

宁 泽,韩宗珠,林学辉,等. 山东半岛南部近岸海域碎屑矿物对中小河流的物源响应[J]. 海洋地质前沿,2019,35(4): 57-68.

山东半岛南部近岸海域碎屑矿物对中小河流的物源响应

宁 泽^{1,2,3},韩宗珠¹,林学辉^{2,3},张 勇^{2,3*},毕世普^{2,3},孔祥淮^{2,3},刘金庆^{2,3}

(1 中国海洋大学地球科学学院,青岛 266100;2 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室,青岛 266071;

3 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,青岛 266071)

摘 要:对山东半岛南部近岸海域的 106 个表层沉积物样品及大沽河、五龙河和乳山河的 94 个表层沉积物样品进行碎屑矿物分析,系统地研究了碎屑矿物的分布特征及物源指示。研究区共鉴定出 40 种重矿物和 13 种轻矿物,重矿物以普通角闪石、绿帘石、黑云母和自生黄铁矿为主,轻矿物以石英、斜长石、钾长石和风化云母为主。根据碎屑矿物组合特征,将研究区分为 4 个矿物区:I 区为胶州湾口至崂山头的附近海域;II₁ 亚区为丁字湾和鳌山湾附近水深约 15 m 以浅的海域,II₂ 亚区为研究区东南部水深 >20 m 的远岸区;III 区处于 II 区和 IV 区的过渡带;IV 区为乳山口西南部近岸海域。I 区和 II 区的矿物组合均为普通角闪石-绿帘石-石英-长石,I 区和 II₁ 亚区受大沽河、五龙河和乳山河输入的物质及沿岸基岩、岛屿风化碎屑的影响较大,II₂ 亚区主要为晚更新世低海平面时形成的陆架残留沉积。III 区矿物组合为普通角闪石-石英-长石-片状矿物,IV 区矿物组合为云母类-自生黄铁矿-普通角闪石-石英,III 区、IV 区物源多样,黄河物质对两区贡献显著。

关键词:山东半岛南部近岸海域;碎屑矿物;物源;中小河流

中图分类号:P736

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.04007

0 引言

海域沉积物的物质来源是研究海洋地质的重要内容,也是沉积过程、动力系统和沉积环境等核心问题的主要控制因素^[1]。碎屑矿物是近海海底沉积物的主要组成部分,在表生环境中具有稳定性,在研究沉积物的矿物组成、分布规律、沉积环境和物质来源等方面有广泛应用^[2]。河流是连接

陆地与海洋的纽带,河流输沙入海是地表过程的重要表现^[3]。

山东半岛南部在陆源输沙和洋流系统的影响下发育成泥质沉积体,独特的海域地质体系使该区的沉积过程和沉积环境具有较强的区域性特征。山东半岛南部入海河流众多:大沽河地处胶东丘陵西部,是胶东半岛最大的河流,流域面积 4 631 km²,基岩经历长期剥蚀后广泛出露岩浆岩,下游河床沉积较厚的冲洪积砂砾层^[4];五龙河流域面积 2 768 km²,为胶东半岛的较大水系,五大支流汇于五龙峡口,南流入黄海^[5];乳山河流域面积约 954 km²,流域内多为低山丘陵,坡降较大,在乳山口入海^[6]。此外,山东半岛北部有世界输沙量第 2 的黄河注入渤海,黄河流域的物理侵蚀达到世界最高值,其入海泥沙约有 1%~15%

收稿日期:2018-12-02

基金项目:国家自然科学基金(41376079);中国地质调查项目(DD20190205,DD20160137,GZH200900501)

作者简介:宁 泽(1992—),女,在读硕士,主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail:oucningze@163.com

* 通讯作者:张 勇(1970—),男,博士,教授级高工,主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail:qimgzy@163.com

通过渤海海峡输运至黄海海域^[7]。

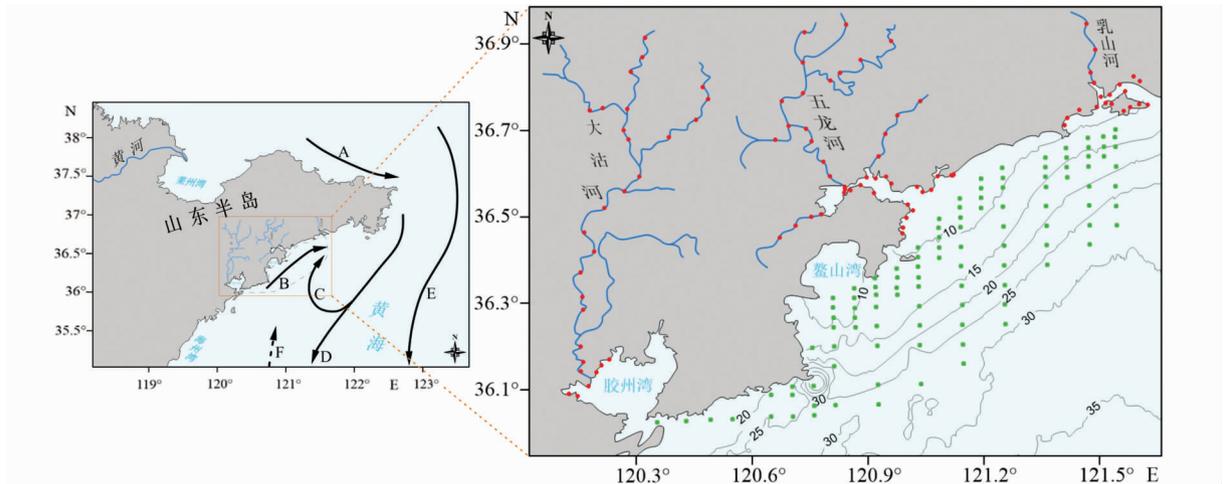
许多学者以黄河沉积物中的碎屑矿物为判别端元,认为山东半岛泥质沉积区是黄海沿岸流和山东半岛沿岸流将黄河沉积物、沿岸短源河流携带的悬浮物及滨岸带再悬浮物质输运至山东半岛沿岸而形成^[1,8-10],然而少有学者研究中小河流对山东半岛近岸海域沉积物组成的影响,因此,本研究以大沽河、五龙河和乳山河沉积物为端元,选取山东半岛泥质沉积区西侧的胶州湾口至乳山口南部一带为研究区,以充足的样品数量和可靠的碎屑矿物鉴定数据为基础,对海域碎屑矿物分布及特征指数进行分析,探讨其物源及影响因素,为进一步研究山东半岛南部海域沉积物的输运模式及

扩散趋势扩充了基础资料。

1 样品采集和分析方法

1.1 样品采集

2011年8月,青岛海洋地质研究所通过“业治铮号”调查船,用箱式取样器对山东半岛南部近岸海域的106个站位进行海底表层沉积物的取样;2014年4月,在研究区周边的大沽河、五龙河、乳山河采集了94个站位的表层沉积物样品,以上采集的样品全部符合相关规范要求。研究区位置及河流取样点见图1。



A: 鲁北沿岸流; B: 山东南部沿岸的 NE 向流; C: 青岛—石岛近海的反气旋中尺度涡旋; D: 黄海西部沿岸流; E: 黄海暖流; F: 夏季苏北沿岸的 N 向流; ● 为海域及河流取样站点

图 1 研究区地质背景及取样站点

Fig. 1 Geological background and sampling stations of study area

1.2 测试方法

中国地质调查局海洋地质实验检测中心对200个样品进行了粒度分析测试,测试方法如下:从原始样品中各取样10~20g,经双氧水和稀盐酸浸泡处理,除掉有机质和碳酸盐,洗盐后用六偏磷酸钠溶液经超声波分散后,用Mastersizer-2000型激光粒度分析仪进行粒度分析,测量范围为0.02~2000 μm,偏差<1%,重现性 Φ <1%。

鲁东大学海岸研究所沉积物分析实验室对200个样品进行了碎屑矿物鉴定:取适量样品充分浸泡处理后,通过0.25 mm和0.063 mm双层套筛进行水洗冲筛,称干重后用三溴甲烷重液

(CHBr_3)分离得轻、重矿物,烘干称重后在双目体视镜和偏光显微镜下进行鉴定,每个样品鉴定颗粒数不少于300个,分别计算轻、重矿物的颗粒百分含量。以上步骤均符合相关测试的规范要求。

2 结果分析

2.1 表层沉积物类型及粒度组分特征

沉积物类型是沉积动力的体现,碎屑矿物的分布特征与沉积物类型有密切联系。研究区表层沉积物中含砂12.3%、粉砂65.8%、黏土21.9%。砂粒组分含量相对较低(图2A),介于

0.4%~41.2%之间,中南部砂含量相对较高,超过 30%,东北部和中部为低值区。粉砂粒级为优势组分(42.7%~77.4%),大部分区域粉砂含量在 60%以上,研究区东北部和崂山头东北部附近海域粉砂含量较高(图 2B)。黏土含量介于 10.3%~29.7%,在东北部出现高值区,达到 30%,丁字湾和鳌山湾附近区域为低值区(图 2C)。从沉积物各粒级组分含量来看,沉积物主

要以粉砂和黏土为主,砂含量相对较低。

依据福克(Folk)分类法对表层沉积物进行命名,主要包括粉砂、砂质粉砂、含碎石结核砾质泥、含砾泥质砂和砂 5 种类型(图 2D)。分布显示研究区中部和东部主要为细粒沉积物,以粉砂为主,其次为砂质粉砂,丁字湾口附近有少量砂质沉积物,西南部主要为含砾沉积物,包括含碎石结核砂质泥、含砾泥质砂。

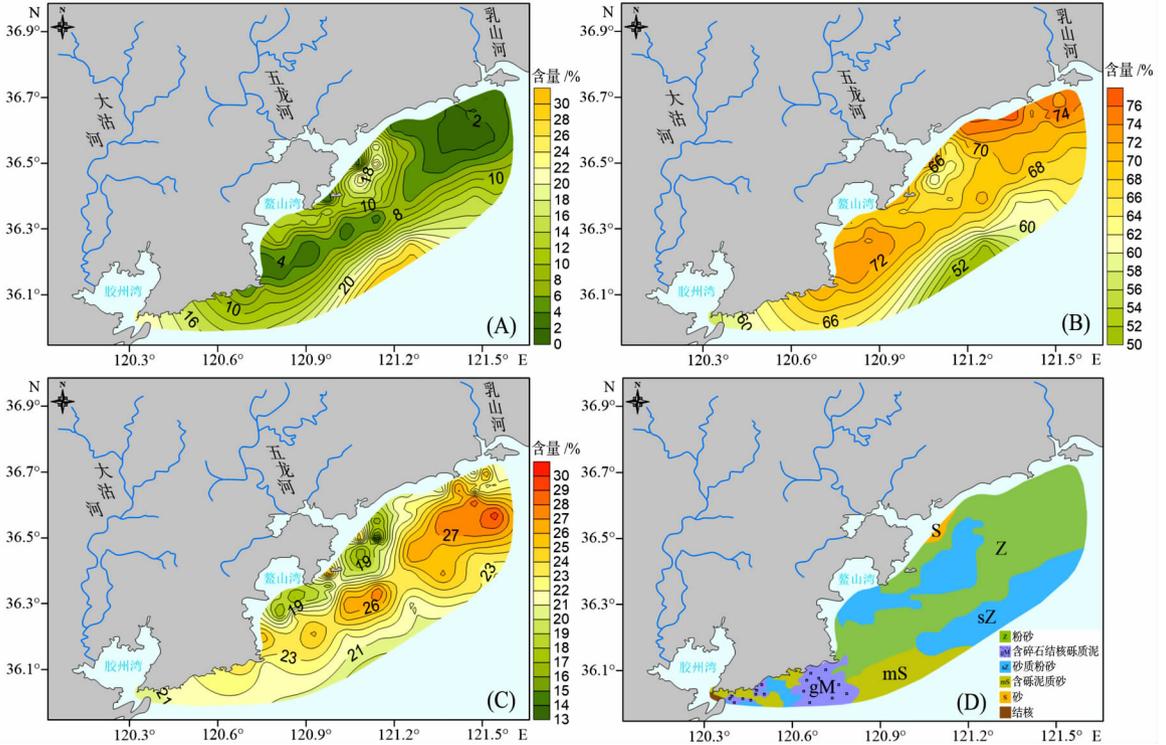


图 2 (A)砂粒级组分含量;(B)粉砂粒级组分含量;(C)黏土粒级组分含量;(D)表层沉积物类型

Fig. 2 Sand fraction content of sand (A), silt (B), clay (C) and types of surface sediments (D)

2.2 研究区海域碎屑矿物组成及含量分布

研究区重矿物含量极低,变化范围为 0.05%~4.90%,轻矿物含量极高(95.10%~99.95%),均值 98.96%(图 3)。重矿物含量高值区在胶州湾口附近海域,对应轻矿物含量低值区,底质类型多为含砾泥质砂、含碎石结核砾质泥;重矿物含量低值区在研究区中部和东部,对应轻矿物含量高值区,底质类型多为粉砂、砂质粉砂。

表层沉积物共鉴定出 40 种重矿物,主要矿物为闪石类、帘石类、金属类、片状矿物、辉石类,自生类矿物为自生黄铁矿(表 1)。研究区与大沽

河、五龙河、乳山河沉积物的重矿物组成较为一致(图 4A),优势种类有闪石类、帘石类、金属类,明显不同的是 3 条河流的金属类矿物明显高于片状矿物,而研究区片状矿物则高于金属类,且自生黄铁矿含量较高,均值达到 9%。

区内所鉴定出的轻矿物共 13 种,主要有石英、斜长石、钾长石、风化云母、白云母(表 1),其次还含少量生物碎屑和绿泥石,方解石、海绿石、岩屑及风化碎屑等含量很少,低于 1%。3 条河流的各轻矿物种类含量比较接近,但与研究区的轻矿物组成差异明显(图 4B):大沽河、五龙河和乳山河沉积物中长石类矿物含量最高,约 60%,其

次为石英(30%),片状矿物含量较少,不足5%;而研究区的轻矿物中石英含量约52%,为优势种

类,长石含量约25%,远低于3条河流,片状矿物含量则高于3条河流。

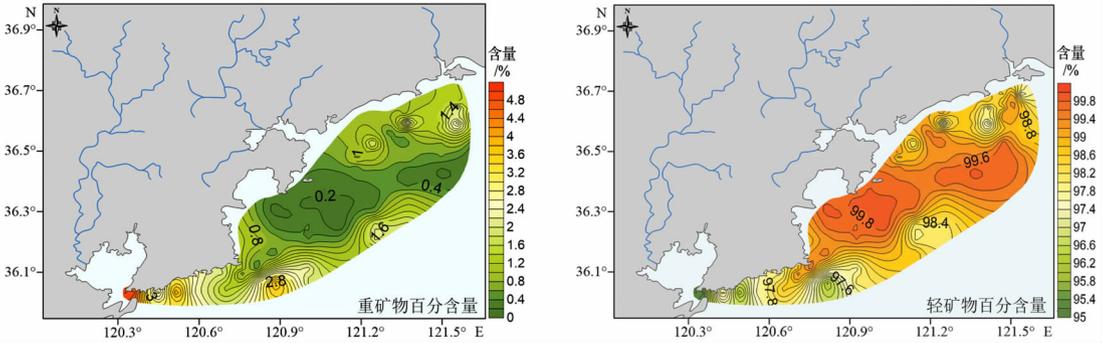


图3 表层沉积物重矿物和轻矿物含量分布

Fig. 3 Distribution of heavy minerals and light minerals in surface sediments

表1 山东半岛南部近岸海域表层沉积物主要碎屑矿物相对含量

Table 1 Relative content of main detrital minerals in surface sediments off southern Shandong Peninsula /%

质量分数	全区(n=106)				I区 (n=16)	II区 (n=39)	III区 (n=16)	IV区 (n=14)	V区 (n=21)	
	平均值	最大值	最小值	出现率						
普通角闪石	34.71	56.74	7.84	100	23.45	44.99	44.08	32.19	18.72	
闪石类	透闪石	1.25	8.46	0	97.17	0.86	1.02	1.79	1.29	1.53
	阳起石	3.93	11.79	0	99.05	2.88	5.22	4.11	4.14	2.04
	绿帘石	16.55	44.20	0.30	100	28.93	18.56	21.61	7.72	5.41
帘石类	黝帘石	1.36	4.67	0	87.74	1.53	1.73	1.80	0.75	0.62
	钛铁矿	2.06	20.13	0	82.08	9.15	0.76	1.16	0.72	0.66
金属类	磁铁矿	1.00	21.43	0	63.21	4.52	0.32	0.17	0.24	0.72
	褐铁矿	6.69	22.29	1.36	100	8.72	8.11	5.90	6.71	3.06
	赤铁矿	0.58	6.49	0	64.15	1.65	0.48	0.20	0.60	0.25
重矿物	普通辉石	0.68	2.33	0	81.13	1.01	0.77	0.77	0.50	0.29
	透辉石	0.60	2.54	0	78.30	0.49	0.86	0.69	0.45	0.25
	黑云母	7.87	43.33	0	97.17	0.55	2.85	4.99	15.24	20.05
	白云母	1.35	9.65	0	80.19	0.14	0.67	0.52	1.99	3.77
	绿泥石	0.51	4.63	0	54.72	0.22	0.97	0.18	0.67	0.05
片状矿物	水黑云母	3.21	20.37	0	88.68	0.24	2.53	1.54	7.17	5.35
	锆石	0.24	3.48	0	29.25	1.16	0.06	0.08	0.13	0.09
	ZTR	金红石	0.03	0.63	0	9.43	0.14	0.01	0.02	0.02
轻矿物	电气石	0.66	17.24	0	61.32	0.57	0.33	1.31	1.56	0.26
	楣石	2.03	10.07	0	91.51	5.26	1.24	2.50	0.99	0.49
	石榴子石	1.40	6.23	0	88.68	3.23	1.17	1.97	0.69	0.49
	自生黄铁矿	7.61	52.67	0	81.13	0.78	2.91	0.57	10.54	24.97
	石英	53.94	77.67	16.33	100	63.81	58.39	68.50	46.42	32.08
轻矿物	斜长石	16.65	30.67	1.67	100	14.81	22.36	14.63	17.45	8.46
	钾长石	9.29	32.67	1.33	100	13.42	10.04	8.19	8.30	6.25
	风化云母	9.83	52.00	0	97.17	1.21	3.70	1.71	10.93	33.24
	白云母	3.26	25.00	0	94.34	0.46	0.66	0.69	2.35	12.77
	绿泥石	2.14	9.67	0	97.17	2.35	2.49	2.65	1.84	1.17

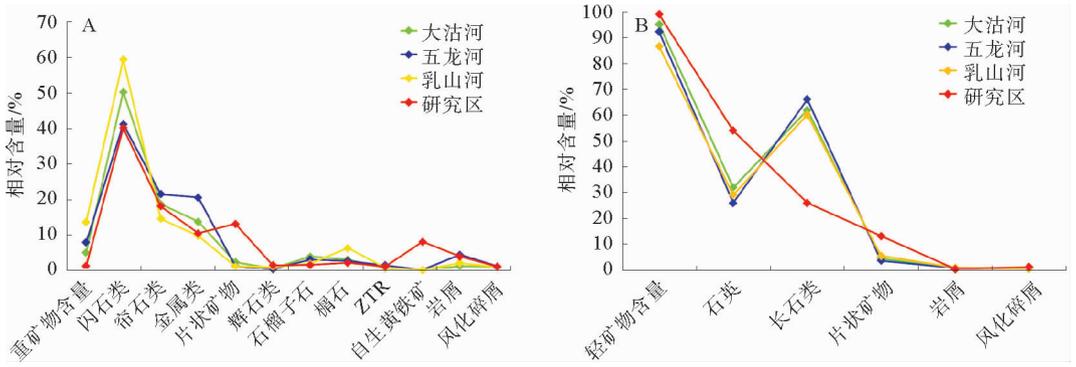


图 4 山东半岛南部海域及沿岸河流重矿物(A)和轻矿物(B)组成

Fig. 4 Composition of heavy minerals and light minerals in the study area and coastal rivers

研究区以闪石类矿物为主,含量约 40%,普通角闪石出现率为 100%。闪石类矿物属不稳定

矿物,鳌山湾和丁字湾口附近海域以及研究区东南部沉积物为闪石类矿物含量高值区(图 5A),达

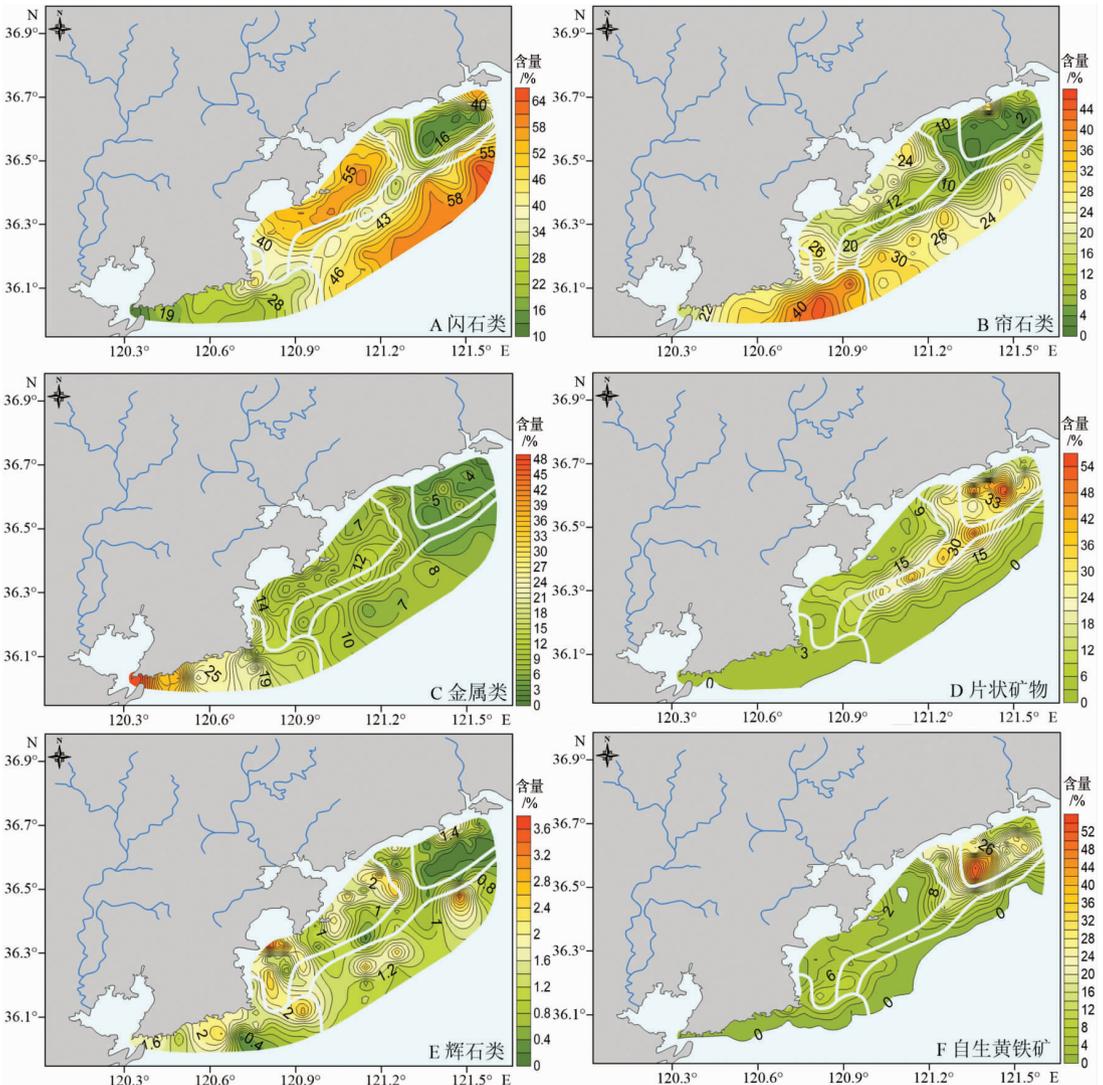


图 5 表层沉积物碎屑矿物平面分布

Fig. 5 Plane distribution of detrital mineral content in surface sediments

到60%，风化程度低；胶州湾口东部海域和乳山河口西南部海域则为强风化区，闪石类含量较低。

帘石类矿物含量约18%，为第二优势矿物类型，绿帘石、黝帘石出现率分别为100%、88%，未见褐帘石。帘石类矿物不耐风化，不稳定，多为闪石类蚀变而成。崂山头南部海域出现高值(图5B)；乳山河口西南部海域为帘石类矿物低值区，印证了该处沉积物经历的风化作用较强。

金属类矿物在重矿物中占比约10%，褐铁矿、钛铁矿出现率分别为100%、82%，赤铁矿和磁铁矿出现率也超过60%，但含量相对较低。金属类矿物含量在胶州湾口东部海域出现高值(图5C)，是较强的潮流长期作用下矿物分选的结果，沉积环境倾向于氧化环境^[11]。

片状矿物含量均值约13%，高值区出现在乳山河口西南部海域(图5D)，次高区呈串珠状出现在研究区中部，向西南逐渐降低，高值区和次高区的底质类型为粉砂，水动力较弱，沉积环境稳定^[12]。

辉石类矿物含量普遍较低，均值约1.3%左

右，主要包括普通辉石和透辉石，未见紫苏辉石和霓辉石。辉石类矿物极易被风化，在重矿物中比重相对较小。乳山河口西南部海域为辉石类含量低值区(图5E)，表明该处风化程度较强，与闪石类、帘石类矿物所反映的风化强度较一致^[13]。

自生黄铁矿含量介于7.6%~52.7%之间(图5F)，出现率达到81%，高值区主要在乳山河口西南部海域，含量超过50%，含量次高区在鳌山湾南部海域，其他区域含量极少。较高的自生黄铁矿含量指示乳山河口西南部海域属于富含有机质的泥质沉积区，为局部微还原的低能静水区，沉积环境较稳定^[14-15]。

2.3 周边河流河口区碎屑矿物组成及含量分布

山东半岛南部沿岸的3条河流河口沉积物组成相似(图6)。大沽河口9个站位的闪石类、帘石类、金属类矿物含量均值分别为43%、20%、12%，辉石类矿物含量很低，胶州湾为半封闭港湾，湾内波浪作用较弱，因此片状矿物含量超过5%，高于五龙河口和乳山河口；五龙河口21个站

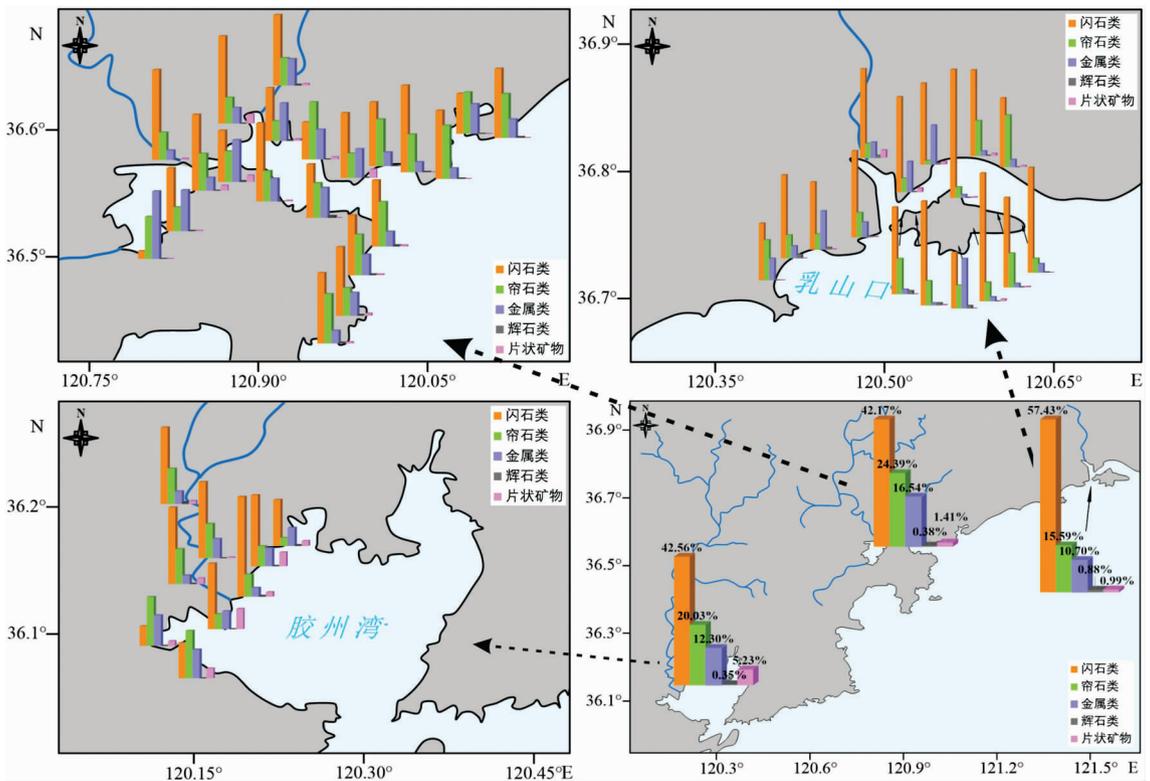


图6 研究区沿岸主要河流重矿物相对含量

Fig. 6 Relative content of heavy minerals in major rivers along the coast of the study area

位的闪石类平均含量约42%,帘石类含量为24%,金属类碎屑矿物均值约为17%,片状矿物含量约1.4%,辉石类含量不足0.5%;乳山河口16个站位的闪石类矿物含量较高,达到57%,帘石类矿物约16%,含量相对较低,金属类矿物也低于大沽河口和五龙河口,含量均值约11%,辉石类和片状矿物含量很低,不足1%。

2.3 碎屑矿物分区

以重矿物和轻矿物含量为依据用Q型聚类方法对研究区进行碎屑矿物组合分区^[12,16],共划分出4个矿物组合区(图7),其中II区包含II₁区和II₂区2个矿物组合亚区。

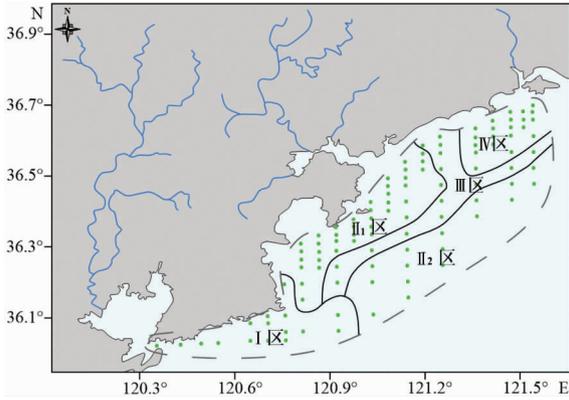


图7 碎屑矿物组合分区

Fig. 7 Map of detrital mineral zones

I区范围为胶州湾口至崂山头的附近海域,是重矿物含量高值区(2.2%)。该区的帘石类(30.5%)、金属类(24.1%)、ZTR(1.9%)、石榴子石(3.2%)和楣石(5.3%)含量为研究区最高值,片状矿物含量1.2%,为研究区最低值,闪石类、自生黄铁矿和岩屑的含量也很低;轻矿物中石英(63.8%)和长石类矿物(28.2%)含量较高,其中钾长石(13.4%)含量为全区最高。

II₁亚区主要为丁字湾和鳌山湾附近水深约15 m以浅的海域,该区重矿物含量(0.5%)为全区最低。闪石类矿物含量(51.2%)为全区最高,褐铁矿(8.1%)和帘石类矿物(20.3%)含量也较高,片状矿物(7.0%)和稳定矿物含量较低;轻矿物中石英(63.8%)和长石类矿物(28.2%)含量较高,其中钾长石(13.4%)含量为全区最高,石英含量(58.4%)也较高。

II₂亚区为研究区东南部水深>20 m的远岸区,重矿物含量(0.9%)很低。普通角闪石含量(44.1%)为全区最高,帘石类矿物(23.4%)也较高,片状矿物和不透明矿物含量很低,岩屑极少,几乎不含自生黄铁矿;轻矿物中石英含量(68.5%)为全区最高,长石含量较低。

III区处于II区和IV区的过渡带,重矿物含量(0.7%)较低。片状矿物(25.1%)、闪石类(37.6%)、极稳定矿物(1.8%)、自生黄铁矿(10.6%)、褐铁矿(6.7%)和岩屑(2.8%)含量较高,帘石类矿物、钛铁矿、石榴子石和楣石含量很低;轻矿物中石英的含量较低,长石类含量较高,生物碎屑含量(9.7%)为全区最高。

IV区主要为乳山口西南部近岸海域,重矿物含量(1.5%)较高,闪石类(22.3%)、帘石类(6.0%)、稳定矿物(2.3%)、金属类矿物含量均为全区最低,而片状矿物(29.9%)、自生黄铁矿(25.0%)和岩屑含量(8.38%)均为全区最高;轻矿物中石英(32.1%)和长石(14.7%)的含量为研究区最低,风化碎屑(2.2%)为全区最高。

3 讨论

3.1 矿物特征指数分布及意义

矿物对物源和水动力有明显的指示作用,不同的矿物组合能反映物质来源的不同和沉积动力的差异^[8]。金属矿物与普通角闪石和绿帘石的比值、极稳定矿物与普通角闪石的比值、UM/SM、ZTR、成分成熟度、物源区指数等特征因子能用于揭示沉积物输运过程中物质来源、动力系统、沉积环境等控制因素的变化^[17]。

通过对优势矿物和特征矿物等作比值进行比较,并对其影响因素进行探讨。研究区各矿物特征指数如图8所示,各站位的物源区指数差异明显,体现出区内沉积物物源的多样性,而其他特征指数在大部分区域波动范围不大,可见区内沉积物的沉积特点在整体上具有相近性。

普通角闪石、绿帘石稳定性较低但含量较高,且普通角闪石易风化为绿帘石,金属矿物稳定性较高,能较好的指示沉积物的原始组成,金属矿物/(普通角闪石+绿帘石)可以用来判别物质输

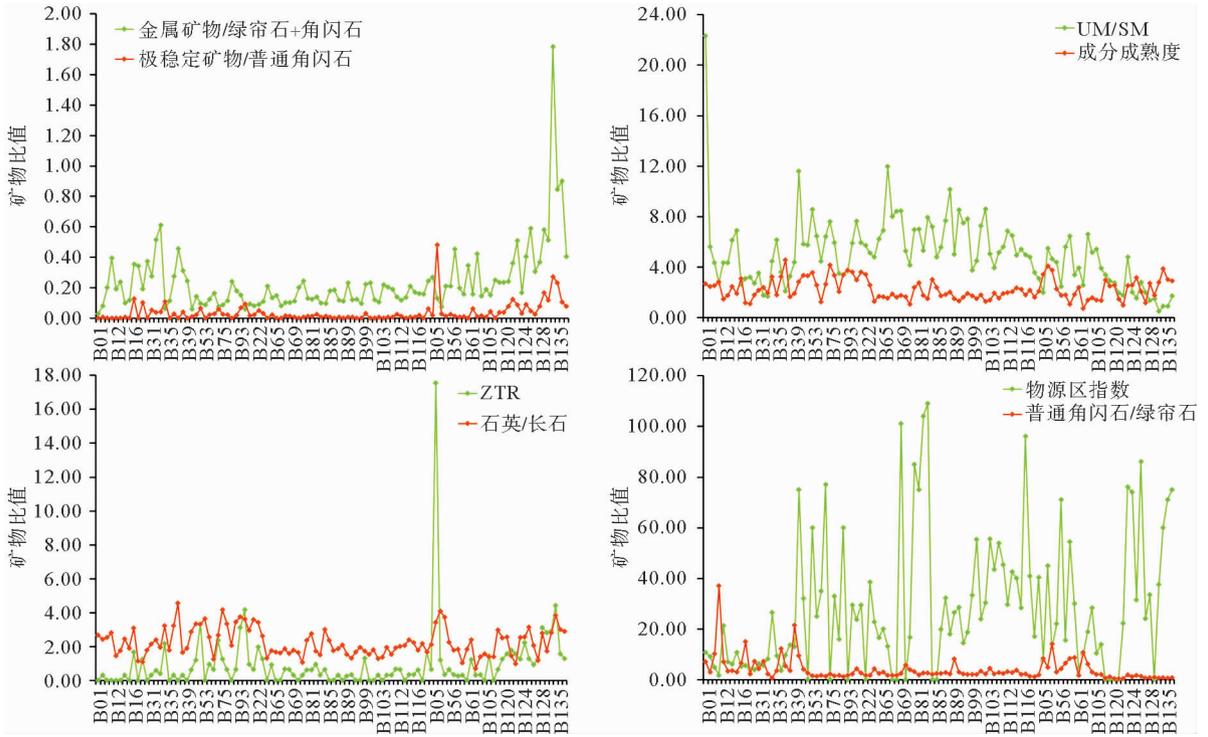


图8 碎屑矿物特征指数

Fig. 8 Characteristic index of detrital minerals

运方式的变化。研究区该判别值均较低(图9A), I区相对较高, IV区比值为次高区, 表明河流物质对I区影响较大或沿岸、岛屿剥蚀等物质输入丰富^[18], II₂亚区为低值区, 受河流影响明显减弱。

极稳定矿物与普通角闪石的比值能表明沉积环境的变化及沉积物风化程度。研究区的极稳定矿物/普通角闪石比值普遍较低, 最高值位于研究区东北部, I区该比值也较高(图9B), 表明这两处沉积物成熟度相对较高, 而II₁亚区水动力较强, 矿物成熟度不高。

稳定矿物(SM)包括锆石、金红石、电气石、石榴子石、磷灰石、十字石, 这类矿物化学性质稳定, 抗磨蚀能力强, 不易被风化; 不稳定矿物(UM)包括闪石类和辉石类矿物, 化学性质不稳定, 易发生蚀变^[10], UM/SM能较好的区分物源和沉积环境。I区为UM/SM低值区, 指示其物源区风化剥蚀程度相对强烈, 不稳定矿物磨损较多; 而IV区的B01站位出现高值(图9C), 可能该站位离河口较近, 沉积物搬运距离较短, 不稳定矿物受剥蚀程度低, 有较多存留。

ZTR(图9D)代表重矿物的成熟度, ZTR指

数越大, 重矿物成熟度越高、距离物源区越远^[19,20]。研究区ZTR指数介于0~17.6之间, IV区和II₁亚区为低值区, ZTR指数低于1, 离岸向海方向有逐渐增加的趋势, 据此推测细砂质沉积物有从近岸向海搬运的倾向, 表现出明显的沉积分异作用。

成分成熟度=石英%/(长石%+岩屑%), 石英抗风化能力强, 为稳定矿物; 长石类和岩屑抗风化能力较弱, 成分成熟度代表碎屑矿物被改造的程度^[19,21]。全区成分成熟度介于0.7~4.6之间, IV区和II₁亚区为低值区(图9E), 富含长石, 沉积物受风化作用低, 被改造程度较弱, 矿物成熟度较低, 而II₂亚区和I区的胶州湾口东侧为高值区, 沉积物成熟度相对较高。

物源区指数=长石%/岩屑%, 能够反映物源区气候、源区母岩性质和风化程度之间的关系^[19,20]。区内物源区指数在0~109之间(图9F), I区的胶州湾口东侧、崂山头附近和II₁亚区的丁字湾口附近海域出现大于50的高值, 近物源区沉积物受母岩性质影响较大, 物源区指数较高。丁字湾和胶州湾口区域分别受到五龙河和大沽河沉积物的影响, 下行泥沙在湾内沉积并向海

运输;崂山头附近海域中小河流物质输入较少,但海岸岬角附近发育冲刷槽,海底剥蚀堆积岸

坡^[22],表明崂山头是以波浪为主的海岸区,受海岸剥蚀物质影响明显。

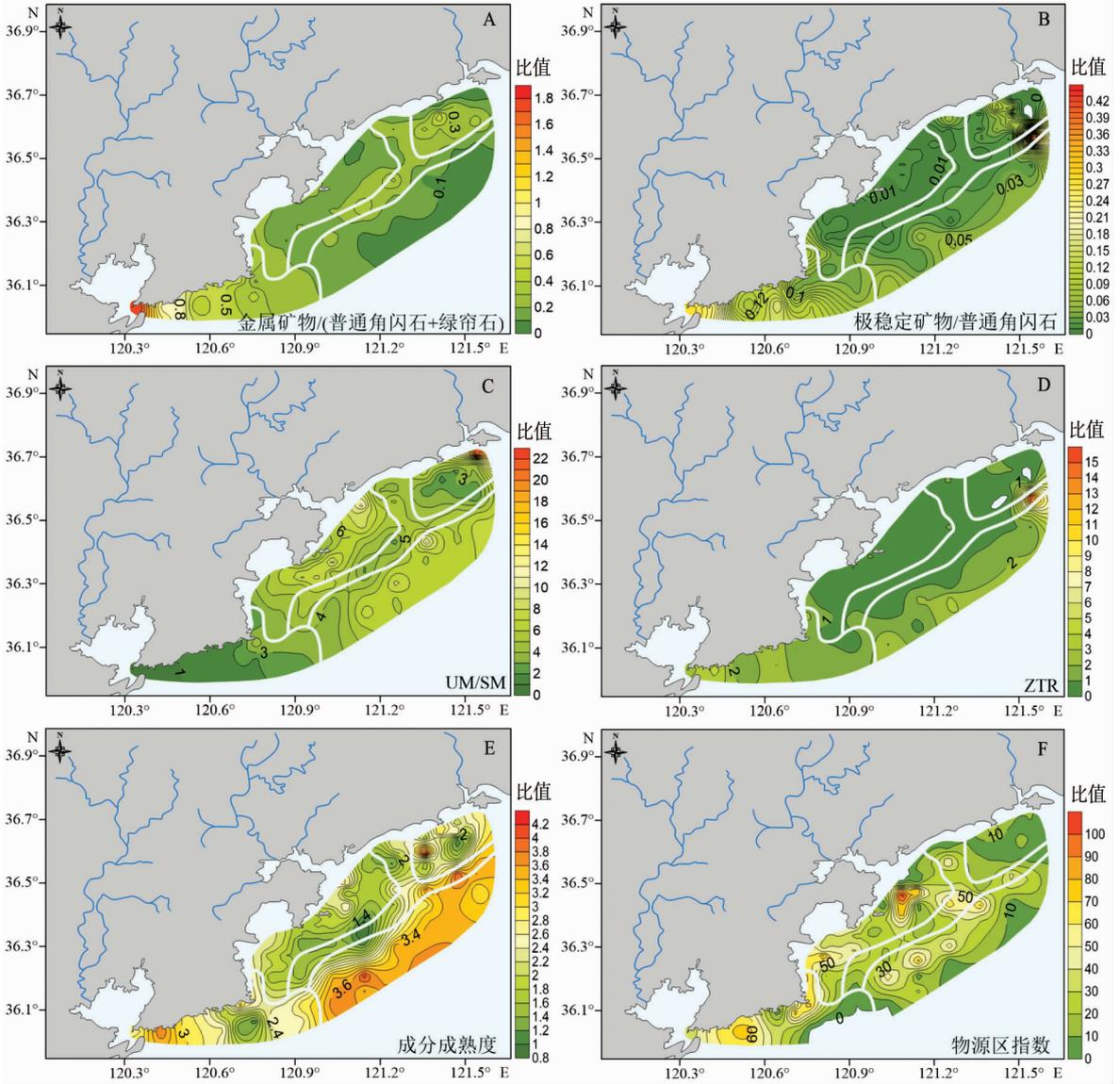


图 9 碎屑矿物特征指数平面分布

Fig. 9 Plane distribution of characteristic index of detrital minerals

3.2 物质来源及其影响因素探讨

根据研究区 5 个矿物分区各自的特点,对其底质沉积物类型、沉积环境和物源展开讨论:

I 区的底质类型多为含碎石结核砾质泥、含砾泥质砂,少部分为砂质粉砂,平均粒径介于 5.9Φ~6.6Φ 之间。附近大沽河口的特征矿物为钛铁矿和阳起石,主要碎屑矿物组合与 I 区相同:

普通角闪石-绿帘石-石英-长石。I 区重矿物含量高,帘石类、金属类矿物含量高于大沽河口区,而闪石类、片状矿物含量远低于大沽河口区,自生黄铁矿含量也很低,说明 I 区沉积环境动荡,水动力强烈,在波浪、潮流反复作用下稳定矿物含量相对较高。青岛地区广泛发育白垩系青山组火山岩,燕山期以来多次岩浆侵入形成的 I-A 型崂山花岗岩体分布于苏北-胶南构造带中部的青岛崂

山地区,该岩体含石英、长石和少量云母^[23]。沿岸地区花岗岩在强烈水动力长期的作用下受剥蚀,因此,Ⅰ区碎屑物质多来自青岛沿岸地区的花岗岩,其次为胶州湾南岸的变质岩^[8]。

Ⅱ₁亚区的沉积物类型主要是砂质粉砂和粉砂,平均粒径为 6.23Φ ,沉积物颗粒较细,重矿物不易富集,较强的水动力使片状矿物不易沉积。五龙河口区的特征矿物为钛铁矿和阳起石,以普通角闪石-绿帘石-石英-长石为主要碎屑矿物组合,Ⅱ₁亚区以褐铁矿和阳起石为特征矿物,主要碎屑矿物组合与五龙河相同。闪石类、片状矿物和长石类等不稳定矿物含量高于附近的五龙河口区,帘石类矿物与五龙河口区接近,结合特征矿物指数,推测Ⅱ₁区以近源沉积为主,一方面受到五龙河等河流运输而来的陆源物质影响,另一方面受到沿岸及岛屿剥蚀物质的供给^[24]。

Ⅱ₂亚区碎屑矿物特征与Ⅱ₁亚区有一定相似性,但Ⅱ₂亚区距岸较远,沉积物类型单一,砂质粉砂覆盖较广,部分为粉砂、含砾泥质砂,平均粒径为 $5.97\Phi\sim 7.03\Phi$,主要碎屑矿物组合为普通角闪石-绿帘石-石英-长石,特征矿物为黑云母和褐铁矿。由于全新世快速海侵作用,沉积物改造程度低,重矿物含量较低,且沿岸的NE向流阻碍着陆源物质向海的运输,因此推测Ⅱ₂亚区主要为晚更新世低海平面时形成的陆架残留沉积,后期可能受现代沉积影响^[8,25]。

Ⅲ区受近岸东北向流影响较大,沉积物类型为粉砂,呈条带状向西南延伸,平均粒径介于 $6.40\Phi\sim 7.41\Phi$ 之间,为研究区粒径最细的区域,主要碎屑矿物组合为普通角闪石-石英-长石-片状矿物,特征矿物为自生黄铁矿和生物碎屑。山东半岛南部东北向流阻碍沿岸物质向海运输,大量悬浮物质在Ⅲ区沉积,有利于片状矿物、生物碎屑富集;较高的闪石类、极稳定矿物、褐铁矿、岩屑和长石含量说明沉积来源稳定,高含量的自生黄铁矿指示该区水动力弱,为局部低能的还原环境^[12,26]。

Ⅳ区沉积物颗粒较细,沉积物类型主要以粉砂为主,平均粒径均值为 6.78Φ 。该区片状矿物富集、自生黄铁矿含量很高,指示水动力条件弱,为相对稳定低能的还原环境;风化碎屑、岩屑含量很高,表明该区风化作用强烈,沉积作用程度

低^[11,27]。乳山河口以透闪石和榍石为特征矿物,主要碎屑矿物组合为普通角闪石-绿帘石-石英-长石,Ⅳ区闪石类、帘石类、金属类含量均低于乳山河口沉积物,稳定矿物、石英和长石含量也很低,主要碎屑矿物组合为云母类-自生黄铁矿-普通角闪石-石英。片状矿物含量(29.9%)远高于乳山河(1.0%),而黄河沉积物中以高含量的片状矿物为特征,主要矿物组合为黑云母-角闪石-绿帘石,黑云母平均含量可达47.44%^[11,13,27],可见该区明显受现代黄河物质的影响。本区有多种物源,一是乳山河泥沙物质的输入,二是来自沿岸片麻岩、千枚岩等古老变质岩的剥蚀物质和岛屿的风化碎屑,此外,受黄河物质影响明显。

为了进一步区分研究区及周边河流碎屑矿物组成的差异并验证以上推论,选取研究区、周边河流系统中较为常见的3种碎屑矿物端元——普通角闪石、绿帘石、片状矿物绘制三角图(图10,其中黄河数据引自文献^[13,27])。

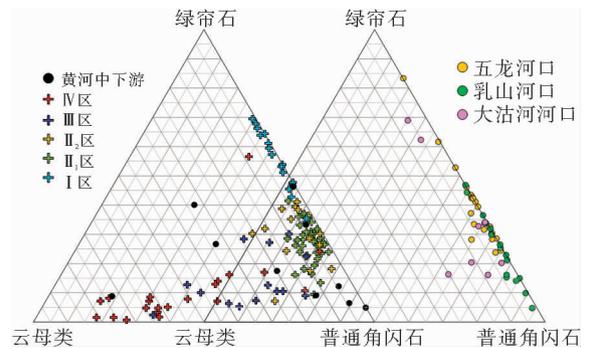


图10 普通角闪石-绿帘石-云母类矿物三角图

Fig. 10 Ternary diagram of hornblende, epidote and mica group minerals

整体而言,Ⅰ区碎屑矿物中绿帘石含量较高,但云母类含量极低,样品呈线形紧挨绿帘石-普通角闪石线分布;Ⅱ₁亚区和Ⅱ₂亚区碎屑矿物有相似性,云母类含量很低、普通角闪石含量较高,两区域的样品在三角图中呈团状分布;Ⅲ区和Ⅳ区各样品绿帘石含量明显较低,普通角闪石和云母含量高低不一,样品点大致平行于云母类-普通角闪石线分布。

Ⅰ区和Ⅱ区样品分布模式与五龙河、乳山河、大沽河和部分黄河样品都较为相似,Ⅲ区和Ⅳ区的碎屑矿物特征与3条河流差异较大,与黄河沉积物更为接近。黄河物质在鲁北沿岸流的作用下

从渤海输出,未沉降的细粒物质在黄海西部沿岸流的作用下继续向南输运,部分物质随青岛—石岛近海反气旋中尺度涡旋到达山东半岛南部,山东南部沿岸的NE向流与反气旋涡旋大致在Ⅲ区、Ⅳ区处形成锋面,锋面区沉积动力减弱,细粒物质在此沉积,相对稳定的还原环境利于片状矿物的富集和自生黄铁矿的生成^[12,25,28],因此推测黄河物质对Ⅳ区和Ⅲ区贡献较大。

4 结论

(1)研究区共鉴定出40种重矿物和13种轻矿物,主要重矿物为闪石类(39.89%)、帘石类(17.91%)、片状矿物(12.98%)和金属类矿物(10.33%),其次为辉石类、石榴子石和自生黄铁矿等;主要轻矿物包括石英(53.94%)、斜长石(16.65%)、钾长石(9.29%)、风化云母(9.83%)等,其次为风化碎屑和绿泥石等。

(2)根据Q型聚类分析将本区碎屑矿物分为4个矿物区:Ⅰ区为胶州湾口至崂山头的附近海域,Ⅱ₁亚区为丁字湾和鳌山湾附近水深约15m以浅的海域,Ⅱ₂亚区为研究区东南部水深>20m的远岸区,Ⅳ区为乳山口西南部近岸海域,Ⅲ区处于Ⅱ区和Ⅳ区的过渡带。矿物分布与特征指数表明:Ⅰ区、Ⅱ₁区物质来源的近源性明显,包括大沽河、五龙河和乳山河输入的物质及沿岸基岩、岛屿的风化碎屑;Ⅱ₂区主要为晚更新世低海平面时形成的陆架残留沉积,后期可能受现代沉积影响;Ⅲ区和Ⅳ区物源多样,受黄河影响更为显著。

参考文献:

[1] 李凤业,高抒,贾建军.黄、渤海泥质沉积区现代沉积速率[J].海洋与湖沼,2002,33(4):364-369.

[2] 吕全荣,严肃庄.长江河口重矿物组合的研究及其意义[J].华东师范大学学报(自然科学版),1981(1):76-86.

[3] 刘建国.全新世渤海泥质区的沉积物物质组成特征及其环境意义[D].北京:中国科学院研究生院(海洋研究所),2007.

[4] 金秉福,宫立新,宋键.大沽河泥沙来源的重矿物分析及其环境意义[J].海洋科学,2010,34(10):71-76.

[5] 王志远,张新刚,薛翠珍,等.莱阳市五龙河水污染问题及控制对策[J].山东水利,2006(1):10.

[6] 杨姗姗.乳山河雨洪资源利用效应分析与评价[D].济南:

济南大学,2014.

[7] 王安国,张训华,李广雪,等.山东半岛近岸海区全新世泥质沉积体研究现状[J].海洋地质前沿,2013,29(10):52-58.

[8] 李安春,陈丽蓉,李铁钢.山东半岛南部近海表层沉积物矿物组合特征及其物源与沉积动力环境指示意义[J].海洋科学,2000,24(3):57-57.

[9] 程鹏,高抒.北黄海西部海底沉积物的粒度特征和净搬运趋势[J].海洋与湖沼,2000,31(6):604-615.

[10] 刘炳辰.渤海中南部碎屑矿物特征与沉积环境[D].烟台:鲁东大学,2013.

[11] 林晓彤,李巍然,时振波.黄河物源碎屑沉积物的重矿物特征[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(3):17-21.

[12] 王昆山,石学法,蔡善武,等.黄河口及莱州湾表层沉积物中重矿物分布与来源[J].海洋地质与第四纪地质,2010,30(6):5-12.

[13] 孔庆祥,金秉福,刘春暖.莱州浅滩表层沉积物重矿物分布特征及物源识别[J].海洋科学,2014,38(12):86-93. DOI:10.11759/hyxx2013021001.

[14] 王昆山,石学法,李珍,等.东海DGKS9617岩心重矿物及自生黄铁矿记录[J].海洋地质与第四纪地质,2005,25(4):41-45.

[15] 初凤友,陈丽蓉,申顺喜,等.南黄海自生黄铁矿成因及其环境指示意义[J].海洋与湖沼,1995,26(3):227-233.

[16] 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.

[17] 乔淑卿,石学法,王国庆,等.渤海海底质沉积物粒度特征及搬运趋势探讨[J].海洋学报(中文版),2010,32(4):139-147.

[18] 刘忠诚.辽东湾海岸带沉积物碎屑矿物分析及其环境意义[D].烟台:鲁东大学,2014.

[19] 邓凯,杨守业,王中波,等.台湾山溪性小河流碎屑重矿物组成及其示踪意义[J].沉积学报,2016,34(3):531-542.

[20] 颜彬,谢敬谦,黄博,等.广东近岸海域矿物特征指数分布及指示意义[J].海洋地质前沿,2017,33(11):1-8.

[21] 董江,李安春,徐方建,等.东海南陆架EC2005孔重矿物组合特征及其物源指示意义[J].海洋与湖沼,2015,46(6):1292-1303.

[22] 张永明,毕建强,孙圣堂,等.青岛崂山头海域海底滑坡的声波探测[J].工程地球物理学报,2012,9(2):170-174.

[23] 赵广涛,王德滋,曹钦臣,等.I-A型复合花岗岩体的热演化及其意义——以崂山花岗岩体为例[J].中国科学:地球科学,1998,28(4):296-302.

[24] 刘金庆,张勇,印萍,等.青岛近岸海域表层沉积物重矿物分布及物源[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(1):69-78.

[25] 韦钦胜,于志刚,冉祥滨,等.黄海西部沿岸流系特征分析及其对物质运输的影响[J].地球科学进展,2011,26

- (2):145-156.
- [26] 王昆山, 石学法, 林振宏. 南黄海和东海北部陆架重矿物组合分区及来源[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(1):31-40.
- [27] 王中波, 杨守业, 李日辉, 等. 黄河水系沉积物碎屑矿物组成及沉积动力环境约束[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4):73-85.
- [28] 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.

PROVENANCE RESPONSE OF DETRITAL MINERALS FROM MEDIUM AND SMALL RIVERS IN OFFSHORE SOUTHERN SHANDONG PENINSULA

NING Ze^{1,2,3}, HAN Zongzhu¹, LIN Xuehui^{2,3}, ZHANG Yong^{2,3*},
BI Shipu^{2,3}, KONG Xianghuai^{2,3}, LIU Jinqing^{2,3}

(1 Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 3 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China)

Abstract: 106 surface sediment samples from the coastal waters off the southern Shandong Peninsula plus 94 samples from the Dagu, Wulong and Rushan Rivers are collected and analyzed for detrital minerals. The distribution pattern and provenances of the detrital minerals are systematically studied and a total of 40 heavy minerals and 13 light minerals recognized. Heavy minerals are dominated by hornblende, epidote, biotite and authigenic pyrite, whereas light minerals consist mainly of quartz, plagioclase, potassium feldspar and weathered mica. There are four mineral zones in the study area. The Zone I is the offshore area from Jiaozhou Bay mouth to Lushantou. The Zone II may be further divided into 2 sub-areas. The Zone II₁ is a shallow water area near the T-Shaped Bay and Aoshan Bay about 15 m deep. The II₂ is far in the southeast of the study area in a water depth of more than 20 m. The Zone III is in the transitional zone between Zone II and IV. The Zone IV is the coastal water in the southwestern part of Rushankou. The mineral assemblage of Zone I and Zone II is commonly consisting of hornblende, epidote, quartz and feldspar. The Zone I and the Sub-zone II₁ are greatly affected by the materials from the Dagu, Wulong and Rushan Rivers, as well as the coastal bedrock and island weathering debris. The Sub-zone II₂ is mainly covered by the shelf relict sediments deposited during the Late Pleistocene low sea level. The mineral assemblage in the Zone III is dominated by hornblende, quartz, feldspar and flaky minerals. The mineral assemblage in the Zone IV is dominated by flaky minerals, authigenic pyrite, hornblende and quartz. The material sources of the Zones III and IV are diverse, and the Yellow River contributes significantly.

Key words: offshore southern Shandong Peninsula; detrital minerals; material source; medium and small rivers