

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.013

引用格式: 汤倩, 闫玉茹, 周欣, 等. 连云港海州湾近海碎屑沉积物矿物组成及特征分析[J]. 华东地质, 2021, 42(2): 239-245.

# 连云港海州湾近海碎屑沉积物矿物组成及特征分析

汤倩, 闫玉茹, 周欣, 池野, 欧阳凯, 窦传伟, 平利姣

(江苏省有色金属华东地质勘查局地球化学勘查与海洋地质调查研究院, 江苏 南京 210007)

**摘要:** 稳定重矿物的特征指数可较好地反映沉积物的物源信息。在连云港海州湾地区入海河流及海域中采集碎屑沉积物, 分析海州湾近海碎屑沉积物的矿物组成及特征。海州湾地区近海沉积物中的轻矿物主要由石英和长石组成, 重矿物主要由锆石、钛铁矿、绿帘石、角闪石、榍石和石榴石组成。重矿物特征指数分析表明: 海州湾近海海砂沉积物是河口-浅海环境的产物, 砂矿主要来源于连云港地区花岗岩、片麻岩和榴辉岩, 属于河-海作用成因的滨海沉积型矿床。

**关键词:** 海州湾; 重矿物特征指数; 物质来源; 海砂成因; 滨海沉积型矿床

**中图分类号:** P722.5; P736.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2021)02-239-07

目前, 一些学者<sup>[1-6]</sup>对东海陆架沉积物的矿物学特征进行了研究, 对重矿物种类、组合、分布特征、物质来源和成因等方面作了详细探讨, 认为碎屑重矿物分析是研究沉积物物源较好的方法之一<sup>[7-12]</sup>。前人研究<sup>[13-14]</sup>表明, 不同物源母岩对应不同的重矿物类型, 重砂矿物是有效的沉积物物源指示标志。利用特征重矿物组合及重矿物相关指数可客观地分析源区性质, 从而推测母岩类型<sup>[15]</sup>。黄海海域沉积物研究主要集中在粒度和沉积物的分布规律方面<sup>[9-12]</sup>, 对砂矿资源的重矿物种类及来源研究较少。连云港海州湾近海是我国海砂资源的重点勘查区之一, 目前, 对海州湾地区近海海砂资源重矿物种类、组合及成因研究较少。

本文通过综合分析海州湾入海河流碎屑沉积物和近海海砂沉积物的重矿物组成及特征, 探讨海州湾近海海砂资源的形成环境、砂矿物质来源及其成因, 为黄海海域沉积物特征研究提供基础数据, 并为重矿物分析方法在沉积物物源研究方面的有效性提供参考。

## 1 地质概况

南黄海位于中朝准地台和扬子准地台延伸处, 海州湾位于南黄海西部。地质构造方面, 海州湾位于郯庐断裂带东侧, 苏鲁隆起与苏北—南黄海盆地过渡带(图1)。苏鲁隆起受燕山运动 NE 向和 NW 向断裂影响, 分别构成海州湾北部海岸和连云港海峡南部海岸轮廓<sup>[16]</sup>。苏鲁高压、超高压变质带从西南端江苏东海到东北端山东威海, 沿黄海呈带状延伸 320 km, 北部、西部和南部分别以五连—烟台断裂、郯城—庐江断裂和嘉山—响水断裂为界<sup>[17]</sup>。海州湾基底为太古宇—元古宇变质岩系, 构造线方向为 NNE 向。该区经历了多次构造运动和混合岩化作用后, 变质程度较深, 岩石中含较多的锆石、磷灰石等副矿物<sup>[9]</sup>。连云港海州湾连接海陆的过渡地区属于苏北近海平原地层小区, 主要受黄河、淮河水系携入的物质影响<sup>[9]</sup>。

黄海晚第四纪沉积物中的陆相层和近岸海陆

\* 收稿日期: 2020-01-18 修订日期: 2020-05-06 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 江苏省国土资源厅“江苏省连云港市海州湾近海海砂资源潜力调查(编号: 苏财建[2014]278号)”和江苏省海洋科技创新专项“江苏重大海洋工程环境影响后评估及指标体系研究(编号: Hy2019-4)”项目联合资助。

第一作者简介: 汤倩, 1977年生, 女, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查工作。Email: 121681406@qq.com。

通信作者简介: 闫玉茹, 1980年生, 女, 高级工程师, 主要从事海洋地质及海洋生态保护修复研究工作。Email: 36928254@qq.com。

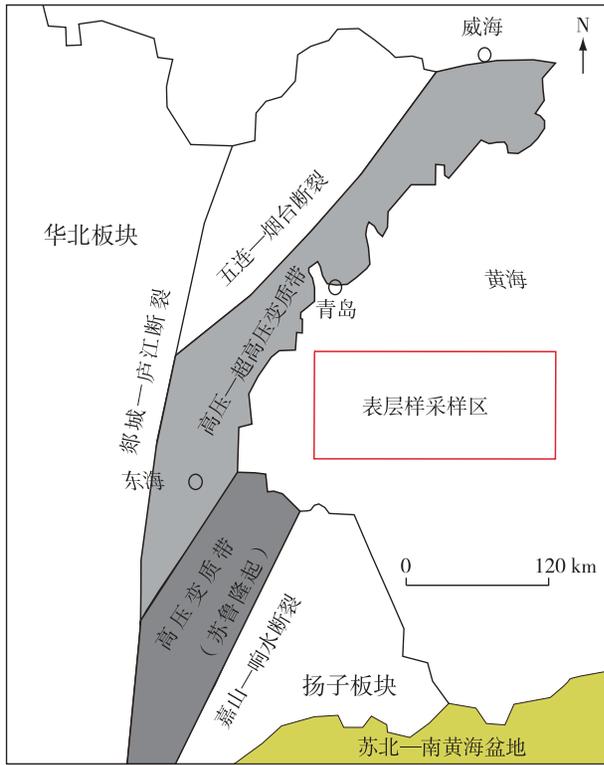


图1 研究区大地构造位置简图<sup>[17]</sup>  
 Fig. 1 Geotectonic location sketch map of the study area<sup>[17]</sup>

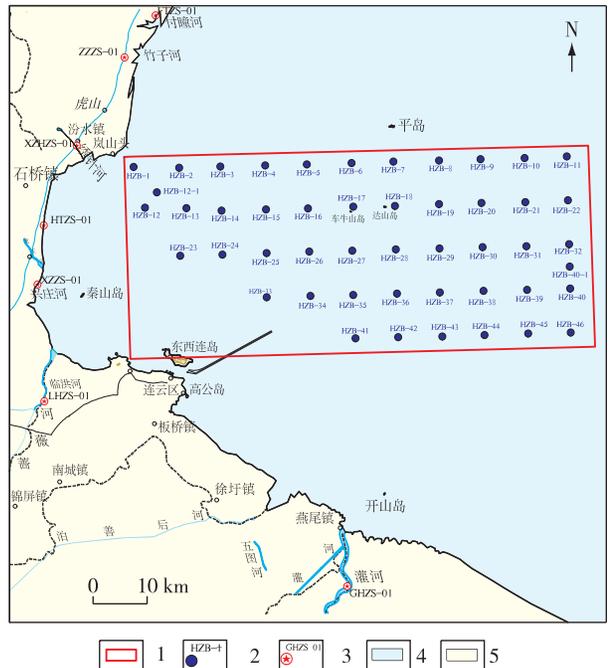
过渡层是划分海底沉积物的重要标志。黄海晚第四纪地层由老到新划分为晚更新世早期—里斯—玉木间冰期末期灵山岛层<sup>[18]</sup>, 黄海晚第四纪海平面波动变化频繁, 出现了3次较大规模的海侵和2次较大规模的海退。130 000~80 000年前, 黄海经历了里斯—玉木间冰期, 发生了灵山岛海侵期(第Ⅲ海侵)。海进至江苏、浙江和渤海西岸, 形成了广泛分布的海相地层。距今42 000年前, 当成山头海退期达到顶峰, 海水退至现今80~100 m等深线附近, 黄海基本裸露成陆; 玉木间冰期, 黄海经历了连云港海侵期(第Ⅱ海侵), 海进峰值基本接近现代海面高度, 海岸线可达灵山岛海侵期岸线以西; 15 000年前, 由于大规模海退, 黄海海退期岸线最远可达东海—150 m大陆架坡折线附近; 12 000~11 000年前, 黄海—50 m深处有海水波及; 6 000年前, 冰后期海进达到最大范围, 海面高出现代海面数米(第Ⅰ海侵); 3 000年前, 海面降至现今位置。研究区第四系基本未缺失, 厚度大, 海侵影响明

显。灌南组上部棕黄色亚黏土以含钙质结核为主, 下部海相以含贝壳碎片的细粉砂为主, 在海相层之下发育一套陆相含砾中粗砂。平原区连云港组下段以一套深灰色淤泥质亚黏土或亚砂土与灌南组下部区分<sup>[19]</sup>。连云港地区被第四系广泛覆盖, 基岩主要出露在研究区西侧陆域, 主要为榴辉岩、片麻岩、大理岩等变质岩系, 其次为沉积岩。

## 2 样品处理及测试方法

### 2.1 样品处理

采集海州湾入海河流碎屑沉积物6件、海滩碎屑沉积物1件和近海表层碎屑沉积物48件, 采样位置地理坐标为: 34°12'46.97"~35°20'37.12" N, 119°11'11.54"~120°18'30.05" E, 具体采样位置如图2所示。河流、海滩和近海碎屑沉积物在现场采集, 样品湿重>1.5 kg。样品为混合样, 烘干后重约0.8 kg。矿物分析在廊坊岩拓地质服务有限公司完成, 样品无缩分, 经过淘洗、分离和鉴定, 符合《DZ/T 0208—2002 砂矿(金属矿产)地质勘查规范(附录C)》<sup>[20]</sup>重砂矿物分离质量要求。



1. 表层采样区; 2. 表层采样点及编号; 3. 河流砂采样点及编号; 4. 海域; 5. 陆域

图2 研究区采样位置示意图  
 Fig. 2 Map showing sampling positions of the study area

2.2 测试方法

重砂矿物测试主要由粗淘、筛分、缩分、强磁选、电磁选、精淘和双目显微镜鉴定组成。为了确保重砂样品淘洗质量,对粗淘的淘洗流程作子试验,确定淘洗次数,淘洗至尾砂中肉眼看不到灰色矿物为止。子试验表明,尾砂淘洗 3 次后,灰色重砂回收率为 95%~97%;尾砂淘洗 4 次后,肉眼基本看不到灰色重砂,灰色重砂基本可回收。经上述过程,样品被分成轻矿物和重矿物,分别在显微镜下鉴定,每个样品镜下鉴定的矿物颗粒数>500 粒,计算样品矿物的百分含量。通过三溴甲烷(重液)分离后进行强磁选、电磁选,分选后的样品分为强磁部分、电磁部分和无磁部分,分别称重后,在双目镜下通过目估法和数粒法确定矿物的颗粒百分含量

(颗粒数≥300 粒)。

3 碎屑沉积物矿物组成

3.1 河流碎屑沉积物矿物组成

海州湾地区入海河流碎屑沉积物的轻矿物含量较高,重量百分含量基本达 99%以上,仅临洪河轻矿物含量相对较低,重量百分含量为 96.6%。入海河流碎屑沉积物中共含有 23 种重矿物(表 1)。角闪石、磁铁矿、绿帘石、钛铁矿、榍石、石榴石含量相对较高,可达 1%~20%;锆石、磷灰石、辉石、金红石、黄铁矿、电气石、白钛石、褐铁矿含量中等或较低,含量一般<5%;刚玉、方铅矿、黄玉、矽线石、铬尖晶石、透闪石仅在部分河流中偶见,含量相对较低,一般<2%。

表 1 海州湾入海河流碎屑沉积物重矿物含量  
Table 1 Heavy mineral contents of the clastic sediments of rivers emptying into Haizhou Bay

名称	重矿物含量/%												
	锆石	磷灰石	金红石	锐钛矿	黄铁矿	刚玉	方铅矿	榍石	蓝晶石	绿帘石	石榴石	辉石	电气石
灌河	4	9.5	1.5	2	0.8	0	—	1	0	7	14	4	1
临洪河	1	—	—	0	46	0	0	—	0	5	1	2	—
兴庄河	0.5	3	2	0.5	—	0	—	18	1	14	4	2	0
竹子河	4.5	2	—	0.4	1.3	—	0	12	1	6	3	3.5	0.3
傅疃河	2	1	0	0	—	0	—	16	2	4	1	2	0.5
绣针河	3	2	0.3	0	0.5	0	0	39	0	3	1	1	0.7
海滩	—	—	—	0	0	0	0	0.3	42	19	3	1	0

名称	重矿物含量/%												合计
	角闪石	白钛石	透闪石	铬尖晶石	黄玉	矽线石	铬铁矿	钛铁矿	褐铁矿	磁铁矿	其他		
灌河	2.5	2.5	1.5	0	0	0	0	35.5	2	5.5	5.8	100	
临洪河	1	5	0	0	—	—	6	3	0	0	30	100	
兴庄河	17	1	1	1	0	0	0	8	2	19	6	100	
竹子河	7	2	0.7	0	0	0	1.3	13.5	3	35.5	3.3	100	
傅疃河	7	0	0	0	0	0	1	18	4	35	6.5	100	
绣针河	5	0	0	0	0	0	2	11	2	23	6.5	100	
海滩	15	11	0	0	0	0	0	3	0	0	5.7	100	

注:“—”代表含量极低,所有重矿物含量均为颗粒数的相对百分比。

3.2 近海表层碎屑沉积物矿物组成

海州湾近海表层碎屑沉积物的矿物有 40 余种,其中轻矿物近 10 种,重矿物约 36 种。沉积物中轻矿物主要由石英和长石组成,重量百分含量平均值约为 99.85%。重矿物以锆石、钛铁矿、绿帘石、角闪石、辉石和石榴石为主,含量一般>2%(表 2)。金红石、磷灰石、白钛石、锐钛矿、电气石、褐铁矿、磁铁矿、榍石常见,含量一般<2%。蓝晶石、刚玉、重晶石、透闪

石、独居石、铬铁矿、黄铁矿、赤褐铁矿、磷钇矿、尖晶石、矽线石、蓝闪石偶见;锡石、金刚石未见。

4 碎屑沉积物矿物特征指数

4.1 河流碎屑沉积物

石英/长石(Q/F)值是反映碎屑沉积物成熟度的指标之一,该值越高代表碎屑沉积物成熟度越高。由研究区碎屑沉积物特征指数(表 3)可知,临

表2 海州湾近海表层碎屑沉积物主要重矿物百分含量  
Table 2 Major heavy mineral percentages of the offshore surface clastic sediments in Haizhou Bay

矿物	百分含量/%		
	最小值	最大值	平均值
锆石	3.0	13.0	6.47
磷灰石	0.5	8.0	2.50
金红石	0.4	2.0	1.00
锐钛矿	0.3	2.0	0.87
榍石	0	10.0	2.55
白钛石	0	4.0	2.15
电气石	0.4	1.0	0.74
石榴石	3.0	28.0	17.03
绿帘石	0	28.0	11.02
角闪石	0.8	19.0	4.77
钛铁矿	16.0	60.0	39.50
褐铁矿	0	4.0	1.43
磁铁矿	0	10.0	0.25
辉石	0	10.0	3.35

注:由于样品数量有限,本次重砂分析样品未缩分,最小鉴定粒度为0.025 mm;重矿物数值均为颗粒数量相对百分比

洪河、兴庄河、竹子河、傅疃河和绣针河碎屑沉积物 Q/F 值为 0.25~0.49(灌河碎屑沉积物中石英和长石呈微晶,无法计算),海滩沉积物 Q/F 平均值为 0.68。海州湾入海河流碎屑物 Q/F 值偏低,说明碎屑物成熟度较低,搬运距离短,水动力分选性和化学风化作用较弱。海滩碎屑沉积物搬运距离相对较长,经历了较长时间的化学风化过程,长期的暴露环境导致海滩碎屑沉积物风化程度更高。

表3 研究区碎屑沉积物特征指数

Table 3 Characteristic indexes of clastic sediments in the study area

样品类型	ATi/%	ZTr/%	GZi/%	Q/F	
近表层碎屑沉积物	最小值	0	0	23.1	0.3
	最大值	100.0	15.0	100.0	1.3
	平均值	83.2	7.7	71.5	0.6
入海河流碎屑沉积物	灌河	90.5	6.5	77.8	0
	临洪河	0	1.0	50.0	0.38
	兴庄河	100.0	2.5	88.9	0.46
	竹子河	87.0	4.8	40.0	0.33
	傅疃河	66.7	2.5	33.3	0.49
	绣针河	74.1	4.0	25.0	0.25
	海滩	0	0	100.0	0.68

ATi 指数(磷灰石 $\times 100\%$ /(磷灰石+电气石))指示磷灰石的风化程度。灌河、兴庄河、竹子河、傅疃河、绣针河 ATi 指数为 66.7%~100.0%,相对较高,反映了河流碎屑沉积物化学风化作用较弱或物源富含大量磷灰石,母岩可能与中—新元古代富含磷灰石的锦屏岩群变质岩同处于快速剥蚀、搬运环境下。临洪河和海滩样品中偶见磷灰石,说明碎屑沉积物母岩含磷灰石较少或已强风化。海滩样品 ATi 指数为 0,反映了该区碎屑沉积物搬运时间较长;临洪河 ATi 指数为 0,但轻矿物 Q/F 值较低(0.38),说明母岩含磷灰石较少。

ZTr 指数(锆石+电气石+金红石) $\times 100\%$ 反映重矿物成熟度。灌河、临洪河、兴庄河、竹子河、傅疃河、绣针河和海滩沉积物的 ZTr 指数为 0~6.5%,反映重矿物成熟度较低,说明来自不同岩石、不同距离的碎屑矿物大量堆积,稀释了稳定重矿物的相对含量,导致重矿物成熟度降低。锆石等稳定矿物大多呈棱角状—次棱角柱状,磨圆度较差,说明物源大多数为近距离来源。

GZi 指数(石榴石 $\times 100\%$ /(石榴石+锆石))反映石榴石的稳定性和高级变质岩的分布区,可分析是否存在角闪岩或麻粒岩物源<sup>[21]</sup>。海州湾入海河流碎屑沉积物的 GZi 指数为 25%~100%,表明海州湾入海河流的源区岩石受中、高级变质作用影响明显。

#### 4.2 近海表层碎屑沉积物

近海表层碎屑沉积物中的锆石多呈浅玫瑰色,少数呈深玫瑰色,以次棱角柱状为主,其次为滚圆粒状,少量棱角柱状,大部分晶体表面粗糙,凹凸不平,光泽暗淡,透明度较低,具有搬运磨损的痕迹。部分锆石颗粒晶体表面有溶蚀现象,晶面有溶蚀痕,呈毛玻璃状,晶内可见黑色及固相包体,弱金刚光泽;少数颗粒棱角清晰,晶体表面光滑,透明度较高,自形程度较好,金刚光泽,颗粒含量为 3%~13%,平均值为 6.47%。

近海表层碎屑沉积物中的次生矿物主要为钛铁矿,呈铁黑色,次滚圆粒状,不透明,金属光泽,粒度主要为 0.05~0.08 mm,颗粒含量为 16%~60%,平均值为 39.50%;金红石呈红色、黑红色,次棱角柱状,半透明,油脂光泽,粒度为 0.08~0.3 mm,颗粒含量为 0.4%~2%,平均值为 1%;绿帘石呈黄绿色,不规则块状,半透明,玻璃光泽,粒度主要为 0.08~0.12 mm,少数粒度为 0.15 mm,

含量为 0~28%,平均值为 11.02%;电气石呈茶绿色、棕褐色,次棱角柱状、块状,透明,玻璃光泽,粒度为 0.08~0.15 mm,颗粒含量为 0.4%~1%,平均值为 0.74%;石榴石呈浅粉色、橘红色,不规则粒状或圆粒状,透明,玻璃光泽,粒度主要为 0.08~0.12 mm,少数粒度为 0.15 mm,颗粒含量为 3%~28%,平均值为 17.03%。

(1)Q/F 值。海州湾近海表层碎屑沉积物的 Q/F 值为 0.3~1.3,平均值为 0.6,接近长江水系沉积物的 Q/F 值(0.56),大于黄河水系沉积物的 Q/F 值(0.36)<sup>[22]</sup>,风化程度类似长江,强于黄河水系。河流碎屑沉积物 Q/F 值为 0.25~0.49,平均值为 0.43,接近黄河水系沉积物风化强度<sup>[22]</sup>,表明在沿岸海流的水动力作用下,物质搬运、淘洗分选作用加强。

(2)ATi 指数。海州湾近海表层碎屑沉积物 ATi 指数为 0~100%(表 3),平均值为 83.2%,接近海州湾地区近海河流碎屑沉积物 ATi 指数。磷灰石属于较稳定矿物,具有宽泛的 T-P 稳定条件,反映了海州湾近海碎屑沉积物化学风化作用较弱,物源富含大量磷灰石,母岩可能与中元古代—新元古代富含磷灰石的锦屏岩群变质岩同处于快速剥蚀、搬运的环境下。

(3)ZTr 指数。海州湾近海表层碎屑沉积物 ZTr 指数为 0~15%,平均值为 7.7%,比河流碎屑沉积物的 ZTr 指数略高,反映了近海重矿物成熟度增高。锆石等稳定矿物大多数呈棱角状、次棱角柱状,磨圆度较差,反映物源较近,且钛铁矿、磷灰石、辉石的颗粒百分含量相对较高,平均值分别为 39.50%、2.50%和 3.35%,这与源区大量分布基性岩和超基性岩有关<sup>[21,23-24]</sup>。

(4)GZi 指数。海州湾近海表层碎屑沉积物的 GZi 指数为 23.1%~100%,平均值为 71.5%。表层碎屑沉积物中不稳定矿物绿帘石、辉石和角闪石颗粒百分含量较高,平均值分别为 11.02%、3.35%和 4.77%,显示海州湾近海沉积物近源快速堆积的特征<sup>[25]</sup>,母岩具有经受了中、高级变质作用改造的特点<sup>[23]</sup>。

## 5 讨论

水动力条件和埋藏成岩作用是影响物源的主要因素<sup>[7-8,26]</sup>,在相似水动力条件和成岩作用下,稳

定重矿物相关特征指数可更好地反映物源特征。海州湾近海碎屑沉积物的 Q/F 值比入海河流碎屑沉积物的 Q/F 值高,说明沉积物入海后矿物成熟度增高,海洋的水动力作用强于河流的水动力作用。海州湾近海碎屑沉积物与入海河流的 ATi 指数均较高,反映了沉积物化学风化作用较弱或物源富含磷灰石,母岩可能与中元古代—新元古代富含磷灰石的锦屏岩群变质岩有关,在快速剥蚀、搬运环境下,磷灰石大量保存。近海碎屑沉积物 ZTr 指数平均值为 7.7%,比入海河流碎屑沉积物的 ZTr 指数平均值(3.0%)高,说明沉积物入海后,在复杂的水动力条件下,重矿物成熟度有增高的趋势<sup>[10]</sup>。近海碎屑沉积物 GZi 指数平均值为 71.5%,远高于海州湾入海河流碎屑沉积物的 GZi 指数平均值(59.3%),指示流域内变质岩暴露地表,经物理风化作用后,石榴石碎屑经河流搬运和沉积入海后,在海水动力作用过程中发生富集,GZi 指数升高。

海州湾近海碎屑沉积物的重矿物特征指数 ATi、ZTr 和 GZi 值均较高,显微镜下鉴定重矿物以次棱柱状和次滚圆为主,表明海州湾近海碎屑沉积物的物源为近距离来源,主要受流域内基岩类型影响,海洋水动力作用也是重要的影响因素。

### 5.1 砂矿沉积环境

海州湾地区第四纪具有海侵—海退交替发生、海陆相地层交互沉积特点,沉积环境主要受海平面变化与古河流及三角洲控制。在晚更新世—木间冰期,气候变暖,海平面上升,南黄海发生了连云港海侵,即第 II 海侵,海州湾及其近海广泛发育三角洲沉积<sup>[16,27-29]</sup>。在海侵作用下,海州湾近海位于三角洲平原外侧向海方向,海平面之下沉积作用强烈。由于海洋水动力作用较强,三角洲河口沙坝砂受波浪和岸流的淘洗发生侧向迁移,呈席状、层状砂体广泛分布于海州湾地区,砂体向岸方向加厚,向海方向减薄。

### 5.2 砂矿成因

陆架区重矿物富集的沉积模式与海岸带的水动力环境、陆架宽窄、陆源输砂及砂矿物的种类密切相关<sup>[29-30]</sup>。黄海陆架以扬子准地台结晶岩系为基底,太古宇—元古宇侵入岩体的锆石、石榴石、钛铁矿、磁铁矿等副矿物含量较高。连云港地区广泛分布高压、超高压变质带,片麻岩和榴辉岩分布较广泛,存在多处锆石、石榴石砂矿床(点)<sup>[17]</sup>。

海州湾地区四季分明,物理风化作用和化学风化作用均较强。第四纪,海州湾地区经历了多次冰期、间冰期气候变化。冰期气候异常寒冷,以物理风化作用为主,将岩石破碎分裂;间冰期气候温暖湿润,降雨量增大,河流纵横发育,径流量大,入海泥砂通量大,陆相冲积和淋滤形成三角洲沉积<sup>[31]</sup>,属于河口-浅海环境下的沉积产物。在河流机械分异及波浪、潮汐往复淘洗的共同作用下,重矿物进一步富集成矿,形成河-海作用成因的滨海沉积型矿床。

## 6 结论

(1)海州湾近海碎屑沉积物重矿物以锆石、钛铁矿、绿帘石、角闪石、榍石、石榴石为主,母岩应为变质岩和基性岩浆岩。

(2)海州湾近海碎屑沉积物的重矿物特征指数均高于入海河流碎屑沉积物的重矿物特征指数,显示在复杂的水动力条件下,重矿物成熟度有增高的趋势。

(3)海州湾近海碎屑沉积物中的近源物质较多,属河口-浅海环境下的产物,砂矿的物质来源主要与连云港地区广泛分布花岗岩、片麻岩和榴辉岩等变质岩有关,属于河-海作用成因的滨海沉积型矿床。

## 参考文献

- [1] 陈丽蓉,徐文强,申顺喜.东海沉积物的矿物组合及其分布特征的研究[J].科学通报,1979(15):709-711.
- [2] 王先兰,马克俭,陈建林,等.东海沉积物碎屑矿物特征的研究[J].中国科学:地球科学,1985,15(5):474-482.
- [3] 金翔龙.东海海洋地质[M].北京:海洋出版社,1992:173-215.
- [4] 王中波,杨守业,张志珣,等.东海西北部陆架表层沉积物重矿物组合及其沉积环境指示[J].海洋学报:中文版,2012,34(6):114-125.
- [5] 张凯棣,李安春,董江,等.东海表层沉积物碎屑矿物组合分布特征及其物源环境指示[J].沉积学报,2016,34(5):902-909.
- [6] 周晓静.东海陆架细颗粒沉积物组成分布特征及其物源指示[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2009:1-146.
- [7] MORTON A C, HALLSWORTH C R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones[J]. Sedimentary Geology, 1999,124(1/4):3-29.
- [8] MORTON A C, HALLSWORTH C. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones[J]. Sedimentary Geology, 1994,90(3/4):241-256.
- [9] 郑光膺.黄海第四纪地质[M].北京:科学出版社,1991:112-120.
- [10] 周莉,赵其渊,李巍然.山东半岛南部表层沉积物粒度分布与泥砂动态[J].山东海洋大学学报,1983,13(3):45-58.
- [11] 李玉瑛,沈渭铨,章伟.鲁南沿海沉积物分布规律的研究[J].青岛海洋大学学报,1997,27(4):546-552.
- [12] 胡邦琦.中国东部陆架海泥质沉积区的物源识别及其环境记录[D].青岛:中国海洋大学,2010:1-162.
- [13] PETTIJOHN F J, POTTER P E, SIEVER R. Sand and Sandstone[M]. Berlin:Springer Verlag,1987.
- [14] MORTON A C. Heavy minerals in provenance studies[M]//ZUFFA G G. Provenance of Arenites. Dordrecht: Reidel Publishing Company,1985:249-277.
- [15] HUBERT J F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones[J]. Journal of Sedimentary Research,1962,32(3):440-450.
- [16] 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉,等.黄海地质[M].北京:海洋出版社,1989:3-28.
- [17] 沈昆,张泽明,孙晓明,等.超高压变质流体的组成与演化:中国大陆科学钻探工程主孔岩心的流体包裹体初步研究[J].岩石学报,2005,21(2):489-504.
- [18] 刘敏厚,吴世迎,王永吉,等.黄海晚第四纪沉积[M].北京:海洋出版社,1987:293-301.
- [19] 杜建国.连云港地区第四纪沉积地层特征[J].江苏地质,1999,23(4):229-235.
- [20] 中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0208—2002 砂矿(金属矿产)地质勘查规范(附录C)[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [21] 王国茹,陈洪德,朱志军,等.川东南—湘西地区志留系小河坝组砂岩中重矿物特征及地质意义[J].成都理工大学学报:自然科学版,2011,38(1):7-14.
- [22] 杨作升,赵晓辉,乔淑卿,等.长江和黄河入海沉积物不同粒级中长石/石英比值及化学风化程度评价[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2008,38(2):244-250.
- [23] 王策,梁新权,童传新,等.莺歌海盆地东北部邻区7条主要入海河流重砂矿物特征及其地质意义[J].沉积学报,2014,32(2):228-237.
- [24] 付玲,关平,赵为永,等.柴达木盆地古近系路乐河组重

- 矿物特征与物源分析[J].岩石学报,2013,29(8):2867-2875.
- [25] 陈心怡,黄奇瑜,邵磊.福建闽江和九龙江现代沉积物重矿物特征及其物源意义[J].古地理学报,2018,20(4):637-650.
- [26] 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.
- [27] 刘光鼎.中国海区及邻域地质地球物理系列图[M].北京:科学出版社,1996:5-34.
- [28] 许东禹,刘锡清,张训华,等.中国近海地质[M].北京:地质出版社,1997:6-13.
- [29] 蒋仁,曾剑威,刘凯,等.江苏洋口港地区埋藏古潮成砂脊年代学特征及古环境意义[J].华东地质,2019,40(1):11-18.
- [30] TELEKI P G, DOBSON M R, MOORE J R, et al. Marine Minerals: Advances in Research and Resource Assessment[M]. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1987:39-56.
- [31] 顾佳,闫玉茹,平利姣.南通近海潮滩表层沉积物重金属含量特征与生态风险评价[J].华东地质,2017,38(2):155-160.

## Mineral compositions and characteristics of the offshore clastic sediments in Haizhou Bay, Lianyungang City

TANG Qian, YAN Yuru, ZHOU Xin, CHI Ye, OUYANG Kai, DOU Chuanwei, PING Lijiao

(*Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, Jiangsu Non-ferrous Metals  
East China Geological Exploration Bureau, Nanjing 210007, Jiangsu, China*)

**Abstract:** The characteristic indexes of stable heavy minerals can well reflect the provenance informations of sediments. The clastic sediments are collected from the rivers flowing into sea and sea areas in Haizhou Bay of Lianyungang City to analyze the mineral compositions and characteristics of offshore clastic sediments. The light minerals in the offshore sediments are mainly composed of quartz and feldspar, while the heavy minerals consist of zircon, ilmenite, epidote, hornblende, sphene and garnet. The analysis of heavy mineral characteristic indexes shows that the offshore seasand sediments are the products of estuarine-neritic environment, with the placers mainly from the granite, gneiss and eclogite of Lianyungang area, belonging to the littoral sedimentary type of river-sea interaction.

**Key words:** Haizhou Bay; characteristic index of heavy mineral; provenance; genesis; littoral sedimentary deposit