

东营港海域冲淤特征

罗宗杰¹, 吴建政^{1,2}, 胡日军^{1,2}, 朱龙海^{1,2}

(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)

摘要:东营港附近海岸是典型的粉砂质海岸,其周边海域泥沙运动活跃,岸滩冲淤变化显著。近年来,海岸工程建设对其沉积动力环境造成显著影响。基于东营港海域 2007 年和 2015 年实测水深数据,利用水深地形对比、数值模拟和流速对比的方法,探讨了东营港海域冲淤特征及其影响因素。结果表明:研究区整体呈近岸侵蚀、离岸淤积的状态,自飞雁滩向东营港。其冲淤平衡点水深由 9 m 变化至 6 m;飞雁滩附近海域泥沙易于起动,海底侵蚀增强,侵蚀产生的泥沙有随 SE 向流运移的趋势;研究区最大波浪破碎水深为 6 m 左右,东营港附近海域冲淤平衡点水深与该水深相对应;海岸工程建设造成局部海域冲淤趋势改变,东营港防波堤堤头周围海域侵蚀强烈,堤坝两侧显著淤积。

关键词: 东营港海域;数值模拟;冲淤特征;影响因素

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.12006

东营港位于现代黄河三角洲北部岸段、莱州湾与渤海湾交界处,该岸段是典型的粉砂质海岸^[1]。在波浪、潮流等海洋动力作用下,粉砂质海岸泥沙运移活跃,局部地区海岸工程建设会对冲淤环境产生显著影响^[2]。笔者通过对东营港及周边海域冲淤特征及其影响因素进行了研究,探讨了粉砂质海岸的泥沙运移及冲淤变化规律。

1 研究区概况

东营港附近海岸和水下地形地貌由 1972—1976 年黄河刁口河的流路行水入海泥沙堆积而成,以粉砂沉积为主,岸滩坡度为 0.1‰~0.15‰,宽阔平缓^[3]。自 1976 年 5 月黄河改道清水沟后,入海口北部的海岸便失去了物源的补给^[4],使得东营港西北侧飞雁滩岸段侵蚀严重;直至 2000 年,飞

雁滩附近 10 m 水深以外海域侵蚀速度才显著减小^[5]。而在东营港附近,1984—2004 年海底地形冲淤变化比较微弱^[6],仅多年一遇(25,50 a)大风作用下,近岸海域才可能发生明显冲刷^[7]。

东营港自 1984 年开始建设至今已 30 余年^[8],现建有东营港引桥、防波堤及码头泊位等,东营港建设情况见图 1。

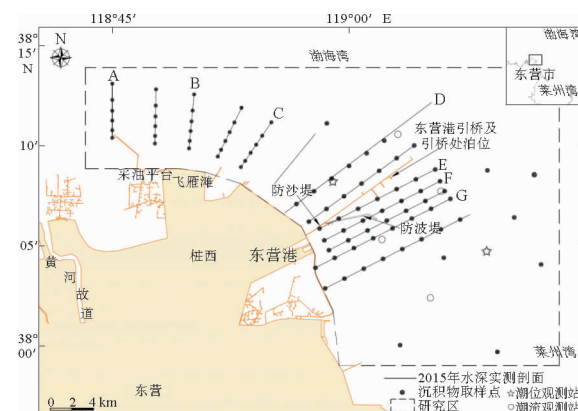


图 1 研究区与水深地形剖面位置

Fig. 1 Location of the study area and tracks of the depth survey

收稿日期:2016-05-17

作者简介:罗宗杰(1990—),男,在读硕士,主要从事海洋地质学方面的研究工作. E-mail:zbjerry123@foxmail.com

2 资料及方法

2.1 水深地形对比

2015 年 5 月和 10 月在研究区海域进行了 13 个剖面的水深测量,剖面位置见图 1。同时,收集了黄河水利委员会 2007 年的水深测量资料,水深测量高程基准均为 1985 年国家高程。利用 2015 年实测水深数据与 2007 年实测数据进行剖面对比,获得水深地形变化特征。

2.2 沉积物资料

在对研究区水深测量的同时进行了表层沉积物取样,取样站位共计 88 个(图 1),采用筛析与沉降相结合的方法进行粒度分析^[9],粒度参数采用 McManus 矩法公式^[10]进行计算。

2.3 水文资料

2.3.1 波浪

研究区海浪以当地风生浪为主。常浪向为 S 向,频率为 10.3%;强浪向为 NE 向,频率为 4.73%。从波高出现频率看,波高 >2.5 m 的波浪占 1.02%; $2.0\sim 2.5$ m 的波浪占 2.58%; $1.0\sim 2.0$ m 的浪高占 12%; $0.5\sim <1.0$ m 浪高占 49.75%;波高 <0.5 m 的波浪占 34.65%^[11]。实测最大波高 5.2 m,其 $H_{1/10}$ 波高为 4.4 m,对应周期为 7.9 s,波向为 NE 向。

2.3.2 潮流

研究区潮汐类型为正规日潮,而海区潮流类型为正规半日潮流,潮流运动形式以 NW—SE 向往复流为主。由于海区潮汐类型与潮流类型不同,水深变化曲线不规则,涨潮和落潮时段内水流均发生转向(图 2),因此,以 NW 和 SE 向海流描述潮流特征较为客观。

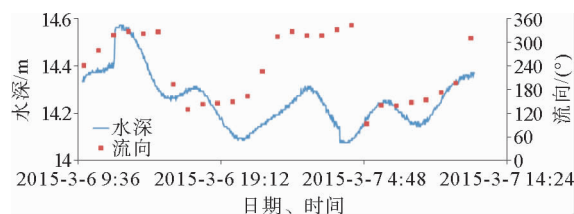


图 2 研究区大潮期水深变化曲线与流向

Fig. 2 Tide curve and directions during spring tide

通过潮流数值模拟方法获得研究区潮流场特征。大潮期 SE 向海流流速由西北部向东南部流速逐渐减小,飞雁滩附近海域平均流速在 0.7 m/s 左右;东营港附近平均流速在 0.6 m/s 左右,仅东营港防波堤堤头处平均流速在 0.8 m/s 以上;防波堤对潮流的阻挡作用也比较明显,使堤坝北侧和南侧流速存在明显差值,防波堤北侧平均流速在 0.5 m/s 以上,防波堤南侧平均流速不到 0.3 m/s;东营港以南海域平均流速在 0.45 m/s 左右。研究区 NW 向海流平均流速比 SE 向海流要小 0.1 m/s 左右,持续时间略短于 SE 向海流。东营港附近 SE 向及 NW 向海流流场如图 3。

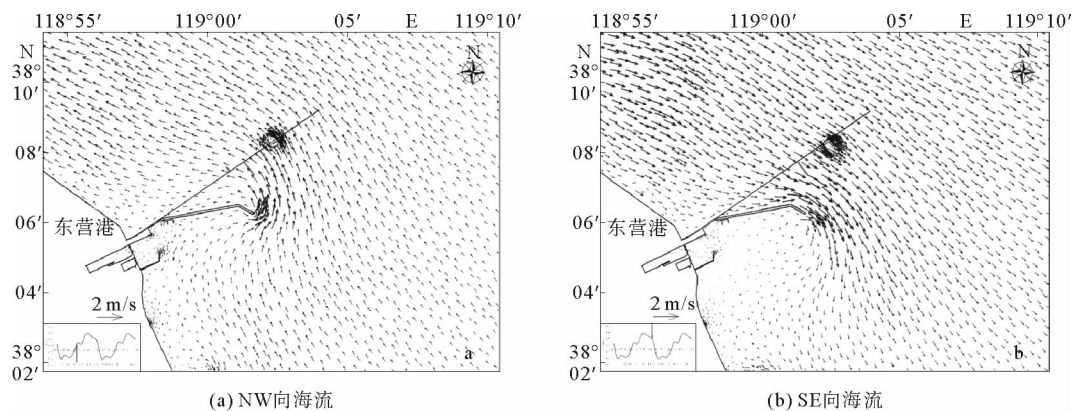


图 3 东营港附近海域潮流场

Fig. 3 Tide field in Dongying Harbor area

2.4 冲淤数值模拟

本文冲淤数值模拟采用 MIKE21 软件中的 MT 泥沙模块进行模拟计算^[12]。模拟过程运用沉积粒度参数计算沉积物临界起动剪应力与海底剪应力的比值和差值来判断泥沙起动与沉降,并且应用于泥沙运动控制方程;大风资料根据 1996—2000 年的统计数据输入。

2.4 流速计算和对比

利用潮流流速起动流速对比的方法,分别探讨波浪和潮流对研究区冲淤变化的影响。其中,泥沙起动流速采用窦国仁^[13]公式计算,潮流流速从数值模拟结果中提取。

3 冲淤特征

3.1 水深地形对比

由于研究区内水深地形实测剖面较多,本文选取有代表性的、可以反映研究区冲淤环境变化的剖面进行描述。研究区飞雁滩北侧海域取 A、B、C 3 条剖面、东营港附近海域取 D、E、F、G 4 条剖面进行对比,剖面位置见图 1。

A—C 剖面(图 4)位于飞雁滩附近海域,3 条剖面水深均为 9 m 以浅表现为侵蚀特征,在 5~6 m 水深左右侵蚀最为强烈。其中,A 剖面位于采油平台堤坝西侧,侵蚀严重,侵蚀速率在 0.5 m/a 以上;B 剖面平均侵蚀速率在 0.075 m/a;C 剖面侵蚀强度较之 B 剖面要强,平均侵蚀速率接近 0.2 m/a。从 2015 年水深剖面形态上看,除 A 剖面处堤坝建设引起堤头出现侵蚀坑以外,B、C 剖面呈现明显的下凹,下凹的情况较之 2007 年水深剖面要更为明显。

东营港附近 D—G 剖面(图 5)以淤积为主,水深约 6 m 以深海域表现为淤积特征,但淤积强度较小,8 年淤积量在 1 m 左右,平均淤积速度约为 0.125 m/a。反观 D—G 剖面侵蚀区,E、F 剖面近岸受到东营港突堤建设及港池疏浚影响,侵蚀区位置与侵蚀范围并不规则,与两侧的 D、G 剖面侵蚀区相比有较大的差异,E 剖面近岸 1 km 以内淤积,1~2 km 范围内侵蚀;F 剖面近岸 2.5 km 以内海域由于港池疏浚侵蚀明显。

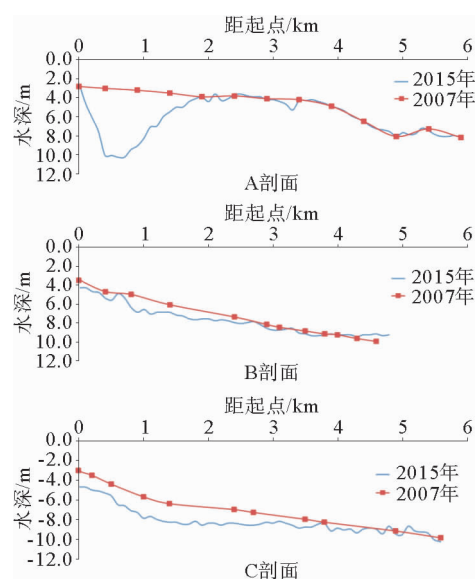


图 4 飞雁滩附近海域水深地形剖面对比

Fig. 4 Depth profiles in Feiyan shoal

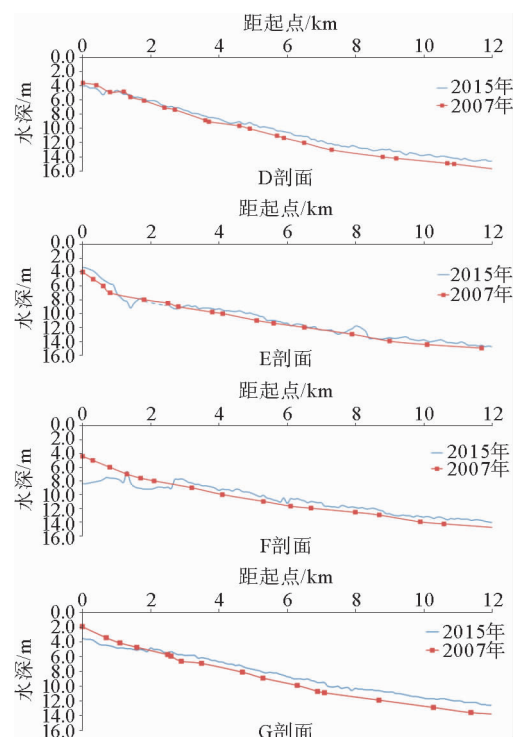


图 5 东营港附近海域水深地形剖面对比

Fig. 5 Depth profiles in Dongying Harbor area

综上所述,整个研究区处于近岸冲刷、离岸淤积状态,自飞雁滩向东营港侵蚀范围及侵蚀强度逐渐减弱,淤积范围逐渐扩大。研究区局部冲淤特征受到人为因素影响显著,飞雁滩西北侧采油平台堤头侵蚀强烈,东营港港区处由于突堤建设

与港池疏浚的影响,侵蚀区位置及侵蚀范围都与周边海域有明显差别。

3.2 冲淤数值模拟结果

研究区地形地貌冲淤数值模拟结果见图 6。由图 6 可知,研究区飞雁滩北侧至东营港防波堤东北侧海域呈侵蚀的状态。可分为飞雁滩采油平台西北侧、东营港防波堤堤头及飞雁滩与东营港近岸过渡带等 3 个侵蚀区。其中,飞雁滩采油平台西北侧海域侵蚀量约为 0.5 m;东营港防波堤建设产生的沿堤流也对防波堤堤头东北侧海域造成较大的侵蚀,中心最大侵蚀量接近 1.0 m;飞雁滩与东营港近岸过渡带侵蚀量为 0.3 m 左右,中心最大侵蚀量接近 0.7 m。

淤积区主要集中在东营港及东营港东南侧海域,在东营港防波堤北侧及南侧都呈现较为强烈的淤积特征。其中,防波堤北侧与引桥交接处淤积严重,淤积量为 0.3 m 左右,中心处淤积量接近 0.5 m;防波堤西南侧淤积量为 0.2 m 左右,淤积强度较之防波堤北侧要弱。

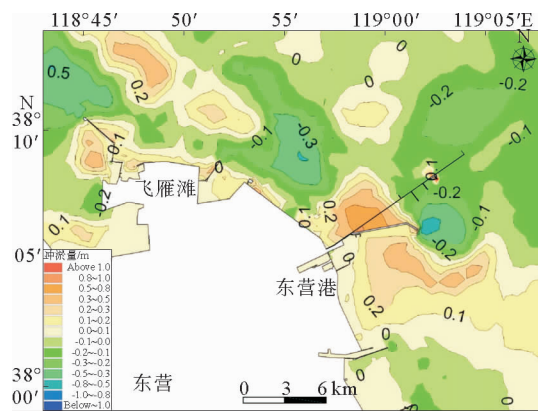


图 6 研究区海域冲淤变化趋势

Fig. 6 The deposition/erosion pattern of the research area

4 影响因素

冲淤影响因素包括泥沙来源、海洋动力因素和人为因素。由于在 $37^{\circ}50'N$ 附近存在一个泥沙锋面,挡住了向北运移的泥沙,黄河泥沙向北运移距离最远仅约 15 km^[14],而研究区在现黄河入海口北侧约 50 km 岸段,研究区失去泥沙供给,近

岸海域侵蚀明显。

波浪和潮流应是研究区地形地貌塑造的主要动力,由于研究区近岸海域侵蚀明显,波浪掀沙起主要作用,离岸淤积范围受潮流作用控制。海岸工程建设可以改变局部海域的波浪场和潮流场,造成冲淤趋势变化。

4.1 潮流输沙

研究区沉积物起动流速分布如图 7 所示。从图 7 中可以看出,飞雁滩附近海域起动流速在 30~40 cm/s,至东营港后,起动流速逐渐增大至 50 cm/s 左右;在东营港引桥泊位及防波堤附近沉积物颗粒较细,平均粒径 $<6.5\Phi(0.011\text{ mm})$,起动流速在 80 cm/s 以上。

笔者通过潮流数值模拟结果提取的大潮期 SE 向流流速与沉积物起动流速做差值,获得潮流流速与泥沙起动流速差值分布图(图 8)。从图中可以看出,仅东营港引桥附近及防波堤南侧部分海域泥沙无法起动,飞雁滩西北侧海域及东营港防波堤堤头流速与沉积物起动流速差值在 40 cm/s 以上,泥沙更易于起动,使得两处海域侵蚀较为强烈。

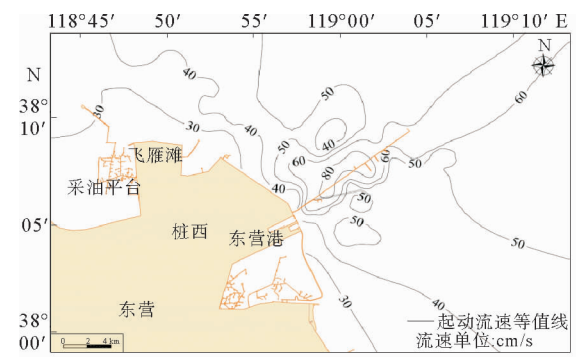


图 7 研究区沉积物起动流速分布

Fig. 7 Distribution of sediment incipient velocities in research area

由于研究区 SE 向流流速和持续时间均大于 NW 向流,研究区内侵蚀产生的泥沙有随 SE 向流运移的趋势,飞雁滩附近海域侵蚀更为强烈。潮流流速由西北向东南流速逐渐减小,水流中挟带的泥沙逐渐卸载,沉积于东营港引桥及防波堤附近海域,造成该处淤积速率增大。

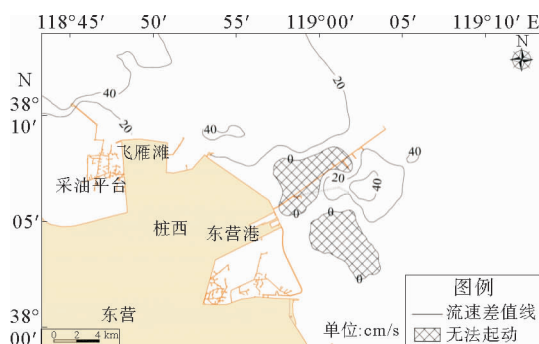


图 8 潮流流速与泥沙起动流速差值分布

Fig. 8 Spatial distribution of difference between tide velocity and incipient velocity

4.2 波流共同作用下的冲淤分析

波浪在破波带之内有着较强的掀沙作用。据东营港海域波浪调查资料,海区实测最大波高为 5.2 m,所对应的波浪破碎水深在 6 m 左右,研究区在该水深以内海域受波浪影响显著。在 6 m 水深以内,随着水深的减小,波浪破碎的频率逐渐增大,海底侵蚀逐渐增强;而在 6 m 水深以外,波浪作用逐渐减弱。破波带内掀起泥沙较多,离岸运移形成了近岸侵蚀、离岸淤积的冲淤趋势。

由于研究区飞雁滩附近潮流流速较大,波流共同作用下加强的飞雁滩附近海域的侵蚀,使得飞雁滩附近海域 6 m 水深之内海域侵蚀较强,该水深以外侵蚀逐渐减弱,冲淤平衡点在 9 m 水深位置;而在东附近,冲淤平衡点水深恰好与最大波浪破碎水深 6 m 相对应。

4.3 海岸工程建设

研究区飞雁滩附近采油平台堤坝建成已久,堤头处水流速度加剧,堤头西侧海域出现冲刷坑;堤坝与 NE 向强浪存在较大交角,堤头 NE 侧为迎浪面,该侧明显增水,背浪面水位低于迎浪面水位,导致迎浪面水流沿堤向背浪面转移,在堤头形成沿堤流^[15],加快了由东向西水流流速,使得堤头侵蚀更为强烈。

东营港防波堤堤头侵蚀原因在前文中已有阐述,而该处 2015 年与 2007 年水深地形对比结果为淤积特征。据周永东等^[3] 2008 年沉积物调查分析结果可知,防波堤未建设前平均粒径在 $6\Phi \sim 7\Phi$ 之间,泥沙起动流速在 70 cm/s 左右,潮流流

速在未受到沿堤流影响的情况下为 50~60 cm/s 之间,泥沙无法起动,海域呈现淤积的特征;防波堤建设后堤头流速在 80 cm/s 以上,底床沉积物遭受冲刷,使得粒径逐渐变粗,泥沙易于起动,侵蚀更为强烈。

在防波堤北侧、南侧及东营港港区处,水流受防波堤阻挡,流速急剧减小至 30 cm/s,泥沙无法起动,且 SE 向流从飞雁滩侵蚀区带来的部分泥沙受到防波堤阻挡而沉积,也使防波堤北侧淤积强度大于南侧。

5 结论

(1)研究区海域整体呈近岸侵蚀,离岸淤积的状态。其中,飞雁滩附近海域在 9 m 水深以内的海域以侵蚀为主,自飞雁滩向东营港侵蚀范围及侵蚀强度逐渐减弱,淤积范围逐渐扩大,东营港附近海域水深约 6 m 以外海域表现为淤积特征。

(2)潮流作用下,飞雁滩附近海域泥沙易于起动,海底侵蚀较强;由于研究区 SE 向海流流速和持续时间均大于 NW 向流,研究区内侵蚀产生的泥沙有随 SE 向海流运移的趋势。

(3)研究区最大波浪破碎水深在 6 m 左右。飞雁滩附近海域 6 m 水深之内海域侵蚀较强,该水深以外侵蚀逐渐减弱;东营港附近冲淤平衡点水深与该水深相对应。

(4)研究区海岸工程建设对局部冲淤环境影响显著。东营港防波堤的建设使堤头形成沿堤流,海域强烈侵蚀,侵蚀量接近 1.0 m,而堤坝对水流的阻挡使堤坝两侧产生淤积,淤积量为 0.3 m 左右。

参考文献:

- [1] 薛冰寒,王轲道,彭善玲,等. 影响粉砂质岸滩地貌变化的因素及其作用——以东营港附近岸滩为例[J]. 科技向导, 2014(36):177-178.
- [2] 李孟国,曹祖德. 粉砂质海岸泥沙问题研究进展[J]. 泥沙研究, 2009(2):72-80.
- [3] 周永东,陈沈良,谷国传,等. 东营港海域表层沉积物分布及其运移趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(3): 31-38.
- [4] 李春雨. 黄河三角洲北部海域的冲淤演化与成因[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(11):17-21.
- [5] 陈沈良,张国安,陈小英,等. 黄河三角洲飞雁滩海岸的侵蚀及机理[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(3):9-14.

- [6] 刘建立,丁继胜,仲德林,等. 黄河三角洲前缘桩 106 至黄河海沿岸段海底地形冲淤变化研究[J]. 海洋科学进展, 2006,24(4):539-545.
- [7] 冯秀丽,王园君,黄明全,等. 黄河三角洲桩西至黄河海沿岸海域冲淤演化特征研究[J]. 海洋科学,2008,32(9):12-17.
- [8] 陈兆林,李卫国,刘 锐,等. 东营港海区悬沙特征及冲淤分析[J]. 海洋工程,2009,27(2):110-114.
- [9] 王益民,吴建政,朱龙海,等. 文登近岸海域表层沉积物分布特征及影响因素[J]. 海洋地质前沿,2014,30(8):23-28.
- [10] McManus J. Grain size determination and interpretation [M]// Tucker Med. Techniques in Sedimentology. Oxford: Blackwell, 1988: 63-85.
- [11] 李 平,朱大奎. 波浪在黄河三角洲形成中的作用[J]. 海洋地质与第四纪地质,1997,17(2):40-47.
- [12] 张 盼. 莱州湾西南部现代沉积环境研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [13] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究,1999(6): 5-9.
- [14] 李文涛. 东营港内航道淤积问题分析[J]. 海岸工程, 2001,20(1):1-8.
- [15] 吴明阳,冯玉林. 黄骅港沿堤流的研究[A]. 《水动力学研究与进展》编委会、中国力学学会、中国造船工程学会等: 2004:10.

CHARACTERISTICS OF EROSION AND DEPOSITION IN DONGYING HARBOR AREA

LUO Zongjie¹, WU Jianzheng^{1,2}, HU Rijun^{1,2}, ZHU Longhai^{1,2}

(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)

Abstract: The Dongying Harbor is a silty coast. The movement of sediments is rather active and the change in deposition and erosion obvious there. Recent coastal engineering construction has made outstanding effects on the dynamic environment. According to the measured bathymetric data in 2007 and 2015, with the methods of depth profiles comparison, numerical simulation and moving velocity comparison, the characteristics and influence factors of erosion and deposition in the Dongying Harbor area are researched in this paper. Results show that the study area is characterized by erosion near coast and deposition offshore. From the Feiyan Shoal to the Dongying Harbor, the balance depth of erosion and deposition change from 9m to 6m. Sediment is easy to move at the Feiyan Shoal southeastwards by the coastal current. As the result, there is stronger erosion of seabed on the Feiyan Shoal. The maximum depth of wave break is about 6m, the balance depth of erosion and deposition near the Dongying Harbor is corresponding to it. Coastal engineering construction has changed the tendency of erosion and deposition in some parts of the research area. The head of breakwaters in the Dongying Harbor is under intense erosion. And deposition appears at the both sides of the breakwaters.

Key words: Dongying Harbor Area; characteristics of erosion and deposition; numerical simulation; influence factor