

韩忠, 王敬, 边雄飞. 桑沟湾海域表层沉积物粒度特征及其环境意义[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(9): 77-86.

HAN Zhong, WANG Jing, BIAN Xiongfei. Grain-size distribution of surface sediments in Sanggou Bay and its environmental significance[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(9): 77-86.

桑沟湾海域表层沉积物粒度特征及其环境意义

韩忠^{1,2}, 王敬^{1,2*}, 边雄飞^{1,2}

(1 山东省第六地质矿产勘查院, 威海 264209; 2 山东省深部金矿探测大数据应用开发工程实验室, 威海 264209)

摘要:根据桑沟湾和邻近海域 201 个表层沉积物样品粒度测试结果, 分析了砾、砂、粉砂和黏土等各粒级组分含量分布特征, 划分了沉积物类型, 探讨了沉积环境。结果表明, 沉积物组分中以粉砂粒级组分为主, 砾和砂分布相对集中。海域表层沉积物类型共有 12 类, 含砾沉积物类型 7 类, 不含砾沉积物类型 5 类, 其中砂质粉砂与粉砂分布最广。桑沟湾及邻近海域沉积物分布主要受控于泥沙来源、地形地貌及潮流、波浪、沿岸流等沉积动力条件的共同作用。桑沟湾西部近岸海域的泥沙为近源沉积, 颗粒较粗, 向海扩散有限; 桑沟湾外沉积物颗粒由东向西变细, 与黄海西部沿岸流携带的黄河源泥沙向西扩散有关; 桑沟湾内沉积物颗粒较细, 水动力较弱; 桑沟湾东北部和东南部海底的脊状凸起区域, 含砾沉积物为当地近源碎屑沉积, 受海流冲刷的影响, 细颗粒碎屑难以沉积。

关键词:桑沟湾; 表层沉积物; 粒度组分; 沉积物类型; 沉积环境

中图分类号:P736.2

文献标识码:A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.131

0 引言

海洋沉积物的粒度变化受沉积物源区性质、沉积动力特征和搬运方式等综合因素的影响, 是直接反映沉积物特征、沉积动力环境变化的指标之一。海洋沉积物的粒度数据广泛用于物质运动方式的判定和沉积环境类型的识别。利用海洋沉积物的粒度特征推测沉积环境, 解释搬运和沉积作用的动力状况, 已经成为海洋沉积学研究的重要方法之一。长期以来, 国内外海洋地质学者对中国东部海域表层沉积物粒度特征做了大量的研究工作, 并取得了丰富的成果^[1-11]。但这些研究所选的区域范围一般都比较大, 是对较大区域海底表层沉积物特征宏观的整体性认识, 而山东半岛东部的桑沟湾及其邻近

海域, 范围小, 离岸近, 目前未见关于该区表层沉积物粒度特征研究的报道。本文根据桑沟湾及其邻近海域表层沉积物粒度组成和粒度参数, 分析了砾、砂、粉砂和黏土等各粒级组分含量分布特征, 判定了海底沉积物类型, 探讨了沉积物物源、地形和地貌以及海洋水动力条件等因素综合影响下的沉积环境, 为海洋牧场的建设和发展提供了基础性的地质信息, 对环境保护及资源开发等都具有重要的参考意义。

1 材料和方法

2019 年在山东荣成市桑沟湾及其邻近海域共采集表层沉积物样品 201 个站位(图 1), 表层采样采用箱式采样器, 采集海底表层 0~20 cm 无扰动沉积物样品, 所有样品的粒度分析由自然资源部海洋地质实验检测中心完成。

沉积物粒度分析方法依据《海洋调查规范·海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8—2007), 根据各样品沉积物的特点, 分别采用筛析法、激光法和综合法。以粒径>0.063 mm 的砂砾为主要成分的沉积物采用筛析法; 对于分选较差, 砂泥组分均有较

收稿日期: 2022-04-24

资助项目: “山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查”(鲁勘字(2019)52 号)。

作者简介: 韩忠(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质、海洋地质方面的工作。E-mail: hanzhonggl@163.com

* 通讯作者: 王敬(1982—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质、海洋地质方面的工作。E-mail: lywhwj@126.com

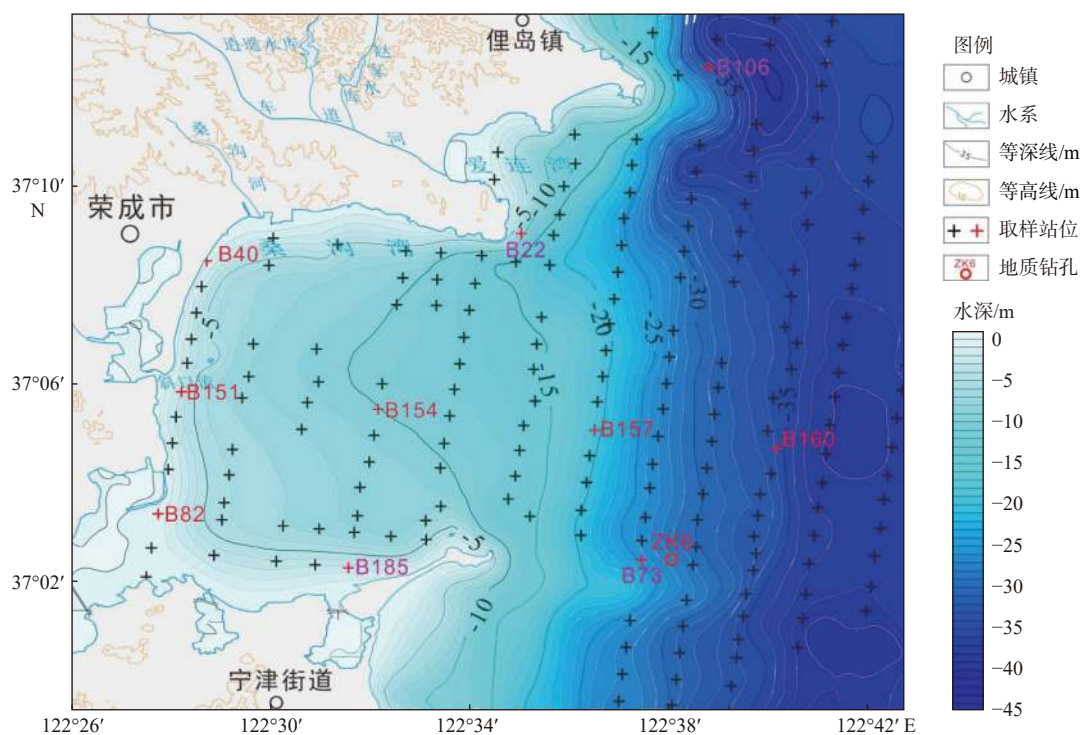


图1 研究区表层样品取样站位分布

Fig.1 Sampling stations for surface sediments in the study area

高含量的样品采用综合法;以细砂以下组分为为主的沉积物样品采用激光法。

采用激光法进行粒度分析时,样品经过洗盐、去除有机质(10%的 H_2O_2)和自生碳酸岩(稀浓度的盐酸),并超声波分散样品后,采用英国 MALVERN 公司 Mastersizer2000 型激光粒度分析仪进行测试,粒径范围为 $0.02 \sim 2\,000\ \mu m$,相对误差 $< 3\%$ 。

目前国内沉积学研究中,海底表层沉积物类型主要使用 2 种分类方法,分别是谢帕德和福克沉积物分类方法。关于这 2 种分类命名方法的适用性和特点已有许多学者进行了讨论^[12-17]。由于福克分类法在沉积动力和成因方面具有明显的指示意义,因此本文采用福克沉积物分类方法^[18],即按端元组分含量的三角形命名方法,将含砾沉积物和不含砾沉积物分别进行命名(图 2)。

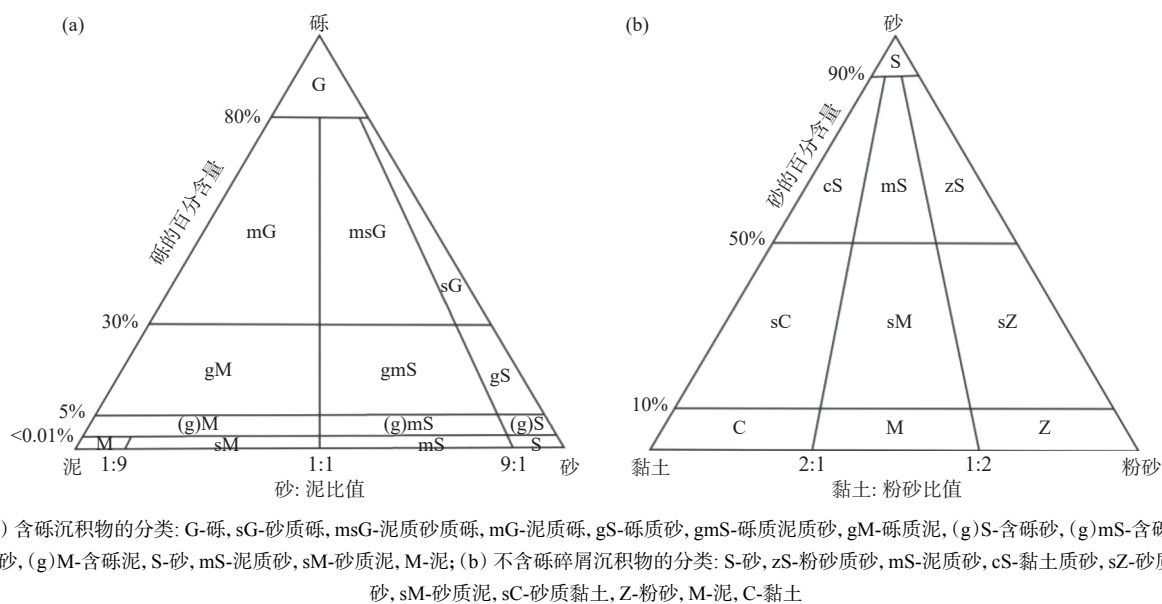


图2 沉积物三角形分类图解

Fig.2 The ternary diagram for sediment classification

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物粒级组分平面展布规律

将海底表层沉积物颗粒分为砾石($<-1\Phi$, 即 $>2\text{ mm}$)、砂($-1\Phi\sim4\Phi$, 即 $2\sim0.063\text{ mm}$)、粉砂($4\Phi\sim8\Phi$, 即 $0.063\sim0.004\text{ mm}$)和黏土($>8\Phi$, 即 $<0.004\text{ mm}$) 4 种粒级组分,并绘制了砾石、砂、粉砂和黏土粒级组分百分含量的平面展布图(图 3)。

砾石粒级组分含量变化范围为 $0\sim80\%$, 分布区域相对集中。砾石粒级组分主要呈圆斑状分布在桑沟湾东北角、东南角、俚岛镇东部近岸和宁津东部浅海海域,大部分区域含量 $<10\%$ (图 3a)。

砂粒级组分含量变化范围为 $0\sim100\%$, 分布区域也相对集中。桑沟湾西部和东南部近岸海域砂组分含量较高, $>50\%$, 桑沟湾内海域含量较低, $<10\%$, 桑沟湾外大部分海域砂质含量介于 $10\%\sim20\%$ 。(图 3b)

粉砂粒级组分含量变化范围为 $0\sim85\%$, 分布趋势正好与砂含量分布相反, 桑沟湾西部近岸海域为粉砂含量的低值区, 最低值 $<5\%$, 桑沟湾南部海域和俚岛镇以东浅海海域含量可达 70% 以上。研

究区东南部浅海区域,除了一个斑状低值区外,粉砂含量普遍在 60% 以上(图 3c)。

黏土粒级组分含量总体较低,平均含量在 15% 左右,最低值为 0 ,最高值 $>30\%$ 。黏土粒级组分高值区位于桑沟湾和爱连湾湾内海域及研究区东部浅海海域,大部分黏土组分含量介于 $10\%\sim15\%$ (图 3d)。

从各粒级组分含量分布特征可以看出,研究区的优势粒级组分是粉砂,含量均值接近 64% ,普遍位于桑沟湾湾内及东部远岸海域;其次为砂粒级组分,主要分布在桑沟湾西部及南部近岸海域;黏土粒级组分含量略低于砂粒级组分,而砾石粒级含量最低。砂含量与粉砂及黏土组分含量呈负相关关系,砂粒级组分含量高的近岸海域,粉砂与黏土组分含量普遍较低,相反,砂粒级组分含量较低的远岸海域,粉砂与黏土组分的含量相对较高。从整个研究区表层沉积物颗粒粗细分布来看,呈现出由近岸向海洋沉积物粒径逐渐变小的趋势。此外俚岛镇东部近岸和宁津东部浅海海域存在砾含量高值区,这种分布特征主要受控于研究区水动力条件与物质来源的影响。

2.2 表层沉积物类型及分布规律

沉积物粒度组成主要受其源岩物质控制,同时

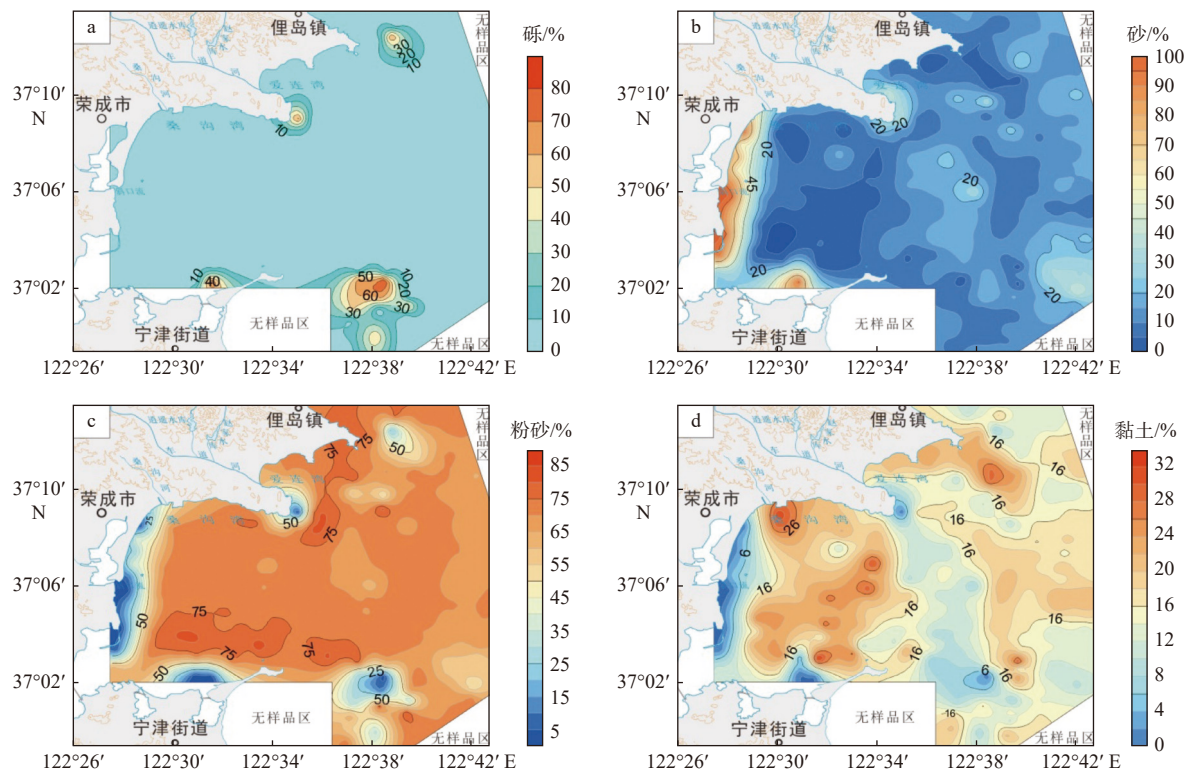


图 3 表层沉积物各粒级组分的百分含量展布

Fig.3 Percentage distribution of each grain group of surface sediments

还受到源岩区的风化作用、搬运中的物理作用、化学溶蚀以及水动力作用等因素的制约。由于不同沉积环境下地形地貌存在差异,而且搬运介质与其密度、流速、流向以及所处的动力环境不同,沉积后的粒度组成也有差异^[5]。因此,海底表层沉积物类型的特征及其分布方式是连续而漫长沉积作用的一种表现形式,根据沉积类型及其分布特征,可以追溯沉积物来源,分析其沉积环境。

(1) 海底表层沉积物类型

根据 Folk(2010)沉积物命名原则,研究区的表层沉积物可以分成 12 类,其中含砾沉积物 7 类:含砾泥((g)M)、砾质泥(gM)、泥质砾(mG)、含砾泥质砂((g)mS)、含砾砂((g)S)、砂质砾(sG)、砾(G);无砾沉积物 5 类:粉砂(Z)、砂质粉砂(sZ)、粉砂质砂(zS)、砂(S)、泥(M)。其中,砂质粉砂(sZ)与粉砂(Z)是研究区分布最广泛的 2 种沉积物类型,占该区沉积物分布面积的 84% 以上(图 4)。

(2) 研究区主要沉积物类型特征及分布

砂质粉砂(sZ)是分布面积最大的沉积物类型,在研究区东部浅水陆架区以及桑沟湾西部、爱连湾海域均有大面积分布(图 4),约占研究区面积的 50%。该类型粉砂组分含量介于 34.31%~80.27%,平均值为 66.90%;砂组分含量范围为 10.00%~49.99%,平均含量 18.33%。平均粒径介于 4.52 Φ ~

6.24 Φ ,平均值为 5.56 Φ ,反映水动力比较弱;标准偏差平均值为 1.88,分选较差;偏度均值 0.41,正偏,反映以粗组分为主;峰度 1.20,尖锐。

粉砂(Z)在研究区分布面积仅次于砂质粉砂的沉积物类型,在桑沟湾中东部及以东海域和俚岛镇的东南部海域均有大面积分布(图 4),约占研究区总面积的 35%。该类型粉砂组分含量介于 60.73%~83.07%,平均值为 73.77%;黏土含量范围为 10.11%~32.77%,平均含量 20.90%。平均粒径介于 5.57 Φ ~7.41 Φ ,平均值为 6.40 Φ ,反映水动力较弱;标准偏差平均值为 2.14,分选差;偏度均值为 0.30,略微正偏,反映以粗组分为主;峰度 0.99,中等正态。

粉砂质砂(zS)主要分布在桑沟湾西部近岸海域,分布面积较小(图 4)。该类型砂组分含量介于 50.00%~89.99%,平均值为 68.49%;粉砂组分含量介于 7.42%~43.06%,平均值为 25.03%。平均粒径为 3.40 Φ ,反映水动力较强;标准偏差为 1.19,分选较差;偏度均值 0.27,正偏,反映以粗组分为主;峰度 1.62,很尖锐。

砂(S)分布范围较小,主要分布在桑沟湾西部近岸海域(图 4)。该类型砂粒级组分含量介于 90.00%~98.14%,平均为 95.03%;粉砂组分含量介于 0.57%~11.86%,平均为 4.87%;黏土含量很少,平均为 0.51%。平均粒径均值为 2.35 Φ ,反映水动

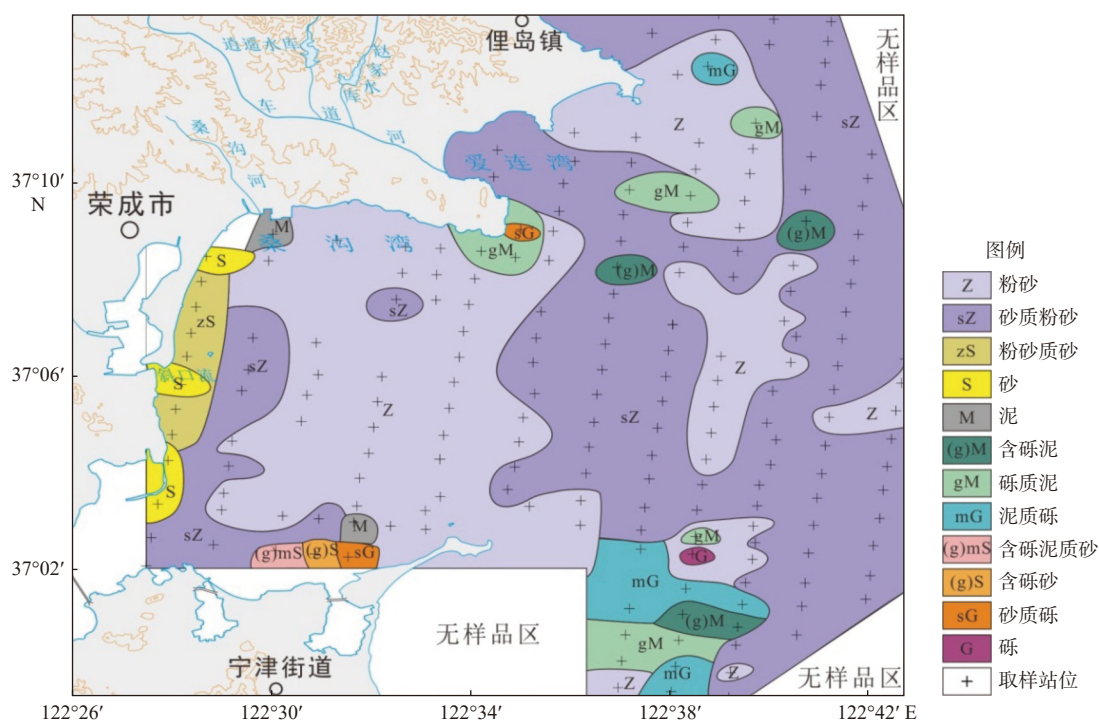


图 4 研究区海底表层沉积物类型分布

Fig.4 Distribution of surface sediment types in the study area

力较强;标准偏差平均值为 0.64,分选较好;偏度均值 0.03,近对称分布;峰度 1.05,尖锐。

泥(M)分布面积较小,集中分布在桑沟河入海口附近。

砾及含砾沉积物类型中分布面积较大的主要包括泥质砾(mG)、砾质泥(gM)、含砾泥((g)M)、砂质砾(sG)等,主要分布于桑沟湾东北部和东南部,与砾粒级组分含量分布相吻合。

2.3 沉积环境分析

沉积环境与物源是沉积物粒度特征的主要控制因素,而沉积环境又包括地形地貌、海平面变化和动力环境等因素。在不同时期或不同地区,对沉积物粒度的空间分布特征起主导作用的是其中的某种因素^[19]。本研究区位于山东半岛东部近岸海区,水深较浅,海底平缓,坡度较小,水深由岸边向海逐渐过渡到 40~50 m。因此,影响本区表层沉积物类型分布的主导因素是海洋沉积动力条件。但研究区有桑沟河、崖头河、沽河和小落河等小河流汇入,部分海底又有基岩出露,这就使沉积环境增加了变数,需要找出对环境敏感的要素来分析环境的变化。

(1) 环境敏感组分

近年来研究表明,沉积物全样的粒度组成只能近似地作为所在地动力环境的代用指标^[20],而其中对环境敏感、具有精准环境意义的粒度组成范围相对局限^[21-22],因此,在研究海洋古沉积环境时,不能只是简单地利用全样的粒度参数,还应该从中提取出对环境敏感的组分^[23],区分出反映不同动力环境或不同物源的粒度组分,并分析不同粒度组成的环境指示意义,进而推断其所指示的沉积环境^[24]。

孙有斌等^[21]、肖尚斌等^[22]和向荣等^[25]通过粒级-标准偏差的变化来计算粒度组成和分布范围,多组分分离沉积物粒度参数,从而确定环境敏感组分。这种分离方法作为一种概率模型,主要通过统计方法来确定变数的变量特性,变量主要包括 3 个特征:变量值范围、代表值与可变的度量。在沉积物粒度分析中,沉积物样品的粒度含量是呈正态分布或接近正态分布的,而粒度组分则为变量^[26]。

在概率方法中,代数平均值为一个代表值(变量平均值):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

式中: $\bar{x}$ 为全部样品在某个粒级的平均百分含量;

N 为样品数;

x_i 为第 i 个样品在该粒级的百分含量。

标准偏差表示变量的可变特性,其计算统计公式为:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

式中: S_x 为变量 x 的标准偏差。上面的 2 个公式可用于计算某个粒级中样品含量的平均值和标准偏差^[14]。

以 0.5 Φ 间隔划分粒级组,以其中间值代表该粒级组的粒径,如 0~0.5 Φ 划为一个粒级组,就用 0.25 Φ 代表该粒级组的粒径,然后再以粒级组为单位分别统计各自的平均粒径、标准偏差(表 1)。由表 1 可以看出,随着粒级 Φ 值的增加,平均粒径先增大然后减小(-3.75 Φ 和 10.25 Φ 粒级除外,因为所有 <-3.75 Φ 和所有 >10.25 Φ 粒级的粒度参数都分别统计在这 2 个粒级中),在 4.75 Φ 处出现峰值;而标准偏差随粒级的变化趋势则表现为:增大—减小,再增大—再减小(-3.75 Φ 和 10.25 Φ 粒级除外,原因同上),在 -2.75 Φ 和 4.25 Φ 处分别出现峰值。

若以粒级作为自变量作图,则平均粒径、标准偏差随粒级的变化特征可以更直观地表现出来,图 5 是调查区全部表层样品各粒级的平均含量分布曲线(a)和每个粒级组分标准偏差随粒级变化的曲线(b)图。

图 5a 中百分含量曲线两头翘起,是由于粒度测试数据统计时把 <-3.25 Φ 的组分含量合并以及 >10 Φ 的组分含量合并导致的,并不代表含量的突然增加,它们分别属于含砾组分和黏土组分,前者出现于强水动力环境,后者则出现于弱水动力环境。在这里作合并处理,并不影响对环境变化的分析。

沉积物各粒级含量平均值的分布特征显示了各粒级组分对沉积物组成的贡献大小,标准偏差反映出全部样品中单变量的可变特性,标准偏差大的粒度组分在沉积物中的变数大。在研究区的所有表层样中,如果某粒级组分表现出较大的标准偏差,则说明这一粒级组分受外界因素影响比较大,对环境变化敏感;而标准偏差小的粒级在沉积过程中相对稳定,环境敏感度小^[24]。

对比图 5a 和图 5b 可以发现,介于 1.25 Φ ~5.75 Φ 的组分含量占各粒级组分总含量的 58.4%(图 5a、c),其标准偏差明显高于其他粒级组分(图 5b),意

表 1 各粒级的粒度参数统计表

Table 1 Statistics of particle size parameters at each grain-size level

粒级代表值/ Φ	平均粒径/ Φ	标准偏差	累计频率
-3.75	2.00	8.86	2.00
-3.25	0.23	1.05	2.24
-2.75	0.36	1.99	2.60
-2.25	0.30	1.53	2.90
-1.75	0.33	1.58	3.23
-1.25	0.28	1.19	3.51
-0.75	0.27	1.04	3.79
-0.25	0.29	0.99	4.07
0.25	0.35	1.39	4.43
0.75	0.55	1.89	4.98
1.25	0.82	2.94	5.80
1.75	0.98	3.38	6.78
2.25	1.27	3.93	8.05
2.75	1.72	4.77	9.77
3.25	3.38	4.32	13.15
3.75	6.94	4.53	20.09
4.25	11.42	5.00	31.51
4.75	12.92	4.93	44.43
5.25	11.32	3.88	55.75
5.75	8.41	3.07	64.16
6.25	6.18	2.73	70.34
6.75	5.14	2.51	75.48
7.25	4.72	2.30	80.20
7.75	4.27	2.03	84.47
8.25	3.65	1.70	88.12
8.75	2.89	1.31	91.01
9.25	2.32	0.99	93.33
9.75	2.11	0.84	95.44
10.25	4.56	1.78	100.00

意味着这一组分的含量在不同样品中差别较大。另外,在图 5b 中标准偏差曲线还出现一个次峰,粒

级 $< -1.25\Phi$, 其含量占各粒级组分总含量的 3.5% (图 5a、c), 这一粒级组分虽然含量不大,但其标准偏差变化较为显著。因此,将标准偏差变化大的这 2 个峰区作为敏感粒度组分,分析研究区环境特征。为了便于讨论,把 $< -1.25\Phi$ 的组分称为敏感组分 1,把 $1.25\Phi \sim 5.75\Phi$ 的组分称为敏感组分 2。

(2) 沉积环境特征

海洋沉积环境受多种因素的影响,尤其是近岸海域,影响因素更加复杂多样。研究区大面积分布砂质粉砂和粉砂的基础上,又夹杂了众多斑块状分布的各类沉积物,说明了沉积环境的多样性。本文尝试利用环境敏感组分来分析研究区环境特征。

敏感组分 1 ($< -1.25\Phi$) 为砾质沉积物,这种粗颗粒碎屑一般沿海底面滚动、滑行、拖曳和旋转等,在沿岸破浪带由于其离物源近、坡度大、破浪回流推动力强,可产生推移质的牵引搬运^[27]。

敏感组分 1 的含量分布如图 6 所示,该组分含量在 5% 以上的区域主要集中在桑沟湾东北部和东南部,与含砾沉积物的分布区基本一致。

桑沟湾东北部的 2 个高值区位于伸入海区的 2 个小半岛岬角附近(图 6)。俚岛镇南部半岛附近的高值区,样品含砾量较高,例如 B22 站位(位置见图 1),其样品概率曲线(图 7)表明粒径 $< 3\Phi$ 的颗粒占 90% 以上,以推移和跳跃搬运形式为主^[27],反映了岬角处海浪侵蚀作用较强,产生的粗粒碎屑就近沉积,随海流推移或跳跃式搬运。俚岛镇东部半岛附近的高值区,岬角处海底地形向海凸出(图 1),地势高于周围海域,导致海浪和潮流冲刷作用较强,细粒碎屑难以沉积,以致于早期的残留沉积出露海底,此处的 B106 站位(站位位置见图 1)样品概率曲线表明,粒径 $< 3\Phi$ 的颗粒约占 70%(图 7),以跳跃搬运形式为主,反映了较强的水动力条件。因此,

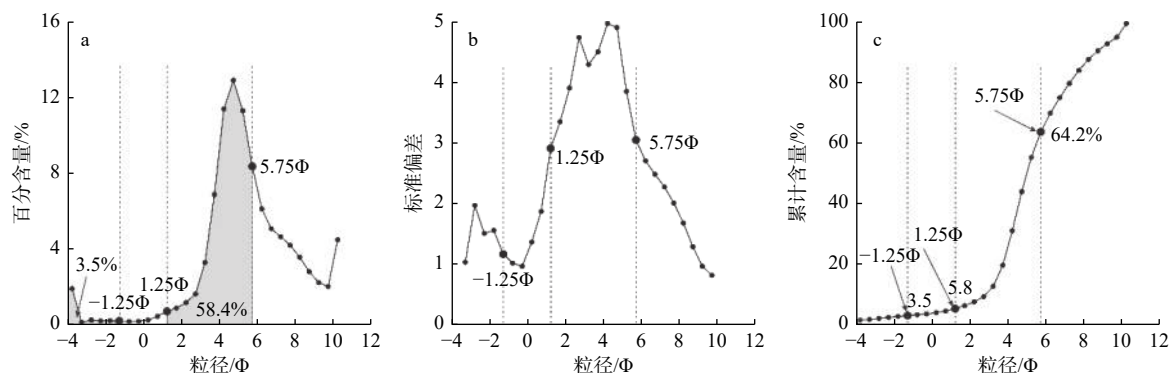


图 5 调查区全部样品各粒级的平均含量 (a)、标准偏差 (b) 及累计含量 (c) 分布曲线

Fig.5 Distribution of average content (a), standard deviation values (b) and cumulative content (c) vs grain size of the samples from the study area

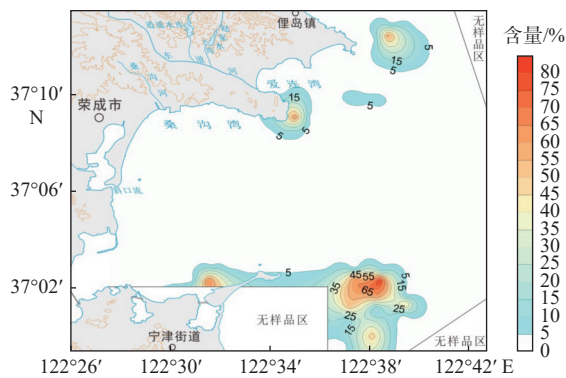


图 6 敏感组分 1 含量分布

Fig.6 Content distribution of sensitive component 1

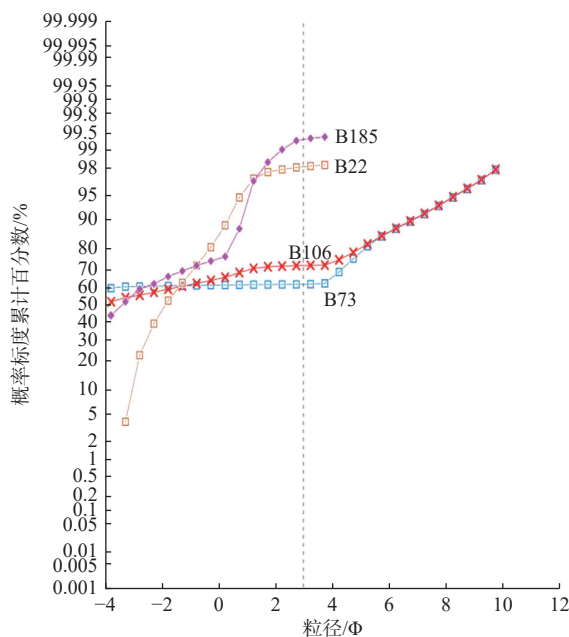


图 7 含砾取样站位沉积物粒度概率曲线

Fig.7 Probability curve of grain size distribution for pebbly samples

桑沟湾东北部砾质沉积物分布是物源、地形地貌和水动力条件共同作用的结果。

敏感组分 1 在桑沟湾东南部也有 2 个高值区分布(图 6), 一个位于宁津街道的楮岛北侧, 另一个位于楮岛外侧海域。楮岛北侧的高值区中, B185 站位(图 1)样品概率曲线表明, 粒径 $< 3\Phi$ 的颗粒高达 99%(图 7), 以推移和跳跃搬运形式为主, 反映了海岸侵蚀产物的近源沉积。而楮岛外侧的砾石区则应为海底裸露岩石的风化残积物(钻孔 ZK6 岩芯, 位置见图 1)揭示此处有岩石出露海底, 表层为风化花岗岩)。此处海底有裸露基岩或浅埋基岩, 在地质史上低海面时期曾经出露地表, 形成风化壳, 海平面上升后被海水淹没。由于此处地形稍高于周

围地区(图 1), 使海浪和海流冲刷淘洗作用占据主导地位。该处的 B73 站位样品粒径 $< 3\Phi$ 的颗粒占 60% 以上(图 1、6、7), 粗颗粒占比大, 以跳跃搬运形式为主, 早期的岩石风化物作为残留沉积成为目前的砾质沉积物分布区, 也反映了物质来源、地形地貌环境和水动力条件的综合作用。

敏感组分 2 ($1.25\Phi \sim 5.75\Phi$) 为中砂—中粉砂, 其中, 粒径 $< 3\Phi$ 的颗粒一般在海底面附近边跳动, 边向前搬运, 即跳跃搬运形式, 反映了较强的水动力环境, 在特别强的海流或波浪环境条件下, 这部分颗粒也可以悬浮于水体中迁移^[27]。粒径 $> 3\Phi$ 的颗粒, 在一般水动力环境中可以以悬浮质形式随水体迁移, 这一粒径的沉积物分布区往往反映了离物源区较远以及水动力稍弱的环境。

敏感组分 2 在研究区东部大部分区域含量较高且变化不大, 桑沟湾内含量降低, 而到西部沿岸区含量又迅速增高(图 8)。

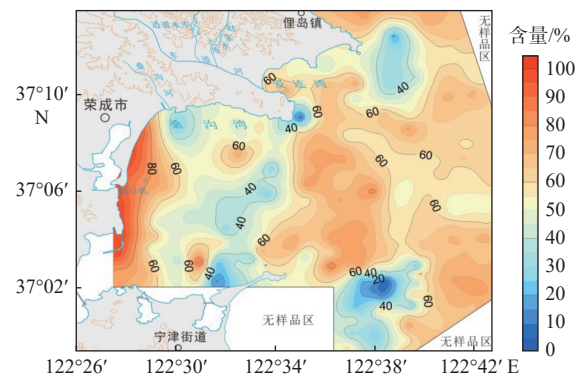


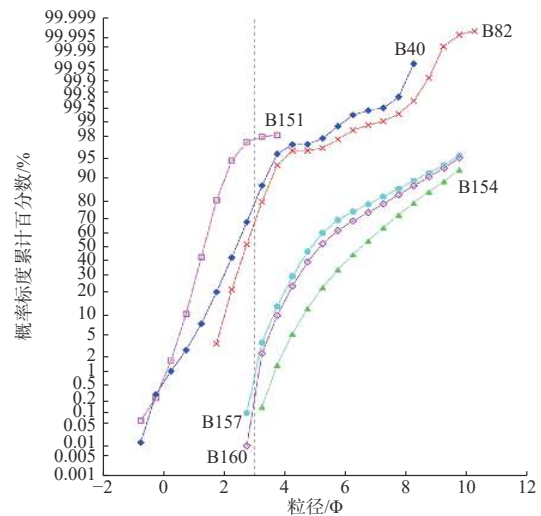
图 8 敏感组分 2 含量分布

Fig.8 Content distribution of sensitive component 2

在研究区从东向西选取 B160、B157、B154 3 个站位样品(位置见图 1), 其概率曲线(图 9)表明, 样品碎屑粒径基本都 $> 3\Phi$, 属悬浮质颗粒, 可以随海水流动搬运较远的距离, 在悬浮搬运方式中可以无分选地直接沉积于海底, 这与研究区表层沉积物类型总体以砂质粉砂和粉砂等细小颗粒为主是一致的(图 4), 反映了研究区水动力条件总体较弱, 沉积物以海流带来的远源碎屑为主, 同时也混入部分近岸河流入海碎屑。而入湾河流桑沟河、崖头河、沽河和小落河等, 年总径流量较小, 仅能影响近岸处沉积物颗粒大小和含量, 如桑沟湾西部沿岸 3 个站位样品 B40、B151、B82(位置见图 1)概率曲线显示, 样品中粒径 $< 3\Phi$ 以跳跃搬运为主的较粗颗粒占 80% 以上(图 9), 悬浮质仅占约 20%, 甚至不含悬浮质, 如样品 B151, 而且粗颗粒含量较高的沉积物分布区仅局限于西部沿岸的狭长地带, 到湾内迅

速减少(图 8), 这表明入湾小河流带来的碎屑沉积并不足以改变研究区表层沉积物粒度分布的总体特征, 故研究区大部分海域表层沉积物另有来源, 近源沉积物所占比例较小。

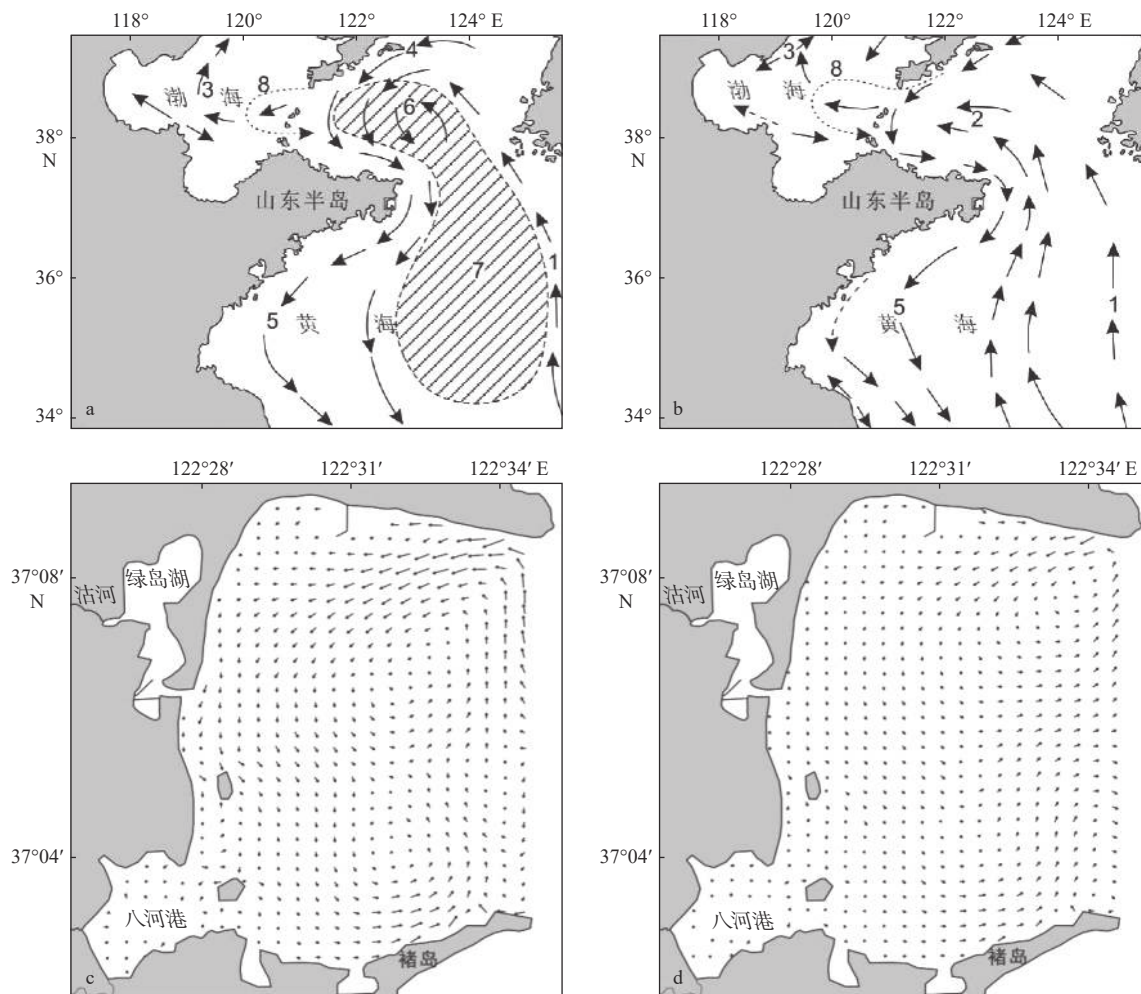
本研究区位于黄海西部沿岸流西侧(图 10a、b), 其表层沉积物来源应与黄海沿岸流有很大关系。因为黄海西部沿岸流不论夏季还是冬季, 在山东半岛东部均为由北向南流^[28], 在进入本研究区后分为 2 支, 主流沿 40 m 等深线由北南下, 而支流在爱莲湾外离开主流, 由东北部进入桑沟湾并在湾内逆时针方向流动(图 10c、d), 最终沿桑沟湾南岸流出后与黄海西部沿岸流主流再次汇合南下。研究区海洋水动力流场特征导致黄海西部沿岸流携带的黄河源泥沙一部分向主流西侧扩散, 流入桑沟湾并沉积下来。研究区沉积物类型和平均粒径的分布都有自东向西颗粒变细的趋势(图 4、11), 也印证了



站位位置见图 1

图 9 砂和粉砂取样站位沉积物粒度概率曲线

Fig.9 Probability curve of grain size for sandy and silty samples



(a) 黄海、渤海夏季(6—8月)海流分布; (b) 黄海、渤海冬季(12—3月)海流分布; (c) 桑沟湾夏季表层余流; (d) 桑沟湾夏季底层余流;
1-黄海暖流; 2-黄海暖流余脉; 3-渤海环流; 4-辽南沿岸流; 5-黄海西部沿岸流; 6-北黄海密度环流; 7-黄海冷水团; 8-渤海密度流

据文献 [28-29] 修改

图 10 黄海西部沿岸流分布模式

Fig.10 Distribution of coastal current along the western coast of the Yellow Sea

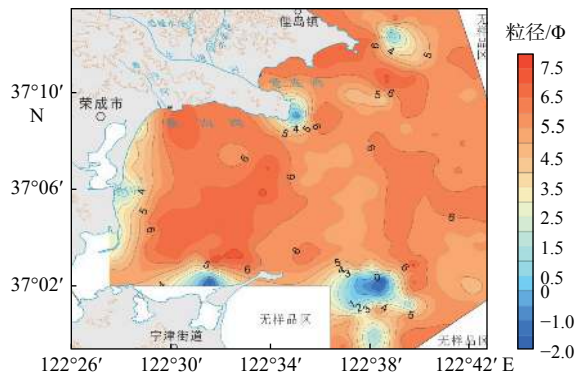


图 11 研究区表层沉积物平均粒径分布

Fig.11 Distribution of average grain size of surface sediments in the study area

本区沉积物来源与黄海沿岸流有关。

桑沟湾东北部和东南部的几个敏感组分 2 低值区, 则是由于海底地形影响(几个低值区海底为脊状凸起, 地势稍高于周围海域), 细粒碎屑被冲刷, 甚至出露海底基岩风化壳等残留沉积, 导致该区域中砂—中粉砂组分含量降低, 以含砾沉积物为主。

综合以上分析, 研究区表层沉积物类型的分布特征是物源、水动力和地形地貌等因素综合作用的结果。桑沟湾西部沿岸海域南北狭长分布的较粗颗粒沉积物, 主要来源于桑沟湾西岸的入海河流, 很明显物源影响是主控因素; 桑沟湾内及邻近海域大面积分布砂质粉砂和粉砂等细颗粒组分, 主控因素应是黄海沿岸流, 水动力条件起主导作用; 桑沟湾东北部和东南部的几个斑状含砾沉积物分布区受海底地形的影响, 导致冲刷作用增强, 分布残留沉积。因此, 地形和水动力综合影响是主要原因。

3 结论

(1) 沉积物组分中以粉砂粒级组分为主, 砾和砂分布相对集中。砂主要分布于桑沟湾西部沿岸地区, 砾主要分布于桑沟湾东北部和东南部。黏土粒级组分除桑沟湾内含量稍高外总体含量水平低。

(2) 沉积物类型共有 12 类, 含砾沉积物类型 7 类, 不含砾沉积物类型 5 类。其中砂质粉砂与粉砂是研究区分布最广泛的 2 种沉积物类型。

(3) 桑沟湾及邻近海域沉积物分布主要受控于泥沙来源、地形地貌及潮流、波浪、沿岸流等沉积动力条件的共同作用。桑沟湾西部近岸海域的泥沙为近源沉积, 颗粒较粗, 向海扩散有限; 桑沟湾外沉积物颗粒由东向西变细, 与黄海沿岸流携带的黄河源泥沙向西扩散有关; 桑沟湾内沉积物颗粒较细,

水动力较弱; 桑沟湾东北部和东南部海底的脊状凸起区域, 含砾沉积物为当地近源碎屑或残留沉积, 受海流冲刷, 细颗粒碎屑难以沉积。

参考文献:

- [1] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及运输趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 139-147.
- [2] 王中波, 杨守业, 张志珣, 等. 东海陆架中北部沉积物粒度特征及其沉积环境[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1039-1049.
- [3] 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.
- [4] 王伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表沉积物粒度分布特征及其物源环境分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): 525-531.
- [5] 张剑, 李日辉, 王中波, 等. 渤海东部与黄海北部表层沉积物的粒度特征及其沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(5): 1-12.
- [6] 方海超, 黄朋, 孙家文, 等. 鸭绿江端元粒度分级样品常量元素控制因素分析及物源识别[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(3): 72-83.
- [7] 张晓东, 季阳, 杨作升, 等. 南黄海表层沉积物粒度端元反演及其对沉积动力环境的指示意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(10): 1515-1523.
- [8] 汤世凯, 于剑峰, 李金鹏, 等. 丁字湾近岸海域表层沉积物粒度特征及沉积动力环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(2): 70-78.
- [9] 刘升发, 刘焱光, 朱爱美, 等. 东海外陆架表层沉积物粒度及其净输运模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(1): 1-6.
- [10] 窦衍光, 陈晓辉, 李军, 等. 东海外陆架-陆坡-冲绳海槽不同沉积单元底质沉积物成因及物源分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(4): 21-31.
- [11] 段晓勇, 印萍, 刘金庆, 等. 中国东部近海现代沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(2): 14-20.
- [12] 何起祥, 李绍全, 刘健. 海洋碎屑沉积物的分类[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 115-121.
- [13] 王中波, 何起祥, 杨守业, 等. 谢帕德和福克碎屑沉积物分类方法在南黄海表层沉积物编图中的应用与比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(1): 1-10.
- [14] 刘志杰, 殷汝广. 浅海沉积物分类方法研讨[J]. 海洋通报, 2011, 30(2): 194-199.
- [15] 汪亚平, 高抒, 贾建军. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 449-458.
- [16] 薛允传, 贾建军, 高抒. 山东月湖的沉积物分布特征及搬运趋势[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 707-714.
- [17] 赵东波. 常用沉积物粒度分类命名方法探讨[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(8): 41-46.
- [18] FOLK R L. A review of grain-size parameters[J]. Sedimentology, 2010, 6: 73-93.
- [19] 孔祥淮. 山东半岛东北部滨浅海区表层沉积物特征和沉积作用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [20] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离

- 的数学方法及其应用[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 269-276.
- [21] 孙有斌, 高抒, 李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [22] 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 122-129.
- [23] 刘升发, 石学法, 刘焱光, 等. 中全新世以来东亚冬季风的东海内陆架泥质沉积记录[J]. 科学通报, 2010, 55(14): 1387-1396.
- [24] 孔祥淮, 刘健, 徐刚, 等. 南黄海西部陆架区SYS-0803孔上部岩心的粒度特征及其环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(5): 13-24.
- [25] 向荣, 杨作升, SAITO Y, 等. 济州岛西南泥质区近2300a来环境敏感粒度组分记录的东亚季风变化[J]. 中国科学(D辑), 2006, 36(7): 654-662.
- [26] 项立辉. 长江口滨外泥质区末次冰消期以来沉积特征与沉积环境演化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [27] 郑浚茂. 陆源碎屑沉积环境的粒度标志[M]. 北京: 武汉地质学院北京研究生部, 1982, 72-100.
- [28] 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.
- [29] 杜鹏. 夏季桑沟湾三维水质数值模拟[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.

Grain-size distribution of surface sediments in Sanggou Bay and its environmental significance

HAN Zhong^{1,2}, WANG Jing^{1,2*}, BIAN Xiongfei^{1,2}

(1 No.6 Institution of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province, Weihai 264209, China;

2 Shandong Provincial Engineering Laboratory of Application and Development of Big Data for Deep Gold Exploration, Weihai 264209, China)

Abstract: The characteristics of grain size distribution on 202 surface sediment samples in Sanggou Bay and adjacent area was analyzed, from which the distribution patterns of gravel, sand, silt and clay were specified, the sediment types were divided, and the sedimentary environments were discussed. Results show that the sediment composition is mainly silt, and the distribution of gravel and sand content is relatively concentrated, and there are 14 types of surface sediments in Sanggou Bay and adjacent area, including 8 types with gravels and 6 types no gravels, and sandy silt and silt are most widely distributed. The distribution of sediments in Sanggou Bay and adjacent area is mainly under the control of sediment supply, landforms, tidal currents, waves, and coastal currents. The sediments near shore in the western of Sanggou Bay is coarse and near the source area with limited seaward dispersion. The sediment particles outside Sanggou Bay become finer from east to west, which is related to the westward diffusion of sediment from the source of the Yellow River carried by the coastal current along coast of the western Yellow Sea. The sediment particles of inner Sanggou Bay are fine and the hydrodynamic force is weak. The gravel-bearing sediments in the seafloor ridge area of northeast and southeast of the Sanggou Bay are local near-source clastic sediments, and the fine particles are difficult to deposit because of scouring by the ocean currents.

Key words: Sanggou Bay; surface sediment; grain size component; sediment type; sedimentary environment