

广西沿岸主要海湾余流场的数值模拟*

Numerical Simulation of Residual Current Field of Key Bays along the Coast of Guangxi

陈波 邱绍芳** 葛文标**
Chen Bo Qiu Shaofang Ge Wenbiao

(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 由数值模拟和实测结果比较得出,广西沿岸主要海湾余流场流型及流速变化直接与风力的强度和风力作用的方向有关。在湾口开阔海区,风力作用强度加强,余流流速较大;在湾顶狭窄海区,风力作用强度减弱,余流流速较小。余流最大流速为 10 cm/s~ 15 cm/s,余流最小流速为 1 cm/s~ 2 cm/s

关键词 余流 数值模拟 海湾

中图法分类号 P 731.21

Abstract In terms of the comparison of numerical computation and field observation, it is found that the pattern of residual current fields and current velocity relate directly to strength and direction of wind in the key bays along the coast of Guangxi. At the broad area around mouth of bay, the residual current velocity is getting faster with increase of wind strength; at the narrow area of around the top of bay, the residual current velocity is getting slower when decline of wind strength. The maximum velocity of residual current ranges from 10 cm/s to 15 cm/s, and the minimum velocity of residual current ranges from 1 cm/s to 2 cm/s.

Key words residual current, numerical experiment, bay

广西沿岸位于东亚大陆季风区域,冬季盛行偏北风,风力较强;夏季盛行偏南风,风力较弱;春秋两季为风向交替季节,风向不定,其强度也不同。因此不同季节的风况对海水运动的影响程度也不同。为了揭示风力对实际海水流动的影响程度,我们分别就铁山港、廉洲湾、钦州湾、防城湾在冬季为东北风六级和夏季为西南风六级 2种特征风场的风力作用下,对余流场变化状况进行了数值模拟,其结果与无风力情况下的流场作了比较,从而了解 4个海湾各个时刻海水的流动过程和强弱分布。

1 数值计算基本方法

1.1 控制方法

用以进行流场数值计算控制方程为

$$\frac{dV}{dt} + fE \times \nabla + g \nabla Y - \frac{f_s - f_b}{dH} = 0, \quad (1)$$

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

式中: V 为平均流速; t 为时间坐标; f 为柯式参量; 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; f_s 为海面风应力; f_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; $H = Y + h$

1.2 海面风应力

在风力作用下的通用风应力计算经验公式

$$f_s = c d_a |W| (W_x, W_y), \quad (3)$$

其中: f_s 为海面风应力; c 为摩擦系数,与海面粗糙度有关。当风速 w 在 6 m/s~ 7 m/s 时,一般取 $c = 2.6 \times 10^{-3}$; d_a 为空气密度,取值 $1.29 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$; $W = \{W_x, W_y\}$, 为海面 10 m 高处风速。

冬季东北风六级,夏季西南风六级。按 (3) 式计算得到:

$$f_s = -2.26 \text{ dyn/cm}^2; f_b = 2.2 \text{ dyn/cm}^2$$

1.3 水位变化

大风会导致海水在近岸堆积或流失,从而使水位产生升降。但大风时风大浪也大,进行海上水位测量非常困难。我们利用经验关系式进行了风力导致水位变化的计算。即利用无风情况下湾口水位值加上一个

2000-01-08收稿,2001-04-12修回。

* 国家自然科学基金资助项目(批准号:40066001)及广西匹配基金。

** 广西海洋研究所,北海,536000(Guangxi Institute of Oceanography, Beihai, 536000)

风力订正值

(i) 有风情况下的边界水位为: 天文潮水位+ 风力订正值

(ii) 风力订正值计算。

铁山港、廉州湾、钦州湾、防城湾均为三面被陆地包围, 仅湾口与外海相通成半封闭海湾。对于半封闭海湾, 在风力作用下, 迎风面水位升高的经验计算公式为:

$$\nabla Y = K \frac{\tau_l}{\rho g H}, \quad (4)$$

式中: Y 为水位升高; τ_l 为海面风应力; L 为海域水平尺度; H 为水深; ρ 为海水密度; g 为重力加速度; K 为经验常数

对于广西近岸海域, 取 $K = 0.55$, 计算得: $Y = 7.6\text{cm}$ 即东北风时, 西海岸水位增加 7.6cm 西南风时, 东海岸水位增加 7.6cm

2 风力作用下海湾余流场的变化

根据数值模拟结果绘制图 1~12 从而看出风力对铁山港、廉州湾、钦州湾及防城湾的余流场影响是明显的。并与无风情况下比较得出, 有风力作用的海面其余流流势增强, 但流场流型要比在无风状况下更有规律^[1]。下面分别按 4 个海湾进行描述。

2.1 铁山港

铁山港位于广西沿海的东岸, 是一个近似于半封闭型的海湾。湾内呈鹿角状, 湾口为喇叭状。湾的北部和东、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, 平均宽度达 1km 之多; 湾的东岸沙滩呈块状分布; 湾口中央有大小沙洲堆积, 将水道分成东、西 2 支, 并平行由南向北伸向湾内。

由图 1 和图 2 可以看出, 在东北风六级及西南风六级情况下铁山港余流场的分布状况, 有风力作用时在南部湾口附近海区余流场变化较大, 而在北部海区变化较小。因海湾不大, 风海流主要产生在外海及湾南部较开阔海域, 而狭窄海域不会形成较强的风海流。因此, 在湾口附近不但流速加强, 而且方向也发生改变。冬季时, 湾口西侧的南向出流加强, 流速达 15cm/s 以上。夏季时, 其方向改变, 由出流改为入流。在湾口东侧, 冬夏季的流动方向截然相反。冬季为入流, 夏季为出流。在湾的北部区域, 流场流型基本没有变化, 仅流速略有加强。全域比无风作用下的余流流速普遍增大 5cm/s 左右。但无风作用下的余流场仍然是很复杂的, 全湾自南至北由 6 个大的回旋体控制着余流场流型, 湾口附近东、西两侧都是向

湾外的出流, 中央为向湾内的入流, 流速均比较高, $5\text{cm/s} \sim 10\text{cm/s}$, 其北边为 1 个顺时针方向的回旋再向北是一对相邻的余环流, 其中左侧是 1 个逆时针方向环流, 右侧是 1 个为顺时针方向环流。内湾区为 1 个流向杂乱区, 流速变化比较大。接近湾顶处相继排列着 2 个顺时针方向的回旋流, 但流速均很小, 仅 2cm/s (图 3)。实测余流状况, 1993 年 5 月、6 月和 11 月、12 月 2 次在该湾调查资料表明, 铁山港余流运动和分布, 在湾口开阔海区, 余流受风力作用影响明显, 流速加强, 余流流速达 11cm/s 以上, 且形成几个较为稳定的环流系统; 在湾内狭窄海区, 由于受到边界效应所致, 冬季在偏北风作用下湾顶区海水向南输出, 夏季在西南季风作用下湾顶区海水向北输送, 湾内余流状况与模拟结果近似。

2.2 廉州湾

廉州湾是一个近似于半圆型的海湾, 湾北为南流江三角洲, 湾东为陆岸所围, 湾口为开阔的北部湾。廉州湾最大的特点是水浅滩面大, 退潮时露出大片沙滩。

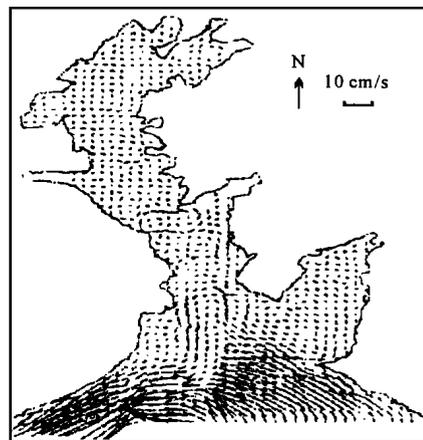


图 1 铁山港潮汐余流场 (N)

Fig. 1 Tidal current chart at Tieshan Harbor (N)

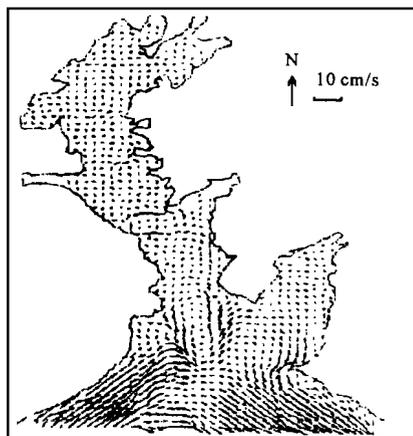


图 2 铁山港潮汐余流场 (S)

Fig. 2 Tidal current chart at Tieshan Harbor (S)

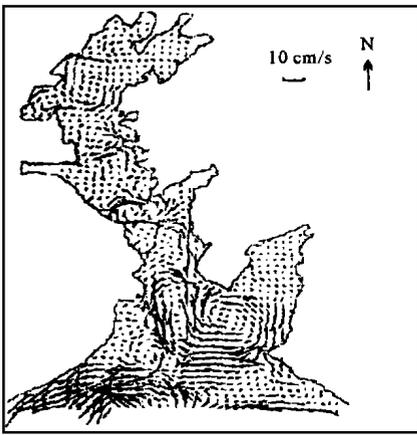


图 3 铁山港潮汐余流场

Fig. 3 Tidal current chart at Tieshan Harbor

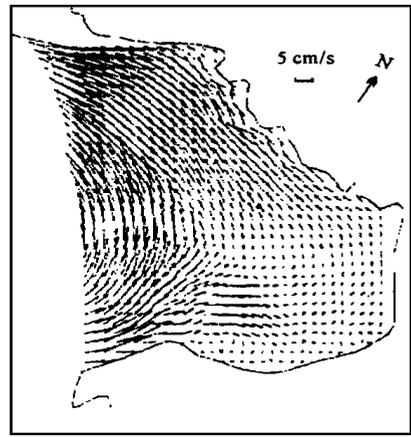


图 4 廉州湾潮汐余流场 (N)

Fig. 4 Tidal current chart at Lianzhou Harbor (N)

从图 4及图 5看出,在东北风六级及西南风六级情况下廉州湾余流场的分布状况,风力作用对廉州湾余流场的影响较大,不但使流速增强,而且其流场流型也发生根本变化。冬、夏季风向的变化则导致余流场产生了截然相反方向的流动。冬季的东北风作用使无风情况下逆时针方向回旋的余流场变成了顺时针方向的强余流。特别是湾口区域,余流特别强,流速最大可达 10 cm/s 以上,湾底的逆时针方向小余流环仍保持原有流型,位置略偏南。夏季吹西南风时,其环流流型与无风时基本类同,但流速明显增强,最大流速超过 12 cm/s ,湾内的 2 个小回旋也已消失。全域在无风作用下的余流增大约 5 cm/s ,但无风作用下的余流场显得相对杂乱一些。湾内的余流基本上是由 1 个大的逆时针方向回旋流所控制。北部区域流动较为规律,是一支由湾底向湾外几乎平行于海岸的西北向余流,且流速较强, $3 \text{ cm/s} \sim 5 \text{ cm/s}$ 。南部区域较为复杂,除了有大回旋体向东南流动外,还形成了若干个小回旋。较明显的小回旋有 2 个:一个是北海市近海域的顺时针方向环流,此环流的速度于近岸处较小, $1 \text{ cm/s} \sim 2 \text{ cm/s}$,离岸较远处的流速略大些,为 3 cm/s 。另一个小回旋位于该湾的东部,呈逆时针方向循环,流速很小,仅 1 cm/s (图 6)。与实测比较,廉州湾余流以风海流为主导,在西南风的作用下,海水向廉州湾的东部流动,至湾底沿岸线向西南流动,直到流出湾外;在东风、东南风作用下,海水大体上向西流动。因此,不同日期所测的余流是不同的^[2]。实测结果基本上与模拟的流型相同。

2.3 钦州湾

钦州湾是由内湾(茅尾海)和外湾构成,其特点是中间狭窄,两端宽阔。海湾地形复杂,水道交错。湾口有东、西、中 3 条水道直通外海;湾中有众多的

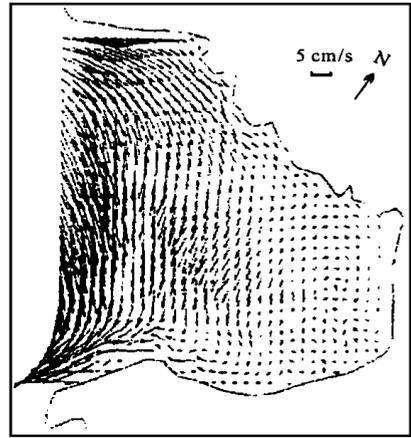


图 5 廉州湾潮汐余流场 (S)

Fig. 5 Tidal current chart at Lianzhou Harbor (S)

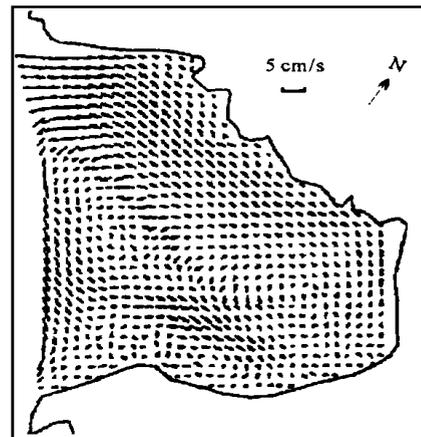


图 6 廉州湾潮汐余流场

Fig. 6 Tidal current chart at Lianzhou Harbor

岛屿;内湾有宽阔的茅尾海。从内湾至湾中为封闭型;从湾中至湾口为喇叭型。所以,余流的运动和变化明显受到海湾自然环境的制约。

从图 7及图 8看出,在东北风六级及西南风六级情况下钦州湾余流场的分布状况,风力作用对钦州湾

余流场的影响较大,尤其是东南部湾口附近海域,北风时向南的出流加强,南风时向北的入流加强。北风时,风生流与余流同向,从而使合成流速提高较快,由原来的 5 cm/s 余流提高到 10 cm/s 的合成流。南风时,风海流与余流反向,流速提高不大。全域比无风作用下的余流有所增强,但无风状况下的流场流型显得较为复杂。由于湾口的面积较大,海底地形起伏不平,湾口内形成了许多几乎封闭的余环流。以窄水道将湾分隔为外湾和内湾两部分,外湾则是由 5 个大余环流组成,湾口西侧有 2 个逆时针方向环流;湾中部有 1 个顺时针方向环流,湾北部有 1 个逆时针方向和 1 个顺时针方向环流,余流流速 $2\text{ cm/s} \sim 4\text{ cm/s}$,最大流速在中部深水区,其环流值大于 10 cm/s ;内湾主要是由 1 个大的逆时针方向环流所控制。内、外湾的窄水道连接处流动方向较杂乱,但流速强大,最大可超过 10 cm/s (图 9)。于 1994 年 5 月和 11 月两次在该湾调查的实测资料表明,位于湾口海域有 2 个逆时针方向的环流系统和 1 个顺时针方向环流系统;在湾北东西两处分别有 1 个逆时针方向和 1 个顺时针方向的涡环对;在湾中狭窄处有 3 个强且稳定的涡环对;在内湾,余流显得较有规律性,流速也较弱,只有 $4\text{ cm/s} \sim 6\text{ cm/s}$ 。全湾流速最强处分别在湾中及湾口两侧,分别为 17.2 cm/s 和 13.0 cm/s 。这与模拟结果相差不大。

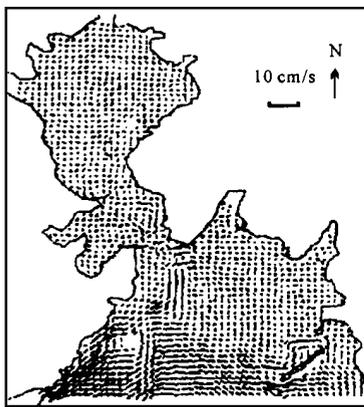


图 7 钦州湾潮汐余流场 (N)

Fig. 7 Tidal current chart at Qinzhou Harbor (N)

2.4 防城湾

防城湾位于广西沿海的西段。湾内被 NE~SW 走向的渔寮岛分成东、西两部分;西部为防城港,呈倒挂瓶口形;东部为暗埠江水道,呈袋状;南部为开阔的海域。湾内的水下地貌主要为水下栏门沙和潮成深槽。在湾口处有 2.5 km 宽的栏门沙,涨潮时水深约 4 m ,退潮时的水深 1 m 左右。在东湾有长约 12 km 宽约 400 m 水深约 10 m 的暗埠江深槽。湾

内余流于近岸处的运动和变化受到自然环境影响明显,于湾口处受到季风的影响明显。

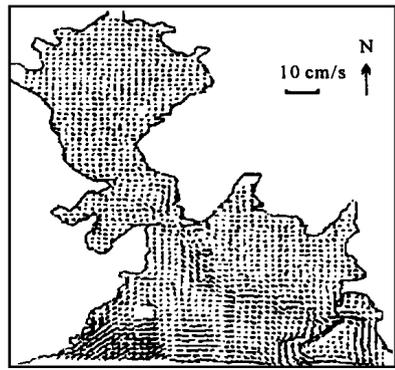


图 8 钦州湾潮汐余流场 (S)

Fig. 8 Tidal current chart at Qinzhou Harbor (S)

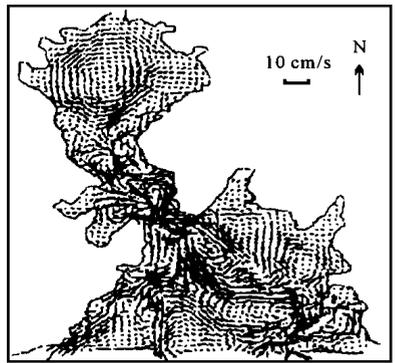


图 9 钦州湾潮汐余流场

Fig. 9 Tidal current chart at Qinzhou Harbor

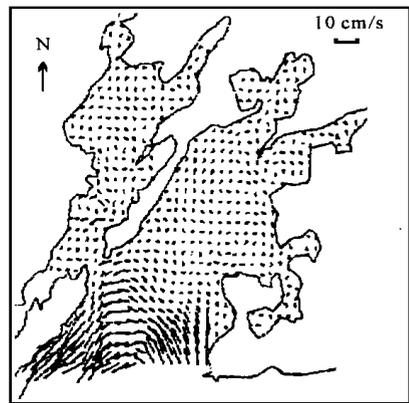


图 10 防城港潮汐余流场 (N)

Fig. 10 Tidal current chart at Fangchen Harbor (N)

从图 10 及图 11 看出,在东北风六级及西南风六级情况下防城湾余流场的分布状况,风力作用对湾内余流影响较为明显,不同的风向使余流产生不同的变化,而且以湾口开阔海域的影响较为显著。北风时,南向的出流加强,南风时,北向的入流加强。全域与无风作用下的流场进行比较,无风时,全流场较为复杂,余流值也较大。湾口附近为东进西出的流型,其流速值可达 10 cm/s 以上。东出北进的过程中又遇自

湾底南下的强流,则两者分别向西及向东折返形成了各自的体系。靠近防城港内西侧的深水区流速较强,

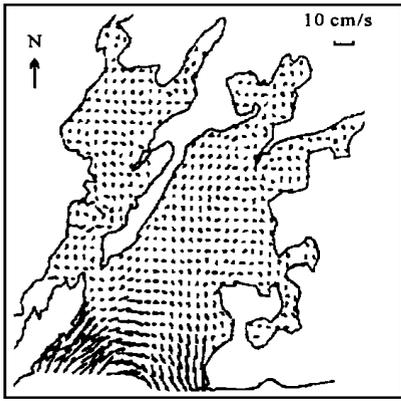


图 11 防城港潮汐余流场 (S)

Fig. 11 Tidal current chart at Fangchen Harbor (S)

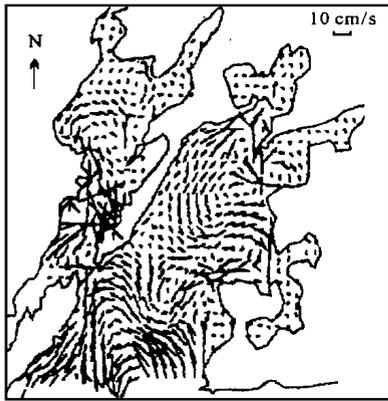


图 12 防城港潮汐余流场

Fig. 12 Tidal current chart at Fangchen Harbor

最大为 10 cm/s, 而且流向也杂乱无章。其北部浅水区流速较小,且无规律(图 12)。与实测结果的比较,于 1995 年 5 月和 11 月 2 次在该湾调查的实测资料表明,在丰水期,湾内余流主要呈现东进西出的流势,在湾口汇合流出湾外,湾口东部为西北向余流,当它

进入湾内后,最终汇入水道,然后向南流出口;在枯水期,湾内存在 3 个小环流系统,即,湾口东侧的逆时针旋转环流;湾口水道处的顺时针旋转涡环;湾口水道西侧的逆时针旋转涡环。余流流速,丰水期最大流速为 8.0 cm/s,枯水期最大流速为 12 cm/s,均位于湾口深水槽。与模拟的最大流速值较为接近。

3 小结

(1) 从数值模拟结果可以看出,在风力作用下的海湾余流场变化较为明显,风力越大,海湾越开阔,其流动则越显著,也就是说,海湾余流场流型及流速变化强度直接与风力的强弱以及风力作用方向有关。

(2) 比较 4 个海湾在有风力作用和无风作用下的余流的基本状况得出,在一般情况下,海面在受到强烈风力影响时,其余流流速则有所增强,这充分说明,在有风力作用使风海流得到加强的过程中,余流也得到了相应加强。

(3) 除局部区域外,在有风力作用与无风力作用的海湾内,往往是在无风力作用下的海湾余流场流型较为杂乱,流向显得无规律性,在同一个湾内存在多个余环流系统,如钦州湾湾口,既有顺时针方向环流,又有逆时针方向环流,这可能是受湾内海底地形起伏不平影响的缘故。

(4) 模拟结果与实测结果比较得出,4 个海湾余流的运动状况大体相同,余流流速值也较为接近,反映了模拟结果与实际余流场状况基本相符。

参考文献

- 1 陈波. 广西沿岸海区余流特性的初步分析. 海洋通报, 1987, 6 (1): 11~ 15.
- 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: 32~ 35.

(责任编辑: 蒋汉明)

胆固醇斑溃烂可引发中风

俄罗斯医学科学院外科研究中心的加夫里连科教授指出, 动脉内壁上的胆固醇斑溃烂是引发中风的重要原因。

据俄《消息报》报道, 加夫里连科认为, 中风可大致分为 2 种。一种是因脑动脉破裂而发生的脑溢血; 一种是脑动脉栓塞所引发的局部缺血性中风。后一种中风可使人脑缺血、缺氧, 危及生命。

俄专家指出, 过去曾普遍认为, 血管内壁增厚是局部缺血性中风的主要病因。但是最新研究显示, 很多局部缺血性中风患者的脑动脉内壁并不厚。与此同时, 俄专家还发现约 4/5 的此类患者在发生中风前, 其动脉内壁上的胆固醇斑均出现了溃烂。这种溃烂使血管中容易形成血块和其它堵塞物, 造成血流停止, 引起局部缺血性中风。

加夫里连科认为, 胆固醇斑溃烂是引发局部缺血性中风的主要原因。及时发现胆固醇斑的变化, 清除“恶性”胆固醇斑可大大降低局部缺血性中风的发生几率。

为此, 俄研究人员已开发出一套新设备, 这些设备可测量胆固醇斑的大小, 确定其性质和有效清除“恶性”胆固醇斑。据报道, 与传统的药物预防的效果相比, 清除已发生溃烂的胆固醇斑可使局部缺血性中风的发生几率下降约 5/6。