

## 岸线变化对钦州湾水动力环境的影响\*

# Effects of Shoreline Change on Hydrodynamic Environment in Qinzhou Bay

牙韩争<sup>1</sup>, 许尤厚<sup>2</sup>, 李谊纯<sup>1</sup>, 董德信<sup>1</sup>

YA Hanzheng<sup>1</sup>, XU Youhou<sup>2</sup>, LI Yichun<sup>1</sup>, DONG Dexin<sup>1</sup>

(1. 广西科学院广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 钦州学院海洋学院, 广西钦州 535000)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Ocean College, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi, 535000, China)

**摘要:**【目的】分析岸线变化对钦州湾水动力环境的影响,为钦州湾海岸线开发、海洋环境保护提供科学依据。【方法】结合2004年及2012年海图、卫星影像资料等资料,采用数值模拟的方法对钦州湾2004年—2012年间岸线变化造成潮流、纳潮量、水交换能力的变化进行计算。【结果】岸线变化后,三墩公路顶端附近海域流速增大0.2 m/s,犀牛脚附近下降0.1 m/s,三墩公路两侧涨潮时潮流流向由东南向变为西南向和正北向;大、小潮期间,海域纳潮量分别下降 $-1.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $-0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,下降幅度分别约为总量的10.3%和10.9%;水体半交换时间由27 d延长至28 d。【结论】岸线变化对钦州湾水动力环境有一定的影响,岸线开发利用应充分考虑岸线变化对海洋环境的影响。

**关键词:** 钦州湾 岸线变化 水动力

中图分类号: P732.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2017)03-0311-05

**Abstract:**【Objective】To provide the scientific basis for shoreline development and marine environmental protection, the effects of shoreline change on hydrodynamic environment in Qinzhou Bay were analyzed.【Methods】Based on charts and satellite images during the year of 2004 and 2012, the change of tidal current, tidal prism, and water exchange ability of Qinzhou Bay were calculated by numerical simulation method.【Results】After the change of the shoreline, the flow velocity of the waters near the top of the Sandun highway was increased by 0.2 m/s, and decreased by 0.1 m / s near the Xiniu jiao. The current direction changed from southeast to southwest and north near Sandun in flood tide. The tidal prism of Qinzhou Bay decreased about  $-1.50 \times 10^8 \text{ m}^3$  in spring tidal and about  $-0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$  in neap tidal, the decrease amplitude accounted for about 10.3% and 10.9% of total tidal prism respectively. The half exchange time of water was extended from 27 d to 28 d.

【Conclusion】The shoreline change has a certain effect on hydrodynamic environment in Qinzhou Bay. The coastland development and utilization should fully consider the impact of shoreline changes on marine environment.

**Key words:** Qinzhou Bay, shoreline change, hydrodynamic environment

收稿日期: 2016-06-13

修回日期: 2016-08-20

作者简介: 牙韩争(1988—), 男, 硕士, 主要从事河口海岸物质输运研究, E-mail: yahanzheng@163.com.

\* 广西科学院基本科研业务费项目(13YJ22HY07), 广西近海海洋环境科学重点实验室开放基金项目(GXKLY13-01, GXKLY14-01)和广西高校科研项目(2013YB252)资助。

# 0 引言

**【研究意义】**水动力是反应海域水环境的一个重要重要指标,直接关系到海域水交换能力、污染物扩散、自净能力等方面,在海洋环境基础研究上具有重要地位。岸线变化是引起海域水动力变化的一个重要因素。近年来,岸线开发利用的加快显著地改变原有岸线的特征,同时也不同程度地影响海域水动力环境。开展岸线变化对海域水动力环境影响的研究,对合理开发利用岸线,保护海洋生态环境,保障海洋资源可持续发展等具有重要的科学和实践意义。钦州湾位于广西沿岸中部,地理位置为  $108^{\circ}28'20''\sim 108^{\circ}45'30''E, 21^{\circ}33'20''\sim 21^{\circ}54'30''N$ 。它拥有丰富的海洋资源,是我国西南出海的重要通道,区域经济发展地位突出,因此海洋环境保护对钦州湾可持续发展意义重大。**【前人研究进展】**目前,国内外学者已有大量的文献报道各研究海域的水动力变化。陈金瑞等<sup>[1]</sup>针对胶州湾内湾不同年代的5套岸线进行潮汐潮流的数值模拟研究,计算分析纳潮量、潮汐、潮流以及水交换等水动力因素的变化。鲁友鹏等<sup>[2]</sup>基于 FVCOM 对杭州湾南岸海域水动力特征进行模拟,在此基础上分析岸线变化造成的水动力影响累积效应。李小维等<sup>[3]</sup>采用二维潮流数学模型对铁山港湾海域的潮流场进行数值模拟,分析工程前后水动力变化情况。方神光等<sup>[4]</sup>利用遥感资料准确计算了过去近30年内伶仃洋水域面积和水域纳潮的演变情况。蒋磊明等<sup>[5]</sup>结合数值模拟及海流观测资料,对钦州湾海域纳潮量及水体半更换周期进行计算。张坤等<sup>[6]</sup>采用 MIKE21 HD 水动力模型对钦州湾水动力进行模拟,并计算钦州湾和茅尾海的纳潮量。孙永根等<sup>[7]</sup>利用数值模拟对钦州保税港区填海造地工程前后潮流动力场变化进行分析计算,并从潮流场、冲淤环境和纳潮量三方面的变化来说明大规模填海过程对钦州湾海洋环境影响。董德信等<sup>[8]</sup>从大规模围填海工程方面考虑其对钦州湾水动力环境的影响。**【本研究切入点】**近年来,钦州湾沿海开发力度加大,岸线、地形变化给钦州湾水动力环境造成一定的影响。虽有部分的研究报道钦州湾水动力环境变化情况,但尚不多见,更是缺乏有关其变化机制的研究。**【拟解决的关键问题】**本研究结合2004年及2012年海图、卫星影像资料等资料,采用数值模拟的方法对钦州湾2004年—2012年间岸线变化造成潮流、纳潮量、水交换能力的变化进行计算,分析岸线变化对钦州湾水动力环境的影响,为钦州湾海岸线开发、海洋环境保护提供

科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 钦州湾岸线概述

2004年—2012年,钦州湾岸线变化剧烈,极大地改变了原有的岸线形态,较为明显的区域为果子山至石角一带。果子山至金鼓江处港口建设占用岸线,同时存在部分填海,岸线向金鼓江左侧推进较为明显。金鼓江右侧的金鼓村至石角附近海域填海造陆程度较大,使得岸线大幅度向钦州湾方向推进。金鼓江左、右两侧岸线变化后,金鼓江口向外延伸,同时江口变得狭窄。石角处的三墩公路建成后,形成非透水结构向钦州湾延伸,使得海域分割现象明显(图1)。

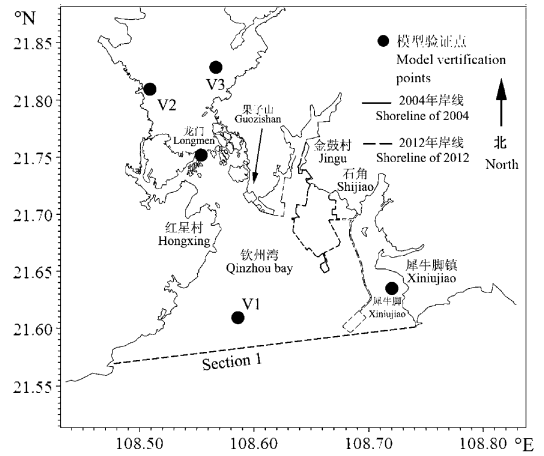


图1 2004年—2012年间钦州湾岸线变化情况

Fig.1 Change of shareline of Qinzhou Bay during 2004 and 2012

## 1.2 计算方法

### 1.2.1 潮流数值模型的建立

采用丹麦水利研究所开发的 MIKE 21 HD 水动力模型建立钦州湾潮流数值模型。MIKE 21 HD 水动力模型具有良好的便捷性、准确性、高效性等特点,使其在水动力模拟上得到广泛地应用,其模型包括一个连续方程及两个动量方程<sup>[9]</sup>。

连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t}, \tag{1}$$

X 方向动量方程:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 H^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fV V_x = 0, \tag{2}$$

Y 方向动量方程:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} +$$

$$\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2H^2} - \frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{yx})\right] - \Omega q - fV_y = 0, \quad (3)$$

式中： $\zeta$ 为水位； $h$ 为水深； $H=h+\zeta$ ； $p$ 、 $q$ 分别为 $x$ 、 $y$ 方向的单宽流量； $C$ 为谢才系数，与曼宁系数的关系为 $C=n^{-1}/h^{1/6}$ ； $g$ 为重力加速度， $f$ 为风摩擦系数； $V$ 、 $V_x$ 、 $V_y$ 分别为风速及其在 $x$ 、 $y$ 方向的分量； $\Omega$ 为科氏力系数； $\rho_w$ 为水的密度； $x$ 、 $y$ 为距离； $t$ 为时间； $u$ 、 $v$ 分别为潮流在 $x$ 、 $y$ 方向的速度分量； $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$ 分别为各方向剪切应力。

### 1.2.2 纳潮量的计算

本研究采用数值模拟的方法对纳潮量进行计算，其计算过程如下：对区域进行网格化；利用数值模拟结果，计算每个网格水体体积的变化，得出每个网格纳潮量；将所有网格的纳潮量相加，得出整个区域的纳潮量。假设将某个区域划分为 $N$ 个网格，第 $i$ 个网格的面积为 $S_i$ ，对应的平均高、低潮潮位高分别为 $h_1$ 、 $h_2$ ，则第 $i$ 个网格的纳潮量 $W_i$ 为

$$W_i = S_i \times (h_1 - h_2), \quad (4)$$

整个区域的纳潮量 $W$ 为

$$W = \sum_{i=1}^N W_i (i=1, \dots, N). \quad (5)$$

### 1.2.3 水交换能力的计算

水交换能力的常见表达方式是水体半交换时间，水体半交换时间为某海域保守物质浓度通过对流扩散稀释后，其浓度达到初始浓度一半所需的时间<sup>[10]</sup>。海域水体半交换时间的计算需要建立污染物输移扩散模型，以保守物质作为计算因子，并赋予模型一个初始浓度值，当计算域内物质的量达到初始时刻的50%时，所模拟的时长即为海域水体半交换时间。

本研究采用 MIKE 21 TS 污染物输运模型建立钦州湾污染物输移扩散模型，对海域水交换能力进行计算，其控制方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x}(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) - k \cdot c \cdot h + S, \quad (6)$$

式中： $c$ 为污染物的浓度； $u$ 、 $v$ 分别为潮流在 $x$ 、 $y$ 方向的速度分量； $h$ 为水深； $D_x$ 、 $D_y$ 分别为污染物在 $x$ 、 $y$ 方向的扩散系数； $k$ 为线性衰减系数，采用保守物质作为计算因子时，其取值为0； $S$ 为源漏项，其取值根据污染源的实际排放量确定。

### 1.3 计算区域的确定及网格划分

根据2004年及2012年钦州湾岸线地形资料，对不同岸线条件下的海域进行网格划分。计算区域西边界取至企沙镇，东边界取至中三墩，南边界取至钦广西科学 2017年6月 第24卷第3期

州湾外湾，北边界取至整个茅尾海，东西方向长约38 km，南北方向长约47 km。采用适应性较好的不规则结构网格对区域进行划分，并就复杂的岛屿和岸线进行局部加密，以保证计算精度，最小边长为50 m，最大水深约21 m。2004年岸线计算网格共包涵13 497个节点、25 770个单元，2012年岸线计算网格共包涵17 478个节点、33 109个单元。

### 1.4 模型验证

为验证水动力模型的可靠性，采用2012年5月(小潮)及2012年6月(大潮)实测水文资料对计算结果进行验证，包括两个潮位验证点及三个潮流验证点，各潮流要素验证点点位如图1所示，其中犀牛脚、龙门为潮位验证点，V1~V3为流速流向验证点。由于篇幅有限，这里只列举部分点位的结果验证。

由图2、图3可知，龙门及犀牛脚两站的潮位计算值与实测值相差不大，两站的潮位过程与实际监测结果几乎一致。V1站流速计算值在高潮位变化过程与实测值稍有偏差，个别时段流速计算值比实测值略小，但流速和流向的变化过程与实测值基本吻合。总体来说，模型计算值与实测值吻合良好，各位相、量值及过程线与实际情况基本一致，说明模型计算结果可以反映海域实际的水动力过程。

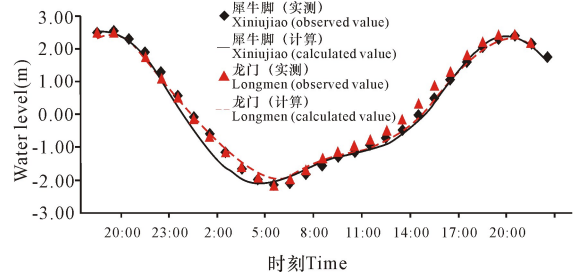


图2 潮位验证图(大潮)

Fig. 2 Verification of tidal level in Spring tide

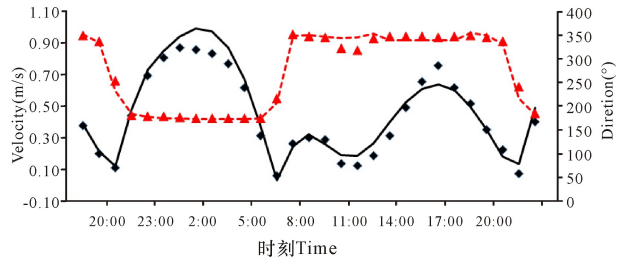


图3 V1站流速、流向验证图(大潮)

Fig. 3 Verification of current velocity and current direction in V1 (Spring tide)

## 2 结果与分析

### 2.1 水动力变化

由图4中可知，果子山至石角之间的近岸海域的

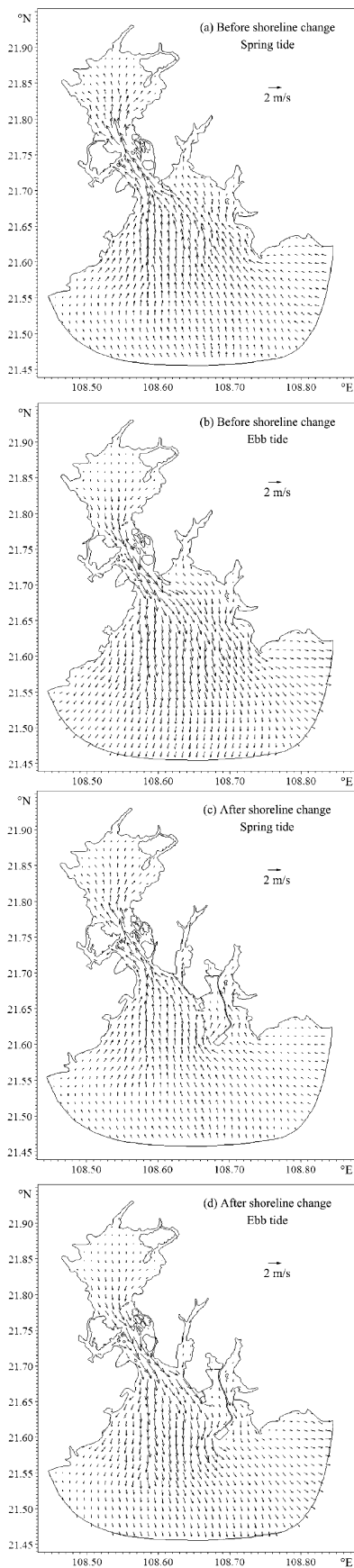


图4 岸线变化前后海域涨落急流场分布

Fig. 4 Current field of Spring and Ebb tide before and after shoreline change tide

水动力变化明显。岸线变化前,果子山至石角一带附近海域潮流基本上呈天然状态,流速、流向分布较为均匀。岸线变化后,海域水动力变化明显,岸线向海延伸,占用海域,使得果子山至石角附近部分海域不复存在。三墩公路建成后,潮流在三墩公路顶端形成局部绕流现象,造成局部流速增大,最高增幅约为0.2 m/s;同时由于其对海域形成分割作用,使得犀牛脚镇附近海域流速降低,水动力减弱,相比于岸线变化前,其流速下降超过0.1 m/s。部分海域流向也发生明显变化:岸线变化前,三墩公路附近海域涨潮时流向基本呈东南方向;而岸线变化后,其西侧流向变为西南向,东侧流向变为近北向,落潮时流向也有一定的变化。可见,岸线变化对钦州湾海域局部水动力环境造成一定的影响,尤其是果子山至石角一带附近海域。

### 2.2 纳潮量变化

以图1中断面1为基准,对断面1以北的海域纳潮量进行计算。如表1所示,岸线变化对海域纳潮量有显著影响:岸线变化前,海域大、小潮纳潮量分别约为 $1.45 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $2.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;岸线变化后,海域大、小潮纳潮量分别为 $1.30 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。相比于岸线变化前,岸线变化后大、小潮期间海域纳潮量均有所降低,变化幅度分别为 $-1.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $-0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,下降比例分别为纳潮总量的10.3%和10.9%。

岸线变化一方面占用部分海域水体,使得海域接纳外海传入水体的体积减少;另一方面改变海域岸线变化区域附近的水动力,造成局部区域水动力减弱,从而减小了海域的纳潮量。岸线变化后,果子山至石角一带岸线向海延伸占用大片海域,其结果使得本应进入这部分海域的潮水不复存在;与此同时,三墩公路的分割作用还降低了三墩公路附近的潮流流速,削减外来水体进入湾内的能力。因此,岸线变化后钦州湾海域纳潮量减小幅度较大。

表1 岸线变化前后海域纳潮量

Table 1 Tidal prism of sea area before and after shoreline change

潮汐 Tidal	纳潮量 Tidal prism			
	岸线变化前 Before shoreline change( $\text{m}^3$ )	岸线变化后 After shoreline change( $\text{m}^3$ )	变化幅度 Reduction value( $\text{m}^3$ )	下降比例 Decrease amplitude(%)
大潮 Spring tidal	$1.45 \times 10^9$	$1.30 \times 10^9$	$-1.50 \times 10^8$	10.3
小潮 Neap tidal	$2.66 \times 10^8$	$2.37 \times 10^8$	$-0.29 \times 10^8$	10.9

### 2.3 水交换能力

对图1断面1以北的海域水交换能力进行计算。

由图 5 可知,模拟开始时段,不同岸线对水交换程度的影响区别不是很大,前 10 d 左右变化幅度基本相同,10 d 后水交换程度的差异逐渐表现出来,且差异随时间的推移越来越大。海域保守物质达到初始时刻的 50%时,岸线变化前需约 27 d,而岸线变化后则需要 28 d,即海域水体半交换时间在岸线变化前为 27 d,岸线变化后为 28 d。相比于岸线变化前,岸线变化后海域水体半交换时间延长 1 d,表明岸线变化对海域水交换能力有一定的影响。

水交换能力的变化主要由水动力特征的变化而引起。岸线变化前,海域潮流速度较大,潮流呈天然的流态,基本不受干扰。岸线变化后,部分海域水动力变弱,潮流流速降低,使得海域水交换能力变弱。三墩公路建成后,附近海域流场形态改变、流速变小,潮流过流断面减小,海域水动力、水交换能力下降,因此海域水体半交换时间增加。

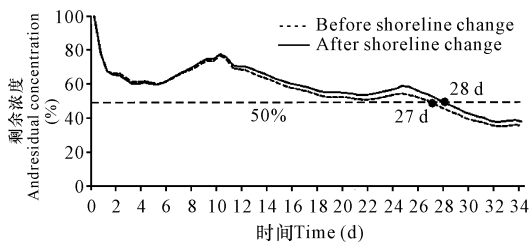


图 5 岸线变化前后水体交换变化特征

Fig. 5 The hydrodynamic features of water exchange between after and before shoreline change

### 3 结论

岸线变化对钦州湾水动力环境有一定的影响,尤其是果子山至石角附近海域。岸线变化后,潮流在三墩公路顶端形成绕流现象,造成局部流速增大,最大增幅约为 0.2 m/s;而在犀牛脚附近海域,流速则下降约 0.1 m/s。岸线变化改变钦州湾原有的流态,三墩公路附近涨潮时流向由岸线变化前的东南方向变为西南向或正北向。

岸线变化对海域纳潮量有较为明显的影响。岸线变化后,海域大、小潮期间海域纳潮量分别下降约  $-1.50 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $-0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,下降幅度分别约为纳潮总量的 10.3% 和 10.9%,这与岸线向海延伸占用海域以及形成的局部海域分割导致水动力减弱有关。

岸线变化使得海域水体半交换时间延长。岸线变化前,海域水体半交换时间为 27 d;岸线变化后,海域水体半交换时间为 28 d,海域水体交换时间延长 1 d。岸线变化后,海域整体水动力变弱,削弱海域的水交

换能力,从而造成水体半交换时间的延长。

### 参考文献:

- [1] 陈金瑞,陈学恩. 近 70 年胶州湾水动力变化的数值模拟研究[J]. 海洋学报,2012,34(4):30-41.  
CHEN J R, CHEN X E. Numerical simulation of the hydrodynamic evolution of the Jiaozhou Bay in the last 70 years[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(4): 30-41.
- [2] 鲁友鹏,梁秀秀,孙昭晨,等. 杭州湾南岸岸线变化对水动力的影响累积效应[J]. 海洋环境科学,2015,34(3):384-390.  
LU Y P, LIANG S X, SUN Z C, et al. Cumulative effects of topography change on waterway's hydrodynamic along the southern coast of Hangzhou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34(3): 384-390.
- [3] 李小维,裴木凤. 铁山港湾港口总体规划用海对海水动力环境的影响预测[J]. 广西科学,2015,22(3):274-280.  
LI X W, PEI M F. Impact prediction of sea engineering of Tieshangang Bay port overall planning on hydrodynamic environment[J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(3): 274-280.
- [4] 方神光,陈文龙,崔丽琴. 伶仃洋水域纳潮量计算及演变分析[J]. 海洋环境科学,2012,31(1):76-78.  
FANG S G, CHEN W L, CUI L Q. Analysis on evolution of tidal prism of Lingdingyang Bay[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(1): 76-78.
- [5] 蒋磊明,陈波,邱绍芳,等. 钦州湾潮流模拟及其纳潮量和水交换周期计算[J]. 广西科学,2009,16(2):193-195,199.  
JIANG L M, CHEN B, QIU S F, et al. Calculation of tidal prism and water exchange period and simulation of current about Qinzhou Bay[J]. Guangxi Sciences, 2009, 16(2): 193-195, 199.
- [6] 张坤,娄安刚,孟云,等. 钦州湾海域纳潮量和水交换能力的数值模拟研究[J]. 海洋环境科学,2014,33(4):585-591.  
ZHANG K, LOU A G, MENG Y, et al. Numerical study on the tidal prism and water exchange ability of Qinzhou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(4): 585-591.
- [7] 孙永根,高俊国,朱晓明. 钦州保税港区填海造地工程对海洋环境的影响[J]. 海洋科学,2012,36(12):84-89.  
SUN Y G, GAO J G, ZHU X M. Effect of reclamation engineering in Qinzhou Bond Harbor on marine environment of Qinzhou Bay[J]. Marine Sciences, 2012, 36(12): 84-89.

(下转第 322 页 Continue on page 322)

- [15] MOOSSEN H, BENDLE J, SEKI O, et al. North Atlantic Holocene climate evolution recorded by high-resolution terrestrial and marine biomarker records [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 129: 111-127.
- [16] 巩伟明, 张朝晖. 湖光岩玛珥湖全新世时期沉积物碳氮同位素组成的环境指示意义 [J]. *高校地质学报*, 2014, 20(4): 582-589.  
GONG W M, ZHANG Z H.  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  in the sediments of Huguangyan Maar Lake as proxies for reconstructing paleo-productivity and paleo-environment in the Holocene [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2014, 20(4): 582-589.
- [17] 吴旭东, 沈吉, 汪勇. 广东湛江湖光岩玛珥湖全新世磁化率变化特征及其环境意义 [J]. *热带地理*, 2011, 31(4): 346-252.  
WU X D, SHEN J, WANG Y. Magnetic susceptibility of Huguangyan Maar Lake since the holocene and its environmental significance [J]. *Tropical Geography*, 2011, 31(4): 346-252.
- [18] 王淑云, 吕厚远, 刘嘉麒, 等. 湖光岩玛珥湖高分辨率孢粉记录揭示的早全新世适宜期环境特征 [J]. *科学通报*, 2007, 52(11): 1285-1291.  
WANG S Y, LV H Y, LIU J Q, et al. The early Holocene optimum inferred from a high-resolution pollen record of Huguangyan Maar Lake in southern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(20): 2829-2836.
- [19] 罗攀, 郑卓, 杨小强. 海南岛双池玛珥湖全新世磁化率及其环境意义 [J]. *热带地理*, 2006, 26(3): 211-217.  
LUO P, ZHENG Z, YANG X Q. Holocene magnetic susceptibility from Shuangchi Maar Lake, Hainan Island and its environmental significance [J]. *Tropical Geography*, 2006, 26(3): 211-217.
- [20] 周建超, 覃军干, 张强, 等. 广西桂林岩溶区中全新世以来的植被、气候及沉积环境变化 [J]. *科学通报*, 2015, 60(13): 1197-1206.  
ZHOU J C, QIN J G, ZHANG Q, et al. Vegetation, climate and depositional environment changes since the middle Holocene in the karst area of Guilin, Guangxi [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(13): 1197-1206.
- [21] 余克服. 南海珊瑚礁及其对全新世环境变化的记录与响应 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(8): 1160-1172.  
YU K F. Coral reefs in the South China Sea: Their response to and records on past environmental changes [J]. *Science China Earth Sciences*, 2012, 55(8): 1217-1229.
- [22] 姚衍桃, 詹文欢, 孙金龙, 等. 海南岛西北部珊瑚礁记录的中全新世海平面与构造运动信息 [J]. *科学通报*, 2013, 58(13): 1265.  
YAO Y T, ZHAN W H, SUN J L, et al. Emerged fossil corals on the coast of northwestern Hainan Island, China: Implications for mid-Holocene sea level change and tectonic uplift [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(23): 2869-2876.
- [23] 广州海洋地质调查局. 南海北部湾全新世环境演变及人类活动影响研究成果报告 [R]. 广州: 广州海洋地质调查局, 2014.  
Guangzhou Marine Geological Survey. Research report on Holocene environmental evolution and anthropogenic impact of Beibu Gulf, South China Sea [R]. Guangzhou: Guangzhou Marine Geological Survey, 2014.

(责任编辑: 尹 闯)

(上接第 315 页 Continue from page 315)

- [8] 董德信, 李谊纯, 陈宪云, 等. 大规模填海工程对钦州湾水动力环境的影响 [J]. *广西科学*, 2014, 21(4): 357-364, 369.  
DONG D X, LI Y C, CHEN X Y, et al. Impacts of hydrodynamic environment caused by large-scale reclamation in Qinzhou Bay [J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 21(4): 357-364, 369.
- [9] 许婷. 丹麦 MIKE 21 模型概述及应用实例 [J]. *水利科技与经济*, 2010, 16(8): 867-869.  
XU T. Calculation principle and application example of a two-dimensional flow Model- MIKE21 HD [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2010, 16(8): 867-869.
- [10] 魏皓, 田恬, 周锋, 等. 渤海水交换的数值研究-水质模型对半交换时间的模拟 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(4): 519-525.  
WEI H, TIAN T, ZHOU F, et al. Numerical study on the water exchange of the Bohai Sea: Simulation of the half-life time by dispersion model [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(4): 519-525.

(责任编辑: 米慧芝)