

渤海北部海域碎屑矿物组成特征研究*

侯孟孜¹ 衣华鹏¹ 孙志高² 高猛² 王学沁¹

(1. 鲁东大学资源与环境工程学院, 烟台 264025; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003)

提 要: 对采集自渤海北部海域的23个表层沉积物样品进行碎屑矿物鉴定, 以探讨研究区矿物组成特征及影响因素。结果表明: 采样区碎屑矿物平均含量为17.1%, 其中轻矿物9种, 平均含量为96.77%; 重矿物33种, 平均含量为3.23%。Q型聚类方法分析结果表明, 由于构造块体的基岩差异, 研究区沿东-西方向可分为两个矿物组合区, 在风化搬运规律、蚀源区等差异影响下又将其细分成四个矿物组合亚区。研究发现, 影响渤海北部海域表层沉积环境形成的主要因素是物源, 次要因素是水动力, 其解释贡献率分别为41.91%和22.74%。

关键词: 碎屑矿物; 组成特征; 渤海北部

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

碎屑矿物是物源和环境的产物, 也是搬运营力对沉积物长期作用的结果, 对碎屑沉积物组成特征及影响因素的分析是反演区域塑造机制和沉积环境的重要方法^[1]。特别是沉积物中粗颗粒的重矿物, 因具有物源继承性和在表生环境中稳定性等优点被广泛应用于蚀源区的识别^[1-3]。对海洋碎屑沉积物的判别是反演海岸带物质来源和沉积动力的重要方法, 对今后流域综合管理具有指导意义^[1]。

从国外研究看, 国外学者对碎屑矿物研究开始于上世纪初期, 主要是应用碎屑矿物、矿物成熟度来识别陆源物质, 绘制了经验判别图, 取得了不少新的成果^[4]。对海洋沉积碎屑矿物组成特征方面研究主要是应用于探索古沉积体系、全球海冰冰期变化反映的气候演变等诸多方面^[5, 6]。我国学者对碎屑矿物的研究开始于上世纪80年代, 并对黄河、渤海、黄海等大河流与海区的碎屑矿物在组成和含量变化方面进行了较多研究, 特别是在碎屑矿物分布特征、物源与扩散路径等方面取得了丰硕的成果^[7, 8]。近年来, 伴随“国际大陆边缘计划”的开展, 众多研究者开始关注于对中小型河流沉积物组成特征的研究^[9, 10]。渤海是我国纬度最高的内海, 除黄河外的其他中小型河流也对其有重要影响, 对于渤海北部海域目前已有关于重金属、海藻、近岸雾等方面的研究^[11, 12], 对局部范围的沉积动力学特征以及海底地形研究方面也取得了较为丰硕的成果^[13-16], 但关于渤海北部海域碎屑矿物组成特征和影响因素的研究还较为薄弱。

鉴于此, 文中将从渤海北部河流-河口滨岸带-海域这一较大空间尺度上, 对沉积物组成特征进行综合研究。拟采用Q型聚类方法, 建立研究区碎屑矿物空间上的组合关系、描述矿物分布特征及组合区; 用R型因子分析方法识别沉积物组合与分布特征的关键影响因子, 进而明确研究海域碎屑矿物组合特征的影响机制及其关键因子的贡献率。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

渤海北部海域主要包括辽东湾及38°N以北的一些海域, 辽宁省、河北省将其三面环抱, 呈倒“U”型分布。研究区潮汐类型主要为不规则半日潮, 潮流往复, 最大潮差为2.8m^[16]。受郯-庐断裂带影响, 东西

* 收稿日期: 2016-7-17; 修回日期: 2016-9-4。

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14); 中国科学院“一三五”规划生态突破项目(Y254021031); 国家自然科学基金项目(41171424, 41371104, 31000197)资助。

作者简介: 侯孟孜(1993-), 女, 汉族, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要研究方向为河口海岸过程与自然环境。

E-mail: houmengzi@163.com

通讯作者: 衣华鹏 E-mail: huapengyi@sina.com

两侧沉积物和地质作用差异明显^[17] ,大部分海底地形平坦 除南部有 20 – 40m 的潮流沙脊群外 其他地区以 20m 以下的浅水海域为主。研究区海岸带基岩构造复杂多变 淤泥、砂、砾石、基岩类型岸带交错分布 ,周围分布众多中小型河流(图 1)。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集与分析

2014 年 8 月 搭乘浩海 0007 号工程勘测船 ,采用箱式重力采样器对渤海北部海域 0 – 5cm 表层沉积物进行样品采集 采样点共 23 个(图 1)。

沉积碎屑矿物制备遵循海洋底质调查技术规程 ,分析流程如下: 1) 取沉积物原样 200 – 300g ,烘干称重后记录沉积物干重; 2) 将干样用清水浸泡 ,用套筛法筛选待鉴定碎屑矿物 (0.063 – 0.125mm) 然后烘干称重 ,并计算碎屑矿物组份占沉积物质量的百分比; 3) 用缩分法取 $2 \pm 0.5g$ 待鉴定碎屑矿物 ,用三溴甲烷对待测样品进行重液分离 ($CHBr_3$ 比重为 2.89 ± 0.001) 得到轻矿物与重矿物。烘干后称重 (精度为 0.001g) ,计算碎屑矿物组份中轻、重矿物的质量百分比; 4) 分别取 300 – 400 颗轻、重矿物 ,用偏光镜和双目镜进行逐一鉴定 ,记录每种矿物的颗粒百分比。鉴定采用条带颗粒计数法 ,对矿物特征进行详细的描述。

1.2.2 数据处理与分析

利用 Arcgis 9.3 反权重差值插值对碎屑矿物含量与分布进行空间插值处理 ,并绘制沉积矿物分布图。因研究区北侧属于扇贝养殖区 ,且水深较浅采样船不易到达 ,所以采集样点较少 ,为保证插值之后的准确性 现不对其北部插值后空缺地区进行填补。将 33 种重矿物分成 8 类 ,用 SPSS20.0 软件的组间连接方法将分成的 8 类重矿物进行 Q 型聚类分析; 用因子最大方差旋转方法进行 R 型因子分析 ,得到特征值大于 1 的环境因子的解释贡献率 ,并作因子判断。

2 结果与分析

2.1 碎屑矿物组成与空间分异特征

通过对渤海北部沉积物进行鉴定 ,样品的质量百分含量平均为 17.1% ,变化范围为 1.7% – 48.6% ,呈现由东北向西南逐渐降低的趋势(图 2) ,高值区位于渤海北部海域东侧 范围包括复州河口、大清河口、辽河口、大凌河口(极大值 S_2 : 48.59% ,碎屑矿物平均含量为 31.93%); 低值区位于渤海北部海域西侧 ,分布范围包括六股河口、滦河口(极小值 M_1 : 1.67% ,碎屑矿物平均含量为 11.89%)。

碎屑矿物中重矿物含量能良好地反应区域物源及稳定情况。研究区共鉴定出重矿物 33 种 ,含量为 0.09% – 35.16% ,平均值为 3.23%。如图 3a 所示: 重矿物在六股河口含量较高。研究区内普通角闪石(32.5%)、绿帘石(15.8%)为主要优势矿物 ,其含量均大于 10%。岩屑、褐铁矿、磁铁矿、钛铁矿、磷灰

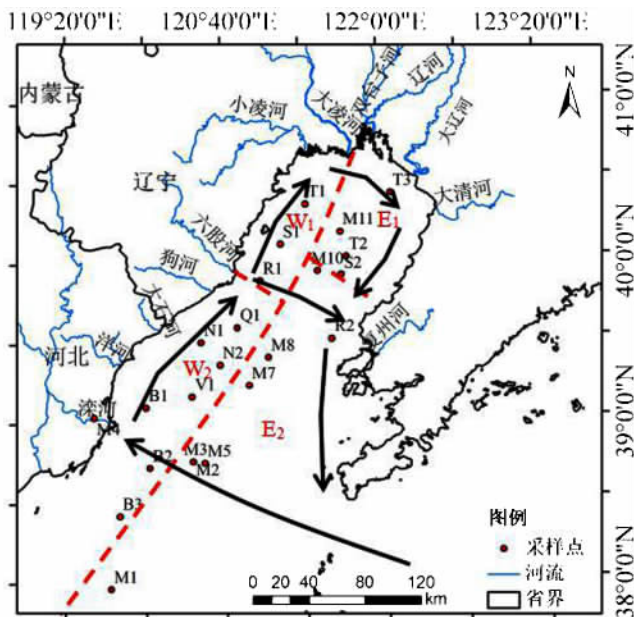


图 1 研究区位置、洋流、碎屑矿物分区图
Figure 1 Location , ocean currents and detrital minerals' space partition of the study area

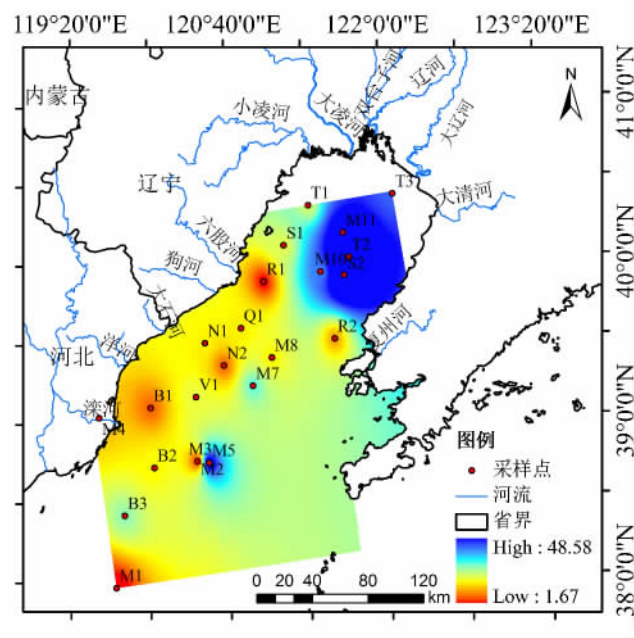


图 2 研究区矿物分布图
Figure 2 Distribution of detrital mineral in the surface sediments of the study region

石、楣石、石榴子石、水黑云母、黑云母、斜黝帘石、阳起石为次要矿物,其含量均介于1% - 10%。少量矿物为风化碎屑、自生黄铁矿、白钛石、赤铁矿、菱镁矿、紫苏辉石、透辉石、普通辉石、萤石、电气石、锆石、白云母、黝帘石、玄武闪石、透闪石,其平均含量均小于1%。样品中偶见金红石、绿泥石、自生碳酸盐、胶磷石、锐钛矿。研究区共鉴定出7种轻矿物和2种碎屑(岩屑、风化碎屑),总含量为64.84% - 99.91%,平均值为96.77%。如图3b所示:轻矿物在六股河口、滦河口含量低,其他海域含量较高。其中,石英与斜长石为研究区的主要轻矿物,平均含量分别为45.8%、41.0%。方解石、风化云母、钾长石为研究区次要轻矿物,含量均为1% - 10%。风化碎屑、岩屑、海绿石、白云母为少量轻矿物,其平均含量均小于1%。

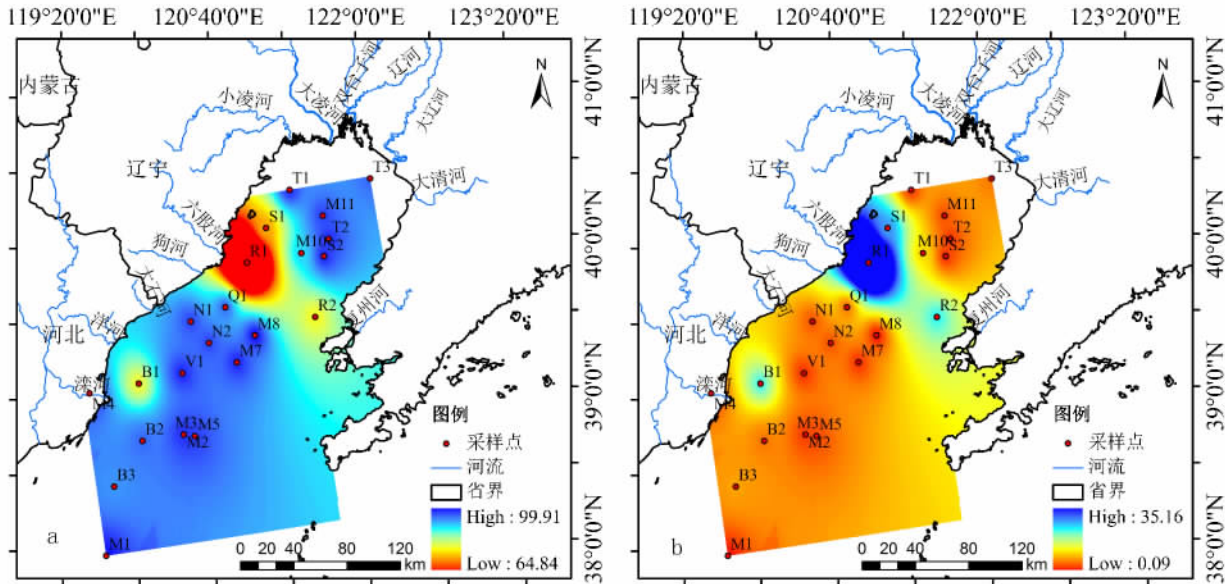


图3 研究区表层沉积物中重矿物(a)、轻矿物(b)分布

Figure 3 Distribution of heavy mineral (a) and light mineral (b) in the surface sediments of the study area

2.2 碎屑矿物空间分区

聚类分析表明:构成重矿物聚类树状图的主要指标为闪石类、帘石类、金属矿物三类矿物之间明显的含量差异。沉积物中三类矿物含量的平均值为74.61%,闪石类平均含量为37.99%;金属矿物类为19.85%,含量分布趋势与闪石类相反;帘石类为17.18%。由于三类矿物含量高且分布差异较大,故可做为主要优势矿物组合来分析渤海北部海域矿物组合区的特征。

通过聚类分析,将研究区表层沉积碎屑矿物划分为W、E两个区,细分为四个亚区W₁、W₂、E₁、E₂(图1)。W区分布在渤海北部海域的西侧,主要受小凌河、六股河、滦河口沉积矿物的影响。W区闪石类含量低于E区,低于研究区均值的20%;金属矿物、石榴子石含量高于E区,分别高于研究区均值的130%、48%。W₁区碎屑矿物含量为14.85%,分布在研究区西北侧。普通辉石含量高是划分W₁、W₂区的关键指标,而云母类、赤铁矿、透闪石全区含量低。W₂区碎屑矿物含量为16.08%,分布在渤海北部海域西侧的滦河及六股河口南侧,ZTR(极稳定重矿物)含量较高。E区分布在渤海北部海域的东侧,主要受辽河、大清河、复州河河口沉积矿物的影响。闪石类含量高于W区,比研究区含量均值高26%;金属矿物含量低于W区,比研究区含量均值低40%。E₁区碎屑矿物含量为21.20%,分布在研究区东北侧。帘石

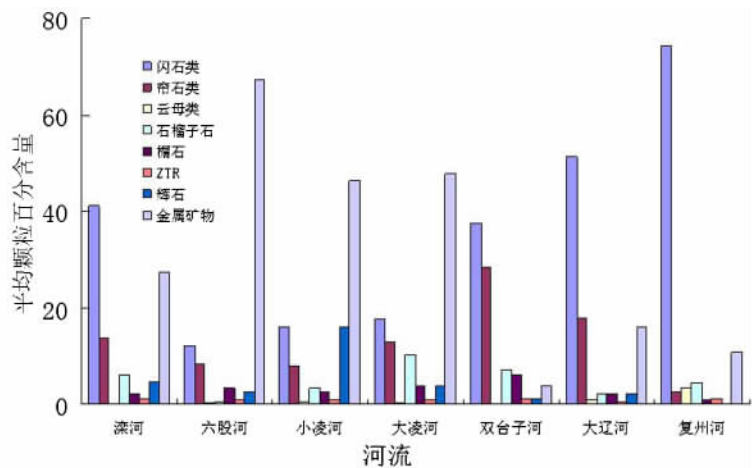


图4 辽东湾周边河流碎屑沉积物含量特征

Figure 4 Clastic sediment content features of rivers nearby the Liaodong bay^[9]

类含量高(23.13%)是区分 E_1 、 E_2 区的关键指标。 E_2 碎屑矿物含量为18.96%,分布在渤海北部海域东南部。闪石类含量较高(52.93%),帘石类与金属矿物含量较低,分别为3.90%、10.83%。

3 讨论

通过R型因子分析方法来识别研究海域碎屑矿物组合与分布特征的关键影响因子及其贡献率,得到特征值大于1的各主因子,其解释的意义如下:

3.1 物质来源对渤海北部表层沉积物分布特征的影响

第一因子解释信息的41.91%,主要影响物为帘石类、楣石类。帘石类、楣石类是渤海北部辽东半岛侵入岩体的特征副矿物,也是影响渤海北部表层沉积物组成特征的一个重要来源,因此第一因子良好反映出物质来源对碎屑矿物空间分布的影响。海洋沉积物作为陆源的水下延伸部分,具有继承性控制作用^[14],这种控制作用通过两侧河流输入予以体现^[9]。

W区分布在渤海北部海域西侧陆架浅海区是华北块体的水下延伸部分,以太古代混合花岗岩、基底混合岩为主^[17],在强烈的变质作用影响下金属矿物含量高。大量金属矿物通过河流输送到渤海北部海域的西侧即W区(图1.4),导致该区域金属矿物含量高。聚类分析显示 W_1 亚区海洋沉积物多来源于大凌河、小凌河、六股河。其中,大凌河主要出露太古代变粒岩夹磁铁石英岩、片麻状花岗岩,这些岩石经过变质作用产生磁铁石副矿是金属矿物含量高的原因。六股河和小凌河流域均以太古代片麻状花岗岩、早燕山期二长花岗岩为主,在太古代强变质作用影响下它们的金属矿物(磁铁矿、赤铁矿)、锆石、磷灰石、楣石等副矿含量明显较高^[18]。在三条河流的共同影响下 W_1 区金属矿物、锆石、磷灰石、楣石的和比E区高出六倍。 W_2 沉积物来自六股河、滦河,滦河以近岸沉积为主,沉积物集中在滦河口-曹妃甸区域,花岗岩经过太古代变质作用产生了角闪石和大量金属矿物。W区的小凌河、大凌河流域同时以白垩系、侏罗系安山岩为主,安山岩中赋存大量辉石^[18],并且辉石类矿物极易被风化,仅在小凌河河口处含量略高。辉石类含量高造成 W_1 、 W_2 亚区以六股河口为界南北分异, W_1 区辉石类含量高出 W_2 区31%。

E区分布在渤海北部海域东侧为胶辽朝块体的水下延伸部分,以中上元古界绢云片岩、片岩和古生界灰岩、石英砂岩为主^[17]。丰富的角闪岩的剥蚀和风化使E区闪石类含量明显偏高,并通过河流输入到渤海北部海域的东侧即E区(图1)。由北向南双台子河、辽河、大清河、复州河等河流沉积物中闪石类矿物含量有逐渐增加的趋势(图4),这一趋势主要是受距闪石类富集区距离的影响。 E_1 区沉积物类型来源于双台子河和大辽河两条河流的陆源输入,双台子河和大辽河是辽河的两条分支,因此沉积物类型具有类似特征。双台子河流域分布有太古和远古期片麻状花岗岩、燕山期二长花岗岩、太古界斜长角闪岩等^[18],斜长角闪岩风化造成角闪石含量高。双台子河、大辽河流域内金属矿物含量低,主要由于上游蚀源区金属矿物密度较大,难以长途搬运,故河流沉积物中磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿含量都很低^[18]。大辽河与双台子河类似,都出露太古代片麻状花岗岩、太古斜长角闪石等,沉积物中普通角闪石含量高主要为斜长角闪岩的风化剥离,造成闪石含量上升^[18]。 E_1 区帘石类含量高,其中绿帘石易风化是帘石类矿物的主要种类,主要产自花岗岩中,含量仅次于普通角闪石^[19]。 E_1 区流经河北省的大辽河与双台子河流域出露着多种类型的花岗岩,花岗岩风化剥蚀使帘石类含量偏高。聚类分析表明影响 E_2 区沉积物特征的主要是复州河。复州河流域发育上元古界青白系和震旦系长石砂岩、石英砂岩,太古界鞍山群低角闪岩相变质岩、印支期石英闪长岩^[18]。 E_2 区沉积物中高含量的闪石类来源于复州河上游的角闪质变质岩、石英闪长岩这两种基岩类型的风化。复州河及河口云母类含量高,且大部分是黑云母,黑云母主要产于变质岩以及一些花岗岩中, E_2 区黑云母可能来源于长石砂岩、石英砂岩、低角闪岩相变质岩中。复州河流域帘石类含量低是因为基岩类型中缺乏花岗岩^[19],故绿帘石产量低、外源输入量小,E样区分异的主要特征在于帘石类含量差异,其中 E_1 区高于 E_2 区70.24%。

3.2 水动力对渤海北部海域表层沉积物分布特征的影响

第二因子解释信息的22.74%,影响物主要为云母类,云母类矿物受水体扰动影响较大,能够很好的反应水动力情况^[20],因此第二因子反映了水动力强弱对碎屑矿物空间分布的影响。渤海北部海域洋流以顺时针沿岸流为主,以黄海暖流余脉为辅。

W区以大、小凌河、六股河输入的粉砂和泥为主,受西南-东北方向沿岸流和潮流顶托作用的影响,沿岸物质有向中部搬运的趋势^[6]。由于辽河平原长期处于下陷状态,致 W_1 区蚀源区低于海平面,入海泥

沙动力减弱后堆积形成大型冲积扇,以淤泥有机质为主在河口堆积。 T_1 样点的少量非外源自生黄铁矿的生成与前人研究相吻合,证明了 W_1 水动力较弱,水体环境稳定,且有机质含量高^[9,21]。 W_2 区海岸带主要岩石是花岗岩,长期风化剥蚀后形成剥蚀残丘,在汛期来临的时候大量泥沙注入,演化为滨海堆积平原^[15],以六股河河口输入的砂质组分和滦河口输入的粉砂、粘土组分为主^[15]。其中六股河口受沿岸洋流控制, R_1 采样点金属矿物含量高与河道内沉积物样品特性不相符,且重矿物含量明显高于其他区域(图 3),可能是由于六股河流量大,风化作用强,较耐风化的金属矿物沉积并积累造成的。滦河河口潮流流场较弱,以沿岸流携带悬浮物质下沉为主要方式,具有近源性。

E 区复州河河口水动力较强,渤海北部海域 E_1 区与 E_2 区的水动力存在差异。 E_1 区岩石类型为震旦纪花岗岩和石英砂岩,它们易风化堆积使海岸线趋于平直,水动力以较弱的沿岸冲刷为主,洪积物发育良好,不稳定的闪石类含量高表明其具有近源性的特点^[7,15]。图 2 中东侧碎屑矿物含量略高于西侧区,可能与辽河、双台子河年径流量、水动力大有关。物源分析表明帘石类仅在 E_1 矿物组合区含量较高,但 E_2 区复州河河口含量也有分布,可能是由自北向南的沿岸流常年搬运有关(图 1)。 E_2 区岸线以长石砂岩、石英岩为主,抗蚀性强,利于海蚀地貌的保存^[7,14],受往复的周期性潮流、海暖流余脉控制,无自生黄铁矿产出,水动力较强。 E_2 区处于复州河河口的辽东浅滩潮流冲刷槽,由于槽部方向不一致,潮流冲刷方向有向北、西北偏移的倾向^[13,16]。

4 结论

(1) 渤海北部海域碎屑沉积物包括轻矿物 9 种,平均含量为 96.77%,以石英和长石为主;重矿物 33 种,平均含量为 3.23%,以闪石类、帘石类和金属矿物类为主。

(2) 由于两大构造块体的基岩差异,渤海北部海域闪石类、金属矿物类含量差异显著,并且在东-西方向分成 W 区与 E 区两个矿物组合区,河流流域蚀源区差异和搬运风化分异规律可将其分为 4 个矿物组合亚区。小凌河富集的辉石类将 W 区分离成 W_1 、 W_2 小区,双台子河富集的帘石类将 E 区分离成 E_1 、 E_2 小区。潮流、洋流、海底地形有辅助影响力。

(3) 物源、水动力、矿物自身风化特性等对渤海北部海域碎屑矿物组成解释贡献率分别达到 41.91%、22.74%、14.72%。

参考文献

- [1] 宋桂友. 沉积矿物学在古环境中的应用进展[J]. 华东理工大学学报, 2009, 32(4): 313-323.
- [2] 王昆山, 王国庆, 蔡善武, 等. 长江水下三角洲沉积物的重矿物分布及组合[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 7-12.
- [3] 李学杰, 汪品先, 廖志良, 等. 南海西部表层沉积物碎屑矿物分布特征及其物源[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 123-130.
- [4] Dickinson W R. Detrital modes of New Zealand graywackes[J]. Sedimentary Geology, 1971, 5(1): 37-56.
- [5] Kong Xiangpeng. A numerical study on the impact of tidal waves on the storm surge in the north of Liaodong Bay[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 33(1): 148-158.
- [6] Ji H C. Sequence stratigraphy and depositional systems in the Paleogene, Liaodong Bay[J]. Petroleum Science, 2008, 52(2): 1-10.
- [7] 秦蕴珊, 赵一洋, 赵松龄, 等. 渤海地质[D]. 北京: 科学出版社, 1985: 1-80.
- [8] 陈丽蓉. 渤海、黄海、东海沉积物中矿物组合的研究[J]. 海洋科学, 1989, 12(2): 1-8.
- [9] 王利波, 李军, 赵京涛, 等. 辽东湾周边河流沉积物碎屑矿物组成及其物源意义[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 663-671.
- [10] 程岩, 刘月, 李富祥, 等. 鸭绿江口及邻近浅海碎屑矿物特征与物源辨识[J]. 地理研究, 2010, 29(11): 1950-1960.
- [11] 张玉凤, 吴金浩, 李楠, 等. 渤海北部表层沉积物中多环芳烃分布与来源分析[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(1): 88-94, 122.
- [12] 隋战鹰, 傅杰. 渤海北部底栖海藻的初步研究[J]. 植物学报, 1995, 37(5): 394-400.
- [13] 李琰, 胡克, 王萍, 等. 大连复州湾底质沉积物粒度特征与沉积环境分析[J]. 海洋学研究, 2013, 31(3): 41-48.
- [14] 王利波, 李军, 赵京涛, 等. 辽东湾表层沉积物碎屑矿物组合分布及其对物源和沉积物扩散的指示意义[J]. 海洋学报, 2014, 36(2): 66-74.
- [15] 刘忠诚, 金秉福, 王金城, 等. 辽东湾滨岸带矿物组合分区及其意义[J]. 海洋通报, 2014, 33(3): 268-276.
- [16] 赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466-473.
- [17] 李西双. 渤海活动构造特征及其与地震活动的关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 1-116.
- [18] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-856.
- [19] 张华锋, 叶青培, 翟明国. 岩浆绿帘石特征及其地质意义研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 442-448.
- [20] 李震. 厦门港表层沉积物特征及其物源意义[D]. 厦门: 厦门大学, 2007: 1-56.
- [21] 彭汉昌. 从自生黄铁矿的分布规律和相关因素探讨北黄海西部海域的沉积环境[J]. 地质论评, 1979, 25(2): 53-57.

Detrital mineral composition features of the northern Bohai Sea

HOU Mengzi¹, YI Huapeng¹, SUN Zhigao², GAO Meng², WANG Xueqin¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China;

2. Yantai Institute of Coastal Zone Research (YIC), Chinese Academy of Sciences (CAS); YICCAS, Yantai 264003, China)

Abstract: A total of 23 surface sediment samples were collected from the northern Bohai Sea, their detrital mineral assemblages and distribution characteristics as indicators of provenance and dispersal pattern in surface sediments were analyzed. Results showed that the average percentage composition of the detrital mineral is 17.1%, including 9 species of light mineral (96.77% on average) and 33 species of heavy mineral (3.23% on average). By using cluster method of Q type, it is showed that the northern Bohai Sea could be divided into two regional mineral assemblage zones along the east - west direction, due to the bedrock differences between two tectonic blocks, and further divided into 4 mineral assemblage zones by laws of watershed erosion source area differences and weathering handling. Provenance factor influence accounts for 41.91% in total, while tide, ocean currents, and submarine topography factors account for 37.46%. Assemblages and distributions pattern of detrital mineral in the northern Bohai Sea are mainly controlled by provenances, and also affected by hydrodynamic and grain density.

Key words: Northern Bohai Sea; detrital minerals; composition characteristics