

文章编号: 1000-0550(2013)03-0478-08

渤海中部表层沉积物分布特征与粒度分区^①

王伟伟¹ 付元宾¹ 李树同² 李培英³

(1. 国家海洋环境监测中心 辽东大连 116023; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000;

3. 国家海洋局第一海洋研究所 山东青岛 266061)

摘要 为了解渤海中部海区表层沉积物分布特征与物质来源和水动力环境的关系,高密度采集了海区1448个表层沉积物样品,并进行粒度参数的相关分析。结果表明,研究区表层沉积物类型主要有砾石、砂质砾、砾质砂、砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂、黏土质粉砂、砂—粉砂—黏土和粉砂质黏土10种类型。海区中分布范围最广泛的是粉砂质砂和黏土质粉砂,而砾石和粉砂的分布范围相对较小。海区主要由老铁山水道、冲刷槽砾区、渤中砂质浅滩和辽东砂质浅滩、渤中粉砂质平原、渤海湾黏土层粉砂三角洲平原和渤西滨岸倾斜砂质平原五个沉积物粒度分区。主导海区沉积物分布模式的动力机制是进入渤海的黄海暖流余脉形成的渤海环流,另外,渤海海峡强潮流、辽东湾环流和莱州湾环流也是控制区域表层沉积物的重要动力因素。这些动力驱动因素促成了渤海物质与黄海物质之间“北进南出”的交换模式。

关键词 表层沉积类型 粒度特征 沉积分区 渤海中部

第一作者简介 王伟伟 男 1979年出生 博士 海洋地质学 E-mail: wwwang@nmemc.gov.cn

中图分类号 P736.21 **文献标志码** A

0 引言

粒度特征是沉积物的基本特征之一。一般来说,沉积物沉降后颗粒变化不大,沉积物粒度的分布能够反映搬运、沉积、再悬浮以及再沉积等主导沉积物分布模式的水动力特点,是判别沉积环境的重要标志,因此沉积物的粒度参数和物质组成等常作为识别沉积物环境、标识沉积物搬运方式以及反演沉积物的搬运动力条件的基本手段。

渤海是中国浅海陆架上唯一的内海,由辽东湾、渤海湾、莱州湾、中央浅海盆地和渤海海峡五个海区组成。本文研究区域包括辽东湾南部海域、渤海中央浅海盆地、渤海海峡北部海域和渤海湾。近年来,众多学者针对该海区的海洋环流、海底地貌、泥沙输运以及沉积速率等开展了大量的研究工作^[1],初步摸清海区的主要环流模式、地形、地貌的分布与成因,沉积物粒度特征及运移规律。朱玉荣认为黄河入海泥沙除沉积在河口区形成三角洲外,在渤海湾、渤海中央以及经过渤海海峡南部向黄海的搬运过程皆有物质沉积^[2]。Li提出海区南部的莱州湾附近海域在春季逆时针环流作用下,沉积物被输运至渤海湾和渤中盆地^[3]。汤毓祥等通过对渤海海峡潮流沙脊的研究发现^[4,5,6],受涨潮流的影响,老铁山水道附近海域的

沉积物在高达2.5 m/s的强流作用下被输运至渤海,因水流扩散流速降低,在科氏力的作用下,沉积物输运方向转为北东向,塑造了著名的渤中浅滩和辽东浅滩沙脊、沙波和沙席,其中,沙席沉积物以细砂为主,且具有分选好的典型潮流沉积特征^[7],而滦河三角洲在波浪和辽东湾沿岸流的作用下发育三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲等堆积地貌^[8],乔淑卿^[9]使用粒径趋势分析方法研究了渤海沉积物的净输运趋势。然而这些研究工作的焦点多集中在老铁山水道、渤海湾以及莱州湾等局部区域,对海区的整体沉积环境与沉积分区鲜见报道,即使涉及整个渤海区的研究工作,其采集的沉积物密度较稀疏,可能遗漏了部分沉积物特征分布的细节信息。本文尝试通过对渤海中部海区高密度的表层沉积物样品的系统分析,获得表层沉积物类型、物质组成以及粒度参数的分布特征,进而讨论沉积物的物质来源、搬运方式和动力驱动条件,在此基础上,结合海区的地形、地貌特点,提出海区的沉积物粒度分区模式,这对全面、系统的认识渤海海区沉积物输运规律,揭示现代渤海沉积环境有重要的意义。

1 样品来源及分析方法

研究区共采集了1448个站位的表层沉积物样品,沉积物采用箱式取样器采集,局部浅水区的站位,

^①国家908专项调查(编号:908-01-CJ01);辽宁省908专项调查(编号:LN-908-02-06)资助
收稿日期:2012-02-08;收修改稿日期:2012-07-18

利用蚌式取样器采集, 站位分布见图1, 采样网格为方形, 天津市近岸海域(A1区) 437个站位和大连市南部近岸海域(A2区) 102个站位, 其余部分(B区) 909个站位, 采样间隔为3 km, 其余部分(B区) 909个站位, 采样间隔为5 km。

粒度分析按海洋底质调查技术规程要求进行。对于粒径小于2 mm的细粒样品, 利用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行分析, 对于粒径大于2 mm的粗粒样品采用传统法(样品筛+吸液)筛析, 粒级标准统一使用尤登—温德华氏等比制值 ϕ 粒级标准, 沉积物分类采用温特沃思分类规则^[10], 沉积物定名采用谢伯德的三角图命名法, 结合主次粒组命名法进行定名。

2 粒度特征及沉积物类型

2.1 表层沉积物类型和分布

采用谢帕德分类方案, 结合优势组分定名法, 可

将本研究区内表层沉积物划分为: 砾石(G)、砂质砾石(SG)和砾石质砂(GS)、砂(S)、粉砂质砂(TS)、砂质粉砂(ST)、粉砂(T)、黏土质粉砂(YT)、砂—粉砂—黏土(S—T—Y)和粉砂质黏土(TY) 10种类型, 沉积物类型的出现频率以黏土质粉砂(YT)最高, 共508站, 砂(S)次之, 共343站, 分别占有所有站位的35.2%和23.7%。

砾石的分布范围较小, 主要出现在老铁山水道东部的近岸海域。砂主要分布在辽东浅滩、渤中浅滩、辽东湾东部近岸海域以及滦河、沙河河口三角洲, 其中辽东湾浅滩、渤中浅滩和辽东湾东部近岸海域的砂质沉积物分布在沙波沙脊区。粉砂分布范围较小, 主要呈斑块状分布在渤海湾平原、渤中平原和辽东湾西部。黏土质粉砂呈条长舌带状由渤海湾伸展到渤海中部平原, 主要分布在渤中平原、渤海湾、辽东湾盆地、辽东浅滩, 见图2。

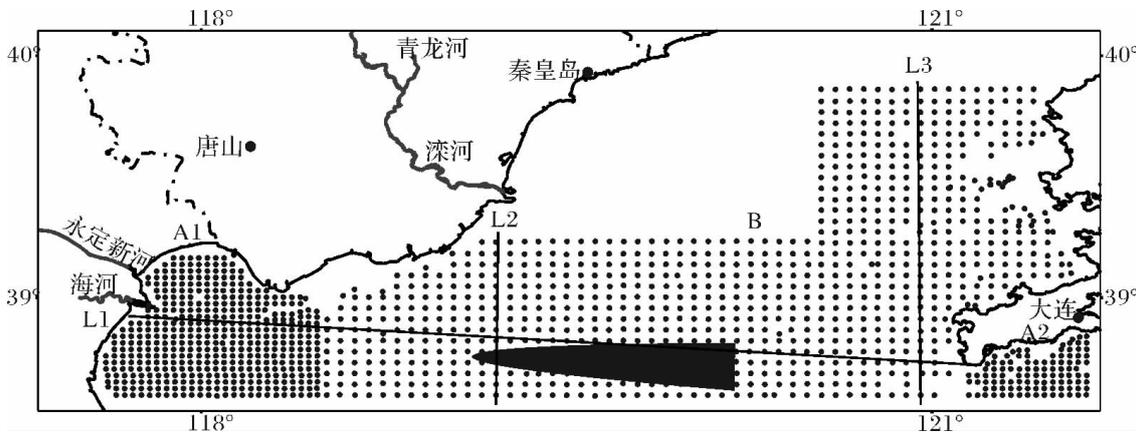


图1 表层沉积物取样站位分布

Fig. 1 The sampling stations of the surface sediments

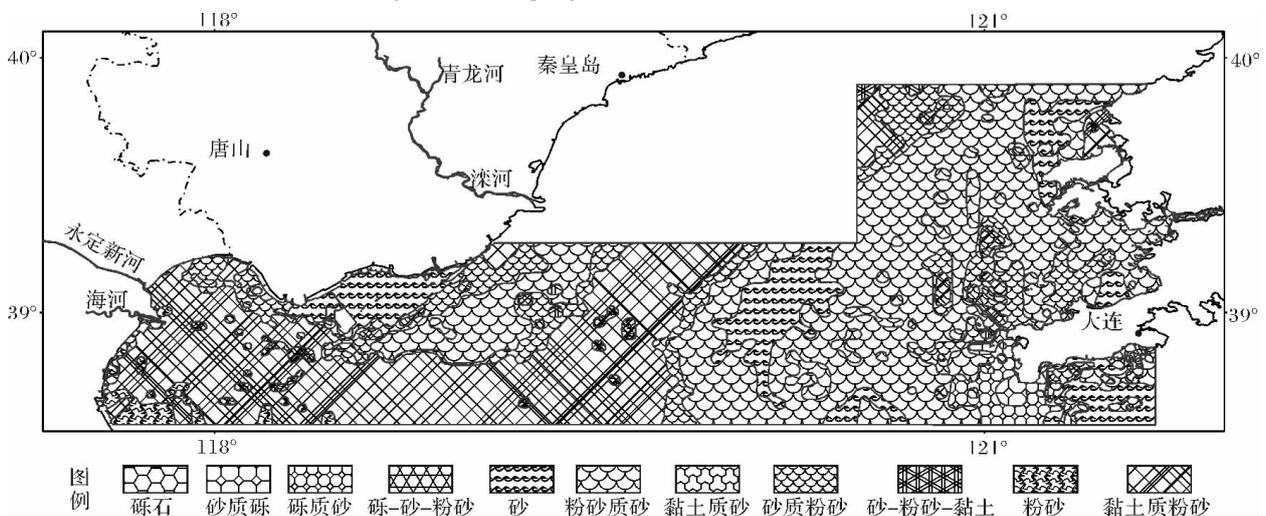


图2 表层沉积物类型分布

Fig. 2 Distribution map of the surface sediment types

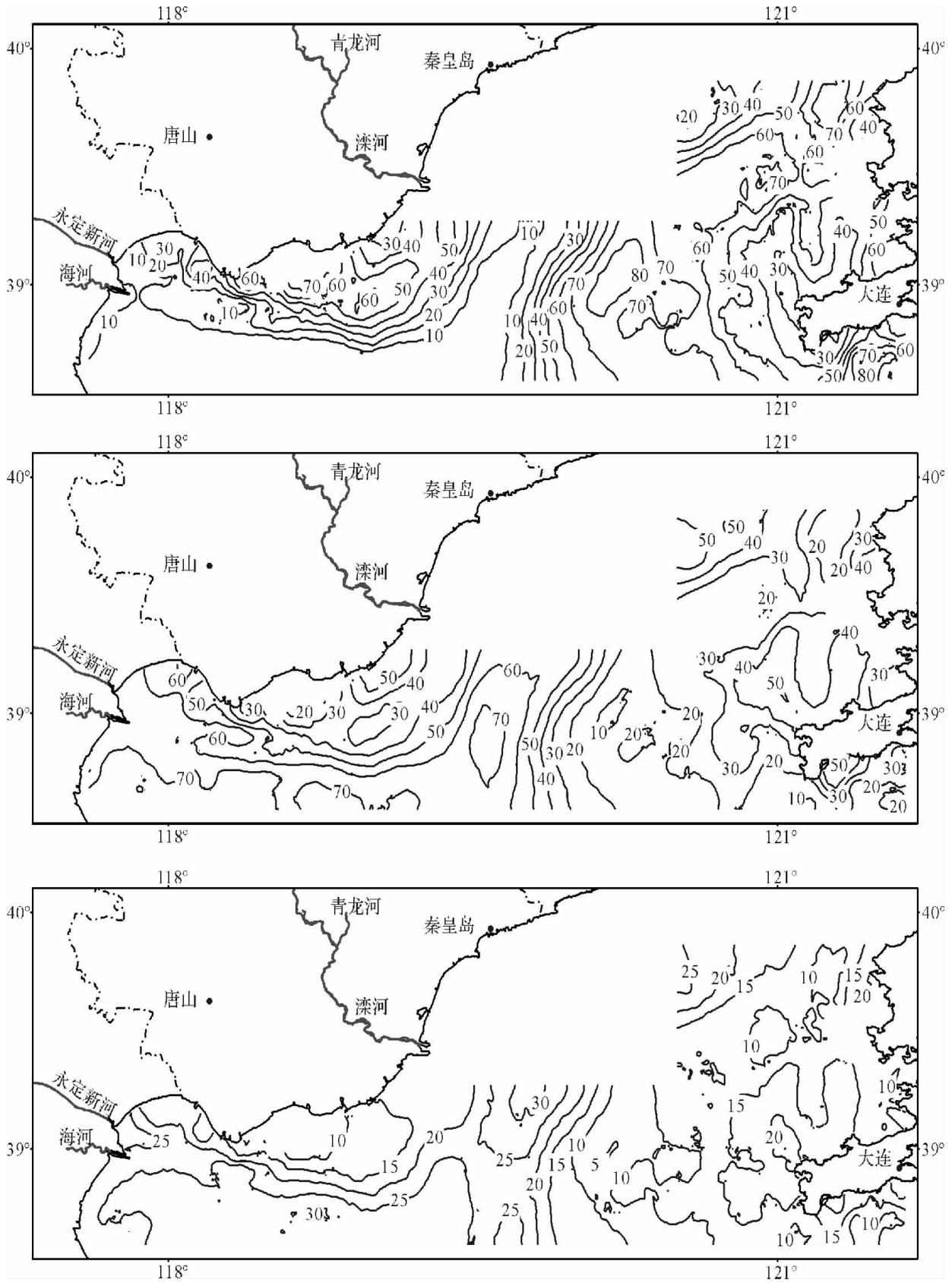


图3 表层沉积物中 (A) 砂、(B) 粉砂、(C) 黏土粒级颗粒百分含量(%)分布

Fig. 3 The percentage content of sand (a) silt (b) clay (c) in the surface sediments

2.2 表层沉积物粒级组分平面分布

砂粒级含量从0到100%不等,分布特征明显,以渤海中部为界,西部呈现自渤海中间区域向近岸海域和自渤海湾向北东的近岸海域逐渐增大的趋势,东部以120°15'E和39°0'为中心,向周边逐渐降低。粉砂含量的分布变化较大。在0~86.49%之间,分布呈现以渤海中央为界,分成东西两个特征差别显著的区域,但含量分布的高值区和低值区恰好与砂的相反,西部区粉砂含量的分布特征呈自渤海中间区域向近岸区域和自渤海湾向北的逐渐降低的趋势,而东部区域粉砂的百分含量高值区出现在渤海中间区域和旅顺口近岸区域,低值区出现在渤海中央偏东区域。黏土含量在0~43.08%之间,高值区出现在渤海湾东部区域,低值区分布在东部,与粉砂的低值区基本一致,主要在渤海中间偏东区域,见图3。

2.3 沉积物粒度参数

研究区内平均粒径变化范围为-0.87~7.77 φ,平均值为5.38 φ,平均粒径的变化趋势与砂粒级含

量的变化趋势基本一致,以渤海中部为界,西部呈现自渤海中间区域向近岸海域和自渤海湾向北东的近岸海域逐渐变粗的趋势,东部以120°15'E和39°0'为中心,向周边逐渐变细。在旅顺老铁山附近的沉积物较粗,平均粒径可达-0.87 φ,是整个调查区域粗粒沉积物的集中分布区,见图4。分选系数反映的是沉积物颗粒大小的均匀性。研究区内分选系数变化范围为0.44~4.92,平均值为2.14,分选性大致为中等至较差。分选系数最小的区域分布在渤海中部海区,分选系数最大的区域分布在旅顺老铁山附近海域,见图5,该区是强潮流控制区,残留沉积和现代沉积共存。

2.4 沉积物粒度分区

区域的泥沙来源、本底物质、水下地形和地貌以及水文动力条件决定了该区的沉积物格局。为揭示不同沉积物粒度分区的特点,我们沿程做了三条观测线(L1、L2、L3),见图1,根据三条观测线上的沉积物类型分布特征和粒度参数的平面分布特征,结合地形

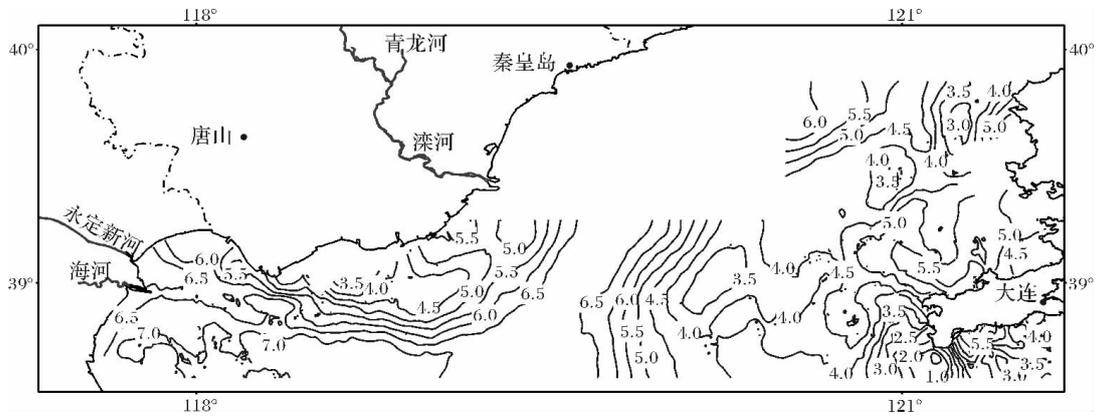


图4 表层沉积物平均粒径(φ值)分布

Fig. 4 The distribution of mean sizes(φ) of the surface sediments

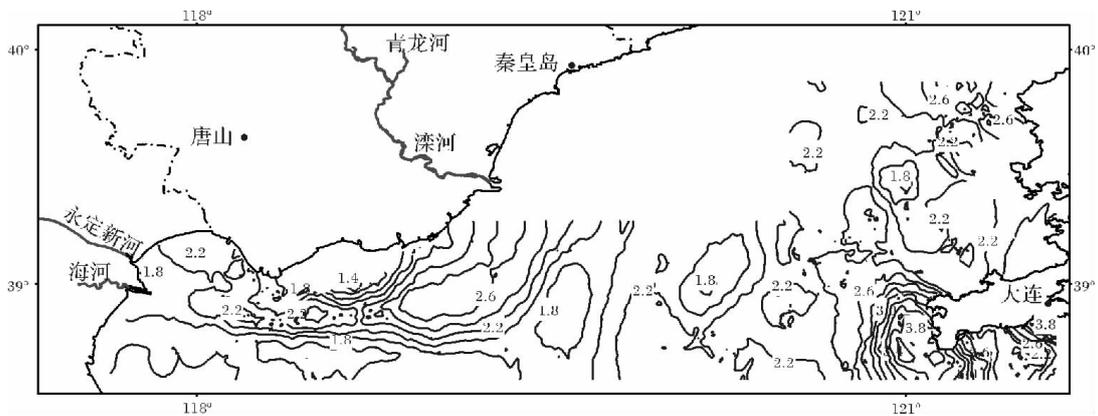


图5 表层沉积物分选系数分布图

Fig. 5 The distribution of the sorting coefficient of the surface sediments

地貌的特点,将研究区分为老铁山水道冲刷槽砾质区、辽东砂质浅滩和渤中砂质浅滩、渤海中部粉砂质平原、渤海湾黏土质粉砂三角洲平原和渤西滨岸倾斜砂质平原5个沉积物粒度分区,见图6,这与利用渤海区的沉积速率对沉积物的粒度分区相吻合^[11]。各分区的基本生气特征分述如下:

(1) 老铁山水道冲刷槽砾质区

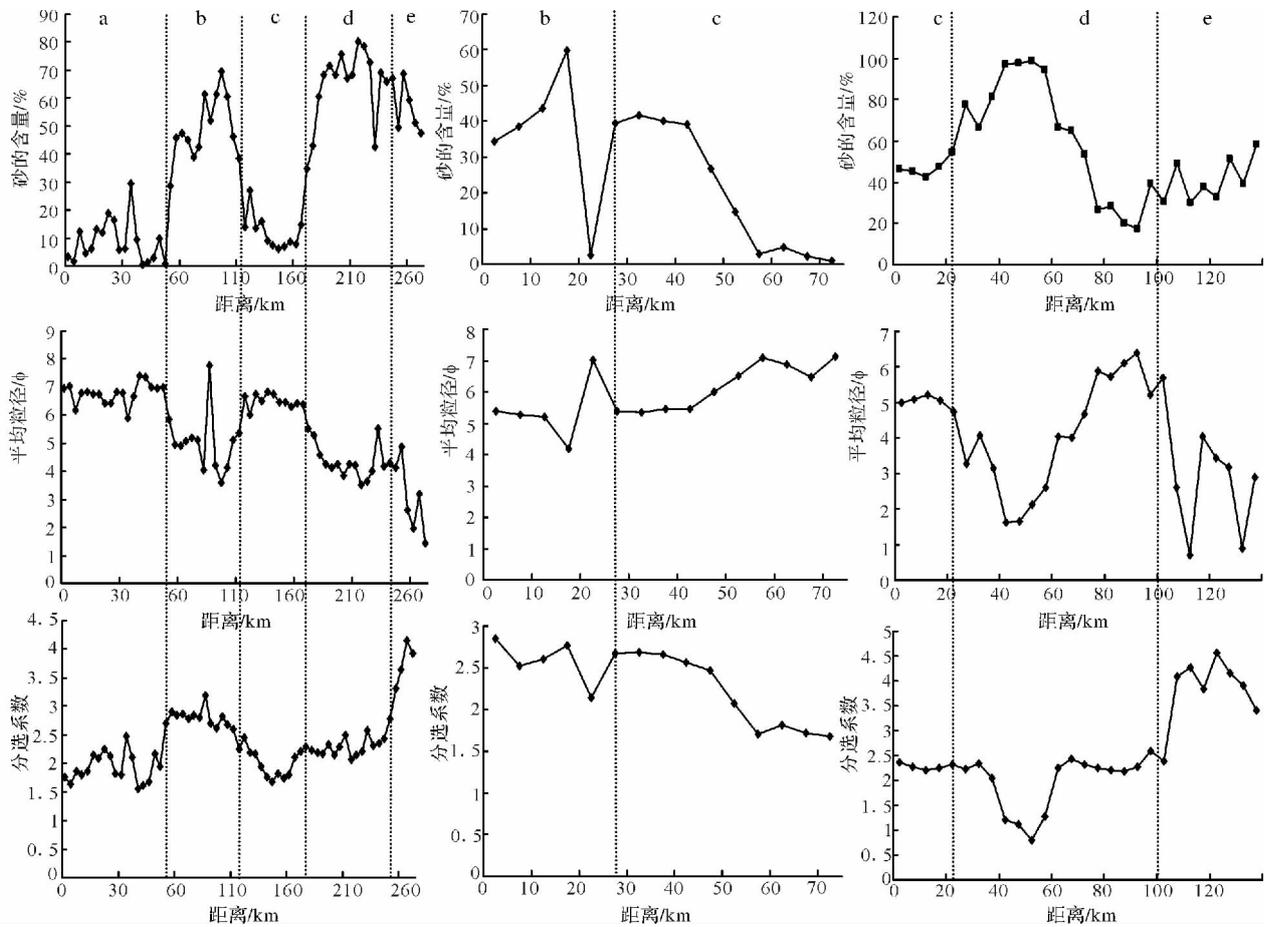
该区位于渤海海峡北部,发育老铁山冲刷槽水下地貌,沉积物以粗颗粒的砾石、砾质砂、砂质砾为主,同时分布硬黏土和贝壳。砂的含量较高,基本在28%~68%,沉积物平均粒径在0.4~4.2φ,为整个渤海海区沉积物最粗的区域,分选系数在24之间,分选差,以老铁山水道冲刷槽中央区域向海分选逐渐变好,这与该区沉积物以晚更新世残留沉积为主,缺失全新世沉积物有直接的关系^[12]。

(2) 辽东砂质浅滩和渤中砂质浅滩

该区位于渤海东部,主要发育渤中浅滩、辽东浅滩、砂席和沙波等水下地貌,海区是渤海海峡强潮流携沙流进入渤海的一级堆积区,粉砂质砂是海区的主要沉积物类型,砂呈指状和斑块镶嵌在粉砂质砂区。砂的含量较高,多在30%以上,最高达100%,平均粒径在1.6~6.3φ,分选系数多在1.8~2.4之间,分选较差,反映了周围陆源物质的粗细混合未经充分分选的过度性。

(3) 渤海中部粉砂质平原

区域位于渤海中央区域,主要发育渤中平原。沉积物分布呈现极强的条带状区域分异性,且由渤海中央向两侧,沉积物颗粒依次逐渐变细,沉积类型主要有黏土质粉砂、砂质粉砂。砂的含量相对较低,平均在26%,平均粒径在4.8~7.5φ,分选系数在0.8~2.8之间,分选中等至差,物质主要是黄河入海挟沙流和黄海暖流余脉携带的细粒沉积物以悬移的方式,



L1 渤海湾至老铁山西角 L2 滦河三角洲至渤海湾 L3 剖面辽东湾至渤海海峡

(a 渤海湾; b 渤海西部倾斜平原; c 渤中平原; d 辽东浅滩和渤中浅滩; e 渤海海峡)

图6 表层沉积物特征空间分布

Fig.6 The spatial distribution of the surface sediment characteristics

经过长途搬运共同沉积在本区。

(4) 渤海湾黏土质粉砂三角洲平原

区域位于渤海湾北部区域,主要发育黄河三角洲和渤海湾三角洲,沉积物以细颗粒为主,黏土质粉砂是海区的主要沉积物类型,粉砂和砂质粉砂呈斑块状分布在黏土质粉砂区。砂的含量相对较低,多小于 20%,平均粒径在 5.8~7.2φ,分选系数在 1.3~2.5 之间,分选差。区域物质来源多样性,影响沉积物的粒径的均一性。

(5) 渤西滨岸倾斜砂质平原

区域位于渤海西部,主要发育滦河三角洲,沉积物类型基本平行岸线分布,且呈明显的条带状,沉积物类型主要有砂、粉砂质砂和砂质粉砂,砂的含量较高,多在 26%~68%,平均粒径在 3.5~5.3φ,沉积物的分选系数在 2.4~3.3 之间,分选差。这与沉积物源于近岸来砂,搬运距离较短有关外,还可能与沉积物来源较为复杂有关。相对粗颗粒的粉砂质砂呈舌状伸展与渤中平原和渤海湾之间(图 2),也与之相吻合。

3 讨论

渤海中部海区表层沉积物的分布规律受控于近岸陆源物质来源、渤海环流、渤海沿岸流、地形地貌以及区域的沉积速率等诸多因素,主导沉积物分区的沉积环境比较复杂。潮流经过渤海海峡,绕过老铁山水道后,在科氏力的影响下,自东向西的黄海暖流和辽南沿岸流共同控制,产生西向和北向的余流,将老铁山水道海底沉积物自东向西的搬运,这股携砂流在进入渤海区后,随着能量减弱和搬运距离的增大,粗颗粒的砂质沉积物在西部和北部堆积,形成了以粉砂质砂和砂为主的渤中浅滩、辽东浅滩一级堆积区和以砾石、砾质砂、砂质砾为主的老铁山水道侵蚀区^[4],砂组分含量分布(图 3)也表明,该区是砂含量最高的堆积区。黄海暖流的余脉继续向西推进,随着能量的进一步减弱,细颗粒的物质多以跃移或悬浮状态搬运并堆积(图 7),产生了以黏土质粉砂、砂质粉砂为主的渤中平原堆积区,进入莱州湾的黄河入海泥沙,在逆时针的环流作用下,形成的自南向北的挟砂流分支也对该区沉积物产生一定的贡献,这与模拟的莱州湾潮流场相吻合^[13]。

在渤海环流和渤西沿岸流的共同作用下,滦河三角洲和秦皇岛附近的较细颗粒向南输运,形成了 10~20 m 等深线区域的粉砂质砂分区。在曹妃甸的岬角效应影响下,南西—北东向的强浪产生的横向输沙

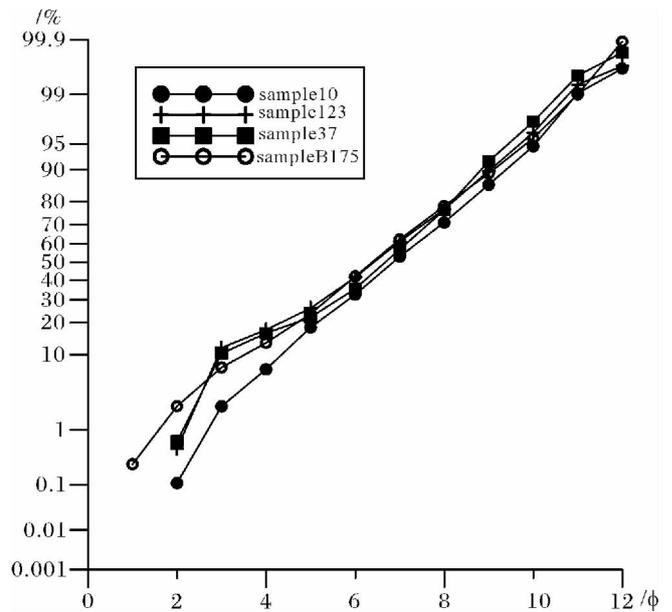


图 7 渤中平原沉积物粒度概率累积曲线

Fig. 7 The cumulative curve of sediment in central Bohai plain

流将曹妃甸附近海域的细粒沉积物输送到两侧的渤海湾和秦皇岛附近海域,形成曹妃甸近岸海域的砂质分布区和相对较细颗粒的砂质粉砂分布区^[14],沉积物的分选系数平面分布(图 5)表明该区的沉积物分选为差,反映近源沉积的特点。

黄河的入海泥沙除了输送至渤海中平原外,有一个重要的去向就是进入南部渤海湾。另外,在以涨潮流为优势的控制动力条件下,注入海湾的海河、蓟运河的携砂流进入渤海湾后,由于输运动力减弱下,形成黏土质粉砂堆积区。来源于黄河的南部渤海湾的沉积物粒度相对比较单一,而北部渤海湾沉积物因为未经充分分选,整体分选差^[15]。

4 结论

通过对渤海中部区的表层沉积物粒度参数、沉积物类型、沉积物组分特征的空间分布特征的研究,结合区域的物质来源、环流结构、地形地貌和沉积速率分析,得出如下结论:

(1) 渤海中部区表层沉积有砾石、砂质砾、砾质砂、砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂、黏土质粉砂、砂—粉砂—黏土和粉砂质黏土 10 种类型,其中粉砂质砂和黏土质粉砂分布最为广泛,砾石和粉砂的分布范围较小。

(2) 自渤海湾至老铁山水道,沉积物由细变粗,依次主要分布黏土质粉砂、粉砂质砂、砂、砾质砂和砾

石。自辽东东浅滩至渤海海峡,沉积物呈现细—粗—细—粗的分布特征,依次主要分布粉砂质砂、砂、砂质粉砂、砾质砂和砾石。自滦河三角洲至渤中平原沉积物呈现细—粗—细的特征,依次分布砂质粉砂、粉砂质砂和黏土质粉砂。

(3) 渤海中部海区主要有老铁山水道冲刷槽砂砾区、辽东砂质浅滩和渤中砂质浅滩、渤海中部粉砂质平原、渤海湾粘土粉砂三角洲平原和渤西滨岸倾斜砂质平原 5 个沉积物粒度分区。

致谢 样品采集和分析工作由国家海洋环境监测中心和中国海洋大学地球科学学院共同完成,调查队成员和分析人员为此付出了艰辛的劳动,在此谨表谢意!

参考文献 (References)

- 秦蕴珊,赵一阳,赵松龄,等. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 17-49 [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Zhao Songling, *et al.* Geology of the Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 1985: 17-49]
- 朱玉荣. 全新世渤、黄、东海陆架泥沙输运演变过程模拟研究[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(2): 25-38 [Zhu Yurong. Simulation study on the evolution process of sediment transport on the continental shelves of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea during the Holocene [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2001, 19(2): 25-38]
- Li G S, Dong C, Wang H L. Numerical simulation of transportation of SPM from the Yellow River to the Bohai Sea [J]. China Ocean Engineering, 2006, 20(1): 133-146
- 汤毓祥,刘振夏,姚兰芳,等. 渤海 M2 潮流及其与辽东浅滩潮流脊发育的关系[J]. 海洋通报, 1994, 13(1): 26-30 [Tang Yuxiang, Liu Zhenxia, Yao Lanfang. M2 tidal current in Bohai Sea and its relation with evolution of tidal current ridges over shoal off Liaodong Peninsula [J]. Marine Science Bulletin, 1994, 13(1): 26-30]
- 刘振夏,夏东兴,汤毓祥,等. 渤海东部全新世潮流沉积体系[J]. 中国科学, 1994, 24(12): 1331-1338 [Liu Zhenxia, Xia Dongxing, Tang Yuxiang, *et al.* Tidal deposition pattern in east part of the Bohai Sea during the Holocene [J]. Science in China: Series B, 1994, 24(12): 1331-1338]
- 刘振夏,汤毓祥,王揆洋,等. 渤海东部潮流动力地貌特征[J]. 黄渤海海洋, 1996, 14(1): 7-21 [Liu Zhenxia, Tang Yuxiang, Wang Kuyang, *et al.* Tidal dynamic geomorphic system in the east part of the Bohai Sea [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1996, 14(1): 7-21]
- 刘升发,庄振业,龙海燕. 渤海东部晚第四纪环境演变及潮流沙席沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(1): 7-13 [Liu Shengfa, Zhuang Zhenye, Long Haiyan. Environmental evolution and tidal sand sheet sedimentation in late Quaternary in the East Bohai Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2008, 28(1): 7-13]
- 刘振夏. 现代滦河三角洲的影响因素和沉积物分区[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(4): 55-64 [Liu Zhenxia. The influential factors and zoning of the modern Luanhe River delta [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1989, 7(4): 55-64]
- 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 [Qiao Shuqing, Shi Xuefa, Wang Guoqing, *et al.* Discussion on grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Bohai Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(4): 139-147]
- Wentworth C K. A scale of grade and class terms for elastic sediments [J]. Journal of Geology, 1922, 30(4): 373-392
- 董太禄,杨光复,徐善民. 渤海南部现代沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4): 131-134 [Dong Tailu, Yang Guangfu, Xu Shanmin. Modern sedimentary characteristics in the South of the Bohai Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15(4): 131-134]
- 刘振夏,夏东兴. 中国近海潮流沙脊体[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 146-155 [Liu Zhenxia, Xia Dongxing. Tidal Sands in the China Seas [M]. Beijing: Ocean Press, 2004: 146-155]
- 魏泽勋,李春雁,方国洪,等. 渤海夏季环流和渤海海峡水体输运的数值诊断研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(4): 455-463 [Wei Zexun, Li Chunyan, Fang Guohong, *et al.* Numerical diagnostic study of the summertime circulation in the Bohai Sea and the water transport in the Bohai Strait [J]. Advances in Marine Science, 2003, 21(4): 454-464]
- Yong J L, Rong Y J, Li Q Z. Morphodynamic responses to the deep water harbor development in the Caofeidian sea area, China's Bohai Bay [J]. Coastal Engineering, 2009, 56: 831 - 843
- 赵广明,叶思源,李广雪,等. 渤海湾沉积地球化学记录及其对环境变迁的指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(5): 51-57 [Zhao Guangming, Ye Siyuan, Li Guangxue, *et al.* Sedimentary geochemical records: indications of environmental changes in Bohai Bay [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(5): 51-57]

Distribution on Surface Sediment and Sedimentary Divisions in the Middle Part of Bohai Sea

WANG Wei-wei¹ FU Yuan-bin¹ LI Shu-tong² LI Pei-ying³

(1. National Marine Environment Monitoring Center, Dalian Liaoning 116023;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

3. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong 266061)

Abstract: To understand the relationship of distribution characteristic of surface sediment with the sediment supply and the hydrodynamic environment in the middle part of Bohai Sea, 1448 surface sediment samples were selected densely. Some grain size characteristics of the surface sediment sample were analyzed. The results indicate that ten different sediment types were recognized in the studied area, such as gravel, sandy gravel, gravelly sand, sand, silty sand, sandy silt, silt, clayey silt, sand-silt-clay and silty clay. Among these ten sediment types, silty sand and clayey silt distribute most widely, while the gravel and silt lesser. The sediment divisions in the middle part of Bohai Sea are composed of Laotieshan Channel, Bozhong Shoal and Liaodong Shoal, Bozhong Plain, Bohai Bay Plain and Western Bohai Gradient Plain. After entering into Bohai Sea, the residual Yellow Sea Warm Current evolves into Bohai Sea Circumfluence, which dominates the pattern of sediment distribution in the middle part of Bohai Sea, and Bohai Strait strong tidal current, Liaodong Bay Circumfluence and Laizhou Bay Circumfluence also play an important role in controlling the sediment distribution pattern. And then the "in north and out south" pattern of sediment exchange is formed, resulted from these dynamic conditions.

Key words: surface sediment type; grain size characteristic; sediment division; the middle part of Bohai Sea