

山东—辽东半岛周边海域沉积物粒度特征对元素化学成分的制约

密蓓蓓,王中波,蓝先洪,李日辉,孟祥君

(国土资源部海洋油气资源与环境地质国土资源部重点实验室,青岛 266071;
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:为研究山东—辽东半岛周边海域沉积物粒度及沉积物类型对地球化学成分的控制作用,分析了该海域 135 个表层沉积物粒度和常微量元素组成。结果表明,研究区沉积物常微量元素组成与粒度关系密切: SiO_2 含量与平均粒径大致表现为负相关; Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 Cr 、 V 、 Zn 、 Co 、 Ni 、 Cu 与平均粒径大致表现为正相关;而 CaO 、 K_2O 、 MnO 、 Na_2O 、 P_2O_5 、 Ba 、 Sr 、 Zr 、 Pb 则与平均粒径没有明显的相关性。砂、粉砂质砂、砂质粉砂及粉砂 4 种沉积物类型中的元素分布也呈现明显的差异性,常量元素 $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值在粉砂质砂沉积物中最接近 1;颗粒最粗的砂的变化趋势与粉砂质砂较为一致;较细颗粒的砂质粉砂和粉砂, $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值变化较大,除了 SiO_2 和 K_2O 之外,多数元素表现为 >1 。微量元素在较细颗粒的粉砂和砂质粉砂分布较为相似,表现为较大幅度的波动;而较粗颗粒的粉砂质砂和粉砂则变化较小, $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值略 <1 。以研究区分布最普遍的砂质粉砂中 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 为指标来研究现代河流入海物质的输运范围,揭示了黄河入海物质可以大范围运移至渤海中部(121.5°E),后沿山东半岛近岸一直输运至南黄海中部,而朝鲜半岛来源物质主要集中在 123°E 以东区域。

关键词:山东—辽东半岛;沉积物;粒度;元素

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.05008

陆架是海陆相互作用的主要场所,同时也是河流入海物质的重要归宿地,成为近年来边缘海“源—汇”过程及陆海相互作用研究的热点区域^[1]。山东—辽东半岛海域地处渤海和北黄海交汇处,是黄河、鸭绿江、渭河等入海河流携带的陆源物质输运的主要通道^[2]。然而,受地形地貌、河流输沙、水动力条件等因素的影响,该区域的沉积

物组成较为复杂。元素地球化学是沉积物物质组成的重要指标之一,其与沉积物的物质来源、粒度特征及沉积时的水动力条件等因素有着密切的关系。该海域已有研究大多集中于沉积物元素分布、沉积分区及物源判别等方面^[3-5],对元素地球化学组成的控制因素缺乏较为系统的研究。因此,本文通过大范围、高密度沉积物取样,研究山东—辽东半岛周边海域沉积物粒度及沉积物类型对地球化学成分的控制作用,探讨其中所包含的地质意义,为进一步了解该海域的沉积作用和物质输运过程提供基础资料。

收稿日期:2016-02-28

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(GZH201400205, GZH200800501, GZH201400201)

作者简介:密蓓蓓(1984—),女,硕士,工程师,主要从事海洋地质学研究。E-mail: mpp302@163.com

1 材料与方 法

1.1 研究区域及采样

本文选用的样品为 2008 年 7 月和 2009 年 7 月取自山东—辽东半岛周边海域的 135 个表层沉积物(图 1),采样站位以 20 km 为间隔,基本上覆盖了整个渤海东部和北黄海西北部,样品均用箱式取样器采集,为了保证样品的等时性,每个站位均取 0~5 cm 的表层沉积物 200 g,放入预先清洗过的样品袋中,密封后带回实验室低温冷藏保存。

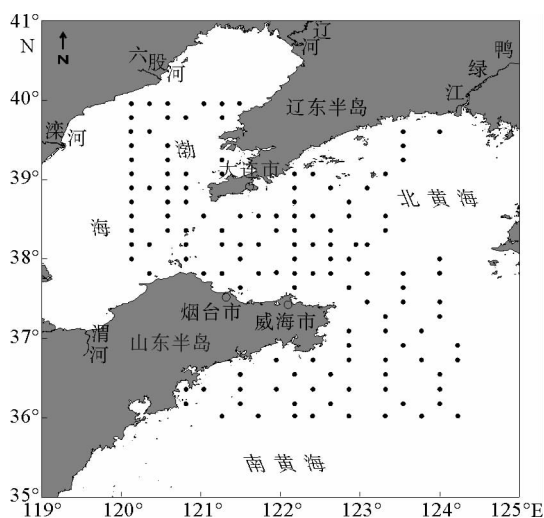


图 1 站位分布

Fig. 1 Location map of the sampling stations

1.2 测试分析

1.2.1 粒度分析

取适量样品置于烧杯中,加入 15 mL 3% 的双氧水浸泡 24 h 去除有机质,再加入 5 mL 3 mol/L 的稀盐酸浸泡 24 h 去除沉积物中的生物贝壳,然后将样品反复离心、洗盐直至溶液呈中性为止。处理后的样品经超声波振荡分散后上机测试。粒度分析所用仪器为英国 Malvern 公司生产的 Master sizer 2000 型激光粒度仪,测量范围为 0.02~2 000 μm ,重复测量的相对误差 $<3\%$ 。

1.2.2 常微量元素分析

选取 10 g 样品在 65 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干后于玛瑙研钵

中研磨至 200 目,采用标准压片法,制成 X 射线荧光光谱分析所需的样品片,进行 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 MnO 、 TFe_2O_3 、Ba、Sr、Zn、Zr、Cu、Pb 等常微量元素测试;使用等离子质谱法(ICP—MS)测定 Cr、V、Co、Ni 等微量元素含量。为了监控测试精度和准确度,分别进行了若干样品的重复分析与标样(GSD-9)分析,结果相对误差 $<5\%$ 。元素测试由国土资源部海洋地质实验测试中心完成。

2 结果和讨论

2.1 沉积物分布特征

平均粒径(M_z)既可以直接反映沉积物颗粒的整体特征,又能表现研究海域的水动力格局。山东—辽东半岛周边海域表层沉积物的平均粒径介于 $2.0\Phi\sim7.4\Phi$ 之间,平均值为 5.1Φ (图 2),细颗粒沉积物主要分布在辽东半岛南部和南黄海中部海域,而研究区东部靠近朝鲜半岛的区域沉积物颗粒较粗。

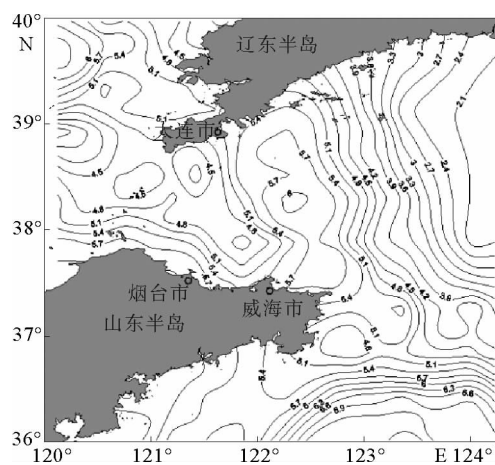


图 2 平均粒径(Φ)分布

Fig. 2 Distribution map of mean grain size(Φ)

根据 Folk 沉积物命名规则,研究区表层沉积物可以分成 4 类,分别是砂(S)、粉砂(Z)、粉砂质砂(ZS)和砂质粉砂(SZ)(表 1、图 3),其空间分布特征如下:

(1)砂:主要分布在研究区的东北部,分布面积较小,由于取样区域的限制,只有 6 个样品,主要是

表 1 沉积物粒度参数特征值
Table 1 Values of grain size parameters of sediments

Folk 命名及样品量		砂/%	粉砂/%	黏土/%	Mz/Φ	σ_1	SK_1	K_G
砂(6)	平均值	94.06	4.98	0.93	2.30	0.81	0.19	1.43
	最大值	96.62	7.89	1.80	2.72	1.16	0.30	1.95
	最小值	90.31	3.11	0.27	1.96	0.60	0.08	1.01
粉砂(13)	平均值	1.91	71.92	26.17	7.10	1.46	0.03	1.10
	最大值	9.97	76.07	31.25	7.41	1.87	0.07	1.15
	最小值	0.35	67.54	19.83	6.45	1.32	-0.03	1.01
砂质粉砂(84)	平均值	27.36	58.66	13.98	5.42	2.05	0.22	1.03
	最大值	49.31	72.54	23.59	6.42	2.59	0.44	1.64
	最小值	10.78	39.05	4.17	4.21	1.27	-0.19	0.73
粉砂质砂(32)	平均值	60.12	31.70	8.18	4.10	2.03	0.47	1.11
	最大值	85.73	41.76	15.23	5.13	2.62	0.71	2.03
	最小值	43.40	10.90	2.91	3.04	1.17	0.32	0.75

分布在朝鲜半岛西部潮流沙脊区域,呈南北向分布。在所有样品中所占比例最低,为 4.44%,其中以砂含量最高,平均含量有 94.09%,黏土和粉砂含量较低,其平均值分别是 0.93%和 4.98%,砂、粉砂和黏土粒级在不同样品中的含量变化较小;砂的平均粒径为 2.30 Φ ,变化范围为 1.96 Φ ~2.72 Φ ;标准偏差、偏度和峰度的平均值分别是 0.81、0.19 和 1.43,变化范围较小,表明大多数沉积物为分选中等、正偏态及尖锐峰态,样品点分布比较集中,表明水动力环境基本一致。

(2)粉砂:主要分布在图幅的南部区域。在所有样品中所占比例不高,为 9.63%,沉积物以粉砂粒级为主,平均值达到 71.92%,砂和黏土粒级的含量变化范围比较大,其平均含量分别是 1.91%和 26.17%;沉积物呈灰色,松散或半流动状;平均粒径分布范围在 4.22 Φ ~6.32 Φ 之间,平均值为 7.10 Φ ;粒度的标准偏差、偏度及峰度的平均值分别是 1.46、0.03 和 1.10。大多数沉积物分选很差,对称偏度,表明沉积物以极细粒级物质为主,水动力环境相对较弱,粗颗粒成分很少。

(3)砂质粉砂:在该区分布最广,主要分布在调查区的中部和山东半岛的东南部。在所有样品中占有量最高,达 62.22%。其中砂、粉砂粒级含

量较低,粉砂粒级含量占有绝对比例,最高达到 72.54%,而砂、黏土粒级含量最高分别是 49.53%和 23.59%,平均值只有 27.36%和 13.98%;平均粒径最高为 6.42 Φ ,主要在 5.42 Φ 左右变化;标准偏差、偏度和峰度平均值分别是 1.27、-0.19 和 0.73,表明沉积物分选很差、负偏态、中等尖锐峰态。

(4)粉砂质砂:主要分布在渤海东部和北黄海西北部,贯穿整个渤海海峡。在沉积物样品中占有量为 23.70%,以砂粒级为主,平均值为 60.12%,黏土粒级平均含量是 8.18%,最低;平均粒径变化范围较大,平均值为 4.10 Φ ;标准偏差、偏度和峰度的平均值分别是 2.03、0.47 和 1.11,变化范围较大,沉积物粒度特征表现为分选差、很正偏和峰态尖锐。

2.2 常微量元素分布特征

山东—辽东半岛周边海域表层沉积物常量元素氧化物的测试结果如表 2 所示。研究区内表层沉积物常量元素氧化物主要由 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂O 等组成,这 7 种组分约占沉积物总量的 91.97%(平均值)。其中 SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量最高,平均值分别为 56.36%和 16.02%;Fe₂O₃、MgO、CaO、Na₂O 和 K₂O 的

平均含量分别为 4.33%、1.94%、2.93%、3.33%、3.09%和 0.82%;TiO₂、P₂O₅ 和 MnO 含量最低,其平均值只有 0.55%、0.12%和 0.08%。研究区微量元素按照 Ba>Zr>Sr>V>Zn>Cr>Ni>Pb>Cu>Co 的顺序富集,Ba 含量最高,平均值为 552.48×10⁻⁶,其次为 Zr 和 Sr,平均含量分别为 232.76×10⁻⁶和 193.93×10⁻⁶,其他微量元素平均含量均<100×10⁻⁶。

2.3 平均粒径对常微量元素的控制作用

大量的研究证明,陆架浅海区沉积物常微量元素含量受粒度控制明显,整体表现出“粒度控制律”^[6]。为探讨研究区常微量元素与沉积物粒度组成的关系,绘制元素含量与平均粒径的关系图

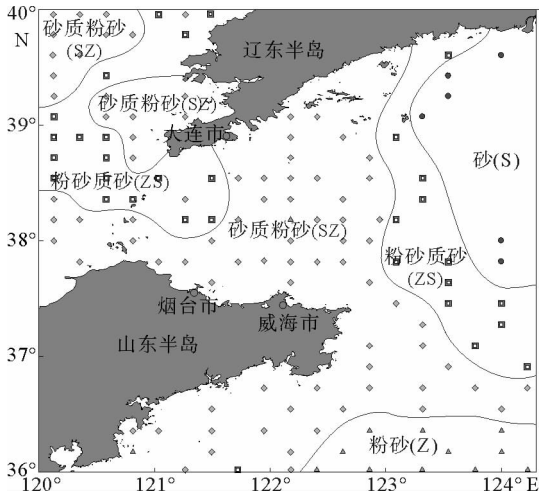


图 3 沉积物类型分布

Fig. 3 Distribution map of sediment types

表 2 常微量元素含量统计

Table 2 Statistic table of major elements and trace elements ×10⁻⁶

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
最小值	50.44	6.11	2.00	0.42	0.66	2.00	1.69	0.06	0.17	0.03
最大值	79.67	18.55	7.05	3.41	18.69	6.44	3.59	0.20	0.72	0.38
平均值	64.84	12.74	4.33	1.94	2.93	3.33	2.86	0.12	0.55	0.08
标准偏差	7.57	2.52	1.32	0.77	2.10	0.79	0.37	0.03	0.12	0.05

	Ba	Cr	Sr	V	Zn	Zr	Co	Ni	Cu	Pb
最小值	321.00	16.10	133.00	23.50	20.70	106.00	5.61	6.69	4.20	14.40
最大值	2251.00	98.20	553.00	140.00	133.00	477.00	20.20	49.20	40.60	35.90
平均值	552.48	58.83	193.93	74.00	65.75	232.76	11.57	26.68	20.15	23.04
标准偏差	174.63	17.82	42.97	25.59	25.32	64.55	3.62	10.20	8.79	4.54

(图 4、5),结果表明在 0.60Φ~6.32Φ 粒径范围内,所研究的 20 种常微量元素与平均粒径表现出一定的关系,规律性较强。大致可以分为 3 类:① SiO₂,与平均粒径大致表现为负相关;② Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、TiO₂、Cr、V、Zn、Co、Ni、Cu 与平均粒径大致表现为正相关;③ CaO、K₂O、MnO、Na₂O、P₂O₅、Ba、Sr、Zr、Pb 则与平均粒径没有明显的相关性。

2.4 沉积物类型对常微量元素的控制作用

为探讨山东—辽东半岛周边海域表层沉积物中常量元素含量与沉积物类型的关系,将 4 类型

沉积物的元素含量平均值[Mean(s)]与总的沉积物平均值[Mean(t)]做比值,然后按照元素变化进行投图,结果如图 6 所示,可以看出,粉砂质砂沉积物中[Mean(s)]/[Mean(t)]最接近 1,即粉砂质砂中常量元素含量与总的沉积物中元素含量最为接近;颗粒最粗的砂的变化趋势与粉砂质砂较为一致,相对于全样沉积物只发生小幅度偏移,其中 K₂O 值稍微偏高,CaO、MgO、MnO 值稍微偏低。这表明研究区粗颗粒沉积物中的常量元素基本可以代表沉积物全样的富集特征。相对而言,细颗粒沉积物类型,包括砂质粉砂和粉砂,[Mean(s)]/[Mean(t)]值变化较大,除了 SiO₂

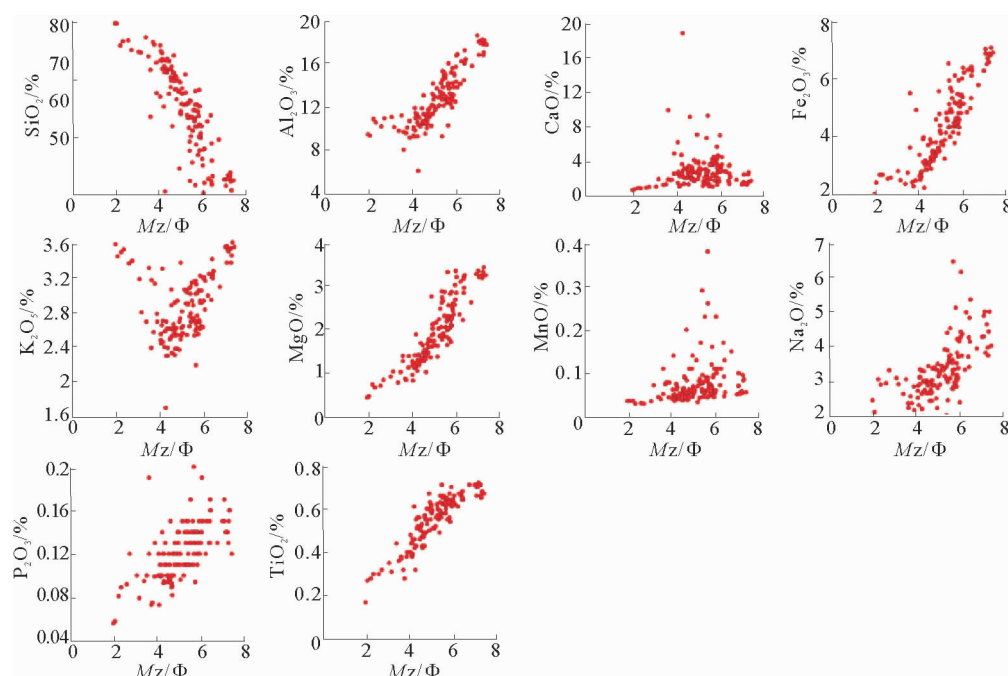


图 4 常量元素含量与平均粒径关系

Fig. 4 The relations between major elements contents and mean grain size

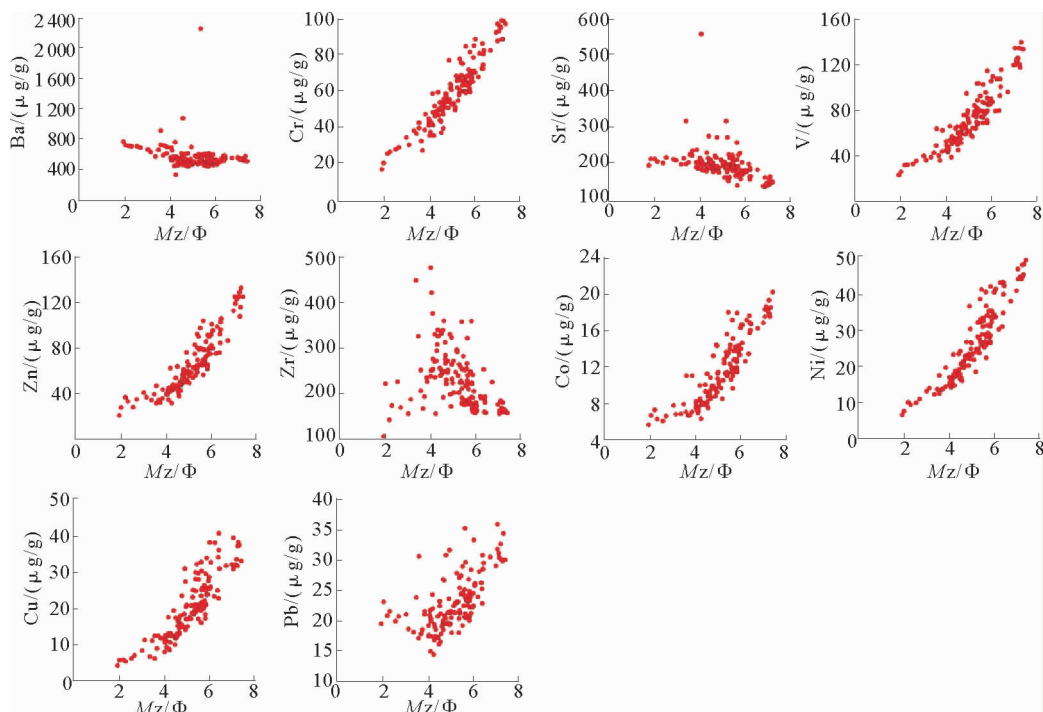


图 5 微量元素含量与平均粒径关系

Fig. 5 The relations between trace elements and mean grain size

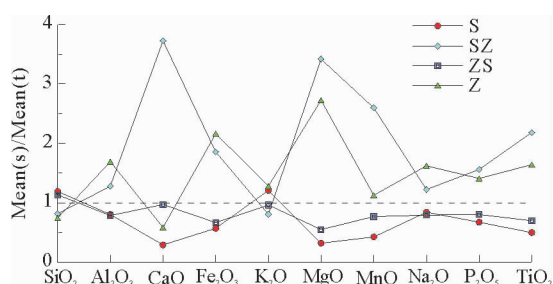


图 6 不同沉积物类型中常量元素分布

Fig. 6 The major elements distribution map of different sediment types

和 K_2O 之外,多数元素表现为 >1 ,其中以砂质粉砂中的 CaO 、砂质粉砂和粉砂的 MgO 、砂质粉砂中的 MnO 最为显著, $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值在 2 以上,但细颗粒沉积物中的常量元素的大范围波动对研究区元素的整体分布特征影响较小,这也与沉积物粒度组成相对应。

因此,通过对比常量元素氧化物含量在不同沉积物类型中的变化趋势,可以将其分为 4 种类型:① SiO_2 和 K_2O 这 2 种元素受沉积物类型影响最小, $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值最接近于 1, SiO_2 按照砂 $\approx$ 粉砂质砂 $>$ 砂质粉砂 $\approx$ 粉砂顺序富集, K_2O 则按照粉砂 $\approx$ 砂 $>$ 粉砂质砂 $>$ 砂质粉砂的顺序富集;② CaO 受沉积物类型影响明显,但规律性差,主要富集在砂质粉砂中,而在其他 3 种沉积物类型中的含量较为接近;③ Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 这 3 种元素的含量基本按照粉砂 $>$ 砂质粉砂 $>$ 粉砂质砂 $\approx$ 粉砂,这与前人关于“粒度控制律”的结论相一致^[6,7];④ TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 、 MgO 这 4 种元素的富集顺序为砂质粉砂 $>$ 粉砂 $>$ 粉砂质砂 $>$ 砂,并没有表现出最细的粉砂粒级中含量最高,这种在中间粒级中的高度富集在黄海沉积物同样有所体现^[7]。

由图 7 所示,微量元素在不同类型沉积物中的配分曲线可以大致表现为 2 种趋势,较细颗粒的粉砂和砂质粉砂分布较为相似,均表现为较大幅度的波动,而较粗颗粒的粉砂质砂和粉砂则变化较小, $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值略 <1 ,且基本与粉砂和砂质粉砂表现为相反的富集趋势。就具体的 10 种元素而言,大致可分为 2 类:① Ba 、 Sr 、 Zr 和 Pb ,该 4 种元素 $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值接近于 1,表明其含量受粒度影响较小,且已有研

究表明沉积物中的 Ba 、 Sr 受生物沉积作用明显^[1],而陆架区的 Zr 主要来源于锆石,主要受原岩类型控制^[8],而 Pb 则主要来源于人类活动造成的污染物^[9];② Cr 、 V 、 Zn 、 Co 、 Ni 、 Cu 主要富集在细颗粒的粉砂和砂质粉砂,且在这两种类型沉积物中的含量较为相似 $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值基本在 2 以上,而这 6 种元素在粉砂质砂和砂中的 $[Mean(s)]/[Mean(t)]$ 值基本在 0.5 左右,且在后者中的比值略低。

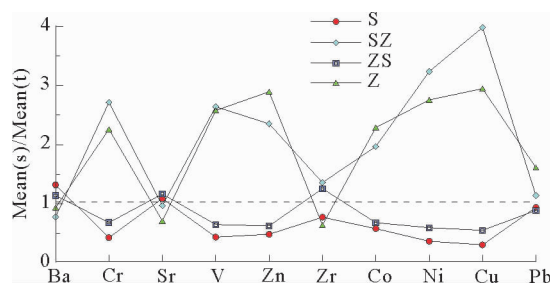


图 7 不同沉积物类型中微量元素分布

Fig. 7 The trace elements distribution map of different sediment types

2.5 元素空间分布对沉积物输运过程的指示意义

不同河流入海物质判别和扩散模式一直是海洋沉积学研究的难点,同时也是近几年边缘海研究的热点问题^[10]。研究区周边主要河流包括中国大陆的黄河、长江、鸭绿江以及韩国汉江、锦江和荣山江等河流。这些河流为渤海和黄海提供丰富的泥沙,这些巨量沉积物成为全新世以来中国陆缘海沉积物的主要来源^[2]。因此,系统研究山东—辽东半岛周边海域沉积物的输运过程对于认识中国东部海域陆架“源—汇”过程及陆海相互作用过程具有重要意义。

为消除粒度对元素含量的影响,我们选取研究区分为最为广泛的沉积物类型,砂质粉砂中的元素含量来探讨元素含量对现代沉积物输运过程的指示意义。通常情况下,陆架区沉积物中 SiO_2 主要赋存在石英碎屑和其他硅酸盐碎屑等较粗粒的陆源碎屑进行搬运^[11],而 Al_2O_3 则主要以细颗粒沉积物中的各种铝硅酸盐矿物及其风化产物存在^[12]。因为 Ti 在风化过程中从原矿物中淋滤出

来后容易被沉积物吸附而被认为是惰性元素^[13],为消除单个元素的局限性,本文选取砂质粉砂中 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 分别来指示粗颗粒沉积物和细颗粒沉积物的输运模式。结果显示, $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 在研究区东部基本呈斑块状分布,总体表现为辽东半岛周边海域较高,而山东半岛北部海域较低的趋势,且等值线大致表现为平行于海岸线(图8、9)。

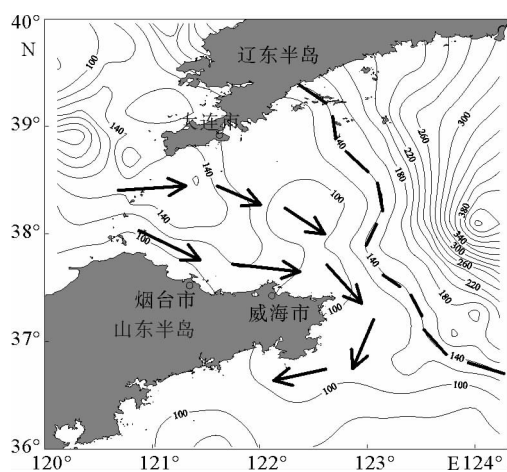


图8 砂质粉砂中 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 分布

Fig. 8 The distribution map of $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ in sandy-silt

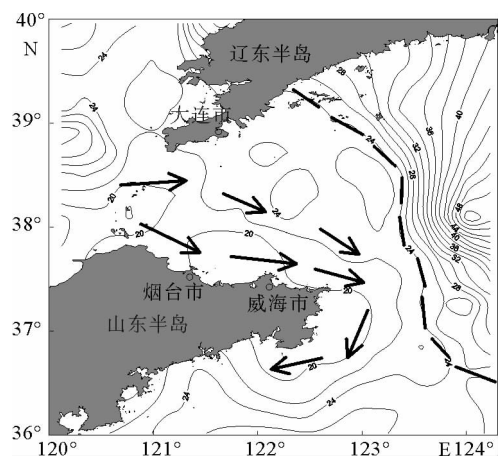


图9 砂质粉砂中 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 分布

Fig. 9 The distribution map of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ in sandy-silt

已有研究表明山东半岛近岸及其东南部沉积物主要来源于黄河,其沉积物元素组成与现代黄河的相近, $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 也表现出自研究区西南向东扩散的趋势,这种分布特征至 121.5°E 后向东则更加靠近南侧的山东半岛,这

表明现代黄河物质在渤海中部大范围输运后,沿着自山东半岛近岸继续向东搬运和扩散,该趋势与前人碳同位素以及沉积物地球化学指标研究结果一致^[14-17]。沉积物的这种搬运模式与黄海环流格局密切相关,黄河注入渤海后,约70%的泥沙沉积在河口三角洲及近河口浅海区,其余向外扩散。在沿岸流和潮流作用下,黄河泥沙进入黄海,一部分在山东半岛北岸近海和北黄海中部气旋型涡流区发生沉积^[14],其余的绕过成山头进入南黄海,并沿成山头运至山东半岛以南海域,少量继续向南或东南方向扩散到达南黄海中部。然而,该区域 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 的空间分布也存在一定的差别,主要表现为 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值的梯度更小,可能反映了细颗粒沉积物较为均匀的扩散范围,主要由于其输运过程中所需要的底层启动流速较低所致。

研究区东部沉积物以粗颗粒砂质沉积物为主,可能为末次冰期形成的残留砂^[18],其沉积物元素组成与西部有明显差异^[5]。 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值基本沿SN向分布,且表现为自东向西逐渐降低的趋势(图8、9),已有研究表明,该区域沉积物在冰消期海侵过程中接受改造,反映与现代水动力环境不平衡^[19],其沉积物源岩特征与朝鲜半岛和鸭绿江沉积物组成相近,因此,该区域表层沉积物元素组成主要一方面反映了沉积物的物质来源特征^[2],另一方面也揭示了朝鲜半岛物质向北黄海的扩散范围基本在 123°E 以东。

3 结论

通过分析山东—辽东半岛周边海域表层沉积物粒度、常微量元素组成及其相关性,得到以下几点结论:

(1)研究区内表层沉积物常量元素氧化物主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 等组成,这7种组分约占沉积物总量的91.97%(平均值)。微量元素按照 $\text{Ba} > \text{Zr} > \text{Sr} > \text{V} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Co}$ 的顺序富集,Ba含量最高,平均值为 552.48×10^{-6} ,其次为Zr和Sr,平均含量分别为 232.76×10^{-6} 和 193.93×10^{-6} ,其他微量元素平均含量均低于 100×10^{-6} 。

(2)研究区常微量元素与平均粒径表现出一

定的关系, SiO_2 与平均粒径大致表现为负相关; Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 Cr 、 V 、 Zn 、 Co 、 Ni 、 Cu 与平均粒径大致表现为正相关; CaO 、 K_2O 、 MnO 、 Na_2O 、 P_2O_5 、 Ba 、 Sr 、 Zr 、 Pb 则与平均粒径没有明显的相关性。

(3) 粉砂质砂沉积物中常量元素 $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值最接近 1, 颗粒最粗的砂的变化趋势与粉砂质砂较为一致, 相对于全样沉积物只发生小幅度偏移; 较细颗粒的砂质粉砂和粉砂, $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值变化较大, 除了 SiO_2 和 K_2O 之外, 多数元素表现为 >1 , 表现为明显的倾向细颗粒富集特征。

(4) 微量元素在不同类型沉积物中的配分曲线可以大致表现为 2 种趋势, 较细颗粒的粉砂和砂质粉砂分布较为相似, 均表现为较大幅度的波动, 而较粗颗粒的粉砂质砂和粉砂则变化较小, $[\text{Mean}(\text{s})]/[\text{Mean}(\text{t})]$ 值略 <1 , 且基本与粉砂和砂质粉砂表现为相反的富集趋势。

(5) 砂质粉砂中 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 指示黄河入海物质经过渤海中部后可沿山东半岛近岸一直输运至南黄海中部, 而朝鲜半岛来源物质主要集中在 123°E 以东区域。

参考文献:

- [1] 刘升发, 石学法, 刘焱光, 等. 东海内陆架泥质区表层沉积物常量元素地球化学及其地质意义[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(1): 80-86.
- [2] 窦衍光, 李 军, 杨守业. 山东半岛东部海域表层沉积物元素组成及物源指示意义[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 109-119.
- [3] 周永芝, 刘 娟. 莱州湾、渤海湾及渤海中央盆地沉积物岩芯地球化学的初步研究[J]. 黄渤海海洋, 1991, 9(2): 54-59.
- [4] Chen X H, Li T G, Zhang X H, et al. A Holocene Yalu River-derived fine-grained deposit in the southeast coastal area of the Liaodong Peninsula[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(3): 636-647.
- [5] 蓝先洪, 李日辉, 张志珣, 等. 渤海东部与黄海北部表层沉积物的元素地球化学记录[J]. 地球学报, 2015, 36(6): 718-728.
- [6] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [7] 杜德文, 石学法, 孟宪伟, 等. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. 海洋科学进展, 2003, 1(21): 78-82.
- [8] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [9] Liu S F, Liu Y G, Yang G, et al. Distribution of major and trace elements in surface sediments of Hangzhou Bay in China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 31(4): 89-100.
- [10] Kao S J, Milliman, J D. Water and sediment discharge from small mountainous rivers, Taiwan: the roles of lithology, episodic events and human activities[J]. Journal of Geology, 2008, 116: 431-448.
- [11] 刘广虎, 李 军, 陈道华, 等. 台西南海域表层沉积物元素地球化学特征及其物源指示意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 5(26): 61-68.
- [12] 杨兢红, 王 颖, 张振克, 等. 苏北平原 2.58Ma 以来的海陆环境演变历史—宝应钻孔沉积物的常量元素记录[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 340-352.
- [13] 陈 弘, 刘 坚, 王宏斌. 琼东南海域表层沉积物常量元素地球化学及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 6(27): 39-45.
- [14] 蓝先洪, 张训华, 张志纂. 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.
- [15] 蓝先洪, 王红霞, 李日辉, 等. 南黄海沉积物常量元素组成与物源分析[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 197-203.
- [16] 蔡德陵, 石学法, 周卫健, 等. 南黄海悬浮体和沉积物的物质来源和运移: 来自碳稳定同位素组成的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 16-23.
- [17] Yang S, Youn J S. Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediment[J]. Marine Geology, 2007, 243(1): 229-241.
- [18] 何起祥. 中国海洋沉积地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 378-381.
- [19] 刘振夏, 夏东兴. 中国近海潮流沉积沙体[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 134-137.

CONSTRAINT OF SEDIMENT GRAIN-SIZE TO ELEMENT CHEMISTRY: A CASE FROM THE SHANDONG-LIAODONG PENINSULAS

MI Beibei, WANG Zhongbo, LAN Xianhong, LI Rihui, MENG Xiangjun

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resource, Qingdao 266071, China;
Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The grain-size and the major-minor element characteristics of 135 surface sediment samples from the sea area around the Shandong-Liaodong Peninsula are analyzed to study the control of grain-size and sediment types over geochemical composition. The results reveal that the major-minor element composition is closely related to sediment grain-size. The SiO_2 content is negatively related to the average grain-size. Instead, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , Cr , V , Zn , Co , Ni , Cu are positively related to the average of grain-size. However, CaO , K_2O , MnO , Na_2O , P_2O_5 , Ba , Sr , Zr , Pb do not show any obvious relation with the average grain-size. The element composition in the four kinds of sediments of sand, silty sand, sandy silt and silt are also different. The $[\text{Mean(s)}]/[\text{Mean(t)}]$ values of major elements are close to 1 in silty sand and show similar trend in sand. The $[\text{Mean(s)}]/[\text{Mean(t)}]$ values of sandy silt and silt change greatly and most of the values are greater than 1 except for SiO_2 and K_2O . The distribution of minor elements in the fine sediments of silt and sandy-silt is similar of which both show drastic great variations; the coarse sediments of sand and silty sand, however, have small changes and the values of $[\text{Mean(s)}]/[\text{Mean(t)}]$ are less than 1. The $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ widely distributed sandy silt are used to indicate the transport distance in modern rivers. It reveals that materials from Yellow River can transport to middle of the Bohai Sea (121.5°E) and then to South Yellow Sea along the Shandong Peninsula, and the materials from the Korean Peninsula are deposited to the east of 123°E .

Key words: Shandong-Liaodong Peninsula; sediment; grain size; element; controlling factor