

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2015.05.003

# 渤海海峡南部海域表层沉积物分布特征及控制因素

张伟<sup>1,2</sup>, 周连成<sup>2</sup>, 吴建政<sup>1</sup>, 朱龙海<sup>1</sup>, 胡日军<sup>1</sup>, 姜胜辉<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2. 国土资源部 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:**利用渤海海峡南部海域208个表层沉积物样品的粒度分析测试结果,结合矿物组分及动力条件,分析了沉积物的分布特征及其控制因素。结果表明:(1)表层沉积物类型丰富,以粗粒沉积物为主,含砾组分分布范围较广,主要位于岛陆之间水道、基岩海岸和登州浅滩附近海域;(2)粗粒沉积物分选差—极差,细粒沉积物分选好,偏态系数以正值为主,且东部海域高于西部海域;(3)东部海域表层沉积物为陆源残留沉积产物,西部海域为黄河及莱州湾西南部河流输入与东侧山东半岛岛屿冲刷供给的过渡区;(4)南部砂质海岸沉积物受波浪作用控制,外侧海域、岛陆之间水道及基岩岬角海域沉积物受潮流作用控制。

**关键词:**表层沉积物;粒度参数;控制因素;渤海海峡

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2015)05-0019-10

海洋沉积物类型、粒度及分布特征是海洋沉积学的基本研究内容,也是海洋沉积环境类型识别和物质运动方式判定的重要依据<sup>[1-2]</sup>。以往学者从沉积物特征、沉积作用及输运趋势等多个方面对渤海海域<sup>[3-7]</sup>和北黄海西部海域<sup>[8-11]</sup>进行了系统的研究。渤海海峡位于我国渤海、黄海分界处,周边岛屿散布,地形条件复杂,沉积物类型丰富,且受到不同潮波系统的影响,因此,对其沉积物分布及其控制因素的研究意义重大。赵全基<sup>[12]</sup>、尹延鸿<sup>[13]</sup>等学者对渤海海峡北部的沉积物类型及其沉积环境进行过探讨,但对渤海海峡南部海域的相关研究却比较匮乏。本文以龙口至蓬莱近岸的渤海海峡南部海域的大量表层沉积物调查资料为基础,通过粒度分析和沉积物分类,结合矿物组成资料,从物源和沉积环境角度,研究沉积物分布特征及其控制因素,从而完善渤海海峡南部海域沉积学方面的研究成果。

## 1 研究方法

### 1.1 样品采集

利用小型蚌式采样器和自制锚式采样器,2010年9月在蓬莱海域采集表层沉积物样品86个,2012年11—12月在龙口海域采集表层沉积物样品122

个,具体采样位置见图1。

### 1.2 分析方法

沉积物粒度分析测试采用沉降法(比重计和移液管法)结合筛析法进行<sup>[14]</sup>,筛析法用于粒径大于0.063 mm的沉积物,沉降法用于粒径小于0.063 mm的沉积物。沉积物样品烘干后移入烘箱,于105 °C恒温3 h,再置于干燥器15~20 min,然后在感量0.001 g的天平上称量,每个样品取样不小于0.25 kg,称量后移入玻璃杯,加入蒸馏水和20 cm<sup>3</sup>的0.5 mol/dm<sup>3</sup>的六偏磷酸钠溶液,经超声波分散烘干后用孔径间隔为0.5 Φ的筛子由粗到细振筛15 min,再将各粒级样品烘干后在感量0.000 1 g的天平上称量,求出粗粒沉积物各粒级的质量分数。经筛析后小于0.063 mm的物质稀释至1 000 cm<sup>3</sup>,用搅拌器匀速搅拌1 min,读取悬液温度,吸液前15 s将吸管轻轻置于悬液的特定温度,吸液时应在20 s内匀速准确地吸取25 cm<sup>3</sup>悬液,将吸取的悬液置于小烧杯烘干后称量,求得细粒沉积物各粒级质量分数。

对于粒度参数的计算,当前较为广泛的方法主要有Folk-Ward图解法<sup>[15]</sup>和Mc Manus矩阵法<sup>[16]</sup>。Folk-Ward(1957)图解法物理意义明确,精确度高,应用最为广泛,是《海洋调查规范》<sup>[17]</sup>中使用的计算方法。本文选用Folk-Ward(1957)图解法进行粒度参数的计算,包括平均粒径(Mz)、分选系数( $\sigma_i$ )、偏态( $Sk_i$ )、峰态( $Kg$ )<sup>[18-19]</sup>4种参数。沉积物分类和定名采用福克等三端元分类法。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41106039)

**作者简介:**张伟(1982—),男,博士,主要从事海洋沉积动力研究,Email:henryzhangwei@gmail.com

**收稿日期:**2014-11-09; **改回日期:**2015-01-12. **文凤英**编辑

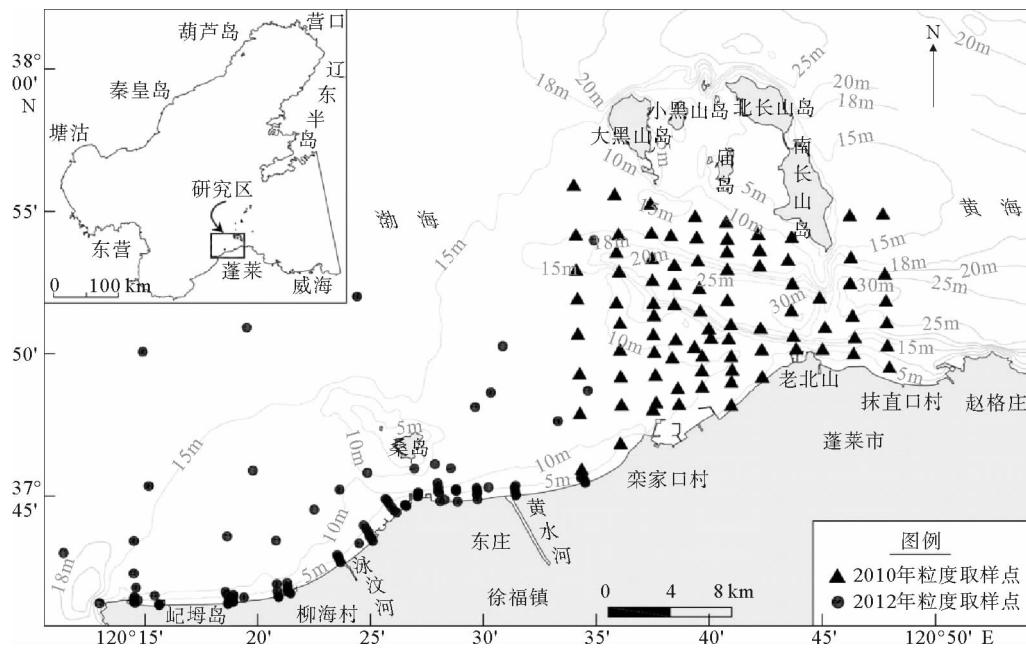


图1 研究区位置及表层沉积物取样站位分布

Fig. 1 Map of study area and sampling stations for surface sediments

表1 Folk-Ward图解法公式

Table 1 Formulas of Folk-Ward graphic methods

参数名称	公式	参数名称	公式
平均粒径( $M_z$ )	$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$	分选系数( $\sigma_i$ )	$\sigma_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$
偏态( $Sk_i$ )	$Sk_i = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$	峰态( $Kg$ )	$Kg = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$

注:式中  $\Phi_5$ 、 $\Phi_{16}$ 、 $\Phi_{25}$ 、 $\Phi_{50}$ 、 $\Phi_{75}$ 、 $\Phi_{84}$ 、 $\Phi_{95}$  依次表示累积曲线上累积含量为 5%、16%、25%、50%、75%、84%、95% 的点对应的  $\Phi$  值粒径。

表2 McManus矩法公式

Table 2 Formulas of McManus moment methods

参数名称	公式	参数名称	公式
平均粒径( $M_z$ )	$X = \frac{1}{100} \sum f M_\phi$	分选系数( $\sigma_i$ )	$\sigma_i = \sqrt{\sum f(M_\phi - X)^2 / 100}$
偏态( $Sk_i$ )	$Sk_i = \frac{1}{100} \sum f(M_\phi - X)^3 / \delta^3$	峰态( $Kg$ )	$Kg = \frac{1}{100} \sum f(M_\phi - X)^4 / \delta^4$

注:式中  $f$  为某一粒级的质量百分含量(频率);  $M_\phi$  为某一粒级的中点值(以  $\Phi$  制表示)。

## 2 结果

### 2.1 沉积物组分含量分布特征

图2可见,表层沉积物中砾组分较为常见,在莱家口村至林格庄村北侧、桑岛南侧和屺姆岛西北角海域存在3处百分含量高值区,其中屺姆岛西北角

和登州水道内砾组分含量高达50%以上,其他海域的海面开阔度相对较高,砾含量普遍小于1%或者不含砾。

图2b可见,砂组分分布较为普遍,含量普遍大于10%,整体表现为由岸向海含量逐渐减小的趋势。区内存在几处砂组分含量的高值区,分别位于南长山岛西南侧、登州浅滩和南部近岸海域,砂组分含量普遍达到70%以上,登州浅滩和南部近岸海域

最高可达 90% 以上。

图 2c 可见, 近岸海域粉砂组分百分含量普遍小于 10%, 其他海域含量较高, 整体呈现由岸向海逐渐增加的趋势。大黑山岛南侧、屺母岛北侧、桑岛北侧以及南长山岛东西两侧海域粉砂组分含量较高, 可达 70% 以上, 岐母岛北侧海域粉砂组分含量最高可达 80% 以上。

图 2d 可见, 黏土组分含量普遍较低, 通常小于 15%, 南长山岛东、西两侧、林格庄村西北的登州水道以及岐母岛西北侧海域黏土含量相对较高, 可达到 20% 以上。

从表层沉积物组分含量分布特征来看, 区内沉积物主要成分是砂和粉砂, 两者含量之和基本可达到 70%~90%; 栾家口村以东的蓬莱海域、桑岛南侧水道和岐母岛西北角海域砾组分含量较高, 可达到 20% 以上, 局部海域高达 50% 以上; 黏土含量不高, 通常小于 15%; 从空间分布上看, 研究区南部近岸海域以粗颗粒的砂为主, 离岸以细颗粒的粉砂和黏土为主, 砾主要分布在岛陆之间水道、基岩海岸和登州浅滩附近海域。

## 2.2 沉积物粒度参数分布

沉积物粒度参数主要反映沉积物来源和沉积环

境。一般认为, 沉积物平均粒径和分选系数与沉积物来源关系密切, 偏态和峰态反映的是沉积环境对粒度的改造结果<sup>[20]</sup>。研究区表层沉积物粒度参数分布见图 3。

研究区内表层沉积物平均粒径( $M_s$ )普遍为 1~4  $\Phi$ , 岐母岛附近、桑岛南侧水道、栾家口村附近以及登州水道内平均粒径小于 1  $\Phi$ , 粒径较粗。桑岛东北侧、岐母岛北侧海域平均粒径大于 4  $\Phi$ , 粒度较细。

分选系数( $\sigma_i$ )差异较大, 其分布趋势与平均粒径具有较好的对应关系, 岐母岛附近、桑岛南侧水道、栾家口村附近以及登州水道内分选系数大于 1, 分选差-极差, 对应粗粒径沉积物分布区; 桑岛东北侧、岐母岛北侧海域分选系数小于 0.1, 分选极好, 对应细粒沉积物分布区; 其他区域处于分选等级的过渡区域。

偏态( $Sk_i$ )整体以正值为主, 且大于 0.3 的区域覆盖范围较广, 属于很正偏态, 且东部蓬莱海域高于西部龙口海域。柳海村西北侧、栾家口村附近、林格庄村近岸、登州水道西北部以及南长山岛南部海域内偏态系数最大, 可达到 0.8 以上; 岐母岛附近及北侧海域、桑岛南侧水道及东北侧海域、南长山岛西南侧局部海域偏态系数小于 0.3, 属于近对称-正偏态。

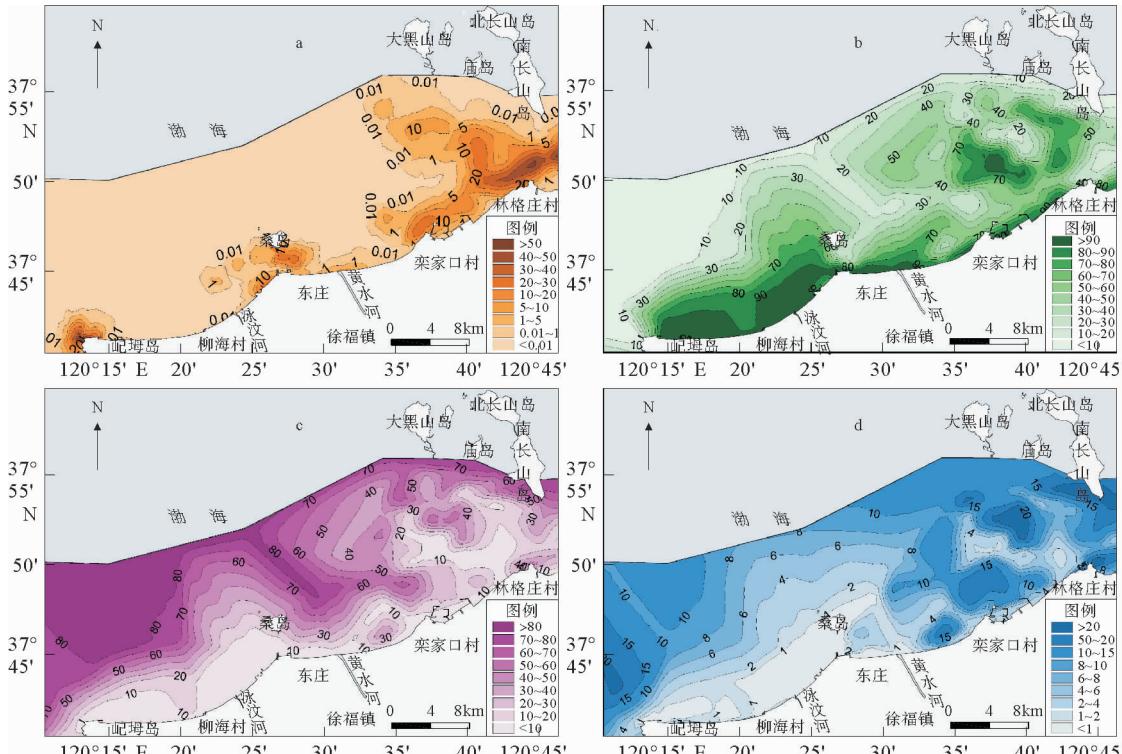


图 2 渤海海峡南部海域表层沉积物中砾(a)、砂(b)、粉砂(c)、黏土(d)组分含量(%)分布

Fig. 2 The percentage content of gravel(a), sand(b), silt(c), clay(d) in the surface sediments

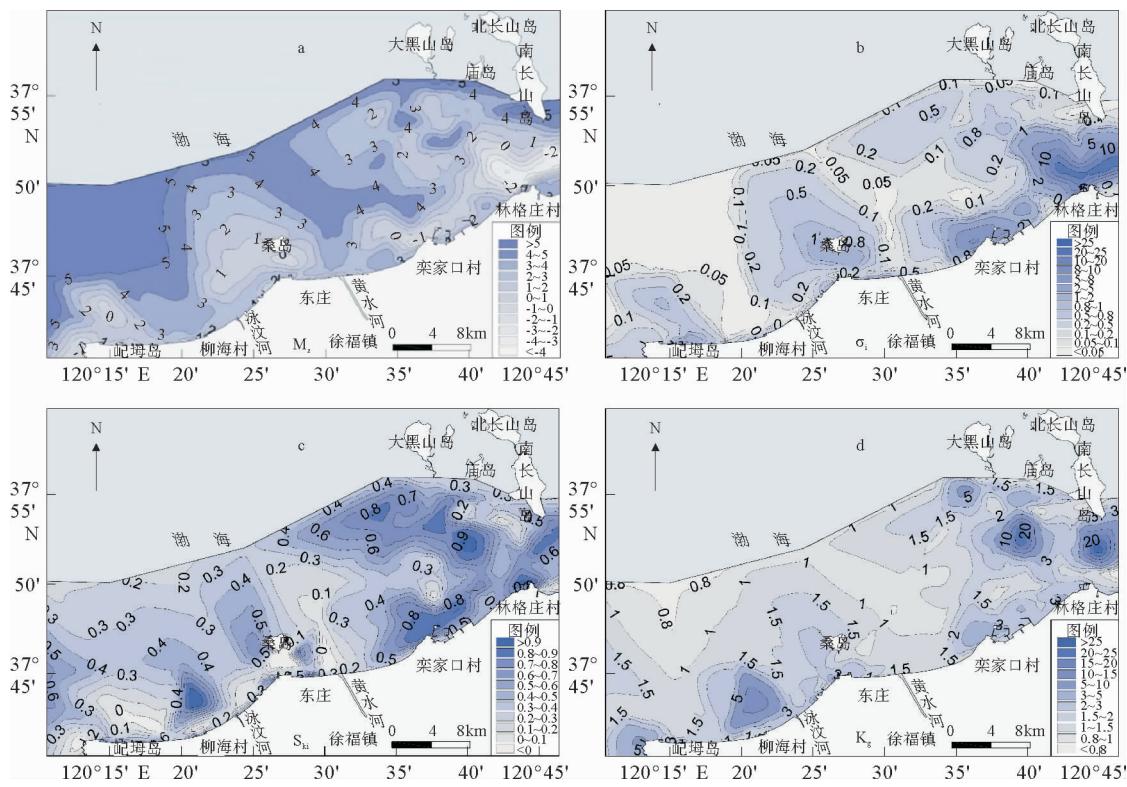
a: 平均粒径 (Mz); b: 分选系数 ( $\sigma_i$ ); c: 偏态 ( $Sk_i$ ); d: 峰度 (Kg)

图 3 渤海海峡南部海域表层沉积物粒度参数分布

Fig. 3 Distribution map of grain size parameters (a: Mean (Mz); b: Sorting ( $\sigma_i$ ); c: Skewness ( $Sk_i$ ); d: Kurtosis (Kg)) in the surface sediments

峰度 (Kg) 差异较大, 鳴海岛西北角、柳海村西北侧、登州水道海域内沉积物峰度值较大, 可达 3.0 以上, 峰度非常尖锐; 鳴海岛北侧、桑岛东北侧海域峰度值较小, 可达 0.8 以下, 峰度处于平坦-中等尖锐之间; 其他海域峰度由中等尖锐向非常尖锐过渡。

### 2.3 沉积物类型分布

按照 Folk 分类方法对研究区表层沉积物进行分类命名, 各类型沉积物组分构成及粒度参数的统计结果见表 3, 沉积物粒度分析数据在 Folk 分类三角图上的投影见图 4。可以看出, 在所有调查样品

中含砾的站位数量较多, 其中以砾和砂为主要成分的站位数量多于以砾和泥为主要成分的站位, 在不含砾的站位中, 沉积物以砂和粉砂为主要成分。表层沉积物类型较为丰富, 共包含 15 种类型, 其中含砾站位 115 个, 包括砂质砾 (sG)、泥质砂质砾 (msG)、泥质砾 (mG)、砾质砂 (gS)、砾质泥质砂 (gmS)、含砾砂 ((g)S)、含砾泥质砂 ((g)mS)、含砾泥 ((g)m)、砾质泥 (gM) 9 种类型, 不含砾站位 93 个, 包括砂 (S)、粉砂质砂 (zS)、泥质砂 (mS)、砂质粉砂 (sZ)、粉砂 (Z)、砂质泥 (sM) 6 种类型。

表 3 渤海海峡南部海域表层沉积物类型及粒度参数

Table 3 Statistics of the surface sediment types and grain size parameters

沉积物类型	样品数	取值	砾/%	砂/%	粉砂/%	黏土/%	Mz/mm
砾 (G)	3	最大值	96.0	8.5	9.5	0.3	37.14
		最小值	82.0	0.5	1.2	—	2.11
		平均值	89.6	5.6	4.7	0.1	14.06
砂质砾 (sG)	9	最大值	66.1	63.4	2.3	2.1	4.14
		最小值	34.7	33.3	0.0	—	1.54
		平均值	48.0	50.8	0.8	0.5	2.54

续表3

沉积物类型	样品数	取值	砾/%	砂/%	粉砂/%	黏土/%	Mz/mm
泥质砂质砾(msG)	6	最大值	72.2	55.0	14.0	7.9	21.74
		最小值	33.5	18.8	5.6	—	1.34
		平均值	48.9	37.0	9.8	4.4	8.02
泥质砾(mG)	3	最大值	69.4	30.4	45.5	11.8	24.54
		最小值	31.8	8.4	15.8	4.9	3.19
		平均值	44.9	18.3	29.1	7.7	12.70
砾质砂(gS)	28	最大值	29.0	93.6	4.9	2.8	1.59
		最小值	5.2	68.9	0.1	—	0.31
		平均值	14.3	84.2	1.1	0.4	0.96
砾质泥质砂(gmS)	11	最大值	27.0	83.2	32.4	16.3	1.74
		最小值	5.3	45.0	5.0	3.9	0.16
		平均值	14.1	56.8	18.3	10.8	0.84
砾质泥(gM)	8	最大值	25.9	42.4	43.6	29.4	2.02
		最小值	7.8	13.5	29.6	5.5	0.34
		平均值	17.5	32.3	36.2	14.0	0.84
含砾质砂((g)S)	15	最大值	4.9	99.8	6.2	2.9	1.20
		最小值	0.1	92.3	0.1	—	0.19
		平均值	1.6	96.0	1.5	0.9	0.58
含砾泥质砂((g)mS)	19	最大值	4.8	84.7	39.3	19.8	0.70
		最小值	0.1	51.1	8.2	1.3	0.08
		平均值	1.6	64.9	23.8	9.8	0.27
含砾泥((g)M)	13	最大值	2.6	34.2	75.2	30.3	0.17
		最小值	0.1	6.4	46.0	10.3	0.01
		平均值	0.8	18.9	58.6	21.6	0.05
砂(S)	60	最大值	—	99.4	5.5	4.9	41.06
		最小值	—	91.0	0.3	—	0.11
		平均值	—	97.3	2.3	0.5	0.85
粉砂质砂(zS)	6	最大值	—	89.8	36.0	4.0	0.10
		最小值	—	60.0	8.6	—	0.07
		平均值	—	79.0	19.0	2.0	0.08
泥质砂(mS)	4	最大值	—	86.6	18.4	19.5	0.34
		最小值	—	62.1	6.1	7.3	0.11
		平均值	—	74.4	12.6	13.0	0.17
砂质粉砂(sZ)	10	最大值	—	49.1	87.0	16.0	0.09
		最小值	—	13.0	36.7	—	0.03
		平均值	—	26.4	62.4	11.3	0.06
砂质泥(sM)	2	最大值	—	42.9	55.8	28.2	0.07
		最小值	—	16.0	37.8	19.3	0.03
		平均值	—	29.5	46.8	23.8	0.05
粉砂(Z)	11	最大值	—	5.7	90.3	28.8	0.03
		最小值	—	1.0	69.1	8.0	0.01
		平均值	—	2.9	81.3	15.7	0.02

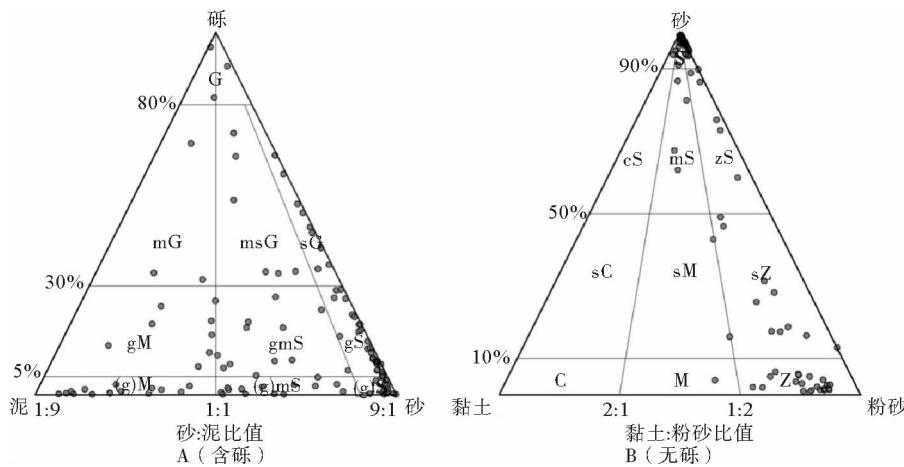


图 4 渤海海峡南部海域表层沉积物 Folk 分类命名分布

Fig. 4 Sediment type of the surface sediment according to Folk's classification

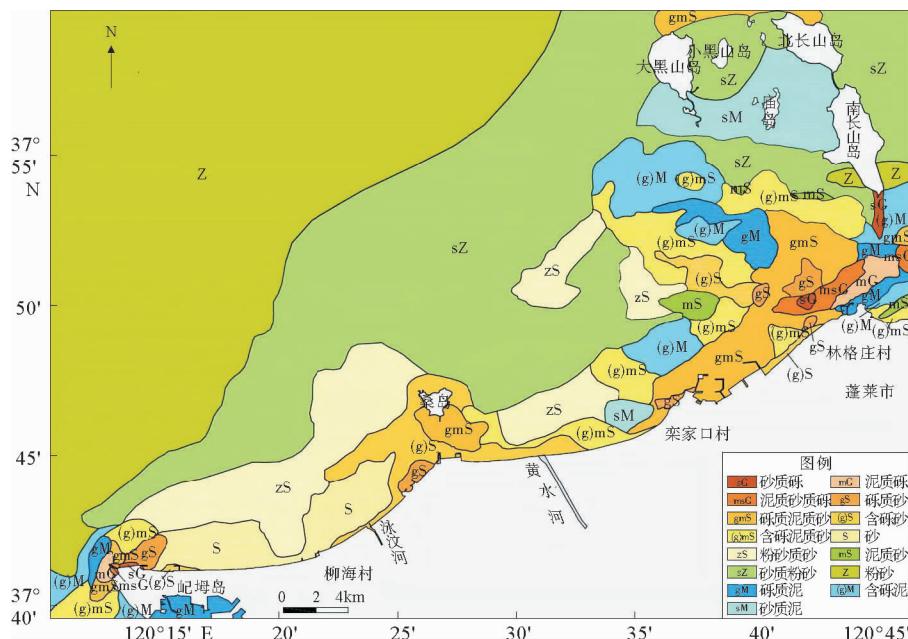


图 5 渤海海峡南部海域表层沉积物类型分布

Fig. 5 Distribution map of the surface sediment types

根据沉积物分类结果绘制研究区表层沉积物类型分布图(图 5),其中,研究区西北部海域以及庙岛群岛各岛间海域的表层沉积物类型主要依据以往研究资料<sup>[3,21-22]</sup>确定。从图 5 可以看出,研究区内含砾沉积物主要分布在屺姆岛角、桑岛南侧水道、黄水河至林格庄村近岸以及登州浅滩和登州水道海域内,其他海域以粉砂(Z)、砂质粉砂(sZ)、粉砂质砂(zS)、砂(S)为主。研究区南部沿海岸线连续分布有沙滩,沉积物类型自西向东有含砾砂((g)S)、砂(S)、砾质砂(gS)、含砾泥质砂((g)mS)、砾质泥质砂(gmS)等。

### 3 讨论

### 3.1 沉积物的来源

沉积物的粒度分布特征主要受控于物源和沉积环境<sup>[23]</sup>。从物源角度而言,通常近海泥沙来源主要有河流入海泥沙、海岸海滩及岛屿侵蚀泥沙、海底侵蚀泥沙以及生物残骸形成的泥沙等。研究区内仅有黄水河和泳汶河两条短源、季节性河流入海,其泥沙供给量较小,对区域沉积物分布影响有限。区内海

岸多以沙滩和基岩为主, 生物残骸形成的泥沙数量也可忽略不计。另外, 以往研究<sup>[24-26]</sup>显示研究区东侧的蓬莱近岸受 20 世纪末登州浅滩海砂开采活动的影响, 海岸侵蚀严重, 侵蚀的泥沙对周边海域沉积物的分布具有一定影响, 而西侧栾家口村至屺姆岛的砂质海岸相对较为稳定, 虽然近年来也呈现出侵蚀的趋势, 但侵蚀速度较慢, 侵蚀的泥沙对区域沉积物分布影响较小。

由于沉积物中矿物的分布通常能够反映沉积物的来源、动力环境以及形成历史, 通过结合以往学者对周边海域沉积物矿物组成的研究成果, 可以探讨研究区海域内沉积物的来源问题。以往研究<sup>[27]</sup>表明, 研究区西部的龙口屺姆岛海区沉积物中重矿物含量为 7.3%, 重矿物成分有角闪石(61.9%)、绿帘石(11.8%)、金属矿物(7.2%)、石榴石(2.9%)、屑石(6.7%)、辉石(1.3%)、黄铁矿(5.0%)。根据王昆山等的研究成果<sup>[28]</sup>, 黄河口和莱州湾的重矿物组合为云母-普通角闪石-绿帘石, 白云母的平均含量略高于黑云母。黄河物源碎屑沉积物以云母-普通角闪石-绿帘石组合为特征, 富含黑云母<sup>[29]</sup>。莱州湾沉积物中重矿物含量偏低, 仅 1.5% 左右, 稳定矿物如石榴石等含量也较低。这些矿物种类和含量变化均表明, 龙口海区与莱州湾其他海区沉积物中碎屑矿物特征有所差异, 其重矿物特征是富含角闪石和绿帘石, 而云母含量较少, 重矿物含量高于莱州湾其他海域, 其矿物组合受沿岸岛屿冲刷的影响较大。因此, 研究区西侧的龙口海域表层沉积物属于黄河以及莱州湾西南部河流输入与东侧山东半岛岛屿冲刷供给的过渡区域类型。此区域内除屺姆岛西北侧基岩岬角海域以含砾沉积为主外, 其表层沉积物以由细粒沉积向粗粒沉积过渡的砂和粉砂质砂为主, 符合过渡区域的沉积物特点。

研究区东部的蓬莱海域表层沉积物矿物分析结果表明<sup>[24]</sup>, 沉积物中重矿物含量较高, 平均可达 16.8%, 重矿物组合为角闪石(44.2%)、金属矿物(16.9%)、辉石族(8.8%)、硅灰石(4.5%)、伊丁石(1.0%)。辉石族在此区域作为主要矿物出现, 硅灰石和伊丁石特殊矿物分布普遍, 石榴石作为三大岩类中的常见矿物在该区的平均含量却较低, 仅 2.2% 左右。这种沉积物的矿物组合特征与黄河口、莱州湾以及龙口海域明显不同。结合赵奎寰<sup>[24]</sup>的研究成果, 可见研究区内的蓬莱西部近海表层沉积物具有明显的陆源性, 重矿物成分及组合主要受陆区玄武岩及新、老黄土状堆积物岩性控制。而蓬莱老北山以东沿岸多为砂质与基岩岬角相间的海岸为

主, 其分布有沉积岩、变质岩、玄武岩及其风化产物, 马格庄沿岸则主要由玄武岩及黄土堆积物组成。可见, 蓬莱东西沿岸(以老北山为界)组成岩性相似, 矿物成分及组合相近。而从沉积物中轻矿物海绿石分布比较普遍这一矿物学特征来看, 蓬莱东、西沿岸以及登州浅滩附近的沉积物同属于残留沉积的产物。

### 3.2 沉积环境

表层沉积物除受物源影响外, 其外部动力环境也是影响其类型和分布的重要因素。在近岸浅海区, 这种外部动力环境主要包括潮汐、海流、波浪、河流径流等。

研究区位于黄渤海分界处, 该海域是东侧北黄海旋转潮波系统和西侧由渤海口门向渤海内传播的潮波系统的交界处, 其传播方向自东侧的北黄海向西侧的渤海<sup>[30]</sup>。海峡东岸潮差大, 潮流流速大, 海峡西岸潮差小, 潮流流速相对较小。研究区内平均潮差约 0.8 m, 落潮流速大于涨潮流速, 峡道内流速大于两侧的黄渤海海域, 最大可能流速可达 3—4 节(154.2~205.6 cm/s)<sup>[31]</sup>, 落潮方向为偏西向, 涨潮方向为偏东向。

研究区登州水道内沉积物粒径粗, 砾组分含量高, 潮流作用强, 向东西两侧海域, 粒径呈细化的趋势, 对应于峡道流速大于两侧海域的动力特点。东部的蓬莱海域表层沉积物颗粒较粗, 含砾组分较为普遍, 分布范围广, 西部的龙口海域除屺姆岛和桑岛南侧水道外, 其他海域沉积物以颗粒较细的砂质粉砂、粉砂质砂和砂为主, 对应于流速自峡道向两侧逐渐减弱的动力特点。另外, 西部的龙口海域内表层沉积物矿物组成上表现出的黄河以及莱州湾西南部河流输入向东侧山东半岛岛屿冲刷供给过渡的特征与落潮流速大于涨潮流速的动力特点相吻合。由此可见, 研究区内沉积物的分布特征与潮流作用具有良好的对应关系, 其形成主要受潮流作用所控制。

研究区南部沿海岸线多以砂质甚至含砾的砂质沉积物为主, 表明这些区域动力环境较强。但由于这些区域水深较浅, 岸线较为平直, 潮流流速明显小于外侧海域。由此判断, 潮流并非沿岸海域沉积环境的控制因素。通常而言, 波浪和潮汐作用是影响海滩过程的重要动力因子<sup>[32-34]</sup>。研究区海域潮差较小, 潮汐作用对海滩沉积物的类型和分布影响较小, 由于海滩坡度较陡, 且受到登州水道、登州浅滩等复杂水下地形的影响, 结合波浪环境的研究成果<sup>[35]</sup>以及海岸侵蚀的现状, 可知该海域波能作用强烈, 波浪是南部近岸海域表层沉积物形成和分布的主要控制

因素。

## 4 结论

(1) 研究区表层类型丰富,包括砂质砾、泥质砂质砾、泥质砂、砾质砂、砾质泥质砂、含砾砂、含砾泥质砂、含砾泥、砾质泥9种含砾类型,砂、粉砂质砂、泥质砂、砂质粉砂、粉砂、砂质泥6种不含砾类型。

(2) 含砾的粗粒沉积物主要分布在岛陆之间水道内、基岩海岸以及登州浅滩附近海域,细粒沉积物主要分布在研究区西北侧的开阔海域,沿海岸线以砂质沉积物为主。粗粒沉积物分选差—极差,细粒沉积物分选好,偏态系数以正值为主,且东部海域高于西部海域。

(3) 研究区内表层沉积物矿物分布具有区域性特征,西部的龙口海域表层沉积物属于黄河及莱州湾西南部河流输入与东侧山东半岛岛屿冲刷供给的过渡区域类型,东部的蓬莱海域表层沉积物属于陆源残留沉积的产物。侵蚀海底泥沙是表层沉积物的主要物源,侵蚀海岸泥沙对局部沉积物分布有一定影响。

(4) 研究区南部砂质海岸附近表层沉积物的形成与分布主要受波浪作用控制,潮流作用是研究区外侧海域、岛陆之间水道以及基岩岬角海域沉积环境的主要控制因素。

## 参考文献 (References)

- [1] Doeglas D T. Grain-size indices, classifications and environment [J]. *Sedimentology*, 1968, 10: 83-100.
- [2] Visher G S. Grain size distribution and depositional processes [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39:1074-1106.
- [3] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨 [J]. *海洋学报*, 2010, 32(4): 139-147. [QIAO Shuqing, SHI Xuefa, WANG Guoqing, et al. Discussion on grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Bohai Sea [J]. *Actaoceanologica Sinica*, 2010, 32(4): 139-147.]
- [4] 田立柱, 耿岩, 裴艳东, 等. 渤海湾西部表层沉积物粒度特征与沉积混合 [J]. *地质通报*, 2010, 29(5): 668-674. [TIAN Lizhu, GENG Yan, PEI Yandong, et al. The grain-size characteristics and sediment mixingpattern of surface sediment from the western Bohai Bay, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(5):668-674.]
- [5] 董太禄. 渤海现代沉积作用与模式的研究 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 6(4): 43-53. [DONG Tailu. Modern sedimentation models in the Bohai Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1996, 6(4): 43-53.]
- [6] 赵全基. 渤海表层沉积作用 [J]. *黄渤海海洋*, 1988, 6(1): 45-50. [ZHAO Quanji. Surface sedimentation in the Bohai Sea [J]. *Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Sea*, 1988, 6(1): 45-50.]
- [7] 刘建国. 全新世渤海泥质区的沉积物物质组成特征及其环境意义 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2007. [LIU Jian-guo. Material compositions of sediments in the Bohai Sea mud area during the Holocene and their environmental implications [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [8] 孔祥淮, 刘健, 李巍然, 等. 山东半岛东北部海底表层沉积物粒度分布特征和沉积作用研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 2006, (3): 37-47. [KONG Xianghuai, LIU Jian, LI Weiran, et al. Study on grain-sizedistribution of surface sediments and modern sedimentation in the littoral zone in the northeastern part of the ShangDong Peninsula [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006, (3): 37-47.]
- [9] 程鹏, 高抒. 北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净输运趋势 [J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(6): 604-615. [CHENG Peng, GAO Shu. Net sediment transport patterns over the northwestern Yellow Sea, based upon grain-size trend analysis [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(6): 604-615.]
- [10] 蒋东辉, 高抒. 渤海海峡潮流底应力与沉积物分布的关系 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(4): 663-667. [JIANG Donghui, GAO Shu. Relationship between the tidally-induced near-bed shear stress andthe distribution of surficial sediments in the Bohai Strait [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 663-667.]
- [11] 王桂芝. 北黄海西部泥质沉积特征与成因探讨 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2001. [WANG Guizhi. Sedimentary characteristics and mechanism of mud deposits in the northern Yellow Sea [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2001.]
- [12] 赵全基. 渤海海峡海底沉积物的沉积环境及沉积时代 [J]. *海洋科技资料*, 1981,(6): 37-43. [ZHAO Quanji. Sedimentary environment add age of bottom sediment in Bohai Strait [J]. *Marine Scientific and Technological Information*, 1981, (6): 37-43.]
- [13] 尹延鸿, 周青伟. 渤海东部地区沉积物类型特征及其分布规律 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1994, 14(2): 47-54. [YIN Yanhong, ZHOU Qingwei. Characteristics and distribution of sediment types in eastern Bohai Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1994, 14(2): 47-54.]
- [14] Cooper L R, Haverland R L, Hendricks D M, et al. Microtrace particle size analyzer: An alternative particlesize determination method for sediment and soil [J]. *Soil Science*, 1984, 138: 138-146.
- [15] Folk R, Andrews P, Lewis D. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand [J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13 (4): 937-968.
- [16] McManus J. Grain size determination and interpretation [C] Tucher M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Black-

- well, Oxford, 1988: 63-85.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查(GB/T12763.8-2007) [R]. 北京: 海洋出版社, 2007. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Investigation Standard (GB/T 12763 . 8-2007)[R]. Beijing: China Ocean Press, 2007: 1-79. ]
- [18] Folk R L. A review of grain-size parameters [J]. Sedimentology, 1966, 6: 73-97.
- [19] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1976: 31-127. [Chengdu Geological Institute. Sedimentary Particle Size Analysis and Its Application. Beijing: Geological Publishing House, 1976: 31-127. ]
- [20] 李粹中, 张富元, 王秀昌. 东海沉积物成因环境的初步分析 [J]. 海洋学报, 1983, 5 (6): 753-765. [LI Cuizhong, ZHANG Fuyuan, WANG Xiuchang. Primary study on the genetic environment of sediment on the East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1983, 5(6): 753-765. ]
- [21] 中国海岛志编纂委员会. 中国海岛志(山东卷)(第1册)(山东北部沿岸) [M]. 北京: 海洋出版社, 2013. [Compilation Committee of Island records Chinese. Chinese island Zhi (Shandong volumes) (Volume 1) (The coast of northern Shandong) [M]. Beijing: China Ocean Press, 2013. ]
- [22] 李广雪, 杨子赓, 刘勇. 中国东部海域海底沉积物类型图 [M]. 北京: 科学出版社, 2005. [LI Guangxue, YANG Ziqeng, LIU Yong. Eastern Area of Seabed Sediment China Chart Type [M]. Beijing: Science Press, 2005. ]
- [23] 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. [WANG Wei, LI Anchun, XU Fangjian, et al. Distribution of surface sediments and sedimentary environment in the north Yellow Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(5): 525-531. ]
- [24] 赵奎寰. 登州浅滩物质来源及运移趋势 [J]. 海岸工程, 1992, 11(1): 32-40. [ZHAO Kuihuan. The sediment source of Dengzhou shallows and its transport tendency [J]. Coastal Engineering, 1992, 11(1): 32-40. ]
- [25] 吴桑云. 山东省蓬莱西海岸侵蚀及其与地貌环境的关系 [J]. 海岸工程, 1992, 11(4): 46-52. [WU Sangyun. The relation between geomorphic environment and coastal erosion in the west of Penglai county, Shandong province [J]. Coastal Engineering, 1992, 11(4): 46-52. ]
- [26] 王忠岱. 登州浅滩地貌近期演变研究 [J]. 海岸工程, 2005, 24(1): 29-38. [WANG Zhongdai. Study of the recent geomorphological evolution in the Denzhou shoal area [J]. Coastal Engineering, 2005, 24(1): 29-38. ]
- [27] 赵奎寰. 龙口屺姆岛海区重矿物分布——泥砂运移趋势 [J]. 海岸工程, 1988, 7(2): 34-41. [ZHAO Kuihuan. Distribution of heavy minerals in sea area near Qimu island of the city of Longkou tendency towards silt transport [J]. Coastal Engineering, 1988, 7(2): 34-41. ]
- [28] 王昆山, 石学法, 蔡善武, 等. 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. [WANG Kunshan, SHI Xuefa, CAI Shanwu, et al. Distribution and provenance of the surface sediments of the Yellow River mouth and LaiZhou Bay deduced from heavy minerals [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2010, 30(6): 1-8. ]
- [29] 林晓彤, 李巍然, 时振波. 黄河物源碎屑沉积物的重矿物特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 17-21. [LI Xiaodan, LI Weiran, SHI Zhenbo. Characteristics of mineralogy in the clastic sediments from the Yellow River provenance [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(3): 17-21. ]
- [30] 姜晓晖, 文先华. 蓬莱海域的潮汐潮流特征分析 [J]. 水道港口, 2011, 32(2): 144-148. [JIANG Xiaohui, WEN Xianhua. Characteristic analysis of tide and tidal currents in Penglai sea area [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2011, 32 (2): 144-148. ]
- [31] 王庆. 山东庙岛海峡的峡道动力地貌 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 17-24. [WANG Qing. The channel dynamic geomorphology of Miaodao strait, Shandong, China [J]. Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(2): 17-24. ]
- [32] 童宵岭, 时连强, 夏小明, 等. 岬湾海滩沉积动力地貌研究 [J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(10): 14-21. [TONG Xiaoling, SHI Lianqiang, XIA Xiaoming, et al. Progress in sediment dynamic geomorphological study of Headland-Bay beaches [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(10): 14-21. ]
- [33] Medina R, Bernabeu A M, Vidal C, et al. Relationships between beach morphodynamics and equilibrium profiles [C]// Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, ASCE. 2000: 2589-2601.
- [34] 蔡锋, 苏贤泽, 曹惠美, 等. 华南砂质海滩的动力地貌分析 [J]. 海洋学报, 2005, 27 (2): 106-113. [CAI Feng, SU Xianze, CAO Huimei, et al. Analysis on morphodynamics of sandy beaches in South China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 106-113. ]
- [35] 陈雪英, 胡泽建. 山东蓬莱西庄附近海域波浪与海岸侵蚀 [J]. 黄渤海海洋, 1992, 10(1): 19-26. [CHEN Xueying, HU Zejian. On waves and coastal erosion in the sea area near west village Penglai county, Shandong Province [J]. Journal of oceanography of Huanghai and Bohai Sea, 1992, 10(1): 19-26. ]

## DISTRIBUTION PATTERN OF THE SURFACE SEDIMENTS IN SOUTHERN BOHAI STRAIT AND CONTROLLING FACTORS

ZHANG Wei<sup>1,2</sup>, ZHOU Liancheng<sup>2</sup>, WU Jianzheng<sup>1</sup>, ZHU Longhai<sup>1</sup>,  
HU Rijun<sup>1</sup>, JIANG Shenghui<sup>1</sup>

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

2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071)

**Abstract:** Based on the grain size data of 208 surface sediment samples in the southern Bohai Strait, combining the mineralogy of sediments with the water dynamic conditions, this paper discussed the distribution pattern of the surface sediments and its controlling factors. The results show that: 1) Surface sediments vary in grain size, but are dominated by coarse-grained sediments. Pebbles are widely distributed in the waterways between the islands and land, the rocky coasts and the subtidal area near the Dengzhou Shoal. 2) The sorting of coarse sediments is generally poor or very poor, instead, the fine-grained sediments are well sorted. And the skewness is generally positive which is higher in the east region compared to the west. 3) Terrestrial residual sediments occur in the east of the study area, while the west of the study area is a transitional zone of the fluvial deposits of the Yellow River and other rivers to the southwestern Laizhou Bay and the eroded debris from the islands along the Shandong Peninsula; 4) The grain size distribution in the southern beach of the study area is controlled by waves, in contrast grain size distribution in offshore areas, waterways between islands and the land and the areas near the rocky headland is mainly controlled by tidal currents.

**Key words:** surface sediment; grain size parameters; controlling factors; The Bohai Strait