾。湾内除河流和浅滩外，还有天然深槽，有良好的港口条件。由于廉州湾北面有南流江注入，每年汛期有大量的泥沙随径流带入并在河口区堆积，故廉州湾水深很浅，退潮时大片沙滩裸露，风浪对湾内海面的作用强度减弱，潮流也随着水面变窄而有所改变^[3]。

从一个潮周期内逐时的潮流场状况看，不同时段湾内潮流分布差异明显。

图2(a) ($T=1\text{ h}$) 为廉州湾高潮时刻的潮流场。可以看出，此时正值潮流由涨潮流转变为落潮流的转流时刻，其流速小，流向复杂。全域形成了一个自南向北沿海岸的逆时针向回流。在海域南部区域，流动基本呈自湾外向湾内的涨潮流，而北部区域已开始转为自湾内向湾外的落潮流，在湾口形成了南进北出的流况。全域流速较小，为全天最低值，其值在 $10\text{ cm/s} \sim 20\text{ cm/s}$ 之间。

$T=3\text{ h}$ 至 5 h 时，此时为廉州湾落潮后的潮流场状况。随着水位的下降，全域潮流呈落潮状态，但流速仍不大，保持在 $10\text{ cm/s} \sim 20\text{ cm/s}$ 之间。全域落潮流在不断发展加强。直到 $T=7\text{ h}$ 时，其值已达全天的最高值。湾口及北海市附近深水区流速最高，可达 80 cm/s 。北部及近岸水域流速仍较小，约为 $10\text{ cm/s} \sim 20\text{ cm/s}$ 。

图2(b) ($T=9\text{ h}$) 为落潮后8h潮流场。该时刻仍处于落潮期，全域仍为典型的由岸向外海流动的落潮流，其方向为西南向，最大流速不超过 50 cm/s 。到 $T=13\text{ h}$ 时，此时已接近低潮，虽然全域仍为落潮流，但流动已趋于复杂，而且流速较低，但在深水区与浅滩区交界处形成了一个高速流区。仍保持与前一时刻相近的速度值。直至 $T=15\text{ h}$ 时，此时正值低潮时刻，也是转流时刻。湾口处已开始转变为涨潮流，而北部近岸区域仍保持落潮流状态。两者正好反向相遇，在湾的中部形成一条收敛线。全域流速均很低，在 10 cm/s 左右，唯有在收敛线处流速稍高一些。

图2(c) ($T=19\text{ h}$) 为涨潮后的潮流场。全域已明显变为涨潮流，接近最大流速。最大值出现在湾口及北海市附近深水区，可达 70 cm/s 。近岸处流速仍较小， $20\text{ cm/s} \sim 30\text{ cm/s}$ 。

到了 $T=23\text{ h}$ 后，随着水位的不断抬升，全域仍保持涨潮流。但流速随着时间增加，流速逐渐降低。此时已接近高潮时刻，湾的北部开始出现微弱的转流现象。全域形成了自南向北的传播型式，在湾口的北端

出现了微弱的出流。

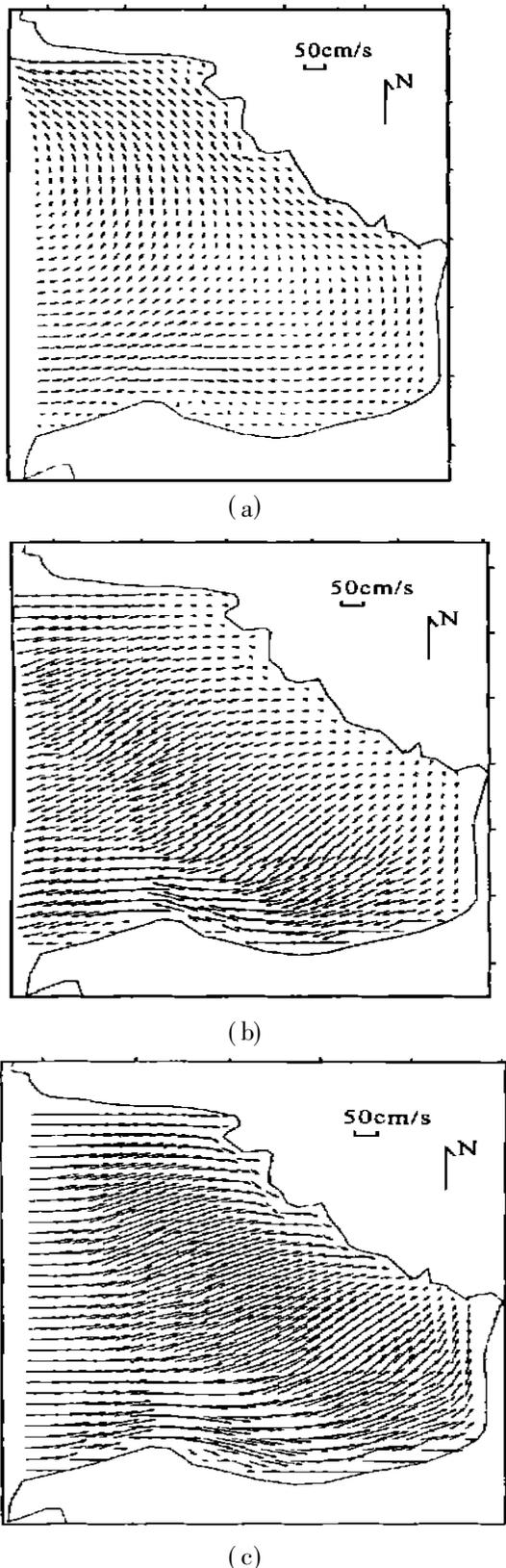


图2 廉州湾不同时间段的潮流场

Fig. 2 Chart of tidal currents at different time at Lianzhou bay

2.3 钦州湾

钦州湾位于广西沿岸的中部。该湾由内湾（茅尾

海)和外湾(钦州湾)构成,湾中间狭窄,两端宽阔,东、西、北三面为陆地所环绕,南面与北部湾相通,是一个半封闭型天然海湾。钦州湾内岛屿密布,水道交错,港汊众多。以湾中为界,东岸岛屿较多,其周围水流通道基本无泥沙浅滩,多为岩岸深水水域,而西岸岛屿则少于东岸,但潮流汊道多,浅滩十分发育。钦州湾上游有茅岭江和钦江注入,每年汛期有大量的泥沙随径流带入,在河口区形成大片沙质和泥质浅滩。钦州湾下游有潮流深槽和潮流沙脊向湾口方向展布,形成潮流三角洲。

钦州湾由于受地理环境的影响,潮流的变化和大小相当明显。

图3(a) ($T=1\text{h}$)为钦州湾高潮时刻潮流场。此时正值潮流由涨潮流转变为落潮流的转流时刻,全域流速均很小,基本上还保持着涨潮流的趋势,特别是在湾中部的窄而深的水道处,流速较大,达 50cm/s 以上。而且在两侧分别形成了2个明显的反方向的回旋式流动。左侧为逆时针向流,右侧为顺时针向流。其他区域流速小,为 $20\text{cm/s}\sim 30\text{cm/s}$ 。湾口附近基本上为东进西出。近岸处因水深较浅,流速较小,流动趋势极为复杂。北部靠近湾底的内湾处形成一个逆时针向的回旋式流动。

$T=3\text{h}$ 时(落潮过后 2h),流动已转变为落潮流趋势。全域流速尚不大,均在 20cm/s 左右。仅在窄的深水道处,流速略大一些,约 30cm/s 。全域流场型式较为简单。基本为流向湾外的出流,但在北部内湾的反时针向回旋仍未消失,且中心位置东移。到了 $T=5\text{h}$ 时后,此时刻的潮流均已发展成典型的落潮流式流动,而且随着时间的推移,流速不断变大。至 $T=7\text{h}$ 时落潮流速已达全日最高值。整个湾中部的流速都很大,特别是窄水道处流速达最大,可达 120cm/s 以上。近岸及湾底处流速较小,在 20cm/s 以下。

图3(b) ($T=9\text{h}$)为落潮后 8h 的潮流场。此时全域仍保持落潮流状,近岸及湾底的流速较小,而湾中部窄水道处的流速仍较高,维持在 80cm/s 以上。

至 $T=15\text{h}$ 时,此时正值转流时刻,流场型式杂乱,涨、落潮流交错,形成了许多小回旋。全域流速均很小,达全日最低值,在 10cm/s 以下。

图3(c) ($T=19\text{h}$)为涨潮后流的发展时期,此时期涨潮流场已发展成典型。全域均呈现自南向北的入流型式,而且流速均较高。在湾的中部深水道处,流速在 100cm/s 以上。近岸区域流速仍较低,低于 20cm/s 。到了 $T=23\text{h}$ 时后,此时随着水位的上升,相应的潮流仍为北向的涨潮流。湾口处基本为入流,仅在西侧出现弱的逆时针向回旋。在近岸边处,呈现弱

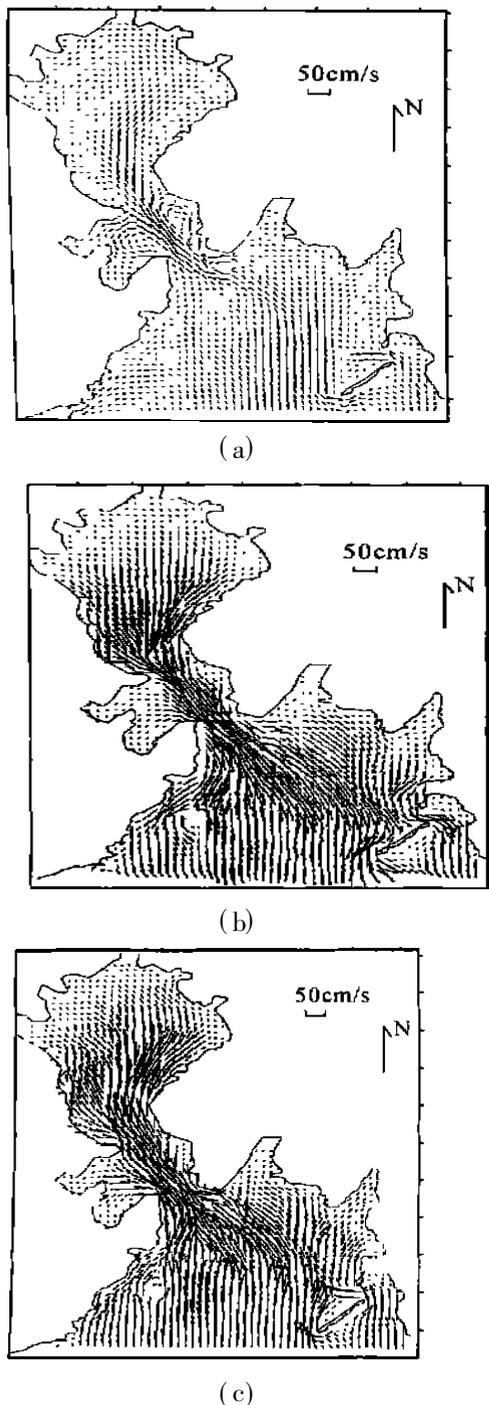


图3 钦州湾不同时刻的潮流场

Fig. 3 Chart of tidal currents at different time at Qinzhou bay

2.4 防城港湾

防城港湾位于广西沿岸的西部,由于受地理条件的限制,防城湾由内湾和外湾二部分构成。内湾即防城港,其最大的特点是港内水道深槽呈“Y”字型分叉,一道向东北伸展,另一道由西北转北延伸,成为港口的深水航道。港内有河流和大片浅滩,退潮时裸露出滩面的浅滩面积占港内面积的50%以上。外湾,即与西端的珍珠港湾联为一体,口门朝西南敞开,风

浪、流作用明显。外湾的主要特点是拦门沙发育,特别是在口门处,沙体与水道的走向几乎成正交型,直接威胁水道的畅通。

防城港湾潮流场分布大体分为2个系统,一是内湾即防城港,潮流几乎顺着水道深槽作往复运动。二是外湾,潮流除了保持与水道深槽走向一致外,还呈现一股较强的东北向流,且在不同的时段,其流速差异也很大。

图4(a) ($T=1\text{h}$)为防城港海域高潮时刻的流场。此时潮流还保持涨潮流的特征。域内均为自南向北由湾口向湾底的入流流动,仅在湾口西侧出现一反时针向回旋。在近岸处呈现自北向南的出流,全域流速均很小,最大为 30cm/s 。

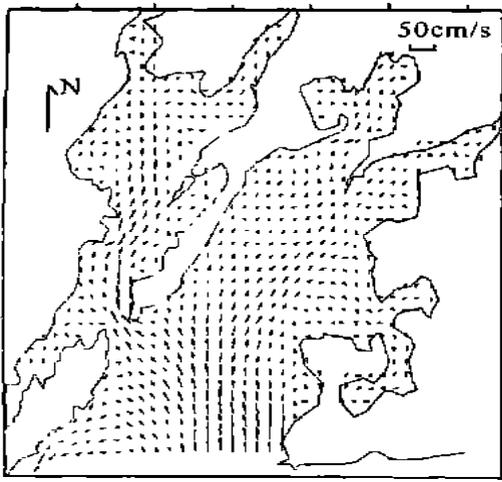
$T=3\text{h}$ 时(落潮后2h的流场),此时正值高潮过后,因此已转为自北向南的落潮流。由于此时是落潮流的初始时期,故流速均很小,仅在防城港西面的窄水道处流速稍大一些,最大可达 50cm/s 。其余区域流速均很低,在 $10\text{cm/s}\sim 20\text{cm/s}$ 之间。但到了 $T=5\text{h}$ 时,此期间正是落潮流发展时期。全域为由湾底向湾外流动的落潮流,而且随着时间的推移流速不断增强。至 $T=7\text{h}$ 时出现全日的最高落潮流,湾的中部区域流速均在 50cm/s 以上。尤其在西部的深水航道区及防城港西部的窄水航道处,流速特大,其值高于 100cm/s 。近岸区域流速很小,仅 20cm/s 。

图4(b) ($T=9\text{h}$)为落潮后8h的潮流场。此时是水位下降时期,全域仍为落潮流,流场型式极为规律,与 $T=7\text{h}$ 时的型式极为相似,接近流速最大值。随着与低潮时刻的接近,其流速逐渐降低。至 $T=13\text{h}$ 时,最大流速已降至 70cm/s 。

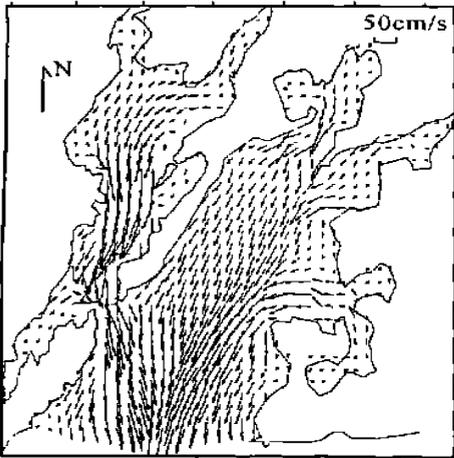
$T=15\text{h}$ 时候,此时正值转流时期,流动型式较为复杂。湾口附近已转为由外海向湾内的涨潮流,而湾底尚保持落潮流型式,因此在两者相交处形成若干回流区。全域流速极低,约 10cm/s 。

图4(c) ($T=19\text{h}$)为涨潮流发展极盛时期。全域均为自湾口向湾底的涨潮流,此时域内潮流已达全天最大值,在湾的中部流速可达 100cm/s ,近岸及湾底处流速较小。

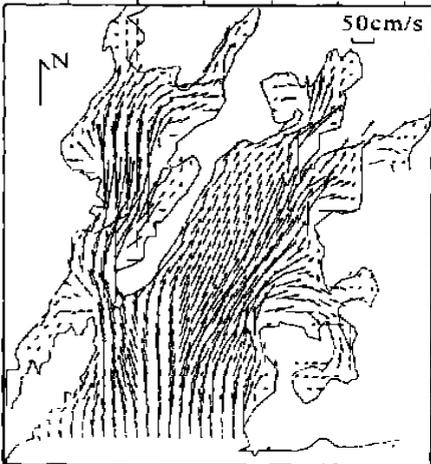
到了 $T=23\text{h}$ 时,随着水位在不断升高,潮流仍为涨潮流,但已接近高潮时刻了,则流速随着时间在不断减小。此时最大流速仅为 50cm/s ,近岸及湾底处流速更小,均低于 10cm/s 。



(a)



(b)



(c)

图4 防城港湾不同时间段的潮流场

Fig. 4 Chart of tidal currents at different time at Fangchenggang bay

3 结语

从4个海湾潮流数值计算的结果比较,最大落潮流速均出现在高潮后 $T=7$ h 左右,其流速值的分布,钦州湾达最大,为 120 cm/s 以上,廉州湾为最小, 80 cm/s 左右,铁山港和防城海湾介于钦州湾和廉州湾两者之间,为 100 cm/s 左右.这与实际观测结果较为吻合.

4个海湾的转流时刻均出现在 $T=15$ h 时的前后,其流速值为全天最小, 10 cm/s 左右.但大约在转流后的4 h,即到了 $T=19$ h 时,涨潮流速达到全天最大.但与落潮流速相比相差 $10 \text{ cm/s} \sim 20 \text{ cm/s}$,也就是说,落潮流大于涨潮流.

4个海湾同一时刻流向状况比较得出,铁山港、廉州湾和防城海湾的流向较有规律性,几乎是顺着海湾水道走向流动,但钦州湾流向较为杂乱,且在湾口两侧存在2个明显的互反方向的回旋式流动,左侧为逆时针向流,右侧为顺时针向流,出现时刻大约在转流期间.这可能与湾内的地理环境条件有关.

4个海湾的潮流数值计算表明它们有如下几个共同特点:潮流为日潮流特征;落潮流大于涨潮流;湾口及深水区流速大,湾底及近岸浅水区流速小;落潮流由北向南,而涨潮流却由南向北.

参考文献

- 1 方国洪等,渤海潮流运动的一个二维数值模型,海洋与湖沼, 1985, 5 (6): 337~ 346.
- 2 陈波,侍茂崇,廉州湾潮流和风海流的数值计算,广西科学, 1996, 3 (3): 32~ 35.
- 3 李树华,钦州湾潮汐和潮流数值计算,海洋通报, 1986, (4).

(责任编辑:黎贞崇)