

辽东湾觉华岛附近海域海底地形地貌及沉积物分布特征分析

张建兴^{1,2}, 宋永东^{1,2}, 栾振东^{1,2}, 杨立建³, 甘雨³, 阎军^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为对辽东湾觉华岛附近海域海底工程地质环境进行系统评估, 利用高分辨海底声学探测设备获取调查海区的精密水深地形及浅地层剖面数据, 利用筛析法、激光粒度仪实验法确定表层沉积物类型及粒度参数特征, 综合分析了研究区海底地形地貌及沉积物分布特征。研究发现, 目标海域测量水深介于 4~22 m 之间, 平均水深 15 m 左右, 海底地形平坦, 整体表现为平缓的近岸缓坡, 地貌以近岸粉砂淤泥质浅滩地貌为主, 局部发育微型海底沙波; 海底浅地层第一声学反射界面清楚连续, 可全区追踪, 穿透深度 0.5~5 m 不等, 沉积物厚度相对稳定; 表层沉积物中值粒径普遍较小, 沉积物类型东区以粉砂和砂质粉砂为主, 西区以砂质粉砂为主; 表层沉积物组分和粒度参数的空间变化规律较为复杂, 分析认为其主要受到沉积物物源以及辽东湾内往复流、沿岸流的影响。

关键词: 海底地形地貌; 沉积特征; 辽东湾; 觉华岛

中图分类号: P736.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)09-0040-08

DOI: 10.11759/hyxx20200301001

21 世纪是海洋的世纪, 随着海洋资源开发力度的加大, 海底管道、海上风电、海洋平台等海上工程设施与日俱增。地质条件评估是各类海上工程选址和建设的基础性工作, 对保障工程安全、维护海洋生态环境稳定具有重要意义。近年来, 许多专家学者开展了海上工程目标海域的海底地形地貌及沉积特征等研究工作, 技术手段主要集中在多波束/单波束水深测量、浅地层剖面测量、侧扫声呐测量、沉积物取样等方面^[1-5]。在辽东湾西部觉华岛附近海域, 随着海上工程建设项目的扩增, 底质调查已成为项目实施过程中亟需解决的关键问题。借助于我国近海海洋区域地质调查等项目的实施, 前人已对辽东湾海域的地形地貌^[6-9]、沉积特征^[10-12]有了系统认识, 但这些研究往往是大范围、区域性的, 不能为觉华岛附近海域工程建设提供有效精确的指导。因此本研究基于前人研究成果, 对辽东湾西部觉华岛附近海域海底地形地貌、浅地层剖面及沉积物分布特征开展精细研究, 这对海区相关海上工程的建设发展具有积极意义。

1 研究区概况

辽东湾是一个西、北、东三面被陆地包围的半封闭海湾, 南面与渤海相通, 水深普遍小于 30 m, 坡度较缓, 地形自湾顶及东西两侧向中央倾斜^[9]。现代沉积主要受外动力河流作用控制, 接受大量辽河、

大凌河等周边河流搬运入海的陆源碎屑物质, 形成大面积浅滩沉积。第四系地层厚度为 300~500 m, 受海平面变化的影响, 海陆交互相沉积是第四系主要沉积类型, 河流和潮流、波浪等控制着海底的冲淤变化。研究区位于辽东湾西部觉华岛附近, 分为东、西两个区块, 觉华岛东北方向的调查区称为东区, 觉华岛西南方向的调查区称为西区, 调查区最近离岸直线距离约 1 km(图 1)。

研究区属于中纬度季风气候区, 夏季盛行偏南风, 冬季盛行偏北风, 区内年平均气温在 8.4~9.7 °C 之间, 冬季寒冷, 夏季炎热。辽东湾北部海域潮汐类型主要为正规半日潮和不正规半日潮, 目标海域属于不正规半日潮, 潮流运动形势为往复流, 主流向为 NE-SW 向, 潮差为 2.8~0.8 m, 最大潮流流速为 0.7~2 m/s。波浪以风浪为主, 常浪向为 SSW-SW 向, 季节性变化

收稿日期: 2020-03-01; 修回日期: 2020-03-03

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19060201); 中国科学院海洋地质与环境重点实验室开放基金(MGE2019KG16)

[Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDA19060201; Opening Fund of Key Laboratory of Marine Geology and Environment of the Chinese Academy of Sciences, No. MGE2019KG16]

作者简介: 张建兴(1990—), 男, 山东青州人, 工程师, 硕士, 主要从事海底声学探测、海洋三维可视化研究, E-mail: zhangjx@qdio.ac.cn; 栾振东(1976—), 通信作者, 男, 正高级工程师, 主要从事深海探测技术及海底地形地貌研究, E-mail: luan@qdio.ac.cn

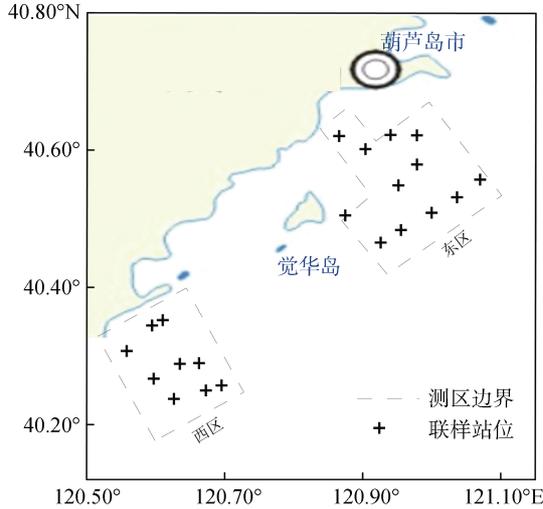


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

明显^[13-14]。环流主要受黄海暖流余脉和沿岸流的影响^[15-16]。

2 研究方法

为了解该海域的地质环境，为海上工程建设提供科学、准确的基础资料，本次研究基于 HY1601 单波束测深系统、SES2000 参量阵浅地层剖面系统、表层沉积物取样等调查手段对研究区展开海上调查。

HY1601 单波束测深系统工作频率 208 kHz，测深范围 0.3~300 m，精度为 $(0.01 \pm 0.1\% \times \text{所测深度})$ m，能够实时监测和控制测深全过程，保证了测深系统的高精度和可靠性；SES2000 参量阵浅地层剖面系统利用工作主频 100 kHz 产生多个次频声波，工作水

深 1~400 m，穿透能力 40 m，分辨率 5 cm，满足精度要求。通过开展走航式高精度水深测量，经同步潮位观测数据和声速剖面数据校正后，获得调查海域精确的水深地形数据，利用 Caris 9.1 等软件对数据进行处理后，通过 Surfer、Global Mapper 等绘图软件进行成图，展示研究区精细地形地貌特征。

表层沉积物的研究首先利用锚式采泥器进行海上取样，然后进行室内实验分析。粒级标准采用尤登-温德华氏等比制 Φ 值粒级标准，定名采用谢帕德沉积物粒度三角图解法。粒度测试采用筛析法和激光粒度仪相结合的方法，用孔径间隔为 $1/4 \Phi$ 的分样筛过筛，粒径大于 1 000 μm 的部分采用筛析，小于 1 000 μm 的部分采用法国 CILAS-1190 激光粒度仪进行测量，通过得到的沉积物组分及粒度参数特征确定研究区海底表层沉积物类型及分布特征。

3 地形地貌特征

3.1 地形地貌特征

研究区东区海域测量水深介于 4~22 m 之间，平均水深 15 m 左右，其中最浅处位于近岸区域，水深小于 5 m，最深处位于工区南部，水深超过 20 m；西区块水体地形与东区块大致相似，西区海域测量水深介于 5~22 m 之间，平均水深也在 15 m 左右(图 2)。由水深地形剖面图(图 3)可以看出，往岸线方向水深逐渐变浅，远离岸线一侧逐渐加深，海底地形表现为平缓的近岸缓坡，总体斜度小于 1‰，整体地形平坦，在 17 m 水深处地形变陡，水体加深。地貌以近岸浅滩地貌为主，主要为粉砂淤泥质浅滩沉积，局部发育微型海底沙波。

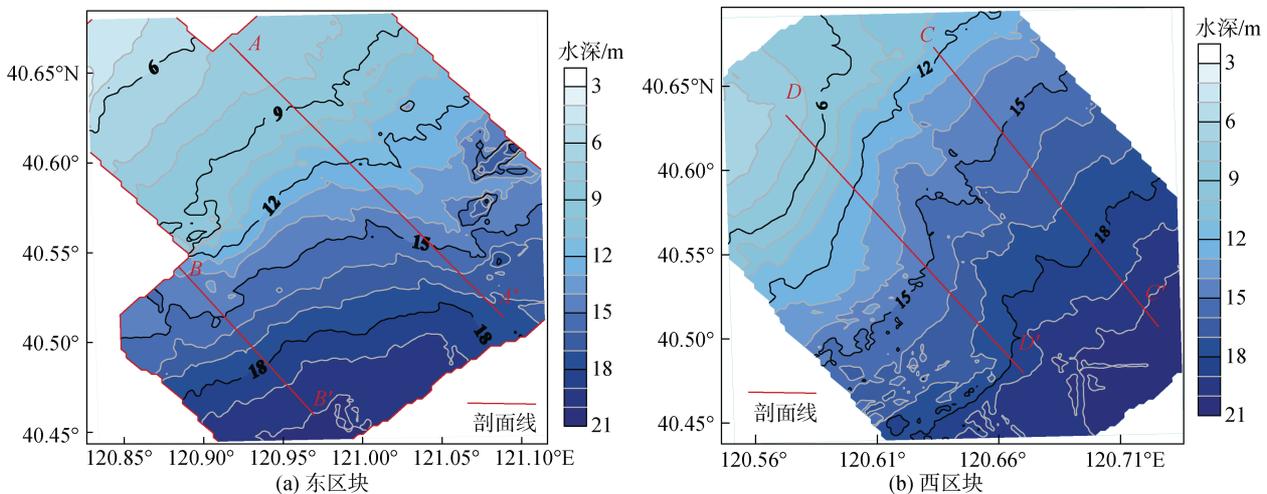


图2 研究区地形图

Fig. 2 Topographic map of the study area

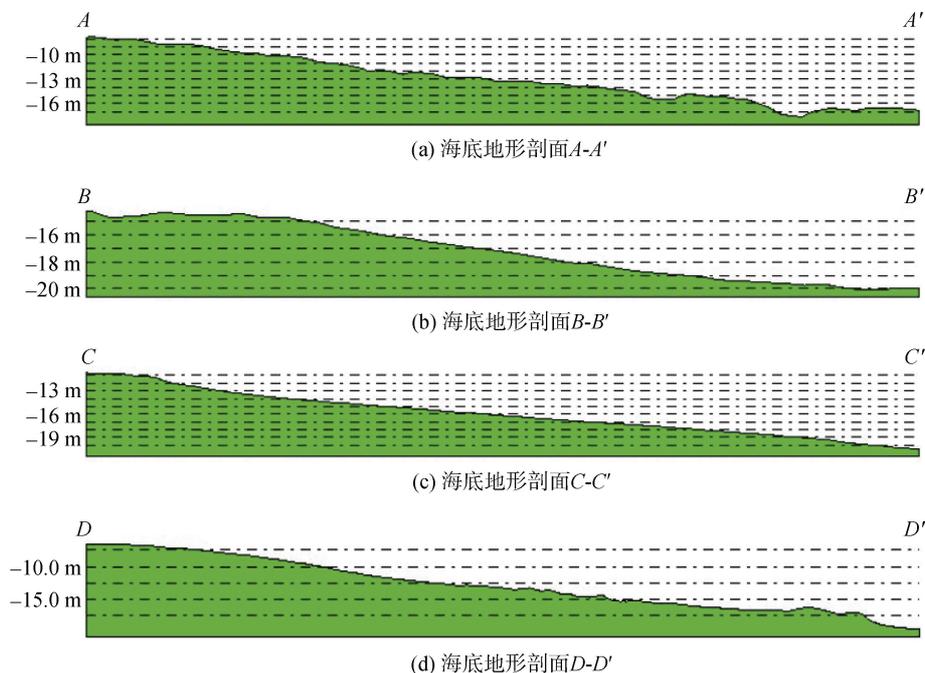


图3 研究区海底地形剖面
Fig. 3 Submarine topographic profile of the study area

3.2 浅地层剖面特征

为了解海底浅层的沉积物厚度以及分布范围,在缺少钻孔资料的情况下,声学探测是主流技术手段。本次研究利用 SES2000 参量阵浅地层剖面系统,结合海底表层沉积物取样分析结果得出,研究区海域海底面(R_0 反射层)以下以松散沉积的灰黑色淤泥质粉砂为主,呈欠压实结构,反射波易于透射传递,多次波较弱,层间呈水平、平行反射结构,与下伏地层呈角度不整合接触,属于全新世晚期现代沉积。浅地层剖面系统穿透地层厚度 0.5~5 m 不等,该沉积层底界面划分为第一反射层(R_1 反射层), R_1 反射层声学界面清楚连续,具有振幅强、高能量特征,可全区追踪,为本次浅地层划分识别的主要反射界面。但由于沉积层较薄,有些地方冲刷缺失,这种地层结构多见斜层理或平行层理,反映出该海域沉积历史时期多处于较低能的水动力环境和相对稳定的气候环境中^[14](图 4)。

4 沉积特征

4.1 表层沉积物类型

为获取研究区表层沉积物类型及粒度参数,利用锚式采泥器获取海床表层沉积物样品 21 个,其中

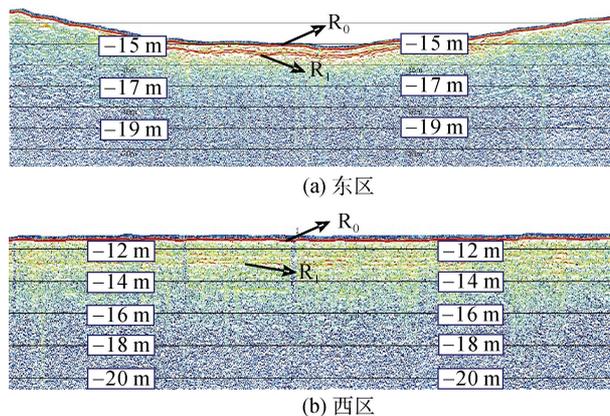


图4 研究区典型浅地层剖面特征
Fig. 4 Typical characteristics of the subbottom profile of the study area

东区 12 个、西区 9 个。通过室内分析确定了表层沉积物粘土、粉砂和砂的百分含量,并计算了沉积物泥沙比、中值粒径、分选系数、偏度和峰度等参数(表 1)。已有研究表明辽东湾表层沉积物类型以砂质粉砂、粉砂和泥质砂为主^[15-16],根据本次取表层沉积物样品粒度分析结果发现,沉积物类型与前人研究结果相吻合,研究区沉积物类型属砂质粉砂的站位较多,有 11 个;其次是粉砂,有 7 个;剩余 3 个样品为粉砂质砂沉积物。

表 1 研究区表层沉积物组分含量及粒度分析结果

Tab. 1 Results of component content and grain size analyses of surface sediments in the study area

区块	编号	黏土/%	粉砂/%	砂/%	定名	中值粒径/ μm	分选系数/ μm	偏度	峰度	砂泥比
东区	1	9.95	40.07	49.99	粉砂质砂	44.00	5.16	-0.64	2.42	1.00
	2	16.06	61.32	22.62	砂质粉砂	19.22	4.77	0.05	2.50	0.29
	3	14.45	74.31	11.24	砂质粉砂	15.98	3.34	-0.65	3.16	0.13
	4	15.42	72.80	11.78	砂质粉砂	16.04	3.47	-0.67	3.04	0.13
	5	15.78	82.00	2.22	粉砂	12.91	2.97	-0.71	3.39	0.02
	6	13.58	76.52	9.90	粉砂	16.83	3.25	-0.74	3.18	0.11
	7	16.40	68.07	15.53	砂质粉砂	15.68	3.86	-0.21	2.93	0.18
	8	9.53	60.62	29.85	砂质粉砂	26.88	4.21	-0.24	2.65	0.43
	9	10.38	83.23	6.39	粉砂	15.38	2.80	-0.65	3.87	0.07
	10	10.78	80.97	8.25	粉砂	15.43	2.89	-0.54	3.64	0.09
	11	10.34	83.80	5.86	粉砂	15.02	2.78	-0.70	4.18	0.06
	12	12.99	79.00	8.01	粉砂	14.99	3.04	-0.61	3.54	0.09
西区	1	7.52	79.59	12.90	粉砂	22.80	2.82	-1.09	4.55	0.15
	2	10.49	71.87	17.65	砂质粉砂	21.06	3.30	-0.78	3.42	0.21
	3	10.85	58.89	30.26	砂质粉砂	25.96	4.14	-0.36	2.61	0.43
	4	8.76	33.88	57.36	粉砂质砂	53.52	5.07	-0.85	2.70	1.34
	5	13.14	60.68	26.17	砂质粉砂	22.34	4.38	-0.20	2.59	0.35
	6	12.68	61.94	25.38	砂质粉砂	22.30	4.37	-0.14	2.58	0.34
	7	10.75	45.68	43.57	砂质粉砂	35.95	5.12	-0.46	2.28	0.77
	8	11.48	49.82	38.70	砂质粉砂	31.69	5.02	-0.35	2.24	0.63
	9	8.84	42.65	48.51	粉砂质砂	42.78	4.89	-0.64	2.53	0.94

在东区, 沉积物类型以粉砂和砂质粉砂为主, 粉砂主要分布于研究区中部、南部, 约占沉积物类型的 50.00%; 其次为砂质粉砂, 主要分布于研究区东北部, 约占沉积物类型的 41.67%; 粉砂质砂等其他沉积物类型少量发育。而在西区, 沉积物类型以砂质粉砂为主, 主要分布于研究区东北部、中部、南部, 占到西区沉积物类型的 66.67%; 粉砂和粉砂质砂零星发育, 不成规模。

4.2 粒度参数空间分布特征

粒度参数是研究沉积特征、鉴别沉积环境的常用方法, 中值粒径、分选系数、偏度、峰度等粒度参数不仅在统计学上具有意义, 而且在沉积学上具有明确的地质意义。粒径是沉积物粒度的主要特征之一, 表层沉积物的粒径大小及其空间分布特征受控于沉积物物源条件、水动力强度等多种因素, 平均粒径、中值粒径等能够反映沉积物粒径频率分布的中心趋向, 其值大小代表了沉积物的平均动能情况, 其空间分布特征能够指示沉积物物源、输运方向等诸多沉积环境信息^[4]。

偏态是用来描述沉积物粒度频率曲线不对称程

度的参数, 是能够指示沉积环境的灵敏指标, 正偏态说明沉积物众数偏细, 负偏态则说明沉积物众数偏粗; 峰态可以衡量粒度频率曲线的尖锐程度, 也就是度量粒度分布的中部与两尾端的展形之比, 刻画粒度在平均粒度两侧的集中程度, 峰态越窄, 表示样品粒度分布越集中。

根据粒度分析结果(表 1), 东区和西区沉积物样品粒度参数特征差异明显。东区的表层沉积物中值粒径普遍较小, 介于 13~44 μm 之间, 平均值为 20.4 μm , 组分以粉砂和砂质粉砂为主, 分选较好, 分选系数平均为 3.54; 西区的样品平均中值粒径为 30.9 μm , 以砂质粉砂为主, 含少量的粉砂, 其中西区 4、7、9 三个站位样品中值粒径较大, 均大于 40 μm , 属于粉砂质砂, 分选性较东测区更差, 分选系数平均值为 4.35。

对于东区而言, 组分变化与粒度参数基本沿西北—东南方向, 由岸向海方向变化, 细颗粒组分逐渐变多, 砂含量逐渐变少, 分选性逐渐变好, 偏度逐渐趋向负偏, 而峰度则逐渐变大。其中, 黏土含量由 7 号站位最多的 16.4% 逐渐向海变为小于 10%; 粉砂含量由近岸的 65% 左右向海逐渐变为 80% 以上; 砂含量普

遍较小,变化不大,只有近岸的1号站位达到了50%的高值,其他站位平均值在12%左右。粒度参数方面,中值粒径由近岸的1号站位的44 μm向海变为15 μm

左右;分选系数由近岸的4.5左右变为远岸的2.8左右;偏度从北侧的最高值0.05向南变为负偏;峰度由近岸的2.6以下向海逐渐增加为4以上(图5)。

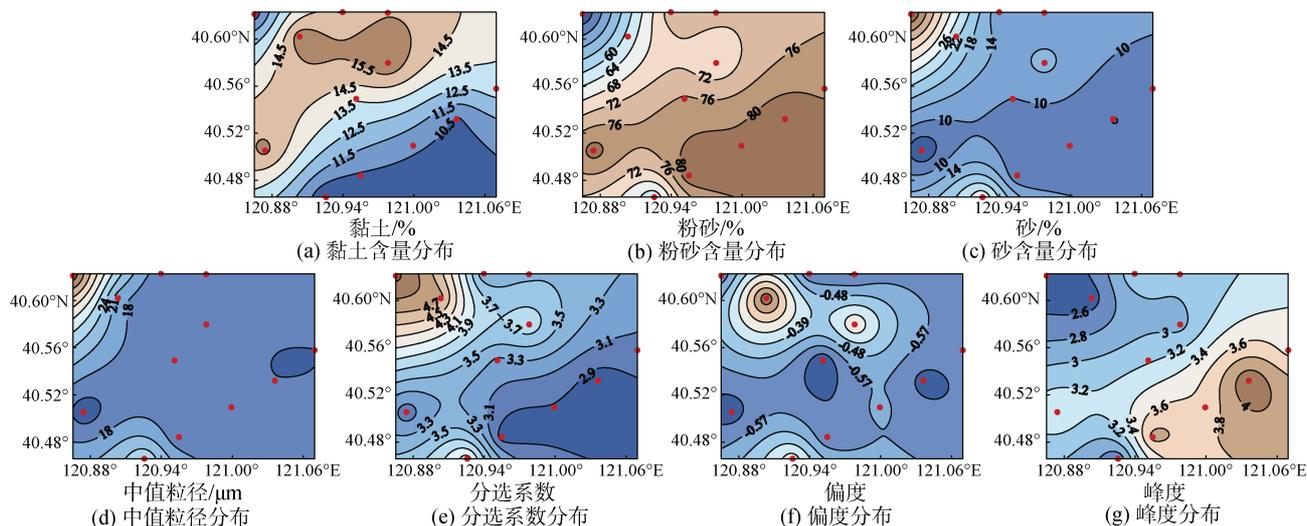


图5 东区表层沉积物组分含量及粒度参数空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the component content and the grain size parameters of surface sediments in the east area

对西区而言,组分和粒度参数的空间变化规律较为复杂。黏土组分含量中部最高,偏度自西向东变为正偏,峰度自西向东逐渐变小,除此之外,粉砂和砂组分显示出南北向变化的特征,分别在空间上变多和变少,同时,中值粒径自北向南增加,分选性自北向南变好。具体而言,沉积物组分上,黏土含量从5号站位的13.1%向两侧逐渐变小;粉砂含量从测区

西北的大于74%向东南逐渐变化为小于44%;砂含量由北侧的小于17%向南变为大于47%。粒度参数上,中值粒径由小于25 μm向南增长到大于40 μm;分选系数由西北侧的小于3.1向东南增大至大于4.9;偏度由6站位的-0.14向两侧减小,最小值出现于最西侧,为西5站的-1.09;峰度则由4号站位的4.55向东向南逐渐减小到2.4以下(图6)。

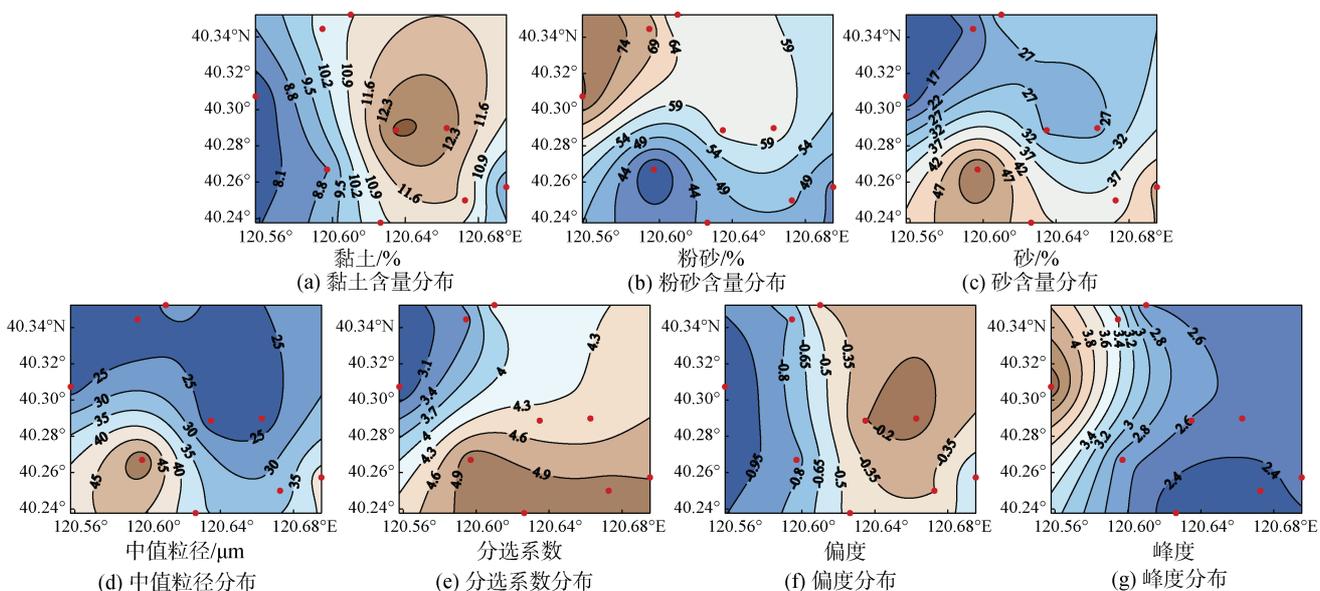


图6 西区表层沉积物组分含量及粒度参数空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the component content and the grain size parameters of surface sediments in the west area

4.3 沉积物分布特征分析

根据沉积物类型、粒度参数空间分布特征确定研究区表层沉积物分布特征(图 7), 东区表层沉积物主要类型为粉砂和砂质粉砂, 分布面积大体相当, 二者分布面积占到了东区面积的 90%以上。其中砂质粉砂多分布于东区东北部, 在西南部也有小范围的分布,

而粉砂则集中分布于研究区南部和远岸一侧, 近岸区域还分布有粉砂质砂, 面积较小。对西区海底表层沉积物而言, 西区 60%以上的面积分布砂质粉砂, 从近岸到远岸区域均有分布。此外, 在西区近岸的西北侧分布有粉砂沉积物, 在西侧及东南侧小部分区域, 还零星分布有粉砂质砂沉积物, 发育规模较小。

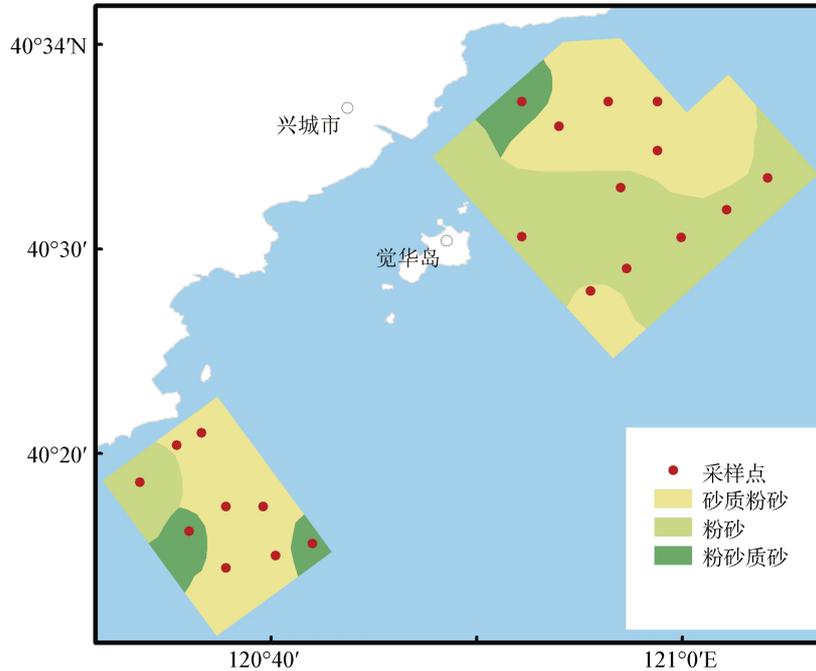


图 7 研究区表层沉积物类型平面分布图

Fig. 7 Plane distribution of the surface sediment types in the study area

海洋沉积物的粒度特征主要受沉积物物源供给、沉积区水动力条件(波浪、潮流、洋流、密度流等)、地形地貌等多种因素的影响, 同时也受海平面变动、气候、生物和化学作用的影响。辽东湾整体为半封闭海湾, 沉积物物源包括周边入海河流携带的泥沙、外来海水带入的悬浮物质、沿岸岛屿及基岩的侵蚀等, 其中主要以河入海流的输入物质为主^[16-17]。辽东湾海域潮流主要为不规则半日潮, 潮流以往复流为主, 主流向为 NE-SW 向, 强潮流区见于入海河口附近。辽东湾内环流主要为黄海暖流余脉和辽东湾沿岸流, 冬季呈顺时针方向环流, 夏季呈逆时针方向, 一年中多数月份是稳定的顺时针环流^[18]。在辽东湾近岸地区, 沿岸流的控制作用显著, 沿岸流季节变化显著, 水团源于入海径流的冲淡水, 盐度较低, 分布在 20 m 等深线以内的沿岸带^[16]。在辽东湾西部, 沿岸流平行岸线方向向北延伸, 动力较强, 至锦州港附近逐渐转为偏东方向, 至大、小凌河口附近,

流速在入海口作用下才得以削弱^[13]。

依据辽东湾表层沉积物类型、粒度分布特征及沉积物分布格局, 综合考虑沉积物物源和海洋水动力条件的影响, 认为研究区沉积物分布特征多受到往复流、沿岸流的影响。在往复流的周期作用下, 东区沉积物以粉砂和砂质粉砂为主, 表现出自陆向海、自北向南方向粒度逐渐变细的特征; 西区沉积物整体较东区较粗, 以砂质粉砂为主, 分析认为可能由辽东湾西部六股河、烟台河等季节性山地河流在汛期径流量增加, 携带大量粗粒泥沙入海导致。入海后河流径流动能瞬间降低, 大量粗粒沉积物在河口快速堆积, 在北向沿岸流控制作用下, 西区形成了以砂质粉砂为主的沉积特征。

5 结论

1) 辽东湾觉华岛附近海域测量水深在 4~22 m 之间, 平均水深约 15 m, 海底地形总体平坦, 水深

往岸线方向逐渐变浅, 远离岸线一侧逐渐加深, 海底地形表现为平缓的近岸缓坡, 总体斜度小于 1%, 地貌以近岸浅滩地貌为主, 局部发育微型海底沙波。

2) 浅地层剖面资料显示研究区海底面以下主要为松散砂泥质沉积物, 沉积结构单一, 多次波较弱, 第一声学反射界面清楚连续, 具有振幅强、高能量特征, 可全区追踪, 穿透地层深度 0.5~5 m 不等, 属于全新世晚期现代沉积, 沉积物厚度相对稳定。

3) 研究区海底表层沉积物粒径普遍较小, 沉积物类型包括砂质粉砂、粉砂质砂、粉砂, 东区表层沉积物以粉砂和砂质粉砂为主, 占到了东区面积的 90% 以上, 粉砂质砂在近岸区域少量分布; 西区表层沉积物主要为砂质粉砂, 粉砂、粉砂质砂零星分布。

4) 沉积物物源供给和水动力环境决定了沉积物组分以及粒度参数的分布趋势。研究区沉积物主要来源于沿岸河流携带的入海泥沙, 组分与粒度参数的空间变化规律较为复杂, 东西两区分布差异特征明显, 周期性的往复流和沿岸流对沉积物的分布具有明显的控制作用。

参考文献:

- [1] 栾振东, 范奉鑫, 李成钢, 等. 地貌形态对海底管线稳定性影响的研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(12): 53-58. LUAN Zhendong, FAN Fengxin, LI Chenggang, et al. The effect of seabed features on the stability of offshore pipeline[J]. Marine Sciences, 2007, 31(12): 53-58.
- [2] 李东, 唐诚, 邹涛, 等. 基于多波束声呐的人工鱼礁区地形特征分析[J]. 海洋科学, 2017, 41(5): 127-133. LI Dong, TANG Cheng, ZOU Tao, et al. Terrain character analysis of artificial reefs area based on multibeam echo sounder[J]. Marine Sciences, 2017, 41(5): 127-133.
- [3] 张洪运, 栾振东, 李近元. 海南东方岸外风电场海底地形地貌特征[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(9): 1-6. ZHANG Hongyun, LUAN Zhendong, LI Jinyuan. Research of submarine topography and geomorphology in Dongfang offshore wind farm, Hainan[J]. Marine Geology Frontier, 2016, 32(9): 1-6.
- [4] 李近元, 宫士奇, 栾振东, 等. 南日岛东部海底地形地貌及沉积特征[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(12): 11-16. LI Jinyuan, GONG Shiqi, LUAN Zhendong, et al. Characteristics of submarine topography and sediments of the east Nanri island[J]. Marine Geology Frontier, 2015, 31(12): 11-16.
- [5] 董志华, 曹立华, 薛荣俊. 台风对北部湾南部海底地形地貌及海底管线的影响[J]. 海洋技术, 2004, 23(2): 24-28, 34. DONG Zhihua, CAO Lihua, XUE Rongjun. The influence on topography and relief in south gulf beibu and suspending of pipe caused by typhoon[J]. Ocean Technology, 2004, 23(2): 24-28, 34.
- [6] 陈义兰, 吴永亭, 刘晓瑜, 等. 渤海海底地形特征[J]. 海洋科学进展, 2013, 31(1): 75-82. CHEN Yilan, WU Yongting, LIU Xiaoyu, et al. Features of seafloor topography in the Bohai Sea[J]. Advances In Marine Science, 2013, 31(1): 75-82.
- [7] 龚旭东, 魏宏伟, 开发庆. 辽东湾北部浅海区海洋工程地质特征[J]. 海岸工程, 2006, 25(2): 47-54. GONG Xudong, WEI Hongwei, QI Faqing. Characteristics of marine engineering geology in the northern Liaodong bay shallow water area[J]. Coastal Engineering, 2006, 25(2): 47-54.
- [8] 栾振东, 李泽文, 范奉鑫, 等. 渤海辽东湾区海底地形分区特征和成因研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 73-80. LUAN Zhendong, LI Zewen, FAN Fengxin, et al. The characteristics and formation of the submarine topography in the Liaodong Bay, the Bohai Sea[J]. Marine Sciences, 2012, 36(1): 73-80.
- [9] 陈珊珊, 陈晓辉, 孟祥君, 等. 渤海辽东湾海域海底地形特征及控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(5): 31-39. CHEN Shanshan, CHEN Xiaohui, MENG Xiangjun, et al. Features and origin of submarine bedforms in the Liaodong bay, the Bohai sea[J]. Marine Geology Frontier, 2016, 32(5): 31-39.
- [10] 王利波, 李军, 赵京涛, 等. 辽东湾中部晚第四纪沉积物物源与沉积环境: 来自碎屑矿物和自生黄铁矿的证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(2): 39-48. WANG Libo, LI Jun, ZHAO Jingtao, et al. Late quaternary sediment provenance and palaeoenvironment in Liaodong bay, Bohai sea: evidence from detrital minerals and authigenic pyrite[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2016, 36(2): 39-48.
- [11] 何宝林, 刘国贤. 辽东湾北部浅海区现代沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(2): 7-15. HE Baolin, LIU Guoxian. Modern sedimentation features of north shallow region of the Liaodong bay[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1991, 11(2): 7-15.
- [12] 苗丰民, 李光天, 卢学勤, 等. 辽东湾菊花岛海区沉积环境初探[J]. 海洋环境科学, 1993, 12(1): 51-58. MIAO Fengmin, LI Guangtian, LU Xueqin, et al. Preliminary study on the sedimentary environment of the sea area of Juhua island in Liaodong Bay[J]. Marine Environment Science, 1993, 12(1): 51-58.
- [13] 张子鹏. 辽东湾北部现代沉积作用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. ZHANG Zipeng. Study on northern Liaodong bay modern deposition[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [14] 王忆非. 辽东湾北部工程地质条件评价[D]. 青岛:

- 国家海洋局第一海洋研究所, 2014.
- WANG Yifei. Assessment on engineering geological suitability in northern Liaodong bay[D]. Qingdao: First Institute of Oceanography, SOA, 2014.
- [15] 赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466-473.
- ZHAO Baoren, ZHUANG Guowen, CAO Deming, et al. Circulation, tidal residual currents and their effects on the sedimentations in the Bohai sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(5): 466-473.
- [16] 秦蕴珊, 赵一阳, 赵松龄, 等. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- QIN Yunshan, ZHAO Yiyang, ZHAO Songling, et al. *Geology of the Bohai sea*[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [17] 王中波, 李日辉, 张志珣, 等. 渤海及邻近海区表层沉积物粒度组成及沉积分区[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(6): 101-109.
- WANG Zhongbo, LI Rihui, ZHANG Zhixun, et al. Grain size composition and distribution pattern of seafloor sediments in Bohai bay and adjacent areas[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2016, 36(6): 101-109.
- [18] 徐东浩, 李军, 赵京涛, 等. 辽东湾表层沉积物粒度分布特征及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(5): 35-42.
- XU Donghao, LI Jun, ZHAO Jingtao, et al. Grain size distribution of surface sediments of the Liaodong bay, Bohai and sedimentary environment restoration[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(5): 35-42.

Analysis of the characteristics of submarine topography and distribution of sediments near Juehua Island, Liaodong Bay

ZHANG Jian-xing^{1, 2}, SONG Yong-dong^{1, 2}, LUAN Zhen-dong^{1, 2}, YANG Li-jian³, GAN Yu³, YAN Jun^{1, 2}

(1. CAS Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Mar. 1, 2020

Key words: submarine topography; sedimentary characteristics; Liaodong bay; Juehua Island

Abstract: To evaluate the engineering geological environment of the seafloor near Juehua Island in Liaodong Bay, high-resolution acoustic equipment was used to obtain the precise topographic data of the investigated sea area, and the sediment types and grain size parameters were analyzed by the sieve and laser particle size analysis methods. The topographic data and sedimentary characteristics of the study area were obtained through comprehensive analysis. Results showed that the measured water depth of the study area is between 4 and 22 m, with an average water depth of approximately 15 m. The topography of the seafloor is generally flat and a gentle nearshore slope that is dominated by the nearshore silty muddy shoal landform. Moreover, the micro seabed sand waves are locally developed. The first acoustic reflection interface of the shallow seabed is clear and continuous that can be traced in the entire area. The penetration depth is approximately 0.5~5 m, and the sediment thickness is relatively stable. The average grain size of the surface sediments in the study area is generally small. The sediment types in the east area are mainly silt and sandy silt, whereas those in the west area are mainly sandy silt. Under the influence of sedimentary provenance and reciprocating and coastal currents in Liaodong Bay, the spatial variation rules of the components and grain size parameters are complex.

(本文编辑: 赵卫红)