

文章编号:1009-2722(2014)09-0011-07

莱州湾西南部表层沉积物粒度分布特征及其现代沉积环境分区

张盼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:根据莱州湾西南部 207 个表层沉积物样品的粒度分析结果,对莱州湾西南部沉积物粒度分布特征进行了研究,在此基础上应用系统聚类分析方法并结合物源及水动力条件探讨了其现代沉积环境分区。结果表明,研究区表层沉积物类型以粉砂质砂、砂质粉砂和粉砂为主,分布范围最广的粉砂主要位于淄脉沟以北;沉积物平均粒径由近岸向莱州湾中部逐渐变细,从南向北呈现粗—细—粗的变化趋势;研究区现代沉积环境分为高能粉砂质砂粗粒沉积区、砂质粉砂过渡沉积区以及低能粉砂细粒沉积区,其水动力环境表现为波浪作用逐渐减弱,潮流作用逐渐增强,沉积物物源由近岸河流、岸滩侵蚀来沙为主变为以黄河悬浮—再悬浮物质为主。

关键词:莱州湾;粒度;聚类分析;现代沉积环境

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

沉积物的粒度特征是海洋表层沉积物基本性质之一,与沉积环境息息相关。因此,粒度分析在沉积环境的研究中被广泛应用,通过沉积物粒度特征的研究可判定沉积物的运移方式以及有效的划分沉积环境^[1-7]。

莱州湾位于渤海南部,以黄河三角洲与渤海湾相隔,水下地形平缓,是山东省重要经济带。前人已对莱州湾做了大量的调查研究,主要着重莱州湾沉积动力条件、悬浮泥沙分布特征、海岸地貌以及海岸侵蚀等的研究^[8-11,14-18],但对莱州湾特别是西南部的现代沉积特征及沉积环境研究较少。本文依托莱州湾西南部的表层沉积物调查资料对沉积物粒度分布特征等进行了研究,在此基础上探讨了莱州湾西南部的现代沉积环境分区。

1 研究区概况

研究区位于莱州湾西南部,范围为自永丰河至胶莱河河口近岸海域(37°07′~37°31′N,118°53′~119°32′E),水下地形平缓,水深大部分在 10 m 以内。研究区属暖温带半湿润气候区,受季风影响显著,区内潮汐性质以不正规半日潮为主,潮流以不正规半日潮流为主,由于受莱州湾潮波的影响潮流呈往复流运动,涨落潮明显。海区内常浪向为 NE 向,次常浪向为 NNE 向。研究区附近海域自北向南依次有黄河、永丰河、淄脉沟、小清河、潍河、胶莱河等多条河流入海。

2 资料与方法

2.1 资料来源

研究样品来自 2007 年在莱州湾海域(37°07′~37°31′N,118°53′~119°32′E)获得的 207 个表层沉积物样品,沉积物采样站位见图 1。

收稿日期:2014-05-01

基金项目:国家自然科学基金(41106039)

作者简介:张盼(1987—),男,在读硕士,主要从事海洋沉积动力学研究工作。E-mail:zpouc1987@163.com

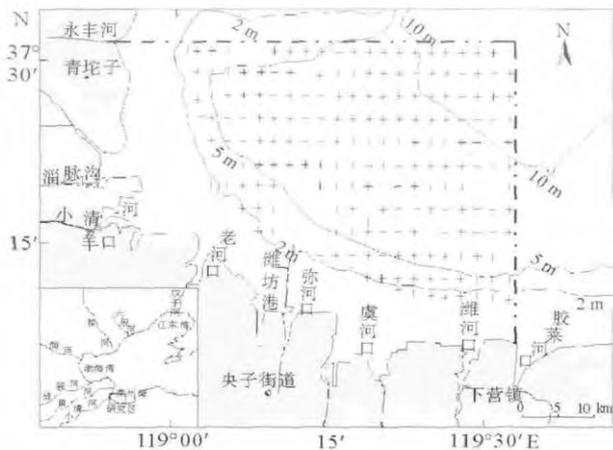


图 1 研究区地理位置及表层沉积物采样站位

Fig. 1 Location map showing sampling stations in the study area

2.2 粒度分析方法

表层沉积物样品的粒度分析采用激光粒度仪 Mastersizer2000 完成, 沉积物粒度采用 (Udden-Wentworth) Φ 粒度标准, 平均粒径、分选系数、偏态和峰度等粒度参数均采用矩法公式计算^[12], 沉积物的分类和命名采用 Folk 三端元沉积物分类方法^[13]。

2.3 现代沉积环境分区方法

利用系统聚类分析方法对沉积物相关参数进行聚类分析, 在此基础上结合研究区内物源及水动力条件分析研究区内现代沉积环境。

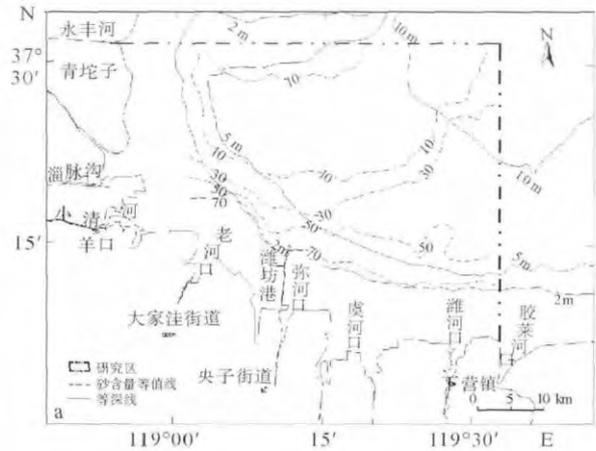
系统聚类分析是最常用的聚类分析方法之一, 通过对样品或指标按各自的特性来进行合理的分类。本文采用统计分析软件 SPSS19.0 对沉积物相关参数进行 R 型聚类分析压缩沉积物特征参数, 在此基础上采用 Q 型聚类分析方法对样品进行聚类, 聚类方法为组间距离法, 组间距离测定采用欧氏距离平方, 按分类后不同类别的样品手动绘制沉积环境分区图。

3 结果

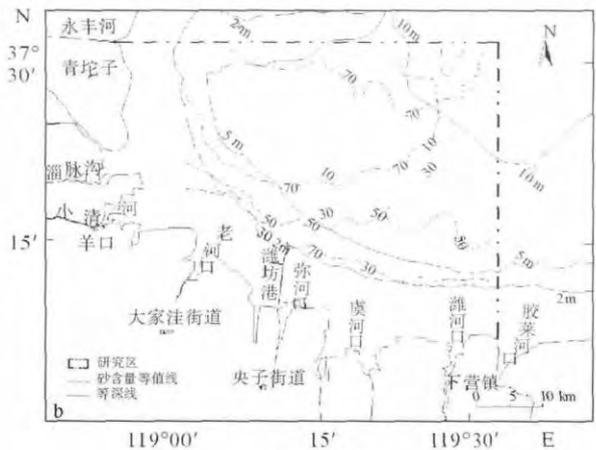
3.1 沉积物粒度分布特征

研究区内沉积物按粒径大小可以分为砂、粉砂和黏土 3 个粒度组分, 砂百分含量范围介于

1.65%~89.44%, 粉砂百分含量在 9.05%~78.37% 之间, 黏土百分含量介于 0~30.98%。粉砂为研究区内主要组分。莱州湾表层沉积物各粒级含量分布如图 2 所示。



a 砂组分



b 粉砂组分

图 2 研究区表层沉积物百分含量分布

Fig. 2 The percentage of the surface sediments and the water depth of the sampling area

从图 2 可以看出, 2 m 等深线以浅即小清河口、濰河口等近岸海域为砂含量高值区 (>70%), 同时也是粉砂含量低值区 (<30%) 和黏土含量低值区 (<8%); 砂含量低值区 (<10%) 主要呈勺状分布在淄脉沟以北海域, 同时也是砂含量高值区 (>70%) 和黏土含量高值区 (>20%) 主要分布范围; 北侧永丰河一线砂含量逐渐增高, 粉砂和黏土含量逐渐降低。整体上研究区内砂含量从近岸向莱州湾中部递减, 从南向北呈现高一低一高的趋

势,黏土和粉砂含量与砂含量分布趋势大致相反;5m 等深线以浅粒度组分含量呈现急剧梯度变化,以深则梯度变化变缓。

3.2 沉积物类型及分布

沉积物 Folk 分类法能够反映沉积动力条件并据此判断沉积环境^[6],因此本文对区内表层沉积物样品进行了 Folk 分类。研究区沉积物类型以粉砂(Z)、砂质粉砂(sZ)和粉砂质砂(zS)为主,表层沉积物各类型组分含量及粒度参数见表 1,表层沉积物类型分布见图 3。

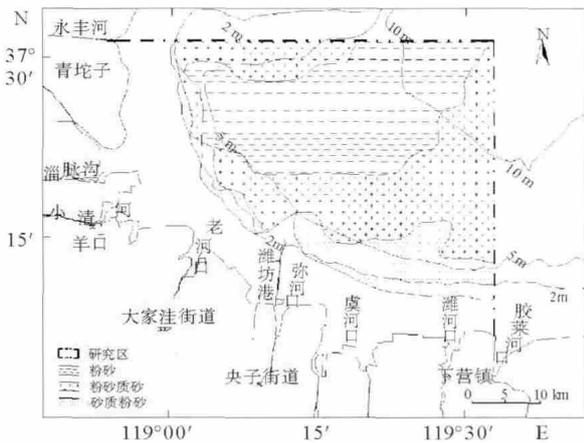


图 3 研究区表层沉积物类型分布

Fig. 3 Distribution map of surface sediments

粉砂(Z) 研究区内分布范围最广,呈勺状分布于淄脉沟以北海域。砂含量为 1.65%~9.99%,粉砂含量为 64.58%~78.37%,黏土含

量为 13.79%~30.98%。沉积物平均粒径均值为 6.29 Φ ;分选系数均值为 1.80,分选较差;偏态系数为 0.00~0.92,属正偏;峰度系数均值为 2.64,为宽类型。

砂质粉砂(sZ) 在研究区内呈环带状分布于粉砂周边。砂含量介于 10.19%~48.89%,粉砂含量为 47.57%~72.93%,黏土含量为 2.65%~20.04%。沉积物平均粒径均值为 4.66 Φ ;分选系数均值为 1.78,分选较差;偏态系数为 0.38~2.81,均属正偏;峰度系数均值为 2.64,为非常宽类型。

粉砂质砂(zS) 主要分布于淄脉沟至潍河口近岸海域,以潍坊港为中心西侧位于 2 m 等深线附近,东侧位于 2~5 m 等深线之间。砂含量介于 51.04%~89.44%,粉砂含量为 9.05%~45.90%,黏土含量为 0~7.29%。沉积物平均粒径均值为 3.72 Φ ;分选系数均值为 1.05,分选较差;偏态系数均值为 2.61,属极正偏;峰度系数均值为 13.33,为非常宽类型。

3.3 沉积物的粒度参数及分布

研究区 207 个表层沉积物的平均粒径范围为 3.29 Φ ~7.10 Φ ,均值为 5.15 Φ ,整体以 5 Φ ~6 Φ 的粉砂质沉积物为主。小清河口、潍河口等近岸海域平均粒径较粗,由近岸向莱州湾中部逐渐变细,从南向北呈现粗—细—粗的变化趋势,平均粒径分布与沉积物粒度组分变化表现出良好对应性(图 4)。

表 1 研究区表层沉积物组分含量及粒度参数

Table 1 Component content and particle size parameters in surface sediments of the study area

沉积物分类		平均粒径/ Φ	分选系数	偏态系数	峰度系数	砂/%	粉砂/%	黏土/%
粉砂(Z)	平均	6.29	1.80	0.45	2.64	5.44	72.61	21.95
	最小	5.54	1.65	0.00	2.28	1.65	64.58	13.79
	最大	7.10	2.04	0.92	3.43	9.99	78.37	30.98
砂质粉砂(sZ)	平均	4.66	1.78	1.34	4.83	29.67	59.38	10.95
	最小	4.00	1.21	0.38	2.33	10.19	47.57	2.65
	最大	6.16	2.16	2.81	12.97	48.89	72.93	20.04
粉砂质砂(zS)	平均	3.72	1.05	2.61	13.33	68.08	30.21	1.71
	最小	3.29	0.58	-0.04	2.59	51.04	9.05	0.00
	最大	3.97	1.80	3.36	18.95	89.44	45.90	7.29

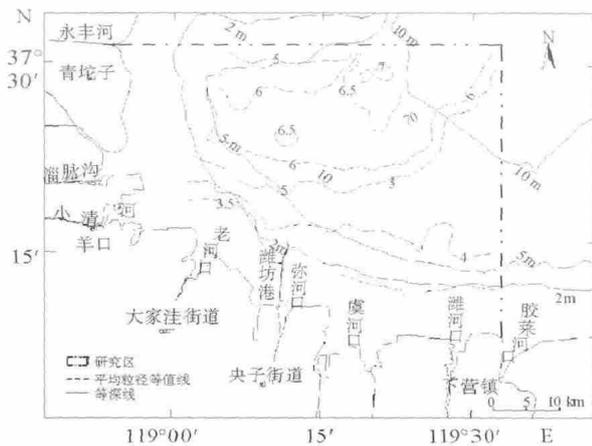


图4 研究区表层沉积物平均粒径分布

Fig. 4 The distribution of mean grain size (Φ) of the surface sediments

研究区表层沉积物分选系数范围介于 0.58~2.16, 平均值为 1.67, 分选性从较好至较差。分选系数从近岸到浅海逐渐变大, 分选性逐渐变差; 整体海域分选系数普遍 >1 , 分选较差。

研究区内偏态整体以正值为主, 其范围为 $-0.04 \sim 3.36$, 平均值为 1.20, 属于正偏态。研究区南部近岸为偏态值高值区 ($Sk > 3$), 偏态低值区 ($Sk < 0.5$) 主要位于淄脉沟以北、莱州湾中心, 5 m 等深线以浅为明显偏粗颗粒物沉积, 北侧永丰河一线表现出偏向粗粒沉积的趋势, 偏态系数变化规律与沉积物类型与粒度分布具有相似性 (图 5)。

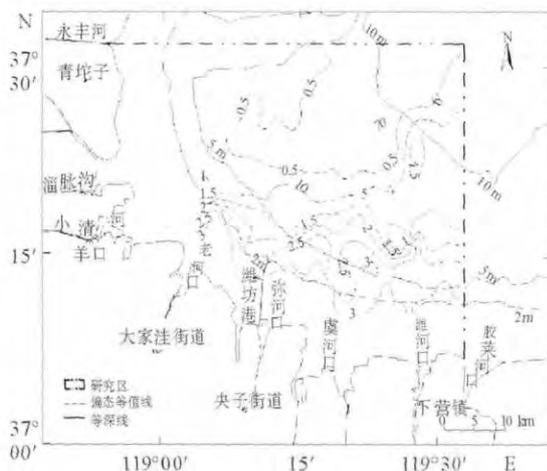


图5 研究区表层沉积物偏态分布

Fig. 5 The distribution of the skewness of the surface sediments

4 讨论

4.1 研究区内沉积物物源及水动力条件分析

通过沉积物粒度特征的研究可有效的判定研究区内沉积环境, 而粒度特征受沉积物物源、水动力条件以及地形地貌等多种因素的制约^[1,15]。

前人调查研究表明现代黄河入海泥沙对本区沉积物影响较为显著, 现行黄河口入海泥沙的扩散范围向南一般约为 35 km, 可以到达淄脉沟以北海域, 在大潮流及北向大风的连续作用下可到达小清河口附近^[9,14,16-18]。此外沉积物来源还包括沿岸河流来沙以及岸滩侵蚀来沙, 但河流来沙对沉积物贡献量逐年下降^[14]。

沉积物类型、粒度特征及迁移受到海洋水动力条件的制约。莱州湾东南部属于不正规半日潮海区, 以老黄河口为中心涨急时与落急时潮流流速等值线呈同心圆的带状分布, 研究区潮流流速从北至南、从东至西依次减小; 涨急时老黄河口东南侧流速可达 94 cm/s, 流向总体特征为从莱州湾湾口沿偏 S 向流入湾内, 在莱州浅滩与老黄河口一线偏为 SW 向, 后在黄河三角洲南侧转为偏 W 向; 落急时老黄河口东南侧最大流速为 98 cm/s, 流向特征体现为黄河三角洲南侧海域为偏 E 向, 在莱州湾湾口附近总体呈现为偏 NE 向^[18]。在近岸物质输运过程中淤泥质海岸潮流远远超过波浪沿岸流而成为泥沙运移的主要动力, 同时黄河入海悬浮泥沙的分布与扩散受到莱州湾内高速潮流场的影响, 潮流场控制着表层悬浮泥沙的总体扩散特征^[14,17,19]。

莱州湾的波浪主要受季风控制, 以风浪为主, 其出现频率在 80% 以上, 常浪向为 NE 向, 次常浪向为 NNE 向, 强浪向为 NE 向。波浪是近岸浅水海域最为主要的动力因素之一, 泥沙输移过程中随潮流向破波带外的扩散和沿岸方向的输送是淤泥质海岸泥沙输移的 2 个主要方面^[20]。

4.2 研究区现代沉积环境分区

4.2.1 沉积物聚类分区相关参数筛选

通过对沉积物相关参数 R 型聚类分析将具有相同聚集趋势 (即距较近) 的参数合并, 在此基

基础上选取特征参数作 Q 型聚类分析划分沉积物类别是合理的^[21]。

R 型聚类采用的沉积物参数有中值粒径、平均粒径、分选系数、偏态、峰度、砂百分含量、粉砂百分含量和黏土百分含量, 综合考虑 R 型聚类分析结果以及彼此相关性、筛选条件组合, 结合分区效果最终选出 3 个参数即偏态、黏土百分含量和粉砂百分含量作为样品 Q 型聚类分区的基础, 最终通过 Q 型系统聚类分析划分样品类别判别沉积环境分区。

4.2.2 现代沉积环境分区

以海底表层沉积物相关参数聚类分区为基础, 并结合物源及水动力条件分析建立起莱州湾西南部现代沉积环境分区(图 6), 各区粒度参数及粒级组成见表 2。

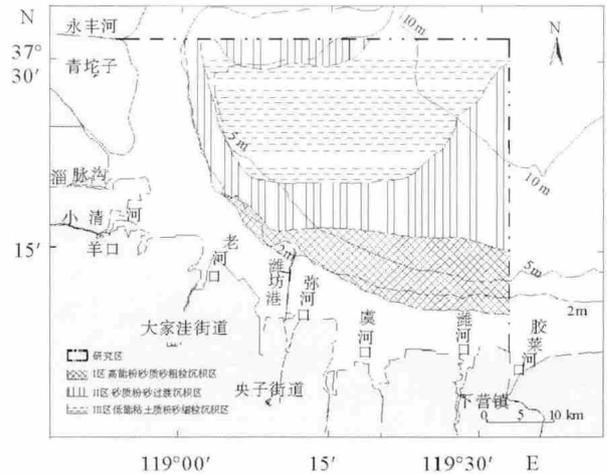


图 6 莱州湾西南部现代沉积环境分区

Fig. 6 Depositional zones in the study area

表 2 研究区现代沉积环境分区各区概况

Tab. 2 Overview of modern sedimentary environment of the study area

现代沉积环境分区	平均粒径/ Φ	分选系数	偏态系数	峰度系数	砂 /%	粉砂 /%	黏土 /%	物源	水动力条件
I 区	平均	3.79	1.12	2.66	12.98	63.01	34.90	主要来自沿岸河流来沙及岸滩侵蚀来沙	沉积物搬运方式主要是跳跃搬运, 风浪掀沙, 潮流输沙
	最大	4.09	1.47	3.36	18.95	89.44	53.02		
	最小	3.29	0.70	1.62	8.12	44.20	9.05		
II 区	平均	4.57	1.84	1.28	4.24	30.34	58.76	来自近岸岸滩侵蚀以及悬浮一再悬浮搬运的黄河口物质	沉积物搬运方式主要是跳跃搬运, 悬浮搬运为次一级搬运方式。波浪作用减弱, 潮流作用增强, 从浪控向潮控作用过渡
	最大	5.54	2.16	2.13	8.17	53.92	78.37		
	最小	3.90	1.44	0.61	2.33	7.85	38.79		
III 区	平均	6.20	1.82	0.47	2.65	6.33	72.29	主要来源于黄河泥沙的悬浮一再悬浮	沉积物搬运方式主要是悬浮一再悬浮搬运。潮流作用是沉积动力环境中的主要营力
	最大	7.10	2.04	0.81	2.92	16.06	76.87		
	最小	5.39	1.65	0.00	2.28	1.65	64.58		

(1) 高能粉砂质砂粗粒沉积区(I 区)

呈带状沿岸线平行展布, 北起淄脉沟南至潍河口, 以潍坊港为中心东侧范围大于西侧。砂组分百分含量均值为 63.01%, 粉砂均值为 34.90%, 均值为 2.10%, 粉砂、黏土组分含量较低, 沉积物平均粒径均值为 3.79 Φ , 沉积物搬运方式主要是跳跃搬运(图 7)。本区沉积物来源受黄河入海物质影响微弱^[9,14,16-18], 沉积物主要来自沿岸河流来沙及岸滩侵蚀来沙, 对应沉积物类型主要为粉砂

质砂。5 m 等深线以浅沉积物粒度组分含量呈现明显梯度变化, 代表着相对高能的近岸水动力环境, 特别是潍坊港东侧波浪与潮流共同作用明显, “风浪掀沙, 潮流输沙”为粉砂淤泥质海岸泥沙运动的主要特点^[22]。研究表明, 近年来研究区 0~2 m 等深线总体为蚀退, >2 m 等深线总体趋势为淤进^[22], 沿岸侵蚀离岸堆积规律明显。

(2) 砂质粉砂过渡沉积区(II 区)

其主体平行于岸线呈带状分布, 同时在北侧

永丰河一线也有分布。砂组分百分含量均值为 30.34%，粉砂为 58.76%，黏土为 10.90%，与 I 区相比砂组分含量变化大，粉砂含量增高，平均粒径进一步变细，分选性较 I 区变差，峰度值变小，物质来源趋向多元性，整体表现为微淤积状态^[23]，沉积物搬运主要是跳跃搬运，悬浮搬运含量增加，成为次一级搬运方式(图 7)。沉积物来源可能来自近岸岸滩侵蚀以及悬浮一再悬浮搬运的黄河口物质^[9,16]；沉积物类型主要为砂质粉砂，粒度组分含量变化梯度缓，从沉积物运移方式及水深地形可得出，该区波浪作用减小，潮流作用增强，沉积区分布与数值模拟潮流场分布具有一致性^[18]，本区成为从浪控作用到潮控作用的过渡沉积区。

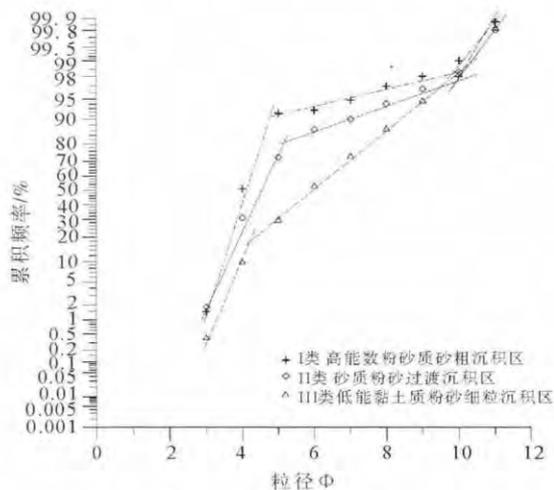


图 7 研究区某些站位沉积物累积频率图解

Fig 7 The cumulative probability curve of the surficial sediments from some stations in the study area

(3) 低能粉砂细粒沉积区(III区)

在研究区内分布范围最广，呈勺状分布于淄脉沟以北。砂组分含量均值为 5.04%，粉砂为 72.29%，黏土为 21.38%，砂组分含量不高，粉砂是其主要组分，平均粒径较 I 区、II 区明显变细，峰度值偏低，平均粒径、分选系数等变化程度小，物质来源相对 II 区更加具有多样性，沉积物主要是悬浮一再悬浮搬运方式，跳跃搬运方式不明显(图 7)。本区沉积物类型主要为粉砂的细粒沉积，粉砂含量高(>70%)，沉积物粒度参数变化幅度小，属于低能沉积环境，沉积物主要来源于黄河

泥沙的悬浮一再悬浮^[9,14]；该区分布与研究区²¹⁰Pb证实的沉积速率分布范围具有一致性^[24]，呈现出弧状分布，同时该区分布与数值模拟潮流场分布具有一致性^[18]；根据水深地形、潮流场与沉积物分布可得沉积区内波浪作用不明显，潮流作用是沉积动力环境中的主要营力，属于潮控低能细粒沉积区。

5 结论

(1) 研究区沉积物类型主要有粉砂(Z)、砂质粉砂(sZ)和粉砂质砂(zS)，粉砂分布范围最广。

(2) 研究区表层沉积物砂含量从近岸向莱州湾中部递减，北侧永丰河一线砂含量增高，黏土和粉砂含量与砂含量分布趋势大致相反；平均粒径由近岸向莱州湾中部逐渐变细，从南向北呈现粗—细—粗的变化趋势；5 m 等深线以浅海域粒度组分呈现明显梯度变化。

(3) 以研究区表层沉积物参数聚类分区为基础，综合考虑水动力条件及沉积物物源，莱州湾西南部现代沉积环境可划分为高能粉砂质砂粗粒沉积区、砂质粉砂过渡沉积区以及低能粉砂细粒沉积区 3 类并各有其特征。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 方建勇, 陈 坚, 王爱军, 等. 九龙江河口区现代沉积环境及其物质输运趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(2): 35-41.
- [3] 王 伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 525-531.
- [4] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及其输运趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 139-147.
- [5] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1969, 39: 1074-1106.
- [6] 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: 3-26.
- [7] Halls J R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967,

- 37: 1 059-1 069.
- [8] 王中波,杨守业,李日辉,等.黄河水系沉积物碎屑矿物组成及其沉积动力环境约束[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(4):73-85.
- [9] 刘艳霞,黄海军,杨晓阳.基于遥感反演的莱州湾悬沙分布及其沉积动力分析[J].海洋学报,2013,35(6):43-53.
- [10] 李蒙蒙.最近50年来莱州湾西—南部淤泥质海岸地貌演变研究[J].海洋通报,2013,32(2):141-151.
- [11] 丰爱平,夏东兴,谷东起,等.莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究[J].海洋科学进展,2006,24(1):83-90.
- [12] Memanus J. Grain size determination and interpretation [M]//Tucker M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Backwell,1988: 63-85.
- [13] 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: 937-968.
- [14] 陈斌,黄海军,梅冰.小清河口海域泥沙运动特征[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(5):35-41.
- [15] 何起祥.海洋沉积作用的物源控制[J].海洋地质前沿,2011,27(1):8-13.
- [16] 卢晓东,刘艳霞,严立文.莱州湾西岸岸滩冲淤特征分析[J].海洋科学,2008,32(10):39-44.
- [17] 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.
- [18] 刘建强.莱州湾海洋工程建设对小清河口环境影响数值研究[D].青岛:中国海洋大学,2012.
- [19] 虞志英,金 谔,陈德昌,等.淤泥质海岸近岸带水动力特征及人工吹泥条件下的岸滩演变——以连云港附近海岸为例[J].华东师范大学学报:自然科学版,1986,3:88-99.
- [20] 陈德昌,金 谔,唐 德,等.连云港地区淤泥质海岸近岸带水体含沙量的横向分布[J].海洋与湖沼,1989,20(6):544-553.
- [21] 李玉中,陈沈良.系统聚类分析在现代沉积环境划分中的应用——以崎岖列岛海区为例[J].沉积学报,2003,21(3):487-494.
- [22] 杨 华,侯志强,黄骅港外航道悬浮泥沙淤积问题研究[J].水道港口,2004,3(25):59-63.
- [23] 程义吉,高 菁.莱州湾海域水文特征及冲淤变化分析[J].海岸工程,2006,25(3):1-6.
- [24] 胡邦琦,李国刚,李 军,等.黄海、渤海铅-210沉积速率的分布特征及其影响因素[J].海洋学报,2011,33(6):125-133.

DISTRIBUTION OF SURFACE SEDIMENTS AND MODERN SEDIMENTARY ENVIRONMENT IN THE SOUTHWESTERN LAIZHOU BAY

ZHANG Pan¹, 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: Based on the grain size data of 207 surface sediment samples in the southwestern Laizhou Bay, the distribution pattern of surface sediments is studied. The method of cluster analysis is applied to exploring its modern sedimentary environments with the help of source and hydrodynamic analysis. Results show that the surface sediments in the study area are characterized by silty sand, silt and sandy silt, and silt is widely distributed in the sea area north to the Zimai Gou. The mean grain size gradually decreases from the shore to the central part of the Laizhou Bay, while it shows a coarse-fine-coarse trend from south to north. The modern sedimentary environment in the study area can be divided into 3 zones: the high-energy silty sand depositional zone, sandy silt transitional zone and low-energy silt depositional zone. In terms of hydrodynamic environment, it presents a trend of the weakening of wave action as tidal currents are strengthened. At the same time, the source of sediments changes from rivers and beach erosion to suspension and resuspension of the Yellow River deposits.

Key words: Laizhou Bay; grain size; cluster analysis; modern sedimentary environment