

莱州湾西部海域表层 沉积物运移趋势

陈文良¹, 郑世民², 朱龙海^{1,3}, 胡日军^{1,3}

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2 山东高速物流投资有限公司, 山东潍坊 261100;
3 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:根据 2007、2014 和 2015 年莱州湾西部海域 238 个表层沉积物取样和分析资料, 利用二维粒径趋势分析方法(GSTA)分析了研究区海域表层沉积物的运移趋势, 并探讨了潮流和波浪对海底泥沙起动的影响。结果表明, 研究区内分为多个沉积中心和侵蚀中心; 单纯潮流作用能起动大部分表层沉积物, 不能起动的区域主要集中在废弃黄河口西南侧近岸海域以及潍坊港东北侧海域; 波浪作用下泥沙强烈活动水深范围广泛。

关键词:莱州湾西部; 表层沉积物; 运移趋势

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.11002

研究区位于渤海南部莱州湾西部海域, 其沉积特征主要受现代黄河入海泥沙的影响。前人对莱州湾的研究较为丰富, 如张盼^[1]初步建立了莱州湾西南部现代沉积环境的综合分区; 王昆山和石学法^[2]总结了黄河口以及莱州湾内表层沉积物的重矿物特征; 江文胜和王厚杰^[3]研究得出高浓度悬浮物以废弃黄河口为起点向外延伸到莱州湾中部, 而不会到达湾顶; 陈明波^[4]研究了莱州浅滩附近表层沉积物的分布特征以及控制因素等等, 但对莱州湾内大范围表层沉积物运移规律的研究相对较少。本文根据 2007、2014 和 2015 年在研究区 238 个表层沉积物样品的平均粒径、分选系数以及偏态等粒度参数, 利用 Gao 和 Collins 提出的二维粒径趋势分析模型(GSTA)^[5]研究了莱州湾西部海域表层沉积物的运移趋势, 并探讨了其影响因素。

1 研究区概况

研究区(图 1)位于郯庐断裂带以西的沉陷区, 水深在 0~12 m 之间, 坡度 0.1‰~0.3‰^[6]。研究区泥沙来源主要包括黄河、小清河、弥河、潍河等河流入海泥沙以及海岸侵蚀来沙等, 其中黄河入海泥沙是主要的泥沙来源。研究区年平均降水量在 571.9 mm 左右, 常风向为 SSE 向, 常浪向为 NE 向, 次常浪向为 NNE 向; 潮汐为不规则半日潮, 潮流主要为不正规半日潮流, 运动形式以往复流为主。

2 资料与方法

2.1 表层沉积物

2014 年 10 月、2015 年 5 月, 中国海洋大学在研究区进行了 12 个和 19 个站位的表层沉积物取样。其余 207 个表层沉积物资料为 2007 年在莱州湾海域所取得的。表层沉积物站位如图 1 所示。

收稿日期:2016-05-17

基金项目:国家自然科学基金项目(41106039)

作者简介:陈文良(1987—), 男, 硕士, 主要从事海洋地质学研究工作. E-mail: cwlouc_love@126.com

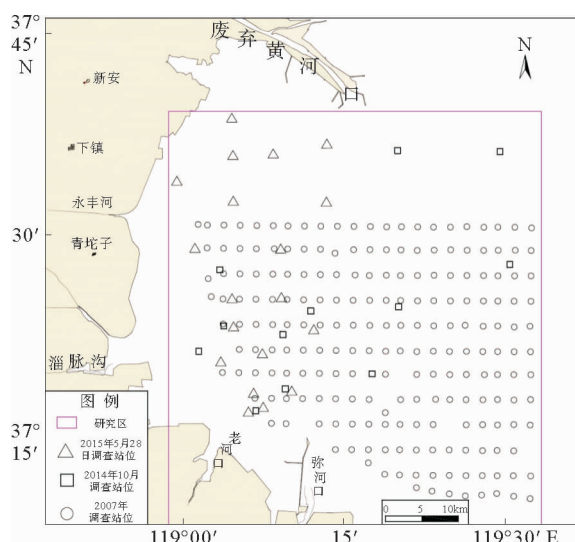


图 1 研究区位置及调查站位

Fig. 1 Location of survey stations for tidal current and surface sediment

表层沉积物中 $<1.4 \text{ mm}$ 的细颗粒部分采用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测定,其他颗粒采用筛分法完成粒度分析,粒级采用 (Udden-Wentworth) Φ 粒级标准^[7],采用 McManus 矩法计算平均粒径、分选系数、偏态等粒度参数^[8]。采用 Folk 法进行沉积物命名。

2.2 潮流数值模拟

利用 MIKE 21 数值计算与分析软件,采用丹麦水力学研究所研制的平面二维数值模型,该模型采用非结构三角网格剖分计算域并使用 Galerkin 有限元法进行水平空间离散,时间上采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程。

2.3 粒径趋势分析

Gao 和 Collins 在 McLaren 等工作的基础上提出了一种二维的粒径趋势分析方法,通过比较相邻采样点的平均粒径、分选系数和偏态等参数的大小推断出对应于这个点的所有的粒径趋势矢量,并将所得矢量相加,去除边界点矢量后得出整个研究区内沉积物的运移趋势^[9,10]。若 a、b 两点的粒径参数满足以下关系:

$$\Phi_a < \Phi_b, \sigma_a < \sigma_b, Sk_a > Sk_b$$

$$\Phi_a < \Phi_b, \sigma_a < \sigma_b, Sk_a > Sk_b$$

则定义 a 点到 b 点有一个单位矢量, a 点到 b 点

是否为相邻则采用特征距离 D_{cr} (通常为最大采样间距) 来衡量。

3 结果及分析

3.1 表层沉积物分布特征

研究区表层沉积物包括粉砂 (Z)、砂质粉砂 (sZ) 和粉砂质砂 (zS) 3 种类型,其分布如图 2 所示。

粉砂:广泛分布于研究区中北部,平均粒径介于 $5.54 \Phi \sim 7.15 \Phi$ 之间,平均值 6.31Φ ;分选系数介于 $1.45 \sim 2.04$ 之间,平均值 1.76 ,分选较差;偏态介于 $-1.16 \sim 1.68$ 之间,平均值 0.49 ,为正偏。

砂质粉砂:主要分布在粉砂和粉砂质砂之间,平均粒径介于 $4.00 \Phi \sim 6.16 \Phi$ 之间,平均值 4.68Φ ;分选系数介于 $1.21 \sim 2.16$ 之间,均值为 1.77 ,分选较差;偏态介于 $0.38 \sim 2.81$ 之间,平均值 1.35 ,为正偏。

粉砂质砂:主要分布于永丰河口、小清河口、老河口、弥河口、虞河口、潍河口等近岸海域,平均粒径介于 $3.29 \Phi \sim 4.61 \Phi$ 之间,平均值约为 3.77Φ ;分选系数范围在 $0.58 \sim 1.80$ 之间,平均值约为 1.09 ,分选较差;偏态介于 $-0.04 \sim 3.36$ 之间,平均值为 2.52 ,为极正偏。

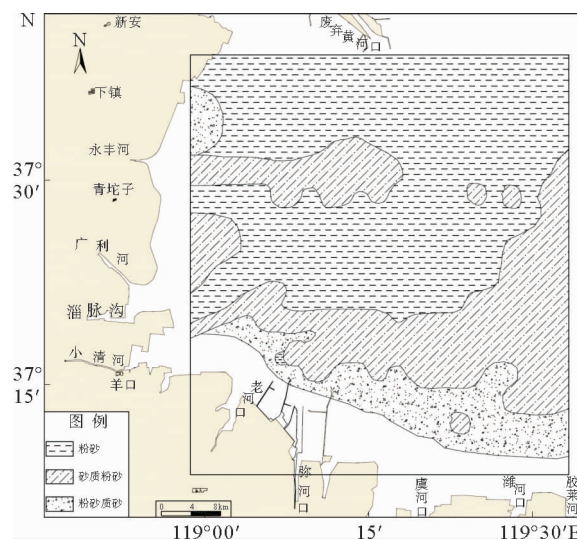


图 2 表层沉积物分布

Fig. 2 Distribution of surface sediments

3.2 潮流特征

3.2.1 潮位、潮流验证

通过潮位和潮流验证,验证点如图 3 所示,潮位验证曲线如图 4 所示,潮流验证曲线如图 5、6 所示。结果表明,潮流数值模拟结果与实测数据基本吻合,能代表研究区潮流流速和流向的特征。

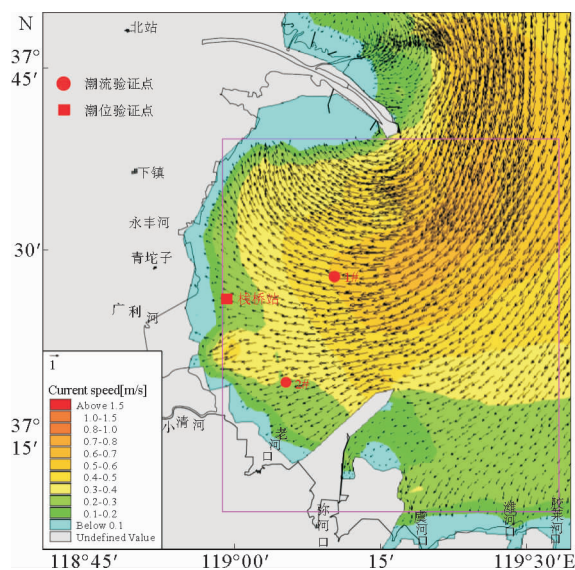


图 3 研究区海域计算潮流场(涨急时)

Fig. 3 Calculated current field of study area(flood tide)

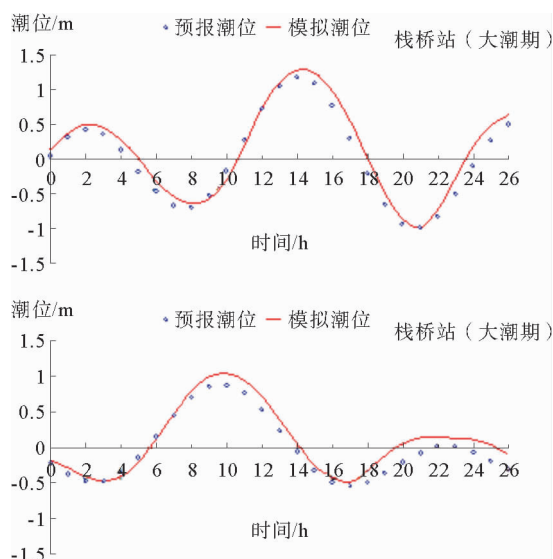


图 4 潮位验证曲线

Fig. 4 Tidal level validation curve

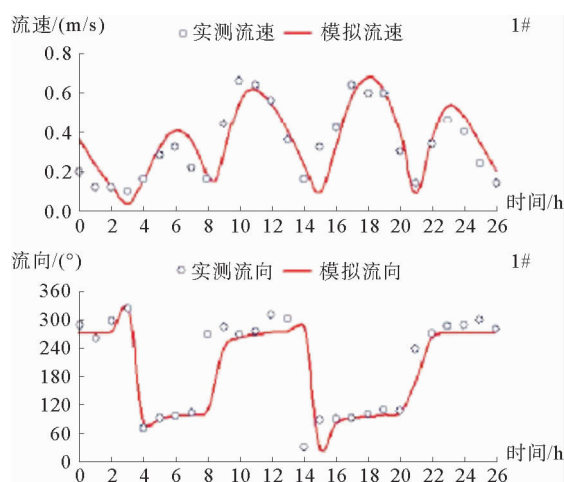


图 5 潮流验证曲线(1#)

Fig. 5 Tidal current validation curve(1#)

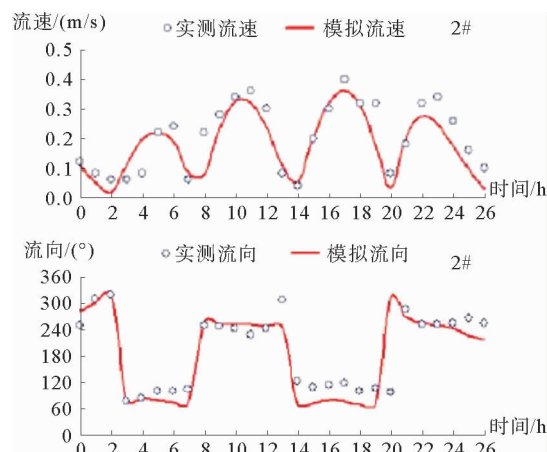


图 6 潮流验证曲线(2#)

Fig. 6 Tidal current validation curve(2#)

3.2.2 潮流特征

涨急时研究区潮流从 NE 流向 SW 方向,即从莱州湾外向湾内流动,流速在 30~50 cm/s 之间,整体表现为从莱州湾中心到岸边流速逐渐减小,1996 年 6 月,清 8 出汉后废弃的黄河口^[11]以东海域涨潮流流向向南,潍坊港防波堤堤头与废弃黄河口连线以东海域涨潮流流向为西南向,废弃黄河口西南侧近岸海域潮流向西北方向流动,而莱州湾西南部潮流流向西南,研究区内最大潮流流速达 103 cm/s,位于废弃黄河口外侧海域。研究区海域涨急时计算潮流场如图 3 所示。

落急时研究区潮流从 SW 流向 NE 方向,即从莱州湾内向湾外流动,与涨急时流向正好相反,流速一般在 30~50 cm/s 之间,最大值达 105 cm/s,

研究区海域落急时计算潮流场如图 7 所示。

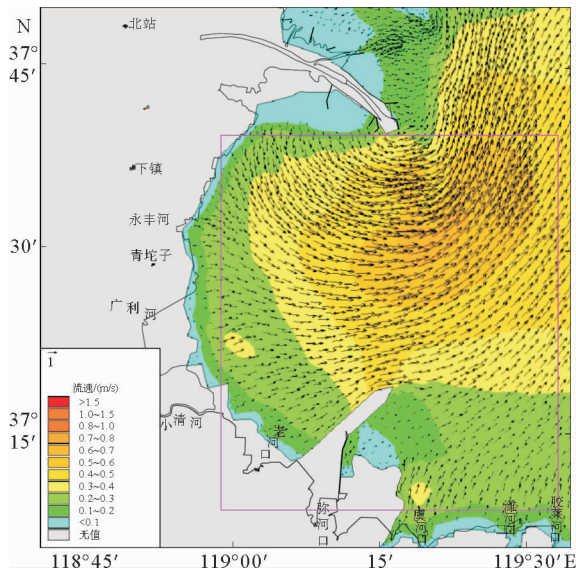


图 7 研究区海域计算潮流场(落急时)

Fig. 7 Calculated current field with in study area (ebb tide)

运动;起动后,水质点开始做往复运动,不产生实质性的搬运,当水动力作用更强时,泥沙颗粒则逐渐由往复运动转变为净推移。

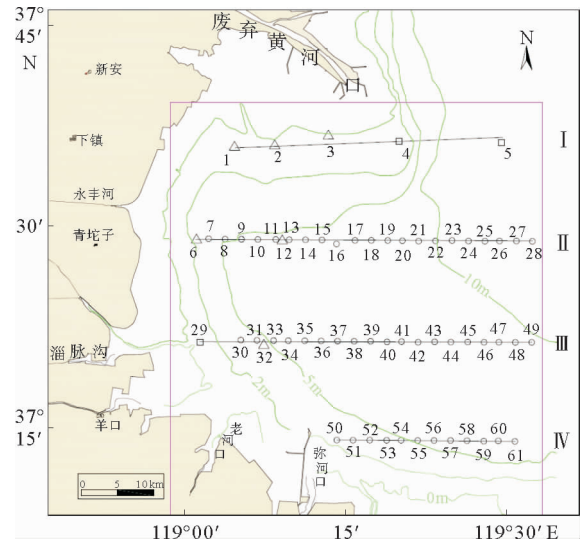


图 8 起动流速计算断面

Fig. 8 Calculation section of starting velocity

4 讨论

4.1 泥沙起动流速

根据窦国仁^[12]提出起动流速公式计算了研究区内各调查站位表层沉积物的起动流速,从计算结果可以看出,表层沉积物的起动流速在 18.7 ~ 54.3 cm/s 之间,并提取了对应站位涨急时和落急时的潮流流速。根据 4 条断面(位置如图 8 所示)涨、落潮最大流速和起动流速的关系对比分析结果(如图 9、10 所示),绘制了泥沙起动区域(如图 11 所示),可以看出,研究区大部分区域海底泥沙在涨急或落急时可以起动,泥沙不能起动的区域主要位于废弃黄河口西南侧近岸海域以及潍坊港东北侧部分海域,对应断面 I ~ IV 上 1、3、6、32、41、50、51、52、53 号站位的表层沉积物。

4.2 泥沙活动水深

在海岸及近海区域,波浪也是搅动泥沙悬浮的重要动力条件。波浪由外海进入莱州湾,水深越来越浅,相应的水质点运移速度会变大,对海底床面的切应力随之增大,导致海底泥沙颗粒发生

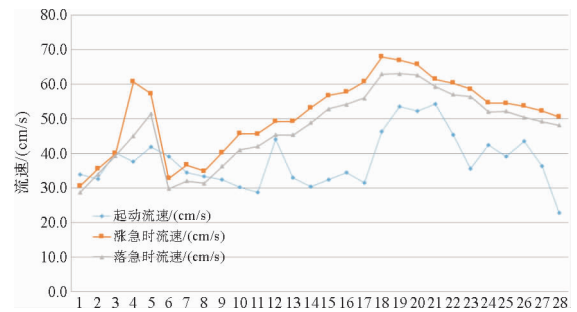


图 9 断面 I ~ II 表层沉积物起动流速与模拟流速对比

Fig. 9 Comparison of starting velocity of surface sediments and the analog of flow velocity in Section I ~ II

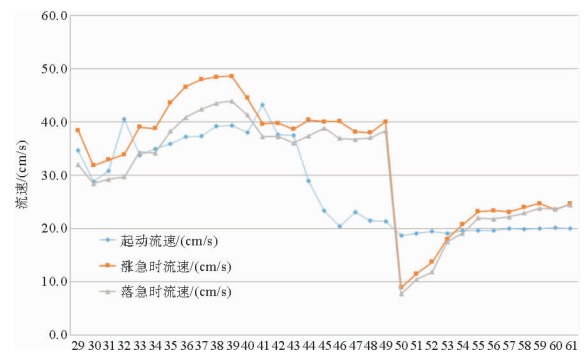


图 10 断面 III ~ IV 表层沉积物起动流速与模拟流速对比

Fig. 10 Comparison of starting velocity of surface sediments and the analog of flow velocity in Section III ~ IV

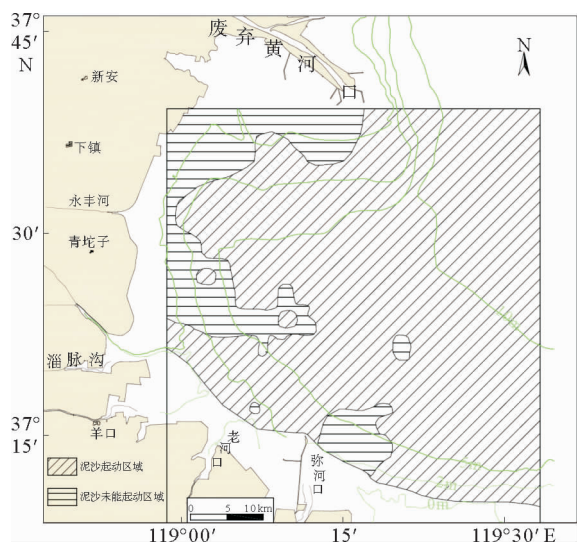


图 11 潮流作用下泥沙可以起动的区域分布
Fig. 11 Starting area of sediment under tidal action

本文计算了 NE 向和 NNE 向下波浪破碎带的位置(见表 1、图 12),包括了重现期为 10 年、25 年以及 50 年情况下波频率为 $H_4\%$ 的波高^[13]。结果表明,研究区 NNE 向 50、25、10 年一遇重现期 $H_4\%$ 波浪破碎带的范围越来越小,波浪对研究区近岸海域影响较大,破波带以内为泥沙强烈活动的水深范围,由此可见波浪会对研究区大部分沉积物产生影响。

表 1 波浪破碎带起破位置
Table 1 Position of broken waves

波高	NE	NNE
10 年一遇 $H_4\%$	3.6 m 等深线	3.7 m 等深线
25 年一遇 $H_4\%$	4.0 m 等深线	4.6 m 等深线
50 年一遇 $H_4\%$	5.0 m 等深线	5.6 m 等深线

4.3 表层沉积物运移趋势

表层沉积物运移趋势分析表明,研究区内出现多个沉积和侵蚀中心,如图 13 所示,研究区北部向南运移趋势明显,指示黄河入海泥沙在莱州湾内由北向南运移,而潍坊港北侧由于潮流作用较强,将侵蚀中心 H 的物质向北搬运,两者汇聚在沉积中心 A 处,此处不仅在潮流作用下不能启动,且位于 10 年一遇重现期 $H_4\%$ 波浪强烈活动水深范围以外;研究区东部沉积物分别向西北、西

南方向运移,分别汇聚在沉积中心 D、E 处,潍河口外侧海域侵蚀中心 G 被侵蚀的物质向多个方向发生运移,分别向沉积中心 A、C、D、E 等处运移,潍坊港以东区域表层沉积物向潍河口近岸海域运移的趋势较明显;另外,沉积中心 B 区域可能形成一个涡旋,导致此处波浪和潮流场动力条件减弱,沉积物在此沉积下来。

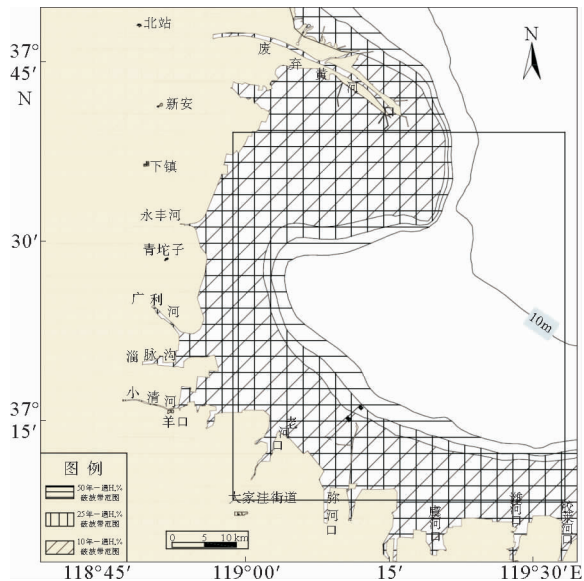


图 12 研究区 NNE 向 50、25、10 年一遇重现期 $H_4\%$ 波浪破碎带

Fig. 12 Broken waves of 50、25、10-year return period from NNE in study area

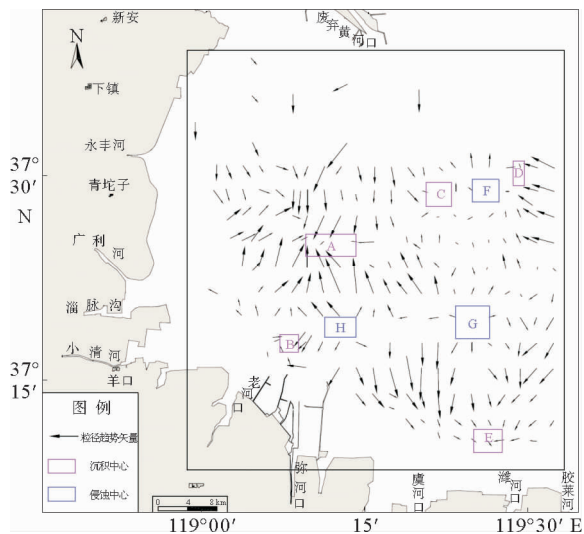


图 13 粒径趋势矢量平面分布

Fig. 13 Planar distribution of grain size trends vector

5 结论

(1)研究区主要分布 3 种沉积物类型,分别为粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂。其中,粉砂主要分布在研究区中北部,粉砂质砂分布于近岸海域,砂质粉砂大部分分布在粉砂和粉砂质砂之间,总体上呈近岸颗粒较粗、离岸较细的规律。

(2)研究区内潮流作用能够起到大部分表层沉积物,且研究区水深较浅,波浪作用几乎可以影响整个研究区范围的泥沙运移。

(3)预测研究区内会出现 5 个沉积中心和 3 个侵蚀中心,沉积中心主要位于广利河、老河口、潍河等河口外侧海域,侵蚀中心位于沉积中心外侧。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王昆山,石学法. 黄河口及莱州湾表层沉积物中重矿物分布与来源[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(6):1-8.

- [3] 江文胜,王厚杰. 莱州湾悬浮泥沙分布形态及其与底质分布的关系[J]. 海洋与湖沼,2005,36(2):97-103.
- [4] 陈明波. 莱州浅滩对莱州湾东部沉积动力格局的控制作用研究 [D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [5] Gao S, Collins M. Net sediment transport patterns inferred from grain size trends based upon definition of "transport vectors"[J]. *Sedimentary Geology*, 1992,81:47-60.
- [6] 中国海湾志编纂委员会. 海湾志(第三分册)[M]. 北京:海洋出版社,1998.
- [7] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. *Journal of Geology*, 1922,30:377-392.
- [8] McManus J. Grain size determination and interpretation [C] // Tucker M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, 1988:63-85.
- [9] 胡日军. 东海舟山群岛海域表层沉积物运移特性[J]. 中国海洋大学学报, 2009,39(3):495-500.
- [10] 左书华. 烟台套子湾海域表层沉积物粒度分布特征及其动力响应[J]. 泥沙研究,2013(5):41-46.
- [11] 魏晓燕. 黄河三角洲清水沟流路叶瓣演化规律 [D]. 青岛:中国海洋大学,2011.
- [12] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究,1999(6):1-91.
- [13] 张华庆,孙连成. 潍坊港总体规划建港条件分析及泥沙淤积研究报告[R]. 天津:交通运输部天津水运工程科学研究所工程泥沙交通行业重点实验室,2011.

SEDIMENT TRANSPORT TRENDS IN WESTERN AREA OF LAIZHOU BAY

CHEN WenLiang¹, ZHENG Shiming², ZHU Longhai^{1,3}, HU Rijun^{1,3}

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

2 Shandong High-speed Logistics Group Co., LTD, Weifang 261100, Shandong, China; 3 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the 238 surface sediment samples taken from the Laizhou Bay in the years of 2007, 2014 and 2015 as well as their analysis results, the authors studied the migration trend of the surface sediments in the bay. Also discussed is the influence of tide and wave on the movement of seabed sediment with the method of two-dimensional grain size trend analysis (GSTA). Results show that the study area may be divided into several depositional and erosional centers. The tide alone is effective enough to move the most of surface sediments, except in the area near the inshore waters on the southwest side of the abandoned Yellow River estuary and the northeast waters of the Weifang port. The area strongly effected by wave is very wide.

Key words: western area of Laizhou Bay; surficial sediment; trend analysis