

滨州北部近岸海域冲淤特征

孙兴全¹, 吴建政^{1,2}, 朱龙海^{1,2}, 胡日军^{1,2}, 岳娜娜³

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100;

3 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要:利用表层沉积物及水深地形等实测资料,结合泥沙起动流速公式、潮流场数值模拟等方法,对滨州北部近岸海域的冲淤特征进行了初步探讨。研究表明,1983—2001 年研究区的侵蚀区域主要分布在 4 m 等深线以内,侵蚀量一般为 0.2 m 左右,套尔河河口及河口西侧侵蚀量较大,而河口以东则表现为淤积;4 m 等深线以外淤积现象明显,淤积量一般为 0.3 m,向海方向淤积量有变大的趋势。2001—2016 年,0 m 等深线以内主要以淤积为主,淤积量的高值区出现在滨州港防波堤西侧、马颊河河口附近;0~4 m 等深线之间以侵蚀为主,侵蚀量平均约 0.6 m;4 m 等深线外侧海域则主要为轻微的淤积状态,仅在滨州港防波堤头附近区域为侵蚀状态。港口工程对潮流场和波浪场的影响显著,是控制研究区冲淤变化的重要因素。

关键词:滨州北部;冲淤特征;影响因素

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.09003

海岸带的冲淤变化是河流、波浪、海流等多种自然因素及人类活动的综合作用下泥沙运移、沉积的结果。滨州北部海岸带属于粉砂质海岸,泥沙运动活跃,在风浪及潮流作用下易发生冲蚀和淤积,黄骅港、滨州港等港口工程的建设对本区潮流场和波浪场的影响十分显著,该海域的冲淤问题也愈发引起人们的关注^[1-3]。

目前,滨州北部海域的研究主要围绕生态环境^[4-7]、沉积物特征^[8-10]、岸线演化^[11,12]、悬浮泥沙运移^[13]和航道淤积^[1-3]等问题开展,对于冲淤问题的研究则主要集中于航道的淤积问题,针对滨州北部近岸海域整体的冲淤变化特征的研究并不多见。笔者以表层沉积物、海流资料、水深资料为基础,分析了滨州北部近岸海域的表层沉积物分布特征和冲淤演化特征,结合泥沙起动流速公

式、破波水深以及数值模拟等方法,探讨了研究区冲淤变化的主要影响因素。

1 研究区概况

本文研究区位于渤海湾西南部,滨州市北部,西起漳卫新河,东到洼拉沟,研究区位置见图 1。本海域东向和北东向水域开敞,波浪较大,本海区波浪主要为风浪,其次为涌浪,常浪向和强浪向均为 ENE 向,次常浪向为 E 向。潮流属正规半日潮流,在一般情况下,在外海海域的涨潮流速大于落潮流速,在大潮期,套尔河河道内的涨潮流速大于落潮流速,而在中、小潮期,河道内的落潮流速大于涨潮流速,且河道内的流速大于外海流速。涨潮流流向主要集中在偏西南向,落潮流流向主要集中在东到东北向,越向外海方向则涨潮流向越向西偏,落潮流向越向东偏,潮流的运动形式为往复流,潮流矢量的旋转方向按顺时针方向旋转^[14]。

收稿日期:2017-05-10

作者简介:孙兴全(1991—),男,在读硕士,主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail:sunxingquan2010@163.com

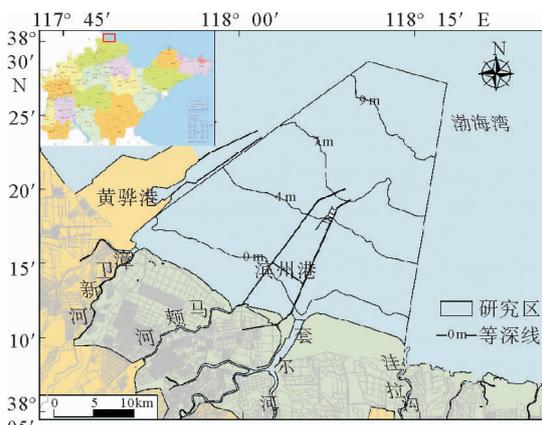


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area

2 资料与方法

2.1 表层沉积物

2016 年 8 月在滨州北部海域进行了表层沉积物的取样调查,共采集表层沉积物样品 127 个。沉积物粒度分析采用筛分法与比重计法相结合的实验方式完成,粒级划分采用乌顿—温德华氏粒级标准,粒度参数用矩法计算^[15],沉积物的分类和命名采用 Folk 法^[16]。

2.2 水深地形

2016 年 8 月利用单波束测深仪在研究区进行了水深的测量,同时本文收集了研究区附近 1983 年和 2001 年两期海图资料,利用 Surfer 软件中的插值功能对 3 期水深资料进行插值处理,之后对水深进行对比分析。

2.3 潮流场数值模拟

采用平面二维数值模型 MIKE21FM 分析研究区附近海域潮流场,水深资料使用研究区附近海域的最新实测水深地形资料以及中国人民解放军海军航海保证部制作的 1:15 万海图(11770 号、11840 号、11910 号)、1:6 万海图(11781 号)的水深地形测量资料。岸线采用以上海图中的岸界和山东省海陆勘界线勘测资料以及研究区附近海岸线勘测资料。

2.4 泥沙起动流速

笔者对研究区典型剖面的泥沙起动流速进行

计算,计算采用窦国仁^[17]于 1999 年提出了改进后的泥沙起动流速计算公式:

$$U_c = k' (\ln 11 \frac{h}{\Delta}) (\frac{d'}{d_*})^{1/6} \sqrt{3.6 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d + (\frac{\gamma_0}{\gamma_{0*}})^{5/2} \frac{\epsilon_0 + g h \delta (\delta/2)^{1/2}}{d}} \quad (1)$$

$$\Delta = \begin{cases} 1.0 \text{ mm} & \text{当 } d \leq 0.5 \text{ mm 时} \\ 2d & \text{当 } 0.5 \text{ mm} < d < 10 \text{ mm 时} \\ 2d_*^{1/2} d^{1/2} & \text{当 } d \geq 10 \text{ mm 时;} \end{cases}$$

$$d' = \begin{cases} 0.5 \text{ mm} & \text{当 } d \leq 0.5 \text{ mm 时} \\ d & \text{当 } 0.5 \text{ mm} < d < 10 \text{ mm 时} \\ 10 \text{ mm} & \text{当 } d \geq 10 \text{ mm 时;} \end{cases}$$

式中: U_c 为泥沙起动流速,cm/s;

k' 为常数,取 0.32;

h 为水深,cm;

d_* 为常数,取 10 mm;

ρ_s 为沙粒密度,g/cm³;

ρ 为水的密度,g/cm³;

g 为重力加速度,cm/s²;

d 为粒径,此处取中值粒径,cm;

γ_0 为床面泥沙干容重,t/m³;

γ_{0*} 为泥沙颗粒的稳定干容重,t/m³;

ϵ_0 为综合黏结力参数,1.75 cm³/s²;

δ 为薄膜水厚度参数, 2.31×10^{-5} cm。

2.5 破波水深

在本次研究中把波浪破碎水深作为泥沙强烈活动的水深,本文采用 Sunamura 于 1983 年提出的计算公式^[18],对研究区的波浪破碎水深进行了计算,公式如下:

$$\frac{H_b}{d_b} = 1.09 (\tan \beta)^{0.19} \left(\frac{d_b}{L_0} \right)^{-0.1} \quad (2)$$

$$\frac{H_b}{H_0} = (\tan \beta)^{0.2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.25} \quad (3)$$

式(2)、(3)中: H_b 为破波波高,m;

d_b 为波浪破碎水深,m;

H_0 为深水波高,m;

L_0 为深水波长,m;

$\tan \beta$ 为海底比降。

3 表层沉积物分布特征

研究区表层沉积物类型以粉砂和砂质粉砂为

主(图2),这两种类型的沉积物几乎覆盖了整个研究区,仅在局部分布有小范围的泥。从沉积物的分布特征来看,相对较粗的砂质粉砂主要分布于近岸区域;远岸部分则主要分布粒度相对较细的粉砂,在滨州港防波堤的堤头外分布有小范围的泥。

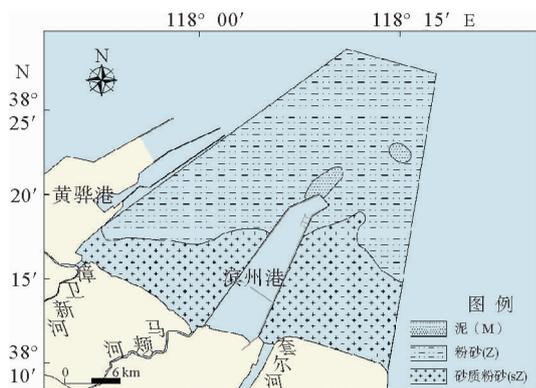


图2 研究区表沉积物类型分布

Fig. 2 The distribution of sediments in the study area

表层沉积物平均粒径变化不大(图3),在 $4.2\Phi \sim 7.7\Phi$ 之间,平均值为 5.6Φ ,在研究区东南部,平均粒径 Φ 值较小,而研究区西部平均粒径 Φ 值整体较大,大部分区域的 Φ 值 >6.1 ,与沉积物类型分布图中泥的位置对应,在滨州港防波堤的堤头附近及航道的部分位置上为 Φ 值的高值区,最大可达 7.7Φ 。

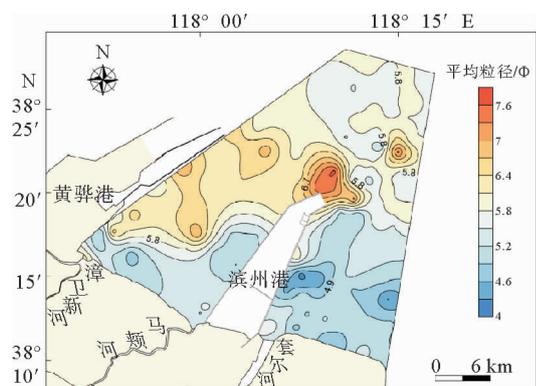


图3 研究区表沉积物平均粒径等值线

Fig. 3 The contours map of average particle size of sediments in the study area

4 冲淤演化特征

为了解研究区冲淤变化特征,根据1983年、2001年以及2016年的水深资料,对研究区不同时期的水深地形情况进行了对比。

(1) 1983—2001年水深变化

研究区从1983年到2001年水深变化不大(图4),侵蚀区域主要分布在4 m等深线以浅,侵蚀量一般为0.2 m左右,在套尔河河口及河口西侧附近侵蚀量较大,最大侵蚀量约为1.4 m,而河口以东则表现为淤积,部分区域淤积量 >0.4 m; 4 m等深线以深海域淤积现象明显,淤积量一般为0.3 m,向海方向淤积量有变大的趋势,最大淤积量约为0.8 m,研究区总体表现出近岸微冲、远岸微淤的特点。

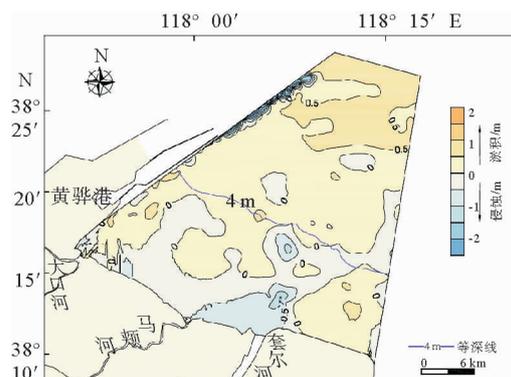


图4 1983—2001年水深变化

Fig. 4 The change in water depth in 1983-2001

(2) 2001—2016年水深变化

在2001—2016年,研究区0 m等深线以浅区域主要以淤积为主(图5),其中,滨州港防波堤西侧淤积量较大,一般为0.5 m左右,最大淤积量出现在马颊河河口附近,可达1.7 m。0~4 m等深线之间的区域以侵蚀为主,侵蚀量平均约0.6 m。4 m等深线以深海域,除滨州港防波堤堤头处附近区域处于侵蚀状态外,其余整体处于微淤积状态,淤积量一般为0.3 m,滨州港防波堤西侧区域淤积量较大,平均淤积量约0.7 m,研究区总体的冲淤特点由陆向海呈现“淤—冲—淤”的分布格局。

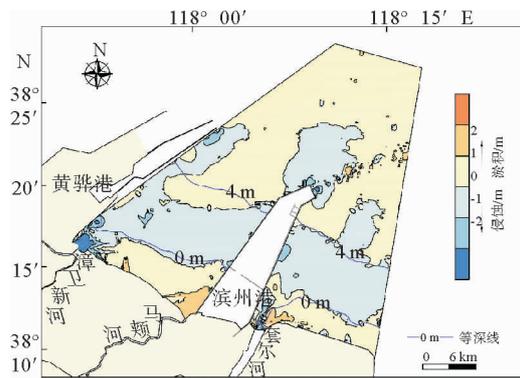


图 5 2001—2016 年水深变化图

Fig. 5 The change in water depth in 2001-2016

(3) 断面水深对比

为进一步分析研究区不同位置处的冲淤变化特征,本文在研究区内选取了 5 条典型断面,并对断面上的三期水深数据进行了对比分析,水深地形对比断面位置见图 6,断面水深变化见图 7。

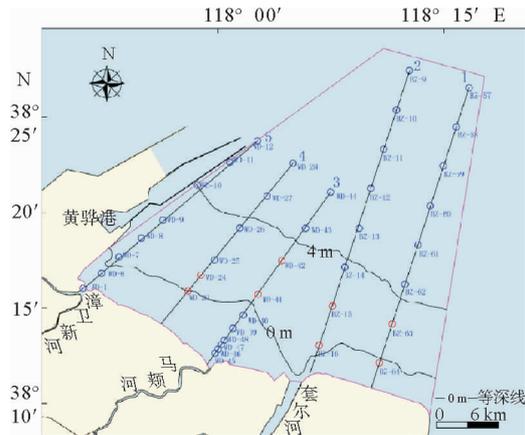


图 6 水深对比及泥沙起动流速计算断面

Fig. 6 Calculation sections for comparison of water depth and sediment flow velocity

1 号断面水深地形对比结果表明,1983 年至 2001 年海底侵蚀主要发生在离岸 8~10 km 范围内,其余全部处于淤积状态,最大淤积量约为 0.7 m;2001—2016 年,3 km 以内主要表现为微淤积,3~16 km 范围表现为侵蚀状态,平均侵蚀量约为 0.3 m,16 km 以外则呈现淤积状态,最大淤积量约为 0.8 m。

2 号断面水深地形对比结果表明,1983—2001 年在离岸 10 km 以内表现为侵蚀状态,其中

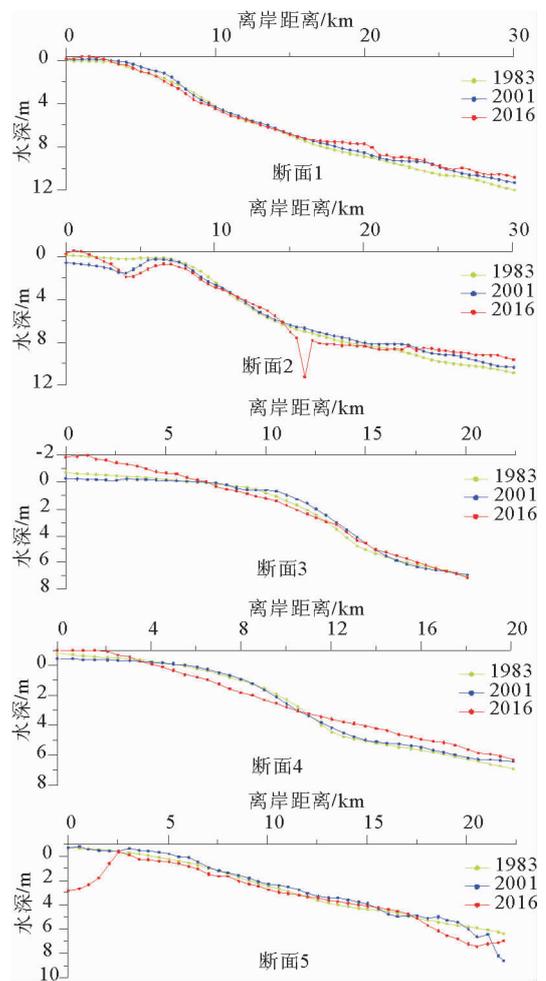


图 7 研究区断面水深变化

Fig. 7 Change in water depth of sections

0~5 km 侵蚀现象尤为明显,平均侵蚀量达 0.9 m,10 km 以外则主要处于淤积状态,并且随着离岸距离的增大其淤积量随之增大;2001—2016 年,4~11 km 和 15~24 km 范围主要以侵蚀为主,其余则处于淤积状态。

3 号断面水深地形对比结果表明,1983—2001 年离岸 10 km 以内海底主要处于侵蚀状态,其中 5~10 km 范围处于微侵蚀状态,5 km 以内侵蚀强度略有增加,平均侵蚀量约为 0.2 m;10~16 km 的范围为淤积状态,平均淤积量约为 0.4 m,16~20 km 范围水深变化较小,主要表现为微侵蚀;2001—2016 年 7 km 以内淤积现象明显,平均淤积量约为 1.0 m,其中 3 km 以内平均淤积量约为 1.5 m,7~15 km 的范围则主要表现为侵蚀状态,平均侵蚀量约为 0.5 m,15~20 km 的范围

则以微淤积为主。

4号断面水深地形对比结果表明,1983—2001年的水深变化较小,整体处于冲淤动态平衡状态;在2001—2016年间,离岸3 km以内表现为淤积状态,平均淤积量约为0.5 m,3~11 km处于侵蚀状态,平均侵蚀量约为0.5 m,11~20 km则以淤积为主,淤积量一般为0.6 m左右。

5号断面水深地形对比结果表明,1983—2001年在离岸20 km以内的海底主要处于淤积状态,淤积量一般在0.3 m左右,20~22 km表现为侵蚀状态,平均侵蚀量约为1.1 m;在2001—2016年间,除离岸16 km附近表现为淤积现象外,该断面基本上处于侵蚀状态,其中,2.5 km以内侵蚀显著,平均侵蚀量约为2.2 m,18~21 km范围侵蚀量略有减小,平均约为1.0 m,其余位置的侵蚀量相对较小,一般在0.5 m左右。

5 冲淤环境影响因素

影响近岸海域冲淤环境因素主要包括泥沙来源、潮流、波浪等水动力因素以及人类的开发活动的影响等方面。

5.1 泥沙来源

沉积物的来源方面,河流携带的泥沙则尤为重要,在1904—1929年间,黄河在套尔河附近入海,该区的岸滩及水下三角洲主要来自于黄河入海泥沙的贡献,现今套尔河河口以外的浅滩表层沉积物就是由古黄河所携带的泥沙在潮流、波浪等作用下形成的^[12]。之后黄河改道,特别是1976年改从清水沟入海后,黄河泥沙对本区几乎无直接影响,河口外浅滩处于侵蚀环境^[1]。套尔河、马颊河以及漳卫新河是注入研究区海域的3条主要河流,目前,3条河流入海泥沙供应量相对较少^[1],其影响范围主要局限于河口附近,因此,目前研究区的泥沙主要来自近岸海域泥沙的再搬运和再沉积,也就是主要在潮流和波浪的作用下,研究区附近的泥沙进行内部调整。

5.2 潮流

为了解潮流对本区底层泥沙运动的影响,笔者利用窦国仁泥沙起动公式^[17],基于研究区表层

沉积物粒度及潮流场的数值模拟结果,对研究区的泥沙起动流速进行了计算,计算结果见图6(图6中红色圆圈代表潮流能够起动海底泥沙的站位)。

在本次泥沙起动流速计算的40个站位中,潮流能够起动海底泥沙的站位仅有8个,分别为1号断面中的BZ64、BZ63,2号断面中的BZ16、BZ15,3号断面中的WD41、WD42以及4号断面中的WD23、WD24,集中分布于研究区0 m等深线和4 m等深线之间,这些站位所在位置的海底泥沙能够在潮流的作用下起动并发生搬运。从2001—2016年水深对比结果(图5)可以看出,潮流能够起动底层泥沙的站位均位于图中的侵蚀区域内,可能是造成该区域侵蚀的原因之一,但是,潮流能够起动底层泥沙的站位较少,其范围远小于侵蚀区域的范围,这说明潮流虽然是研究区海底泥沙起动运移的因素之一,但其对于底层泥沙起动作用的范围有限,潮流对于研究区冲淤环境的作用主要表现在对于泥沙的搬运作用。

5.3 波浪

为了解波浪对研究区海底泥沙的起动作用,本文利用Sunamura提出的计算公式^[18],对研究区的波浪破碎水深进行了计算。结果表明(表1),在正常天气条件下,研究区的波浪破碎水深约在4 m左右,这与水深变化中本区域侵蚀区的边界基本一致,并且包含了潮流能够起动海底的范围。因此,在海底泥沙的起动方面,波浪的作用较潮流更为显著,作用范围也更大,是研究区海底泥沙起动的主要因素,也是造成研究区4 m等深线以浅海域发生侵蚀的主要原因,破波带内海底泥沙容易在波浪的作用下掀起,并在波浪和潮流的共同作用下发生运移,在泥沙供应相对不足的情况下,造成除防波堤两侧的近岸区域以外,破波带

表1 波浪破碎水深计算结果

Table 1 Calculation of wave breaking water depth

重现期	浪向	有效波高 $H_{1/3}/m$	谱峰周期 T_s/s	破碎水深 d_b/m
2年一遇	N	2.79	6.71	4.0
	NE	2.92	7.19	4.2
	ENE	2.92	7.02	4.2

内多表现为侵蚀现象,而在 4 m 等深线以深的海域,由于在正常天气条件下潮流和波浪均不能起海底泥沙,从其他区域搬运来的泥沙在此沉积,因此多表现为淤积现象。

5.4 港口建设

港口工程的建设对该海域的冲淤演变影响显著,黄骅港、滨州港防波堤等工程的建设极大改变了研究区的潮流场和波浪场,图 8、9 分别为滨州港防波堤建设前后潮流场的数值模拟结果。在滨州港防波堤建设前,涨潮流整体上由 NE 向往 SW 向流,在防波堤建成后,在滨州港西侧潮流流向由向 SW 流转为向 SSW 流,在防波堤顶部,受潮流作用的影响,流速较大,另外,此处靠近滨州港航道,航道的疏浚使得航道内高程显著减小,同时,受水动力环境变化影响,疏浚区周边海底泥沙向疏浚区内回淤,使其海底呈现冲刷状态,这是 2001—2016 年滨州港防波堤堤头处附近区域由建成前的淤积状态变为建成后的侵蚀状态的重要原因,而在防波堤顶部的东侧夹角处,流速则明显较低,水深的对比中也表明此处为淤积区域(图 5)。防波堤的建设同样改变了研究区的波浪场,在防波堤西侧根部形成波影区,大量泥沙在此堆积,从而导致滨州港防波堤西侧、马颊河河口附近区域淤积作用显著。由此可见,防波堤等港口工程的建设对研究区尤其是工程附近海域的冲淤环境影响较大,是研究区冲淤演变的重要因素。

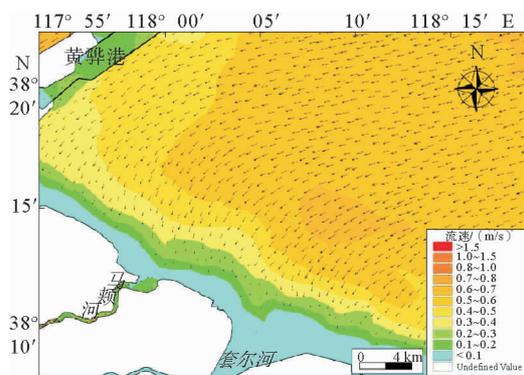


图 8 滨州港防波堤建设前潮流场(大潮涨急时)

Fig. 8 The tide flow field before the construction of the Binzhou harbor breakwater (maximum flood during a spring tide)

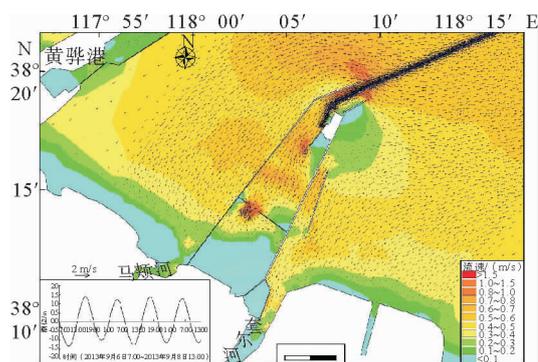


图 9 滨州港防波堤建设后潮流场(大潮涨急时)

Fig. 9 The tide flow field after the construction of the Binzhou harbor breakwater (maximum flood during a spring tide)

6 结论

(1)研究区从 1983 年到 2001 年发生侵蚀的区域主要位于 4 m 等深线以浅海域,4 m 等深线以深主要处于淤积状态,总体表现出近岸微冲、远岸微淤的特点;在 2001—2016 年,0 m 等深线以浅海域主要以淤积为主,0~4 m 等深线之间的区域以侵蚀为主,4 m 等深线以深海域主要表现为微淤积状态,由陆向海总体呈现“淤—冲—淤”的分布格局。

(2)潮流对于底层泥沙起动作用的范围有限,其作用主要为对泥沙的搬运;波浪是研究区海底泥沙起动的主要因素,并在波浪和潮流的作用下发生运移。

(3)港口工程的建设对研究区水动力环境影响较大,导致防波堤堤头附近由淤积变为侵蚀状态,防波堤西侧根部由侵蚀变为淤积状态,是影响研究区冲淤演变的重要因素。

参考文献:

- [1] 左军,严冰,刘涛,等. 滨州港附近海域水沙环境特征分析[J]. 水道港口, 2016, 37(4):385-391.
- [2] 胡日军,吴建政,朱龙海,等. 黄骅港抛泥区泥沙运移及对航道淤积的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(1):49-56.
- [3] 郝品正,冯小香,李君涛,等. 滨州港外航道大风天泥沙淤积沿程分布预报[J]. 中国港湾建设, 2007, 152(6):24-27.
- [4] 许国晶,王志忠,张金路,等. 春季滨州浅海水域环境质量现状分析及评价[J]. 海洋湖沼通报, 2014(2):147-154.
- [5] 谷奉天,王兆永. 滨州海岸带滩涂开发海水种植业的建议与对策[C]//2012 年山东省科协学术年会, 2012.

- [6] 毛天宇, 戴明新, 彭士涛, 等. 近10年渤海湾重金属(Cu, Zn, Pb, Cd, Hg)污染时空变化趋势分析[J]. 天津大学学报, 2009, 42(9): 817-825.
- [7] 巩俊霞, 张金路, 周长志, 等. 滨州浅海海域浮游植物丰度及其多样性[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 63-69.
- [8] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 139-147.
- [9] 李建伟, 吴建政, 胡日军, 等. 渤海湾西南部海域表层沉积物分布特征[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(9): 11-17.
- [10] 郝媛媛, 冯小香. 滨州港海域沉积物特性分析[J]. 水道港口, 2009, 30(3): 164-169.
- [11] 张立奎, 吴建政, 李巍然, 等. 渤海湾西部与南部海岸线和潮滩演变及其影响因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 21-27.
- [12] 李金合, 周振忠, 张庆河. 滨州港海域泥沙运动遥感图像分析[J]. 中国港湾建设, 2007, 148(2): 5-8.
- [13] 孙连成. 渤海湾西南部近海水域风天含沙量分布特征[J]. 泥沙研究, 1991(1): 52-56.
- [14] 李建伟. 渤海湾西南部海域海底沉积物分布特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [15] Mcmanus J. Grain size determination and interpretation [M] // Tucker Med. Techniques in Sedimentology. Oxford: Backwell, 1988: 63-85.
- [16] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3-26. <http://hdl.handle.net/1969.3/21436>
- [17] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究, 1999(6): 1-9.
- [18] 杨家轩, 李训强, 朱首贤, 等. 基于水槽实验的近岸波浪破碎计算研究[J]. 海洋通报, 2015, 34(1): 45-51.

SCOURING AND SILTING CHARACTERISTICS OF THE COASTAL WATERS IN NORTHERN BINZHOU

SUN Xingquan¹, WU Jianzheng^{1,2}, ZHU Longhai^{1,2}, HU Rijun^{1,2}, YUE Nana³

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques,

Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

3 The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: In this paper, the scouring and silting characteristics of the northern coastal waters of Binzhou are discussed upon the measured data for surface sediments and water depth, with the help of sedimentation velocity formula for numerical simulation of tidal current field. The results show that from 1983 to 2001, erosion happened mainly in the area shallower than 4m, the amount of erosion is about 0.2 m in average and the area with largest erosions appears in the estuary of the Taoer River and the area on the west side of the estuary, while the east of the estuary is under siltation. Siltation is obvious in the area outside the 4m isobaths and the total amount of deposition is about 0.3 m. The volume of siltation tends to increase as the water depth increases. From 2001 to 2016, the area within the 0m isobath is mainly under siltation, with the strong siltation area near the Majia River estuary in the west side of the Binzhou harbor breakwater. The area between 0~4 m isobath is mainly under erosion, and the average amount of erosion is about 0.6m. The area outside of the 4m isobath is mainly in a slight siltation state, and the erosion occurs only in the area near the embankment of the Binzhou Port. The influence of port engineering is suspected the major factor in controlling the scouring and silting regimes in the study area.

Key words: northern of Binzhou; characteristics of scouring and silting; influencing factors