



万泉河嘉积至博鳌河段河道水力特性分析

刘 臣¹, 莫鸿侨², 马殿光¹, 刘晓菲¹

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456;

2. 海南省港航管理局, 海南 海口 570105)

摘 要: 依托万泉河一期航道建设研究, 建立了万泉河嘉积至博鳌河段二维正交曲线水流数学模型。首先采用天然资料对模型进行率定, 通过有关参数调整, 使数值计算成果与天然实测资料达到精度要求。依据对枯水期大潮、枯水期小潮、洪水期大潮3次潮流模拟成果, 详细分析了目标河段地形、水位、比降、流速的变化特征, 给出了潮区界、潮流界变化规律, 明确了感潮河段的具体位置, 并重点介绍了博鳌水域流场分布, 为万泉河航道建设规划提供了技术支持。

关键词: 数学模型; 水力特性; 潮区界; 潮流界; 航道

中图分类号: TV 143.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0113-06

Hydrodynamic characteristics of reach from Jiaji to Bo'ao in Wanquan river

LIU Chen¹, MO Hong-qiao², MA Dian-guang¹, LIU Xiao-fei¹

(1. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China;

2. Hainan Port and Channel Administrative Bureau, Haikou 570105, China)

Abstract: Based on the study of Wanquan river navigation channel first phase construction, we established the orthogonal curve 2D current mathematical model for the reach from Jiaji to Bo'ao in Wanquan river. Firstly, the model was verified with the nature current materials, and the calculated result was consistent with the nature data by adjusting some parameters. Using results of simulation the spring tide and neap tide in dry season as well as spring tide flood season, we analyzed the variation characteristics of underwater topography, water level and gradient ratio along the river reach. The variations of the tidal limit and tidal current limit were displayed. The specific location of tidal reach was given. Finally, 2D plane flow field about Bo'ao reach was analyzed. The results provides a technical support for the navigation channel construction of Wanquan river.

Key words: mathematical model; hydrodynamic characteristics; tidal limit; tidal current limit; navigation channel

海南省位于中国最南端, 具有得天独厚的热带海岛自然风光和独具特色的民族风情。五指山、万泉河、博鳌等名胜享誉全国, 蜚声国际。2009年国务院提出《关于推进海南国际旅游岛建设发展的若干意见》, 吹响了海南岛旅游岛建设的号角。

万泉河是海南省象征之一, 是海南省旅游资源重要组成部分。万泉河河口为博鳌论坛永久会

址所在地, 博鳌论坛将博鳌、乃至整个海南更深层次地展现给世界。万泉河水路发达, 旅游条件一流, 从旅游景区分布看, 万泉河是旅游景区的纽带中枢。但万泉河航道开发相对滞后, 为了更好地发展和促进万泉河流域旅游, 急需对万泉河航道进行开发治理, 本文采用数学模型的研究手段, 对万泉河河道水力特征进行研究分析,

收稿日期: 2012-02-27

作者简介: 刘臣(1964—), 男, 研究员, 从事港口和航道设计研究。

为万泉河航道的规划设计提供了科学依据。

1 河道概况

万泉河南、北两源于合口嘴汇合后为习惯上所称的万泉河。研究河段上起嘉积坝址、下至河口玉带滩,长约25 km。嘉积大坝至嘉积大桥下游13 km

(田龙村)河段基本为蜿蜒形单主槽河段,嘉积大桥13 km(田龙村)河段下游为网状汉道河段,其中乐城岛将河道分为左右两支,右支为水深较好的主流通道;大乐大桥下游河道被沙坡岛、东屿岛分为3汉,最后3汉于玉带滩前会流,在玉带滩口门与外海相接。万泉河嘉积至玉带滩河段见图1。

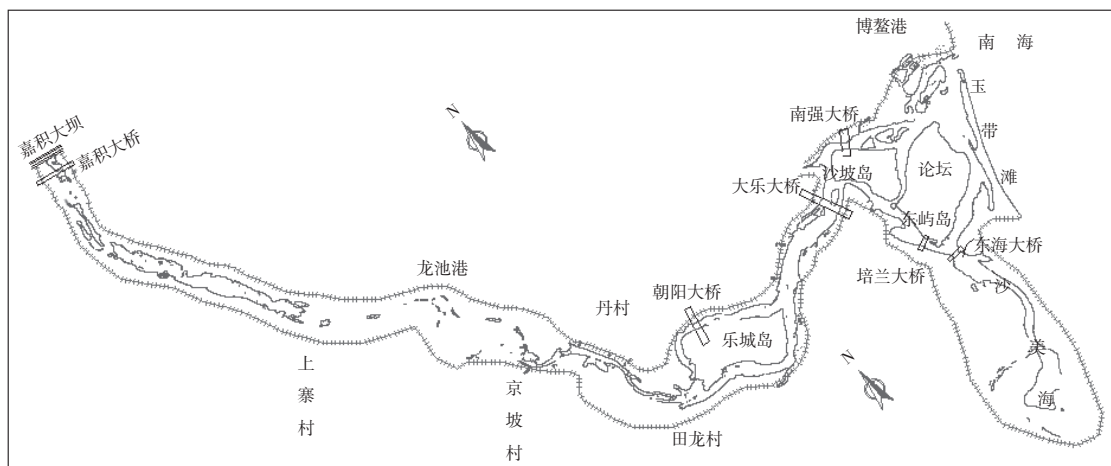


图1 万泉河嘉积至玉带滩河段

研究河段上游嘉积拦河大坝处来流为内河径流,下游为海域。根据博鳌港资料统计,万泉河河口海区潮汐属于不正规日潮,多年各月平均潮差0.7~0.8 m,各月平均最大潮差1.32~1.57 m,实测最大潮差为1.89 m。

2 数学模型简介

研究采用的模型为正交曲线二维水流动力运动数学模型,此模型在近海和内河工程建设水流动力条件研究中已得到了广泛应用^[1-10]。模型水平坐标为 (ξ, η) 网格^[11],水流运动方程如下:

水流连续方程:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi} C_{\eta}} \left[\frac{\partial (C_{\eta} H u)}{\partial \xi} + \frac{\partial (C_{\xi} H v)}{\partial \eta} \right] = Q \quad (1)$$

水流平面动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi}} u \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{1}{C_{\eta}} \frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{v^2}{C_{\xi} C_{\eta}} \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} + \frac{uv}{C_{\xi} C_{\eta}} \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} - f v = \\ - \frac{1}{\rho_0 C_{\xi}} P_{\xi} + F_{\xi} + M_{\xi} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{C_{\xi}} u \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{C_{\eta}} \frac{\partial v}{\partial \eta} - \frac{uv}{C_{\xi} C_{\eta}} \frac{\partial C_{\eta}}{\partial \xi} + \frac{u^2}{C_{\xi} C_{\eta}} \frac{\partial C_{\xi}}{\partial \eta} + f u = \\ - \frac{1}{\rho_0 C_{\eta}} P_{\eta} + F_{\eta} + M_{\eta} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: u 和 v 分别是 ξ 和 η 方向水深平均流速分量(m/s); f 是柯氏力; F_{ξ} 和 F_{η} 分别是 ξ 和 η 方向的应力梯度; P_{ξ} 和 P_{η} 分别是 ξ 和 η 方向的压力梯度; M_{ξ} 和 M_{η} 分别是源(汇)在 ξ 和 η 方向的动量分量; U_v 是垂向黏性系数; Q 是源(汇)项; C_{ξ} 和 C_{η} 分别是坐标转换系数。

3 模型建立与验证

3.1 模型建立

研究河段上起嘉积坝址、下至河口玉带滩,河道全长25 km。考虑沙美海的潮蓄作用,模型将沙美海纳入计算域。同时,万泉河河口段为感潮段,计算域适当考虑玉带滩外海域,建模区域见图1,模型下边界海区采用潮位控制、上边界径流采用流量控制。

3.2 模型验证

采用2010年枯水期大潮(上游来流60 m³/s)、小潮(上游来流40 m³/s)和洪水期大潮(上游来流360 m³/s)实测潮位、潮流同步观测资料,图2和3分别为枯水期大潮潮位和流速验证成果(限于篇幅、未给出另两次验证成果)。由图可以看出,计算值与实测值基本吻合,说明经多次调

试的模型在地形概化、网格划分和参数设置方面均是合理的, 模型模拟成果可准确反映河道的水流情况。模型调试后, 计算域曼宁糙率介于0.02~0.03, 水流迭代步长15 s。

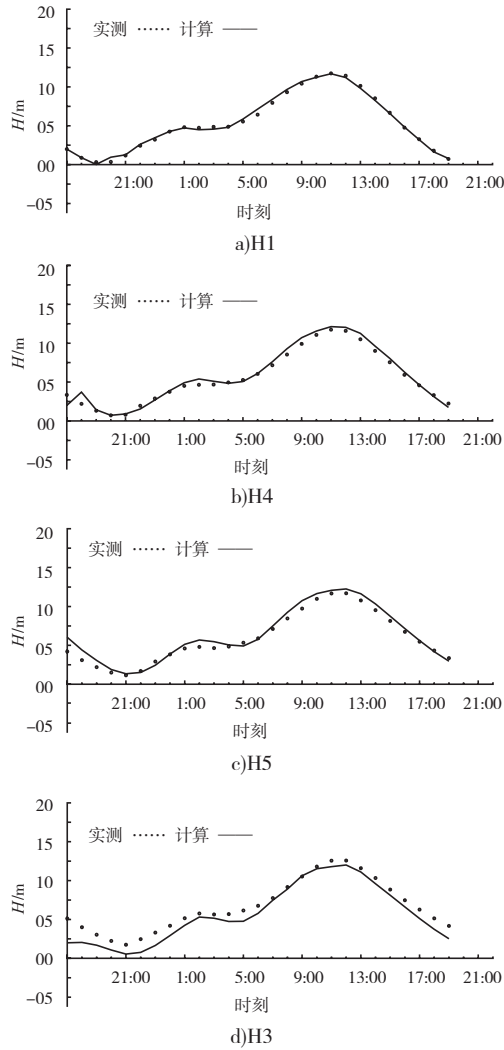


图2 枯水期大潮潮位验证成果

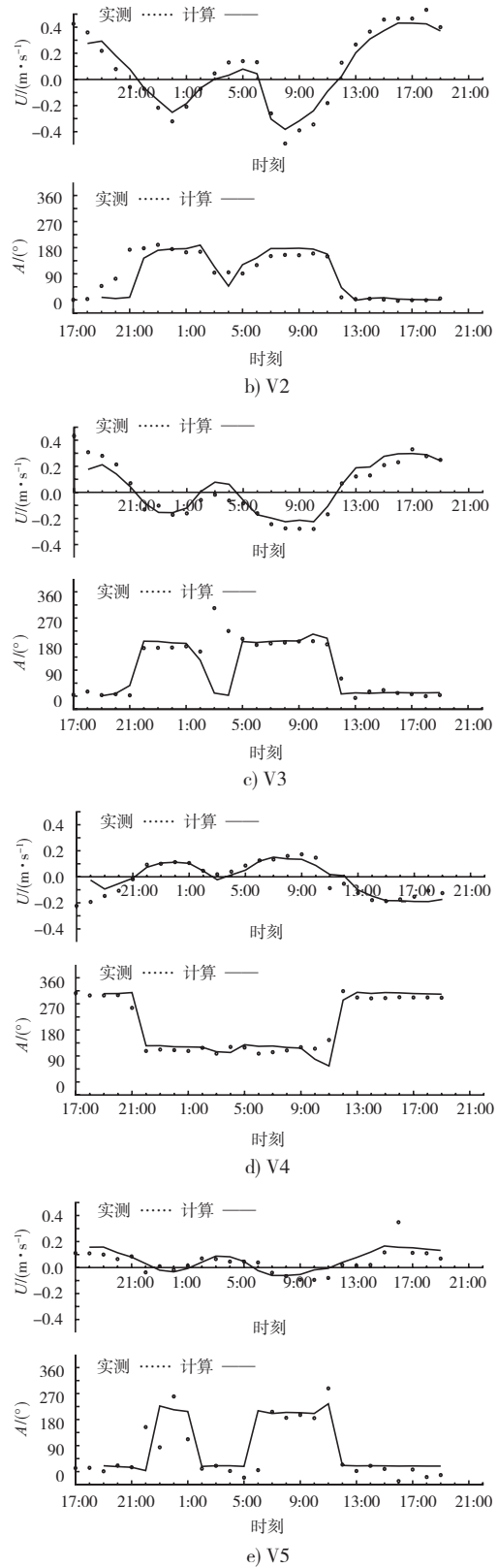
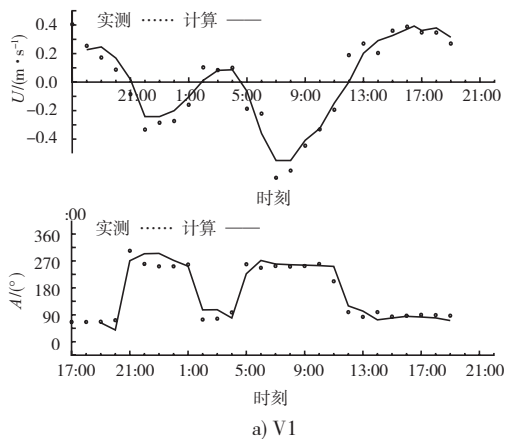


图3 枯水期大潮流速和流向验证成果

4 河道特性分析

本研究采用2010年枯水期大、小潮和洪水期大潮潮位、潮流观测与模拟计算成果对水流特征

进行分析。

4.1 河道地形特征

图4为万泉河深泓剖面，沿程深泓线（走博

鳌水域北汊）长24 km，中深泓线（走博鳌水域中汊）长24.5 km，右深泓线（走博鳌水域南汊）长26.5 km，河道深槽浅滩交错。

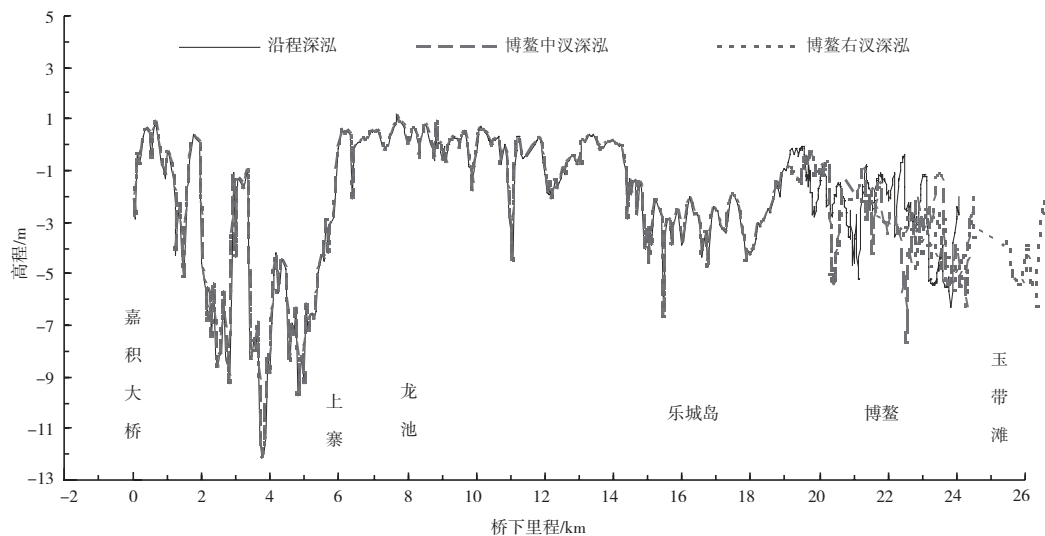


图4 深泓剖面

1) 嘉积大桥至桥下6 km (里程均指距嘉积大桥,下同)河段。桥下6 km基本位于上寨村。该段为纵剖面深槽区,为全河段最深水域,河床最低底高程仅有-13 m,比下游河段深14~15 m。

2) 桥下6~15 km河段为万泉河浅滩集中河段,深泓纵剖面高程基本介于-1~1 m,明显高于上下游。

3) 桥下19 km至玉带滩段为河口汊流河段,该段深槽浅滩交替,由于沙滩、礁石较多,河段深泓变化复杂。

4.2 水位与比降

4.2.1 潮区界变化

枯水期大潮高潮位影响至(潮区界)嘉积大桥下游8 km,低潮位影响至嘉积大桥下游14 km,高低潮位变动区河段长度为6 km;枯水期小潮高潮位影响至(潮区界)嘉积大桥下游10 km,低潮位影响至嘉积大桥下游14 km,高低潮位变动区河段长度为4 km;洪水期大潮高潮位影响至(潮区界)嘉积大桥下游10.5 km,低潮位影响至嘉积大桥下游22 km,高低潮位变动区河段长度为11.5 km。

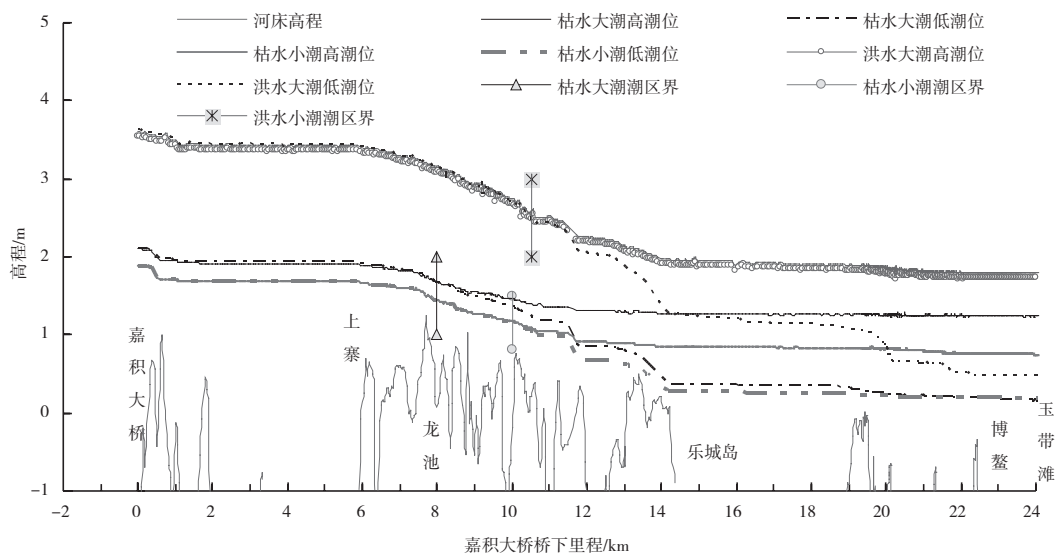


图5 沿程水位变化

潮区界变化表现为“大潮上提、小潮下移, 小流量上提、大流量下移”的变化规律。沿程水位变化见图5。

4.2.2 比降特征

大潮比降见表1。

河段	高潮位		低潮位	
	枯水	洪水	枯水	洪水
嘉积桥下 0 ~ 6 km	0.032	0.033	0.031	0.034
嘉积桥下 6 ~ 14.5 km	0.075	0.173	0.184	0.256
嘉积桥下 14.5 km ~ 玉带滩	0.004	0.017	0.025	0.081

1) 沿程比降。河段明显可分为3段, 就低潮位变化而言, ①嘉积大桥至桥下6 km河段比降相对较缓, 最大为0.034‰; ②嘉积大桥下6 ~ 15 km河段比降相对较陡, 最大为0.26‰; ③嘉积大桥下15 km至玉带滩河段受外海潮汐影响明显, 比降最缓, 最大为0.081‰。

2) 低潮位高于高潮位。如洪水期, 嘉积大桥下6 ~ 15 km河段高低潮位时比降分别为0.17‰和0.26‰。

3) 洪水期高于枯水期。如嘉积大桥下6 ~ 15 km河段, 高潮位时洪、枯水期比降分别为0.26‰和0.17‰, 低潮位时洪、枯水期比降分别为0.18‰和0.08‰。

4.3 纵向流速

图6为深泓线沿程流速变化, 沿程流速变化具有如下特征:

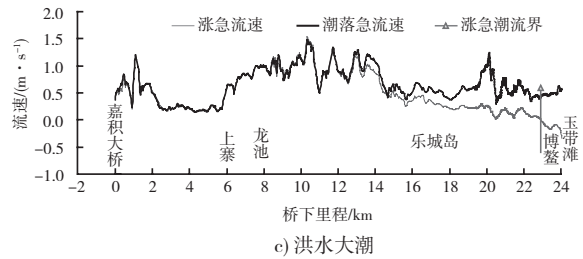
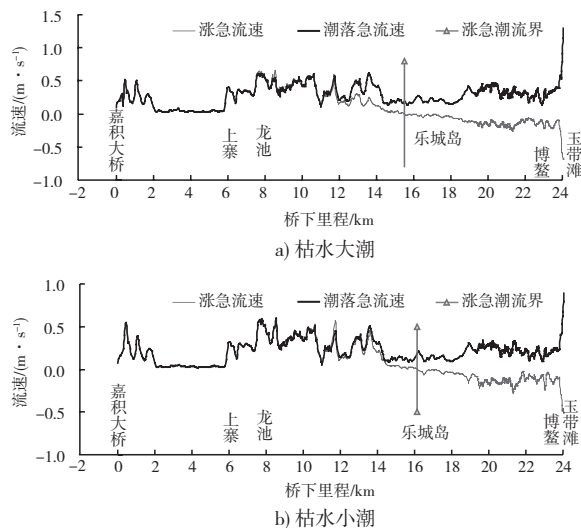


图6 沿程流速变化

1) 流速与地形对应, 深槽流速小、浅滩流速大。如枯水大潮期, 流速明显分为4段, 桥下2 ~ 6 km和桥下14 ~ 19 km河段河为连续深槽断, 流速明显小于其余河段, 其中桥下2 ~ 6 km河床高程最低仅有-13 m, 为全河段最深水域, 流速基本小于0.1 m/s; 桥下6 ~ 14 km为浅滩集中河段, 深泓纵剖面高程基本介于-1 ~ 1 m, 明显高于上下游, 流速大, 最大流速可达0.65 m/s左右。

2) 大潮大于小潮、洪水大于枯水。全河段最大流速, 枯水小潮、枯水大潮和洪水大潮分别为0.60 m/s, 0.65 m/s和1.50 m/s。

3) 万泉河落潮时全程向河口方向流 (流速为“+”)。

4) 潮流界 (涨潮流速为“0”) 与潮区界一样, 表现为“大潮上提、小潮下移, 小流量上提、大流量下移”的变化规律。枯水大潮、枯水小潮和洪水大潮潮流界分别位于嘉积大桥下游15.5 km, 16.1 km和23.0 km。

4.4 博鳌水域流场

博鳌水域是万泉河的龙头, 万泉河通过玉带滩口门与南海相连。博鳌水域为网状水流通道, 沙坡岛、东屿岛将万泉河分成北、中、南3汊, 水域南北宽 (南强港—东海大桥) 3 km, 东西 (大乐大桥—玉带滩口门) 长3.5 km, 大乐大桥处河宽450 m, 玉带滩口门宽200 ~ 800 m。

涨潮时 (图7), 水流进入玉带滩口门后, 受沙坡岛、东屿岛、鸳鸯岛和次生沙洲、礁石作用, 逐渐归顺为北、中、南3股主流传向内河。其中, 南支水流主要进入沙美海, 在中支和南支水流共同作用下, 沙美海湖口至中支会流口段, 流速基本为零。沙坡岛两股水流基本在大乐大桥附近汇流, 随后水流流速逐渐减小, 进入潮流界河段。

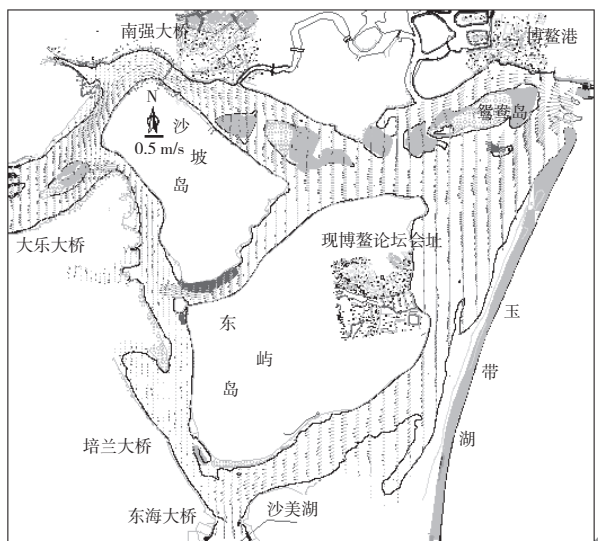


图7 博鳌水域枯水大潮涨急流场

落潮时(图8),水流基本在大乐大桥附近被次生沙洲分成左右两支流向下游,其中左支水流在沙坡岛头部再次分流汇入右汉支流。沙坡岛右支水流在沙坡岛和东屿岛间通道处又分为两支,称沙坡岛、东屿岛间水流通道的中汉,东屿岛南部水流通道的南汉。南汉水流与来自沙美海的水流汇合后流向下流,在东屿岛尾部下游与北汉和中汉的合流汇合,流向玉带滩口门。

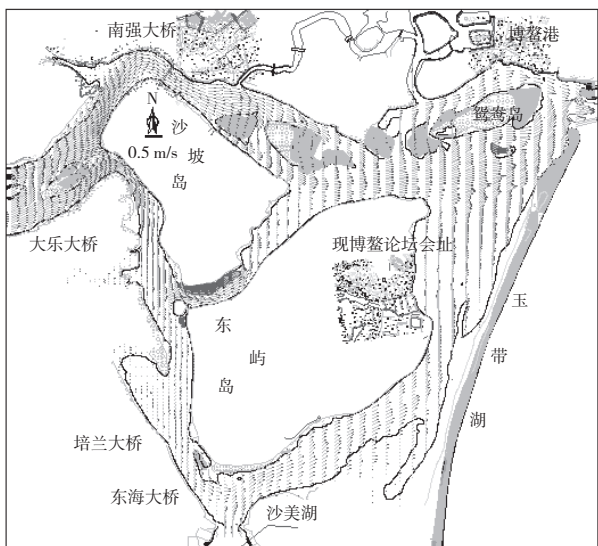


图8 博鳌水域枯水大潮落急流场

5 结论

1) 嘉积至河口玉带滩,河道全长25 km,河床凹凸不平、起伏较大,河床深泓高差在16 m左右。

2) 嘉积大桥桥下8 km处为潮区界上端,嘉积拦河大坝至嘉积大桥桥下8 km为纯径流河段;嘉积大桥桥下8~14.5 km为感潮河段,潮区界随径、潮流动力强弱变化。

3) 潮流界上游位于嘉积大桥桥下游14.5 km乐城岛汉道进口段,潮流界位置主要受上游来流影响,与潮区界表现规律一致,即“大潮上提、小潮下移,小流量上提、大流量下移”。

4) 博鳌水域是万泉河的龙头,沙坡岛、东屿岛将万泉河分成北、中、南三汉,涨潮海流分于玉带滩、汇于大乐大桥;落潮内河径流分于大乐大桥、汇于玉带滩入海。

参考文献:

- [1] 刘臣,闫建英,王绪亭.天津临港产业区潮流模拟与方通物流码头通航本质安全分析[J].水运工程,2011(11):125-128.
- [2] 刘臣,闫建英,李明辉,等.徒骇河富国作业区至东风作业区河段通航水流条件分析[J].水道港口,2011,32(1):48-53.
- [3] 陆永军,王兆印,左利钦,等.长江中游瓦口子至马家咀河段二维水沙数学模型[J].水科学进展,2006,17(2):227-234.
- [4] 刘臣,闫建英,李君涛,等.湘江土谷塘航电枢纽车江坝址通航水流条件分析[J].水道港口,2011,32(6):418-422.
- [5] 刘臣,平克军,岳翠萍.那吉至鱼梁河段航道整治[J].水道港口,2008,29(3):193-198.
- [6] 张明进,张华庆,刘万利,等.长江中游戴家洲河段航道整治工程数值模拟研究[J].水道港口,2006,27(1):23-26.
- [7] 刘臣,闫建英.龙口港航道扩建工程疏浚土输移研究[J].中国港湾建设,2010(1):39-43.
- [8] 刘臣,刘哲,平克军.滨州港大堡泊位扩建工程潮流分析[J].水道港口,2007,28(4):240-244.
- [9] 刘臣,张华庆,万建国.丰城市剑邑大桥桥位通航水流条件二维数学模型研究[J].水运工程,2000(9):7-12.
- [10] 刘臣,张华庆,万建国.赣江万安水利枢纽回水变动区二维水沙模型的建立与研究[J].水动力学研究与进展,2002,17(1):84-97.
- [11] 刘臣.库区一、二维物质输运数学模型的研究与应用[D].南京:河海大学,2002.