

莱州浅滩表层沉积物的分布特征及影响因素

陈明波^{1,2}, 吴建政¹, 胡日军¹, 朱龙海¹

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2 交通运输部水运科学研究院, 北京 100088)

摘 要:以莱州浅滩附近 148 个表层沉积物粒度资料为基础, 结合潮流场数值模拟和泥沙起动流速计算资料, 分析了莱州浅滩表层沉积物分布特征, 初步探讨了研究区表层沉积物分布格局的形成机理及影响因素。结果表明, 莱州浅滩表层沉积物由滩顶向两侧, 粒径变细, 分选性变差; 物源和浅滩形态控制着研究区的沉积物整体分布格局, 而浅滩特有的水动力条件则导致沉积物发生进一步分异; 滩顶沉积物的分布主要受波浪和潮流的联合作用, 两侧沉积物的分布则主要由浅滩两侧的潮致环流控制。

关键词:莱州浅滩; 表层沉积物; 影响因素; 数值模拟

中图分类号: P736.211

文献标识码: A

莱州浅滩位于莱州湾东南部刁龙嘴近岸, 是莱州湾东南部海域最重要的特征地貌单元之一, 是在海洋动力长期作用下的产物。庄振业等^[1]认为山东莱州三山岛—刁龙嘴沿岸 7.3 ka BP 开始海侵, 早期的莱州浅滩是海侵前的高地。王庆等^[2,3]认为现代莱州浅滩的泥沙来源主要是龙口以西, 刁龙嘴以东入海的河流所携带的泥沙, 在偏 N 向大浪及涨潮流等水动力作用下形成的 SW 向纵向泥沙流运移至刁龙嘴处, 岸线发生 270° 转折, 流速骤减, 纵向泥沙流容量减小, 部分泥沙沉降形成了刁龙嘴羽状堆积体; 部分泥沙在波浪和潮流的作用下向 NW 方向堆积延伸, 形成了现代莱州浅滩。20 世纪 80 年代中期开始, 刁龙嘴东北侧沿岸入海河流中上游修建水库以及小规模浅滩挖沙, 打破了莱州浅滩附近的冲淤平衡, 并引起莱州湾东部一系列动力地貌变化^[3]。

目前对莱州浅滩的研究手段主要通过野外观

测和历史地貌调查, 重点集中在浅滩的形成机理及地貌演变上, 对浅滩周边的水动力条件及泥沙运动特性的研究仅停留在简单的理论分析阶段。在分析莱州浅滩表层沉积物分布特征的基础上, 结合浅滩周边海域的水动力数值模拟和典型断面的表层沉积物起动流速计算结果, 初步探讨了莱州浅滩表层沉积物分布格局的影响因素。

1 研究区概况

研究区位于郯庐大断裂带东侧上升区^[4]。地处北半球中纬度地区, 常风向为 NNE, 次常风向为 SSW, 强风向为 NNE 和 NW, 次强风向为 SW。受黄河口半日无潮点影响, 潮汐类型属不规则半日潮, 根据实测潮流准调和和分析结果, 研究区 M_2 和 S_2 分潮流的 K' 值均不大, 为 0.04 ~ 0.38, 潮流主要为往复流。强浪向和常浪向均为 NNE。

收稿日期: 2012-03-28

作者简介: 陈明波 (1987—), 男, 在读硕士, 主要从事海洋环境地质与工程方面的工作。E-mail: chenmingbowxy@163.com

2 资料与方法

潮流验证资料采用 2006 年 6 月 27—28 日中国海洋大学在莱州港及芙蓉岛附近海域进行的 4 个站位(图 1)连续 25 h 潮流观测资料。表层沉积物资料来源于中国海洋大学在研究区海域进行的 148 个表层沉积物调查资料(图 2)。潮位验证资料采用大连、旅顺、鲅鱼圈、曹妃甸、塘沽、大口河、渤中、潍河、莱州港、北隍城、八角、烟台港等 12 个潮位站历史观测资料。

3 结果

3.1 表层沉积物分布特征

(1)表层沉积物类型平面分布

研究区内表层沉积物类型共分为泥质砂质砾、含砾泥、泥质砂、砂、砂质粉砂、砂质砾、粉砂质砂、砾质砂、砂质泥、泥 10 种(图 3)。

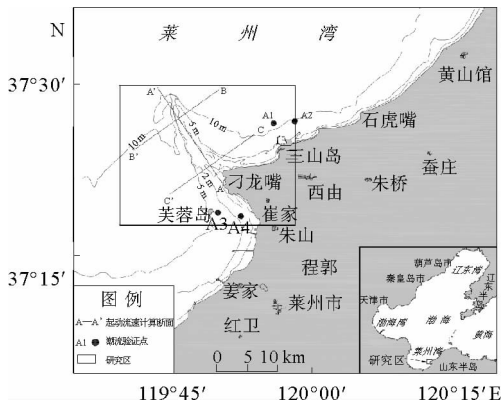


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location map of the study area

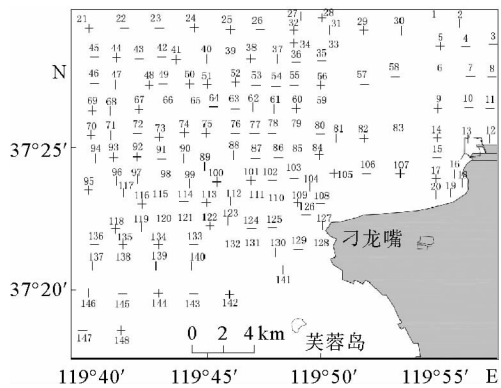


图 2 表层沉积物取样站位

Fig. 2 Sampling stations for surface sediments

沉积物粒级标准采用 Udden-Wentworth^[5]等比制 Φ 值粒级标准,沉积物分类和命名采用 Folk 三角图形命名法^[6],沉积物粒度参数计算采用 Folk 和 Ward 方法^[7]。水动力特征研究采用平面二维水动力数学模型进行潮流场数值模拟。表层沉积物起动流速计算采用窦国仁公式^[8]。

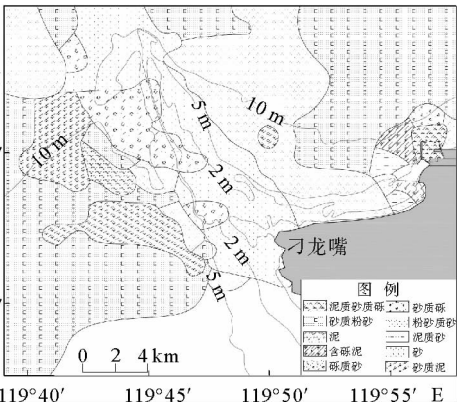


图 3 表层沉积物类型分布

Fig. 3 Distribution map of the surface sediment types

浅滩顶部表层沉积物主要为粒径较大的砂,中央部分出露部分为砾质砂;浅滩东北侧 5~10 m 等深线之间的沉积物类型主要为粉砂质砂,局部为砂质泥;浅滩西北端主要为砂质沉积;浅滩西南侧坡度较大,水深变化较东北侧剧烈,表层沉积物分布复杂,沉积物类型较多,主要包括砂、粉砂质砂、砂质粉砂、砾质砂、砂质泥和泥 6 种,彼此呈斑块状错列分布。

(2)中值粒径

中值粒径代表沉积物粒径频率分布的中心趋向,可以大体反映表层沉积物所处的沉积环境的平均动能情况。

研究区表层沉积物中值粒径介于 $-1\Phi \sim 6.34\Phi$ 之间(图 4),平均值为 2.85Φ ,近岸海域沉积物中值粒径较大,普遍 $<3.0\Phi$;浅滩顶部沉积物粒径较大,部分区域 Φ 值 <0 ;浅滩两侧沉积物中值粒径基本呈对称分布,由滩顶向两侧逐渐变小,浅滩两侧各存在一个 Φ 值 >4 的粒径低值区。

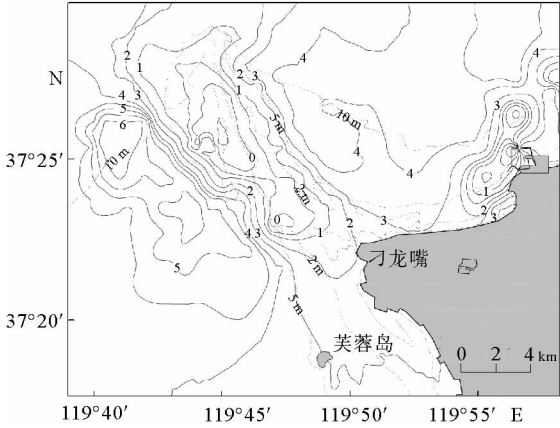


图 4 中值粒径等值线

Fig. 4 Contour map of the median particle size

(3)分选系数

分选系数反映沉积物的分选程度，即颗粒大小的均匀性。沉积物的分选程度与沉积环境的水动力条件和所处的地貌部位有密切关系。

研究区表层沉积物分选系数介于 0.29 ~ 3.01 之间(图 5)，平均值为 1.39，浅滩顶部存在分选系数<0.71 的闭合低值区，说明沉积物在这些部位分选较好，浅滩两侧分选系数大体以滩顶为轴线对称分布，由滩顶向两侧，分选系数变大，分选性变差，在浅滩中部西南侧 10 m 等深线附近及东北侧 5~10 m 等深线之间，各存在一个分选系数>2.0 的闭合高值区，说明沉积物在这些区域分选差。

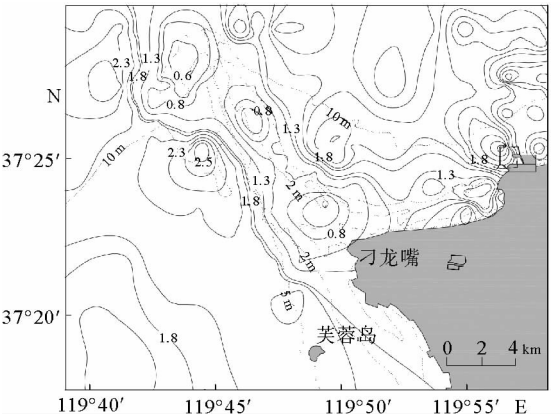


图 5 分选系数等值线

Fig. 5 Contour map of the sorting coefficient

3.2 潮流场特征

本次潮流场数值模拟范围为辽宁登沙河、山东鸡鸣岛两点以及岸线围成的北黄海及渤海海域，潮位及潮流验证结果表明，模拟结果与实测资料基本吻合，能够较好地反映研究区周边海域潮流状况。大潮期潮流场数值模拟结果见图 6~9 (图中潮位时刻以莱州港的潮汐变化为参照时间)。

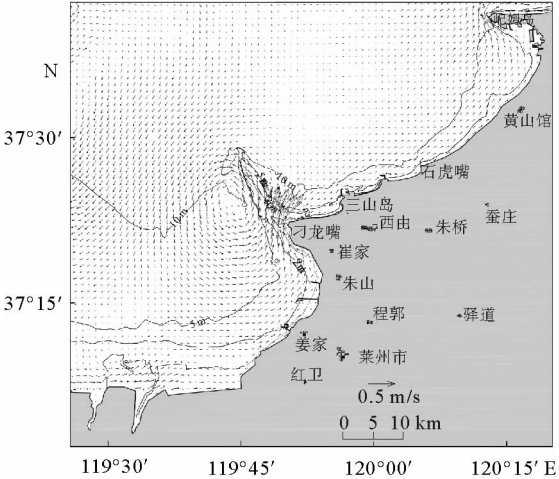


图 6 高潮时潮流场

Fig. 6 Tidal current field map of high water time

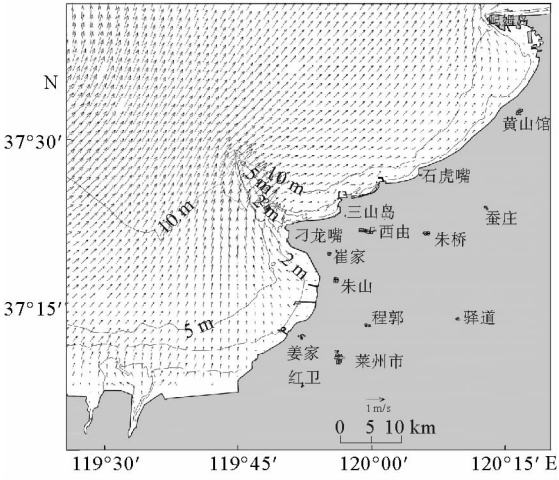


图 7 落急时潮流场

Fig. 7 Tidal current field map of maximum falling tide

高潮时，莱州湾内潮流处于转流时刻，流向较乱，流速整体较小。浅滩近岸侧潮流由 S 向 N 流动，到达浅滩顶部时，流速达到最大，约 57 cm/s，

越过浅滩后一部分潮流向 NE 方向流动,另一部分潮流向 NW 方向流动,向 NW 方向流动的潮流流经浅滩西北侧时流向转向 SW,在浅滩西南部形成一个中心位于 10 m 等深线转折处,逆时针流动的环流,潮流流速在环流中心较小,约 3.5 cm/s,由环流中心向两侧流速逐渐增大。

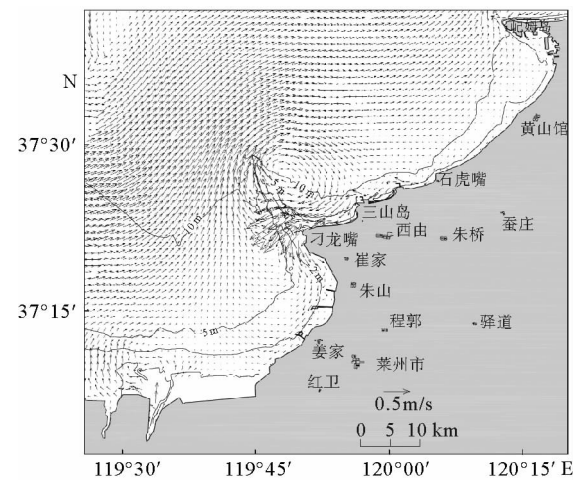


图 8 低潮时潮流场

Fig. 8 Tidal current field map of low water time

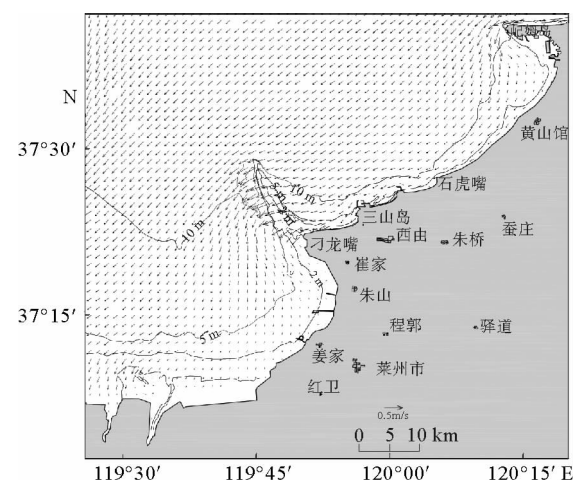


图 9 涨急时潮流场

Fig. 9 Tidal current field map of maximum flooding tide

落急时,潮流由莱州湾内向湾外流动,流至莱州浅滩滩顶处流速达到最大值约 100 cm/s。绕过浅滩后,潮流转向 NE 方向流动,进入龙口湾后,向 NNW 方向流动。

低潮时,莱州湾内潮流处于转流时刻,流向较乱,流速整体较小。浅滩近岸侧潮流由 NEE 向 SWW 流动,到达浅滩顶部时流速达到最大,约 53

cm/s,越过浅滩后,一部分潮流向 SW 方向流动,另一部分向 NW 方向流动,向 NW 方向流动的潮流逐渐转成向 N 流动,流过浅滩西北侧时转为向 NE 向流动,在浅滩东北部 10 m 等深线附近,形成一个顺时针流动的环流,潮流流速在环流中心较小,约 5.0 cm/s,由环流中心向两侧逐渐增大。

涨急时,莱州湾内潮流由莱州湾外向湾内流动,流至莱州浅滩滩顶处流速达到最大值,为 97 cm/s。绕过莱州浅滩,潮流转向 S 流动,进入太平湾后,向偏 E 方向流动。

3.3 表层沉积物起动流速

为了解研究区不同地貌部位泥沙运动特性,在浅滩滩顶、近岸部分以及西北端共设置了 3 条典型断面(图 1),分别计算了大潮期涨急和落急时的表层沉积物起动流速。起动流速计算公式采用宾国仁公式^[8],该公式综合考虑了水深以及粒径对泥沙起动流速的影响,较好地反映了粗、细颗粒泥沙和轻质沙的起动规律。公式如下:

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

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

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

式中: k' 为系数,取为 0.32;
 h 为水深;
 Δ 代表底面糙率高度;
 $d_* = 10 \text{ mm}$;
 ρ_s 为沙粒的密度;
 ρ 为水的密度;
 g 为重力加速度;
 d 为中值粒径;
 γ_0 为底床泥沙干容重;
 γ_{0*} 为泥沙颗粒的稳定干容重;
 $\epsilon_0 = 1.75 \text{ cm}^3/\text{s}^2$,为综合粘结力参数;
 σ 为薄膜水厚度参数,其值取 $2.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$ 。

根据潮流场数值模拟结果提取了 3 条断面上涨急和落急时的流速值,与计算得到的起动流速

进行对比分析(图 10、11)。

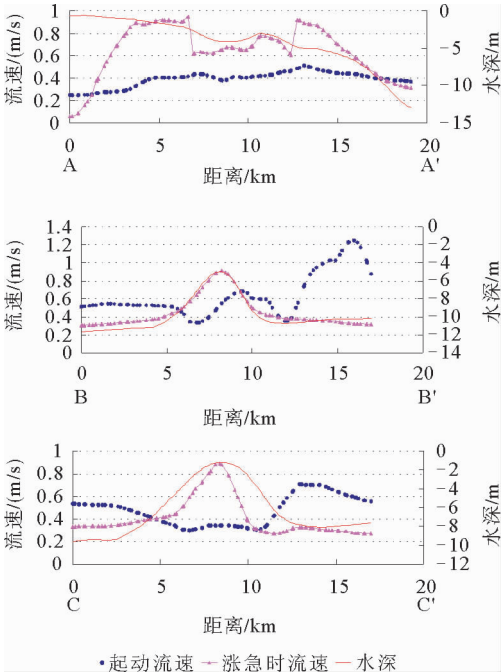


图 10 涨急时起动流速与模拟流速对比断面
Fig. 10 Comparison of incipient velocity and simulated velocity during maximum flooding

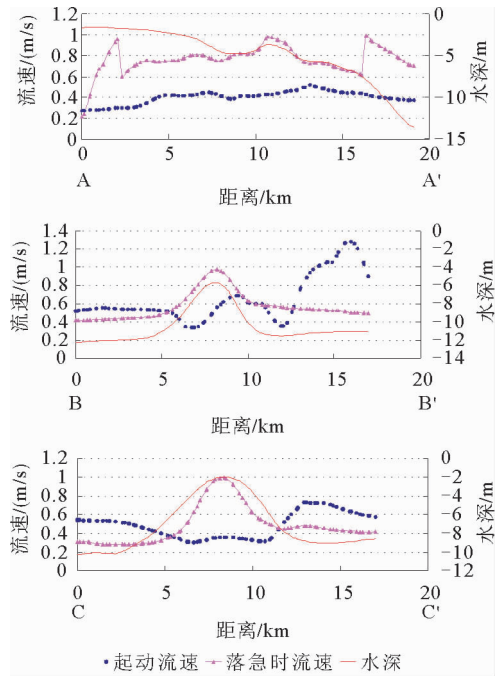


图 11 落急时起动流速与模拟流速对比断面
Fig. 11 Comparison of incipient velocity and simulated velocity during maximum falling

从 A—A' 断面的对比结果看出,浅滩滩顶大部

分区域,涨急与落急时的流速大于表层沉积物的起动流速。从 B—B' 断面的对比结果看出,涨急时,浅滩东北侧水深 9 m 处至浅滩西南侧水深 7 m 处,潮流流速大于起动流速,两侧潮流流速小于起动流速;落急时,浅滩东北侧水深 10 m 处至浅滩西南侧水深 8 m 处,潮流流速大于起动流速,两侧潮流流速小于起动流速。从 C—C' 断面的对比结果看出,涨急时,浅滩东北侧水深 7 m 处至浅滩西南侧水深 4 m 处,潮流流速大于起动流速,两侧潮流流速小于起动流速;落急时,浅滩东北侧水深 6 m 处至浅滩西南侧水深 7.5 m 处,潮流流速大于起动流速,两侧潮流流速小于起动流速。

4 讨论

物源因素控制着研究区总体沉积物分布规律,而水动力因素则造成一定程度的沉积分异^[9]。

三山岛—刁龙嘴沿岸 7.3 ka BP 开始海侵,早期的莱州浅滩是海侵前的高地^[1]。研究区强浪向及常浪向均为 NNE 向,偏北向的大浪形成了 SW 向的沿岸流,将刁龙嘴以北入海的河流输沙向 SW 方向搬运,到达刁龙嘴近岸时,由于早期莱州浅滩的阻挡,泥沙卸载堆积形成了刁龙嘴羽状堆积体^[10],在波浪的作用下部分泥沙向 NW 方向堆积,塑造了现代莱州浅滩。

由潮流场数值模拟结果可以看出,由于莱州浅滩的存在,涨落潮流在浅滩顶部流速较大,落潮流在浅滩东北侧形成了顺时针流动的环流,涨潮流在浅滩东北侧形成了逆时针流动的环流,潮流流速在环流中心较小。从中值粒径及分选系数等值线平面分布图上可以看出,2 个环流的分布范围大致与浅滩两侧粒径低值区及分选系数高值区分布范围一致。

表层沉积物起动流速与数值模拟得到的流速对比结果显示,浅滩顶部的流速大于表层沉积物起动流速,浅滩顶部泥沙随涨落潮流做往复运动,形成了北西向的大型沙波^[2]。由滩顶向两侧随着水深的增大,起动流速变大,而潮流流速变小,单纯的潮流作用达不到表层沉积物的起动流速要求,因此,在刁龙嘴近岸卸载堆积的泥沙主要是在波浪的作用下向 NW 方向运移,进入浅滩后,在浅滩特有的水动力环境下发生了沉积分异:在浅

滩顶,水深较浅,波浪破碎强烈,加之较强的涨落潮流,滩顶水动力较强,细粒沉积物难以存留,因此,滩顶以分选较好、粒径较大的砂砾质沉积物为主;从滩顶向两侧,随着水动力条件的减弱,沉积物的粒径逐渐变小,分选变差,粒径较小的粉砂黏土质沉积物被浅滩两侧水动力较弱的环流所捕获,在环流中心处沉降,形成了浅滩两侧大致对称的分选差的细粒沉积物分布区。

5 结论

(1)研究区内的表层沉积物大体上呈现出由陆向海,由滩顶向两侧逐渐变细的趋势;滩顶表层沉积物分选较好,向两侧分选变差。

(2)浅滩顶部涨落潮流速大于表层沉积物起动流速,在滩顶塑造了北西向的大型沙波;浅滩两侧单纯的潮流作用无法起动表层沉积物。

(3)滩顶沉积物分布主要受波浪和潮流的联合作用,浅滩两侧沉积物分布则主要由浅滩两侧的潮致环流控制;

(4)物源和浅滩形态控制着研究区的沉积物整体分布格局,而浅滩特有的水动力条件则导致沉积物发生进一步分异。

参考文献:

- [1] 庄振业,鞠连军,冯秀丽,等. 山东莱州三山岛—刁龙嘴地区沙坝潟湖沉积和演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(4): 43-47.
- [2] 王 庆,杨 华,仲少云,等. 山东莱州浅滩的沉积动态与地貌演变[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 749-756.
- [3] 王 庆,战 超,商 杰,等. 山东莱州浅滩地区沉积特征与沉积作用[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 337-342.
- [4] 中国海湾志编委会. 中国海湾志(第三卷)[M]. 北京:海洋出版社, 1991: 1-82.
- [5] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. Journal of Geology, 1922, 30(5): 377-392.
- [6] Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand [J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1970, 13(4): 937-968.
- [7] Folk P L, Ward W D. Brazos Reviver bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3-26.
- [8] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究, 1999(6): 5-9.
- [9] 周晓静,高 抒. 底质粒度信息的空间分异与代表性:以杭州湾舟山岛—金山卫断面为例[J]. 科学通报, 2004, 49(21): 2 228-2 232.
- [10] 蔡爱智. 刁龙咀海岸的发育[J]. 海洋与湖沼, 1980, 11(3): 204-210.

STUDY OF THE SURFACE SEDIMENT DISTRIBUTION IN LAIZHOU SHOAL AND INFLUENCING FACTORS

CHEN Mingbo^{1,2}, WU Jianzheng¹, HU Rijun¹, ZHU Longhai¹

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

2 China Waterborne Transportation Institute, Beijing 100088, China)

Abstract: Based on the data of 148 surface sediments from the Laizhou Shoal, together with the results of numerical simulation of the tidal current field and the sediment incipient flow rate, the characteristics of surface sediment distribution at the shoal are preliminary revealed, and the formation mechanism of the surface sediments distribution pattern of the study area is discussed. The result shows that from top to the bottom of the shoal, the particle size of surface sediments is decreasing, and the sorting gets poorer. The overall distribution pattern of sediments is mainly controlled by the source of sediments and the morphology of the shoal, and the unique hydrodynamic condition of the shoal leads to further differentiation. The distribution pattern of sediments on the top of the shoal is mainly affected by the combined effects of wave and tidal current, but the distribution pattern of sediments on the bottom of the shoal is mainly controlled by the water circulations induced by the tidal current.

Key words: Laizhou shoal; surface sediment; influencing factors; numerical simulation