

吕纪轩,胡日军,李毅,等.烟台北部近岸海域表层沉积物粒度分布及沉积动力环境特征[J].海洋地质前沿,2020,36(4):27-36.

烟台北部近岸海域表层沉积物粒度分布及沉积动力环境特征

吕纪轩¹,胡日军^{1,2},李毅³,朱龙海^{1,2},刘波¹,皇甫雪睿¹

(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;3 华能霞浦核电有限公司,福建宁德 352000)

摘要:基于烟台北部近岸海域 56 个表层沉积物样品的粒度资料,分析了研究区沉积物粒度分布特征。采用 Pejrup 三角图对研究区沉积动力环境进行了分区,利用 Gao-Collins 粒径趋势分析方法分析了沉积物的输运趋势,在此基础上探讨了研究区的沉积动力环境特征。研究结果表明,研究区粒度呈现中间粗、东西部海域细的分布格局;沉积动力环境可划分为 AⅢ、BⅢ、BⅣ、CⅢ、CⅣ、DⅢ、DⅣ 7 个区,总体表现为“中间强、两侧弱,近岸强、远岸弱”的分布格局;研究区东西部开阔海域各存在 1 个沉积物汇聚中心,物质来源多样;研究区表层沉积物运移和分布与水动力条件基本吻合,且受沉积物来源的影响。潮流、沿岸流以及沉积物来源共同控制其沉积动力环境。

关键词:烟台北部;表层沉积物;粒度;分布特征;沉积动力环境

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.097

0 引言

粒度是沉积物最基本的表征,其中蕴含了大量有关物源、搬运和沉积方式的信息^[1]。沉积物粒度分布特征受物质来源、水动力环境等多种因素的控制,粒度是区域沉积动力环境的重要反映,因此,应用沉积物粒度特征分析物质来源及输运、区域沉积动力特征具有重要的理论意义^[2]。近海海域是海洋与陆地的交汇点,由于受到人类和自然因素的共同影响,具有复杂的生态系统,是研究海陆交互作用的重要场所^[3]。

烟台北部海域位于渤海海峡南部,处于渤、黄海交界区,是连接渤海和黄海的重要通道,也是黄

河等河流入海物质向黄海扩散的必经之路,同时还是黄海暖流进入渤海的通道。由于研究区内岸线曲折,地势复杂,且受到复杂的水动力因素影响^[4],其现代沉积环境及沉积动力过程性质独特。

长期以来,国内外学者已经对渤海和黄海的表层沉积物做了大量的研究工作,并且在沉积物分布^[5-6]、物源判别^[7-8]、控制因素^[9-10]等方面取得了较多的成果。渤、黄海表层沉积物的粒度分布特征受沉积物物源、沉积区水动力条件、水深与地形等多种因素的控制^[11],其中,物源和水动力条件是控制表层沉积物粒度特征的主要因素^[12]。张剑等^[13]在对渤海东部与黄海北部表层沉积物粒度特征和沉积环境的研究中表明,山东半岛北部存在中间厚、向海和陆地减薄的楔形沉积体,且多认为是黄河入海细粒物质在鲁北沿岸流影响下形成,沉积物类型主要为砂质粉砂。本文在前人研究的基础上,基于烟台北部近岸海域表层沉积物粒度资料,对沉积物的粒度分布及其沉积动力环境进行了探讨和分析。

收稿日期:2019-04-25

资助项目:国家自然科学基金面上项目“山东半岛海湾对泥沙的捕获机制——以威海湾为例”(41776059)

作者简介:吕纪轩(1992—),男,在读硕士,主要从事海洋地质学方面的研究工作.E-mail:lvjixuan2010@qq.com

1 研究区概况

研究区位于烟台北部近岸海域,海岸线西起莱州市三山岛西侧,东至烟台市芝罘岛,地理范围为 119°45′—121°25′ E, 37°26′—38°5.124′ N(图 1)。研究区地处北半球中纬度地区,属暖温带大陆性季风气候。地貌类型较为丰富,水下地形复杂多变,海岸、海峡、群岛三大地貌单元同时存在,陆-海相互作用十分活跃^[4]。研究区所在海域波

浪类型为混合浪,其中风浪占主导、涌浪为辅。潮流性质复杂,潮流运动形式整体以往复流为主,流向基本平行于岸线,潮汐受黄海潮波和渤海潮波共同控制,不规则半日潮和规则半日潮均有分布^[16]。

2 资料与方法

2.1 资料来源

本文资料来源于中国海洋大学 2016 年 5 月在研究区内进行的表层沉积物取样工作。调查共布置 56 个表层沉积物取样点(图 2),采用抓斗式取样器抓取表层 0~10 cm 的海底表层沉积物,每个采样点取样重量在 0.5 kg 以上,取得样品后置于聚乙烯袋无污染包装,做好标记并妥善放置。

2.2 研究方法

2.2.1 粒度分析

本研究采用激光粒度仪对表层沉积物样品进行粒度分析,首先在烧杯中取适量样品,然后加入 30% 的过氧化氢溶液和 3 mol/L 盐酸溶液,以除去有机质和碳酸钙等,经 4% 的六偏磷酸钠溶液浸泡 24 h 以分散沉积物颗粒,放入超声波分散器震荡 10~15 min,然后使用 Mastersizer2000 型激光粒度仪进行样品的测定。

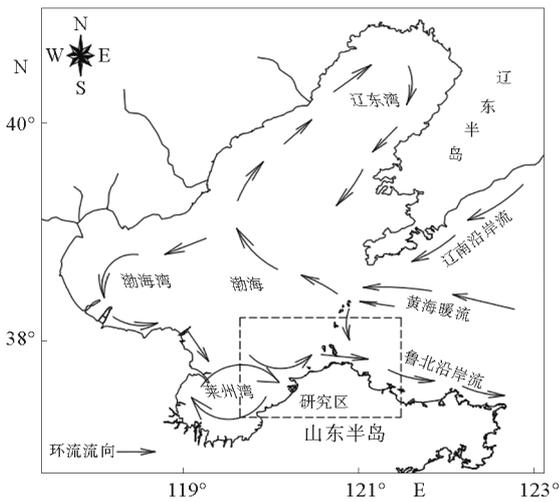


图 1 研究区流系图(据文献[14,15]修改)

Fig.1 Oceanic circulation in the study area (modified after references [14,15])

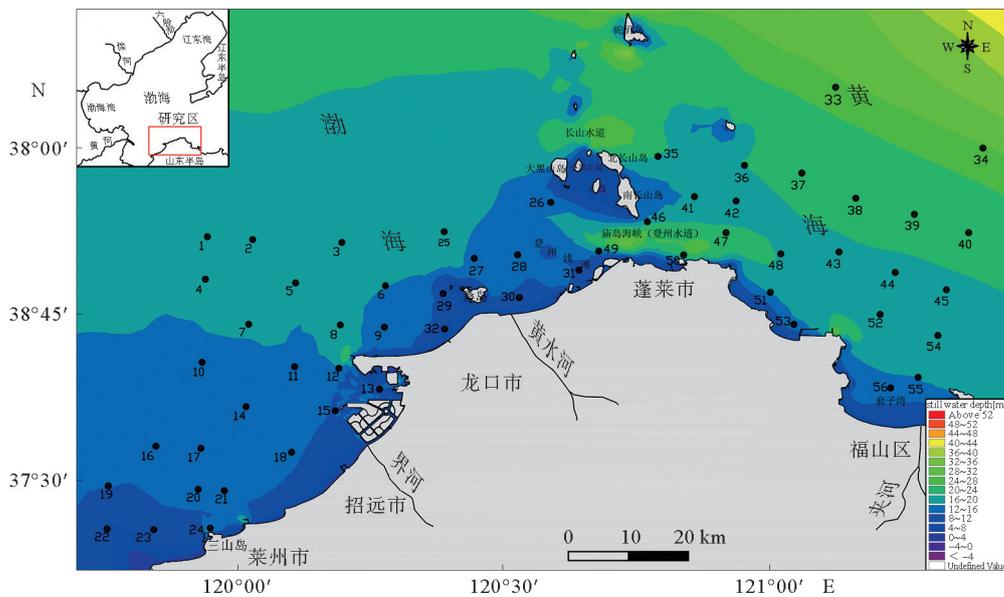


图 2 表层沉积物取样站点

Fig.2 Location of surface sediment samples

沉积物粒度标准划分采用 Udden-Wentworth 等比制 Φ 级标准^[17],粒度参数计算采用 Folk-Ward 图解法^[18],沉积物的分类和命名采用 Folk 分类法^[19]。

2.2.2 Gao-Collins 粒径趋势分析

本文采用 Gao-Collins 粒径趋势分析方法,根据沉积物粒度参数的二维空间分布,判断沉积物的净输运格局。该方法已被广泛应用于河口、海岸、潮流沙脊等多种海洋环境^[20-23],能够较好地分析研究区表层沉积物的运移趋势。

(1) 提取粒径趋势矢量

从 A 指向 B 的粒径趋势矢量计为 $\vec{r}(x, y)$ 。

两采样点是否为相邻点取决于两点间距离与特征距离(Dcr,通常为最大采样间距)的相对关系。

(2) 提取合矢量

将每一个采样点处的所有粒径趋势矢量相加,记为 $\vec{R}(x, y)$,即:

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y) \quad (1)$$

式中: n 为特定采样点的粒径趋势矢量总数。

(3) 平滑处理

将相邻点(距离小于 Dcr)的合矢量求和的方式达到消除“噪音”信息的目的,即:

$$\vec{R}_m(x, y) = \frac{1}{k+1} [\vec{R}(x, y) + \sum_1^k \vec{R}_1] \quad (2)$$

式中: k 为某一中心点的相邻点的个数;

\vec{R}_1 为相邻点的粒径趋势合矢量。

$\vec{R}_m(x, y)$ 的平面分布图即代表研究区沉积物的净输运格局。

2.2.3 沉积动力环境分区

利用丹麦学者 Pejrup 提出的三角图分区法对研究区沉积动力环境进行分区,该方法可对研究区沉积动力环境进行有效的划分,具有较好地适应性^[24-25]。Pejrup 三角图以砂、粉砂和黏土 3 个沉积物组分为 3 个端元,首先根据砂/(粉砂+黏土)的 9、1、1/9 比值将三角图分为 A、B、C、D 4 个大分区,然后根据粉砂/黏土的 4、1、1/4 比值进一步将上述 4 大分区各细分为 I、II、III、IV 4 个小分区,共将三角图分为 16 个分区。砂组分较粗,搬运方式以推移为主,是介质运动强度的重要标志,砂泥比可反映介质的运动强度和浑浊度。粉砂作为递变悬浮组分,黏土作为均匀悬浮组分,粉砂和黏土的比值可反映沉积物的扰动程度^[25]。

3 表层沉积物粒度特征分析

3.1 表层沉积物粒度组分含量与分布

研究区表层沉积物的粒度组分可以分为砾、砂、粉砂和黏土 4 个划分等级,粒度组分变化范围较大,各粒度组分含量分布如图 3 所示。

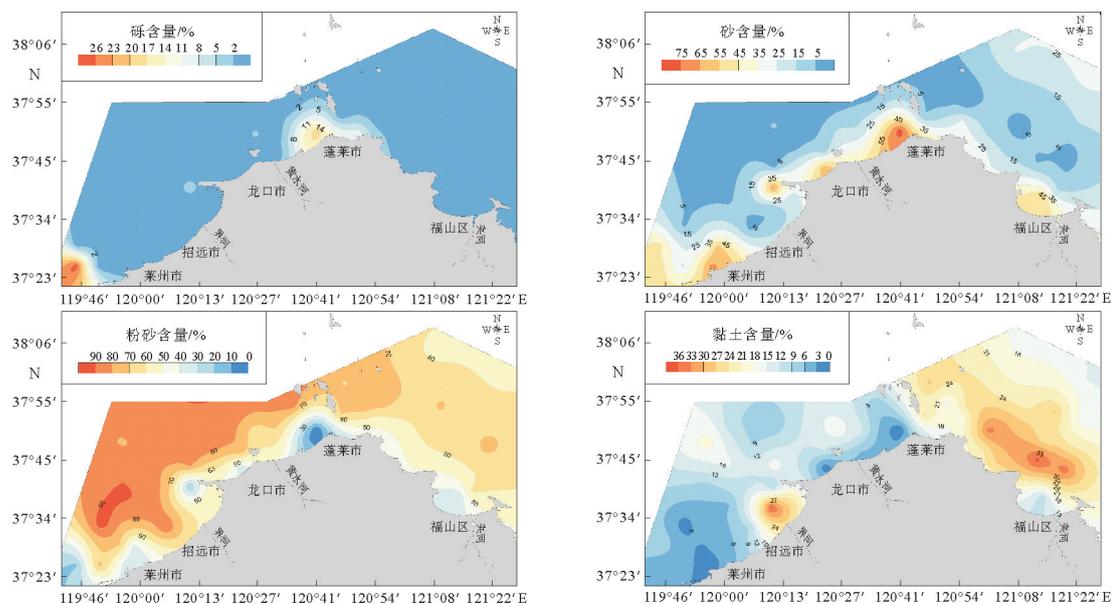


图 3 表层沉积物粒度组分百分含量分布图

Fig.3 Percentage map of grain sizes of surface sediments

研究区表层沉积物砾级组分变化范围相对较小,从0至27.9%不等,平均值为1.4%,该组分在研究区分布最少,且含量为研究区最小。研究区中部的登州浅滩和庙岛海峡及研究区西南部砾组分含量较高。砾组分自中部向外含量递减直至消失,研究区东部和西部开阔海区基本无砾石组分含量分布。

研究区表层沉积物砂粒级组分范围为1.2%~79.7%,平均19.4%,变化范围较大。砂粒级组分的分布范围比砾粒级广泛,含量高值区主要分布在莱州市北部、蔄姆岛西部、龙口市近岸、蓬莱市近岸以及福山区北部等几处沿岸海域,莱州市西北部砂含量为24%~66%,蓬莱近岸砂含量为29%~80%。研究区远岸海域砂含量分布较少,整体上具有近岸高、远岸低的分布格局。

研究区表层沉积物粉砂粒级组分范围为1.7%~94.7%,平均63.6%,变化范围较大,是研究区含量最多、分布最广的粒级组分。粉砂粒级组分百分含量整体上与砾粒级组分和砂粒级组分的空间分布呈相反趋势,具有“近岸低、远岸高,中部低,两侧高”的分布格局。位于研究区中部的登州水道、西南部莱州市近岸、蔄姆岛西侧福山区

近岸等砾粒级含量高的区域为粉砂含量低值区。粉砂含量高值区主要位于研究区东西两侧黄渤海开阔外海区域,含量普遍>50%,局部含量高达90%以上。

研究区表层沉积物黏土粒级组分范围为0.4%~37.1%,平均15.6%。黏土粒级组分的空间分布整体上具有与粉砂组分含量分布相似、与砂和砾组分含量分布相反的特征。黏土组分含量低值区主要位于研究区中部的蓬莱市至龙口市近岸海域和研究西南部莱州市近岸海域以及福山区近岸海域,含量<6%;高值区主要位于界河河口外近岸海域以及研究区东西部黄渤海开阔外海区,其中,研究区东部黄海海域黏土含量最高、分布最广,黏土含量普遍介于18%~37%。

3.2 表层沉积物粒度组分含量与分布

粒度参数可用于判定水动力条件和识别沉积环境类型,它是沉积学中的一项重要内容^[10]。本文对研究区表层沉积物的中值粒径(Md)、分选系数(σ)、偏态(Sk)、峰态(Kg)4个粒度参数进行分析(图4)。

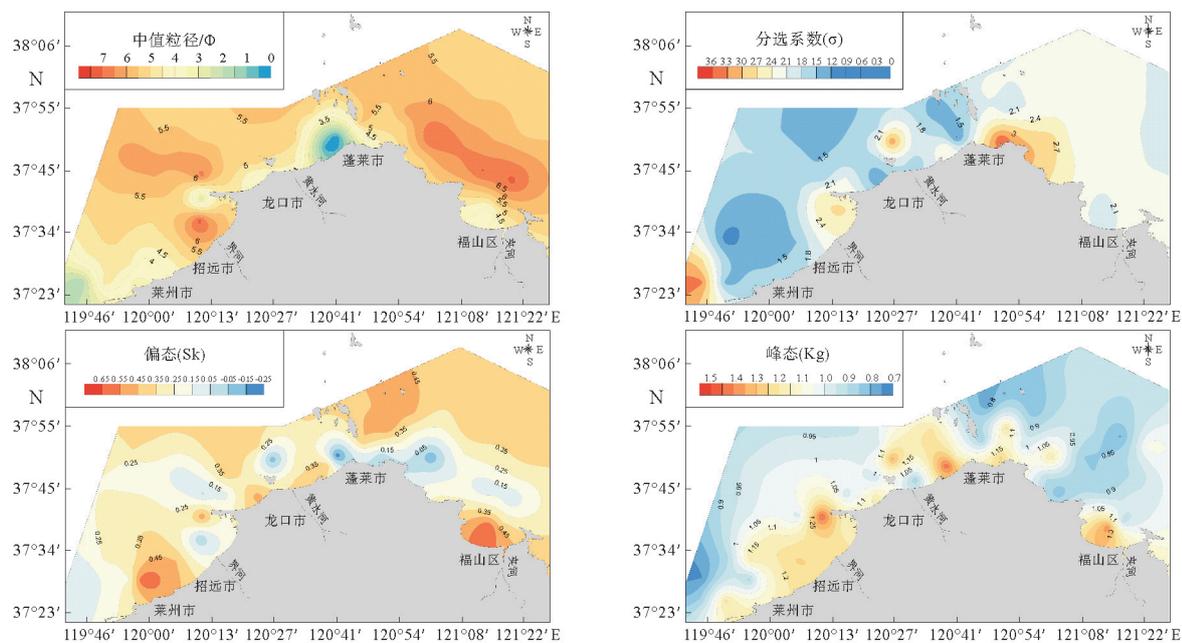


图4 表层沉积物粒度参数分布图

Fig.4 Spatial map of grain size parameters of surface sediments

研究区沉积物中值粒径变化范围较大,中值粒径介于 $0.1\Phi\sim 7.2\Phi$,平均 5.1Φ 。研究区沉积物中值粒径主要集中于 $4\Phi\sim 7\Phi$,细粒沉积物主要分布于研究区东西部开阔海域以及界河河口。中值粒径 $<4\Phi$ 的区域主要分布于研究区中部的庙岛海峡附近海域以及西南部莱州近岸海域,砮姆岛西侧邻近海域和福山区北部近岸浅海海域亦有零星分布。

研究区沉积物分选系数介于 $1.0\sim 3.6$,平均 2.0 。根据沉积物粒度参数分级标准,研究区总体分选程度大致为分选较差到分选差。登州浅滩海域至大黑山岛南部海域沉积物分选系数较小,分选程度较好,结合研究区表层沉积物粒级组分分布图可以发现,这些区域为粗粒级组分(砾、砂)含量高值区,推测该区物源及水动力条件较为单一,沉积物在水流的反复冲刷下被筛选,颗粒粗化,分选变好。研究区东侧开阔海域分选系数相对较好,分选系数多介于 $1.5\sim 2.1$,有 2 处分选系数低值区域,西侧的开阔海域沉积物分选相对较差,分选系数普遍 >2.1 。研究区西南角、砮姆岛南侧、桑岛北侧以及蓬莱市东北侧近岸为分选系数高值区,推测可能原因为水动力相对较弱或受其

他沉积物输入源的影响。

研究区表层沉积物偏态值为 $-0.2\sim 0.6$,平均 0.3 ,为近对称到正偏。研究区中部海域以及界河河口外是偏态值低值区,为近对称,说明这些区域表层沉积物分选程度相对较好,中值粒径与平均粒径比较接近,沉积物中粗颗粒和细颗粒组分分布相似。北部深水区和近岸部分海域沉积物偏态为正偏,说明沉积物粒度相对中部海域偏粗。

研究区表层沉积物峰态值为 $0.8\sim 1.5$,平均 1.0 ,为宽峰态到窄峰态。莱州市至龙口市近岸浅海、登州浅滩以及福山区北部套子湾等近岸浅海区域为峰态值高值区,峰态值窄,随着离岸距离增加峰态值减小,峰态变宽。

3.3 表层沉积物类型与分布

研究区沉积物类型共包括 10 种(图 5),其中含砾沉积物站位较少,类型有 5 种,分别为含砾砂质泥((g)sM)、砾质泥(gM)、含砾泥质砂((g)mS)、砾质泥质砂(gmS)、砾质砂(gS);无砾沉积物站位较多,类型有 5 种,分别为泥(M)、砂质泥(sM)、粉砂(Z)、砂质粉砂(sZ)、粉砂质砂(zS)。

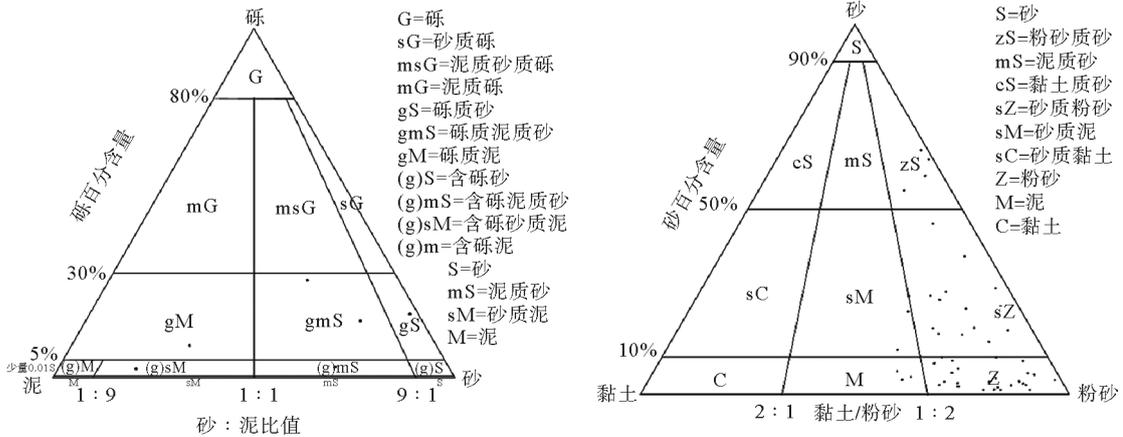


图 5 研究区表层沉积物 Folk 分类三角图

Fig.5 Folk's Classification of surface sediments

研究区表层沉积物类型分布如图 6 所示。粉砂(Z)在研究区内分布最广,区自西向东中部开阔海域均有分布;砂质粉砂(sZ)在研究区分布范围仅次于粉砂,多分布于近岸以及研究区东北部海域;泥(M)分布在界河河口外部以及研究区东部近海区域,沉积物粒径较细;砂质泥(sM)分布

在蓬莱东部近岸海域,呈近南部向带状分布;粉砂质砂(zS)主要分布在莱州北部近岸以及福山区北部近岸海域;砾质泥(gM)和砾质砂(gS)较少,主要分布在蓬莱北部近岸海域;含砾砂质泥((g)sM)有 1 处分布,在桑岛北部海域;含砾泥质砂((g)mS)有 1 处分布,在砮姆岛西侧紧邻;砾质泥

质砂(gmS)有2处分布,分别在蓬莱西北侧近岸以及研究区西南角海域。

研究区表层沉积物各粒级组分、粒度参数及沉积物类型在空间分布上具有良好的对应性。粉砂组分含量最多且最广,主要集中分布于研究区东、西部开阔海域,具有“近岸低、远岸高,中间高、两侧低”的特点;黏土组分含量高值区主要集中于

西部和东部开阔海域,这些海域沉积物类型以粉砂和砂质粉砂为主,中值粒径较细,分选系数相对较小,分选较好,偏态为近对称;砾组分和砂组分的含量较少,它们的百分含量空间分布规律较为相似,且与粉砂、黏土分布规律基本相反,具有“近岸高、远岸低”的分布特点,主要集中分布在蓬莱市北部近岸登州浅滩、莱州市西北部近岸等近岸海域。

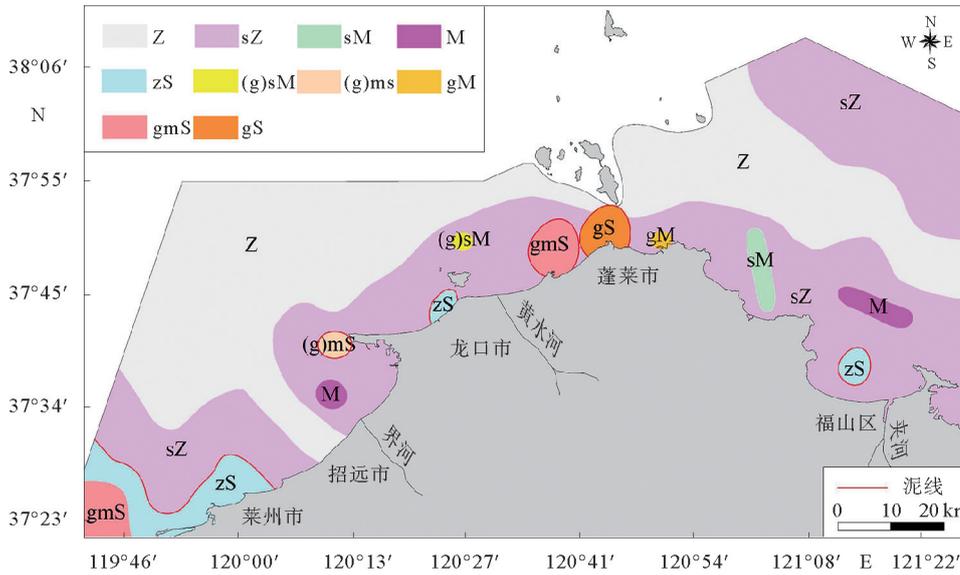


图6 研究区表层沉积物类型分布图(Folk分类)

Fig.6 Distribution of surface sediments in the study area (Folk's Classification)

4 沉积动力环境特征

4.1 沉积动力环境分区

研究区表层沉积物 Pejrurp 三角图投点结果如图7所示。56个沉积物样品中有6个含砾样品,为了使含砾样品体现在图中,本文去除含砾样品中砾组分,再重新计算砂、砂、黏土3种组分所占的百分比。从Pejrurp三角图投点结果可以看出,研究区样品投点落于AⅢ、BⅢ、BⅣ、CⅢ、CⅣ、DⅢ、DⅣ7个区,其中,有一个样品落于A区,代表其所处的沉积区的介质运动强度较大,其余样品落于B区、C区和D区,代表介质运动强度相对较小,并且全部样品落入Ⅲ区和Ⅳ区,代表粉砂相对黏土含量较多,沉积环境较为扰动。

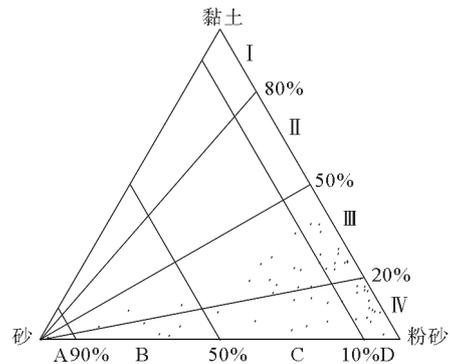


图7 Pejrurp三角图投点结果

Fig.7 Sediments in Pejrurp triangle diagram

研究区的沉积动力环境分区结果如图8所示。

AⅢ区有一个站位,分布在蓬莱近岸庙岛海峡附近,该区表层沉积物主要为含砾沉积物,粉砂和黏土含量较低,此处峡道较为狭窄,形成的强往复流致使该处水动力条件强。

BⅢ区主要分布在砵母岛西部、登州浅滩等近岸浅海海域,另外福山区北部套子湾内有一处分布。该区砂泥比和粉砂黏土比相对较高,水动力条件相对较强,表层沉积物粒度较粗。

BⅣ区主要位于研究区西南部浅海以及桑岛西南一区域,该区砂泥比相对较高,粉砂黏土比相对较低,水动力环境较强,受扰动程度较 BⅢ区高,表层沉积物粒度较粗。

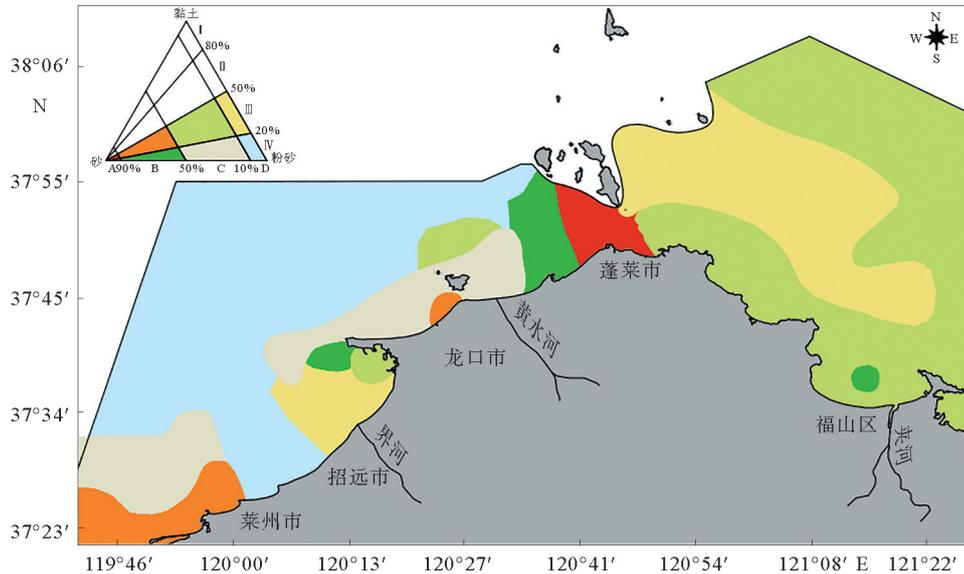


图 8 研究区沉积动力环境分区

Fig.8 Classification of sedimentary dynamic environment of the research area

CⅢ区主要分布在研究区东部近岸浅海以及东北部,此外桑岛北部和砵母岛南部亦有零星分布,该区砂泥比和粉砂黏土比均较低,水动力条件较 B 区弱。

CⅣ区主要分布在龙口市北部近岸浅海以及西南部浅海海域,该区砂泥比较小,粉砂黏土比较大,为扰动环境,受扰动程度较 CⅢ区高,水动力条件较 CⅢ区强。

DⅢ区分布在研究区东侧的中部海域以及界河河口外近岸浅海海域,该区表层沉积物类型主要为粉砂,砂泥比极低,粉砂黏土比较高,且包含两处泥质区,泥含量很高,水动力条件较弱,沉积物粒度最细。

DⅣ区分布在研究区西部大部分海域,该区分布面积最广,砂泥比极低,水动力环境和 DⅢ区较为相似,介质运动强度较小,受扰动程度较高,沉积物粒度很细。

4.2 沉积动力环境影响因素

沉积动力环境对于表层沉积物粒度的分布具有重要的作用,本文从潮流、山东半岛沿岸流以及

物质来源三方面对沉积动力环境的影响进行分析。

前人在对庙岛群岛海域沉积动力环境的研究中表明,潮流是庙岛群岛海域泥沙起动及运输的主要动力,大部分海域的表层沉积物可在单纯潮流作用下起动,并且是其研究区沉积动力环境的主要控制动力^[4,23]。根据研究区沉积动力环境分区结果,A 区主要分布在中部庙岛海峡附近海域,沉积物粒径较粗,研究区中部登州水道、登州浅滩为典型的潮流动力地貌体系,该区域较为狭小,潮流作用较强,东西两侧的潮流在经过此处喇叭口状狭小地带时,潮流流速会由弱变强再变弱,在中间登州水道处流速达到最大值,此处细粒沉积物会在强水动力作用下被运移,留下粒径较粗的沉积物颗粒。B 区主要分布于研究区西南部、龙口市砵母岛西侧、桑岛南侧海峡、蓬莱西北近岸浅海等几处海域,以上海区基本为地势狭小或有岛屿分布的海域,潮流流速相比开阔海域要大,水动力较强,沉积物粒度相对较粗。C 区中有大部分区域沿海岸分布,总体分布较 B 区靠外,该区的水动力条件比 B 区要弱,其分布格局和砂质粉砂分布较为吻合,沉积物粒度总体较细。D 区主要位

于研究区东西部开阔海域,且中部庙岛群岛对潮流有一定的阻挡作用,属于研究区水动力条件最弱的区域,表层沉积物类型主要为粉砂、砂质粉砂、泥等,沉积物粒度最细,细粒悬浮泥沙易于沉积。研究区沉积动力环境分区总体表现出“中间强、两侧弱,近岸强、远岸弱”的分区格局。

研究区沉积动力环境分区表现出的“中间强、两侧弱,近岸强、远岸弱”的分区格局与粒度组分、粒度参数及沉积物类型的分布较为一致,并且和研究区潮流作用较为吻合,由此可知,潮流是研究区沉积动力环境的一项重要控制因素。

除了潮流作用的影响,研究区还存在鲁北沿岸流,它是在山东半岛北部沿岸区域由西向东的沿岸流,是渤海水系在山东半岛影响下经莱州湾顶部向外输送的结果,也是黄海西部沿岸流的北段。鲁北沿岸流冬强夏弱,冬半年在北向风作用下,沿山东半岛北部向东流动,可影响到山东半岛南部海域^[26]。前人研究表明,山东半岛北部存在中间厚、向海和陆地减薄的泥质区,这种分布格局是黄河细粒物质在鲁北沿岸流影响下,沿山东半岛运输形成^[27-30]。本研究中东西部开阔海域为细粒沉积物聚集区,黄河细粒物质在鲁北沿岸流的作用下,从研究区海域自西向东运输,运输过程中悬浮泥沙部分被阻挡截留,形成研究区细粒沉积物分布区。由此可见,沿岸流也是研究区沉积动力环境的一项重要控制影响因素。

另外,研究区沉积物来源多样,除河流输砂外,还有沿岸侵蚀供砂、海底侵蚀供砂以及邻近海域来砂^[31-34]。为了分析研究区的物质来源,本文做出研究区表层沉积物净输运趋势(图9),图中矢量箭头指向代表沉积物的净搬运方向,矢量箭头长度代表沿该方向沉积物运移趋势的显著性。研究区西部海域大部分站位的表层沉积物输运呈现出由陆向海的趋势,方向为NW向,运输趋势显著性较强,西北部运输方向变为NE向,且在此处呈现一个汇聚区。该汇聚区沉积物粒度较细,既有近岸的物质来源,又有渤海西部邻近海域的物质来源。研究区东部整体呈现出四周向中间汇聚的运移趋势,既有来自于北黄海的物质输入,又有近岸和渤海的物质输入,且在中间呈现一个汇聚区,该汇聚区沉积物粒度较细。研究区东部整体处于山东半岛北部泥质区,受黄河物质控制影响较为明显^[27],研究表明,每年大约有相当于黄河入海通量1%的悬沙经渤海海峡南部输出渤海,悬沙浓度可达 0.01 kg/m^3 量级,黄河细粒沉积物的输入是研究区沉积物的一个重要来源^[32]。由此可见,研究区物质来源多样,物质来源也对研究区的沉积动力环境产生影响。

综上所述,研究区表层沉积物运移和分布与水动力条件基本吻合,且受沉积物来源的影响,沉积动力环境由潮流、沿岸流以及沉积物来源共同控制影响。

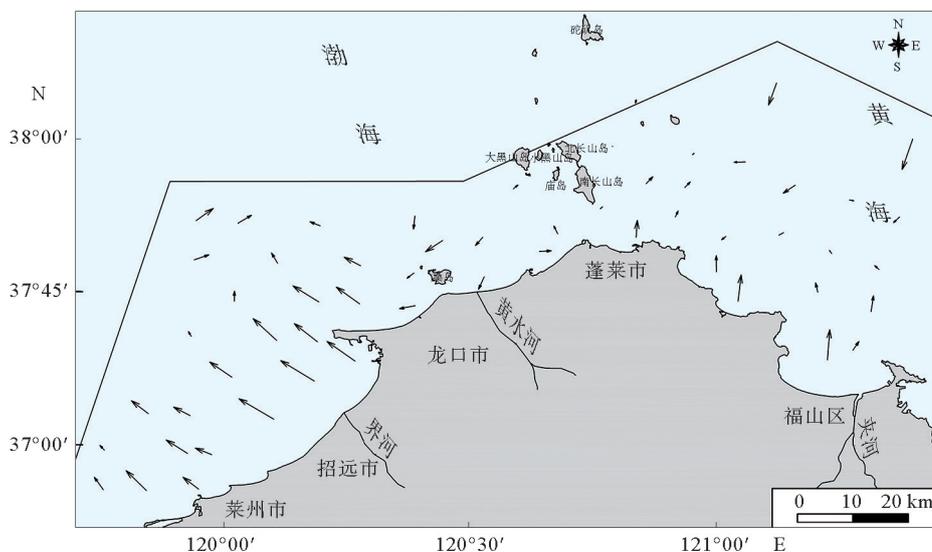


图9 研究区表层沉积物净输运趋势图

Fig.9 Trend map of net transportation of surface sediments in the study area

5 结论

基于烟台北部近岸海域 56 个表层沉积物粒度资料,分析了沉积物粒度特征,并在此基础上探讨了研究区的沉积动力环境特征。研究结果表明:

(1)研究区表层沉积物粒级组分以粉砂为主,其含量高、分布广;沉积物类型主要为粉砂和砂质粉砂;细粒沉积物主要分布在东西部开阔海域,粗粒沉积物主要分布在庙岛海峡附近海域以及西南部莱州市近岸浅海。

(2)研究区沉积动力环境可划分为 AⅢ、BⅢ、BⅣ、CⅢ、CⅣ、DⅢ、DⅣ 7 个区,总体表现出“中间强、两侧弱,近岸强、远岸弱”的分布格局。

(3)研究区东西部开阔海域各存在 1 个沉积物汇聚中心,物质来源多样。

(4)研究区表层沉积物运移和分布与水动力条件基本吻合,且受沉积物来源的影响,沉积动力环境由潮流、沿岸流以及沉积物来源共同控制影响。

参考文献:

- [1] 张晋,李安春,万世明,等.生物硅对南海南部表层沉积物粒度分析结果的影响[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(3):35-46.
- [2] 袁萍.渤海表层沉积物的空间分布及其与物源和沉积动力环境的关系[D].青岛:中国海洋大学,2015.
- [3] 洪华生,陈宗团.海岸带综合管理中面临的科学问题[J].海洋开发与管理,1998,15(1):28-31.
- [4] 张伟,周连成,吴建政,等.渤海海峡南部海域表层沉积物分布特征及控制因素[J].海洋地质与第四纪地质,2015,35(5):19-28.
- [5] 王伟伟,付元宾,李树同,等.渤海中部表层沉积物分布特征与粒度分区[J].沉积学报,2013,31(3):478-485.
- [6] 李建伟,吴建政,胡日军,等.渤海湾西南部海域表层沉积物分布特征[J].海洋地质前沿,2011,27(9):11-17.
- [7] 王安国.山东半岛北部近岸海区表层沉积物物源与沉积环境[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [8] 蓝先洪,张训华,张志珣.南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J].海洋湖沼通报,2005(4):53-60.
- [9] 朱玉荣.潮流场对渤、黄、东海陆架底质分布的控制作用[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(2):7-13.
- [10] 王伟.北黄海表层沉积物粒度分布特征及其对沉积环境的指示[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2008.
- [11] 张晋,李安春,万世明,等.南海南部表层沉积物粒度分布特征及其影响因素[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(2):1-10.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Yang S Y, Jung H S, Lim D I, et al. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea [J]. Earth Science Reviews, 2003, 63(1):93-120.
- [15] 马晓红,韩宗珠,艾丽娜,等.中国渤黄海的沉积物源及输运路径研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2018,48(6):96-101.
- [16] 张伟.渤海海峡南部海域地貌特征及控制因素研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [17] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. Journal of Geology, 1922, 30(5):377-392.
- [18] Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research, 1957(27):3-26.
- [19] Folk R L, Andrews P, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Geology & Geophysics, 1970,13(4):937-968.
- [20] Gao S, Collins M B, Lanckneus J, et al. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the belgian continental shelf [J]. Marine Geology, 1994, 121(3-4):171-185.
- [21] Pedreros R, Howa H L, Michel D. Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas[J]. Marine Geology, 1996, 135(1/4):35-49.
- [22] 赵建春,戴志军,李九发,等.强潮海湾近岸表层沉积物时空分布特征及水动力响应——以杭州湾北岸为例[J].沉积学报,2008,26(6):1043-1051.
- [23] 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.
- [24] 张先锋,吴建政,胡日军,等.靖海湾表层沉积物粒度特征及沉积动力环境分区[J].海洋地质前沿,2013,29(10):47-51.
- [25] 刘成,胡日军,朱龙海,等.庙岛群岛海域沉积动力环境分区及沉积物输运趋势[J].海洋地质前沿,2018,34(8):24-33.
- [26] 温国义,李广雪,赵东波,等.根据 AVHRRSST 探讨中国北部海域冬季环流演变[J].海洋环境科学,2008,27(S2):19-23.

- [27] Liu J P, Milliman J D, Gao S, et al. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2004, 209(1/4):45-67.
- [28] Yang Z S, Liu J P. A unique Yellow River-derived distal subaqueous delta in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2007, 240(1/4):169-176.
- [29] 陈志华, 石学法, 王湘芹, 等. 南黄海 B10 岩心的地球化学特征及其对古环境和古气候的反映 [J]. *海洋学报(中文版)*, 2003, 25(1):69-77.
- [30] 蓝先洪, 张训华, 张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 2005(4):53-60.
- [31] 赵奎寰. 登州浅滩物质来源及运移趋势 [J]. *海岸工程*, 1992(1):32-40.
- [32] 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(2):19-26.
- [33] 王庆, 仲少云, 刘建华, 等. 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.
- [34] 王桂芝, 高抒. 黄渤海水体交换、悬沙特征及其对渤海海峡沉积的影响 [J]. *海洋通报*, 2002, 12(1):43-48.

GRAIN SIZE DISTRIBUTION PATTERN OF SURFACE SEDIMENTS IN THE NORTHERN YANTAI COASTAL WATERS AND ITS BEARING ON HYDRODYNAMIC ENVIRONMENT

LYU Jixuan¹, HU Rijun^{1,2}, LI Yi³, ZHU Longhai^{1,2}, LIU Bo¹, HUANGFU Xuerui¹

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

2 Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China,

Qingdao 266100, China; 3 Huaneng Xiapu Nuclear Power Co., Ltd., Ningde 352000, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the 56 surface sediment samples collected from the northern Yantai coastal waters, the grain size distribution pattern of the sediments was analyzed. The sedimentary dynamic environment of the study area was defined by the Pejrup triangle diagram, and the transport trend of the sediments revealed by the Gao-Collins grain size trend analysis method. On this basis, the characteristics of the sedimentary dynamic environment of the study area were discussed. Results show that the grain size distribution of the study area is characterized by a pattern with coarse sediments in the center surrounded by fine deposits in the east and west; and thus the study area can be divided into seven sedimentary dynamic environments areas: AⅢ, BⅢ, BⅣ, CⅢ, CⅣ, DⅢ and DⅣ. Dynamically, strong environment occurs in the center, weak environments on both sides, or strong near shore and weak far shore; Two depositional centers are discovered in the open sea areas of the eastern and western parts of the study area, and the sediment sources are rather diverse; The movement and distribution of surface sediments in the area are basically dependent upon hydrodynamic conditions, influenced by sediment sources. And the sedimentary dynamic environment is jointly determined by tidal currents, coastal currents and sediment sources.

Key words: northern Yantai; surface sediment; grain size; distribution characteristics; sedimentary dynamic environment