

文章编号:1009-2722(2015)05-0015-08

山东半岛南部海域表层沉积物 主要元素分布特征及影响因素

李小月^{1,2,3}, 刘珊珊⁴, 张 勇^{2,3*}, 毕世普^{2,3}, 林学辉^{2,3}

(1 石家庄经济学院, 石家庄 050031; 2 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;

3 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 4 厦门地质工程勘察院, 厦门 361008)

摘 要:通过对山东半岛南部海域 147 个表层沉积物样品和周边入海河流 46 个表层沉积物样品进行粒度与元素地球化学测试, 系统地研究了主要地球化学元素含量及分布特征, 探讨了其影响因素。结果表明: 研究区表层沉积物常量元素 SiO_2 、 CaO 、 K_2O 含量低于我国近海海域平均值, Al_2O_3 、 MgO 、 TFe_2O_3 含量高于我国近海海域平均值, 微量元素中重金属含量均高于我国近海海域平均值。表层沉积物粒度、周边入海河流和人类活动是影响元素地球化学分布的主要原因。

关键词:表层沉积物; 常量元素; 微量元素; 山东半岛

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2015.05003

中国浅海沉积物与大陆沉积物元素丰度的近似性充分说明大陆是浅海沉积物的主要物质来源, 具有明显的继承性。从某种意义上讲, 中国浅海沉积物是大陆沉积物在大陆海底的再分布, 是“海洋化的大陆沉积物”^[1]。蓝先洪等^[2]研究发现, 南黄海沉积物物源主要为长江源和黄河源。刘广虎等^[3]研究发现南海台西南海域表层沉积物的物质来源以陆源为主。岳伟等^[4]对莱州浅滩表细颗粒沉积物地球化学分析表明, 沉积物来源于沿岸河流输沙, 且与黄河沉积物有密切联系。胡恭任等^[5]通过研究分析表明, 泉州湾潮间带表层沉积物物质来源主体是大陆地壳。海洋沉积物地

球化学特别是微量元素与稀土元素配分模式已经广泛成为研究各种地质过程的物质来源^[6]。通过对黄河、长江和珠江等河口地球化学研究表明, 沉积物中的 B、T、V、Zr、Co、Cr、Ga 等元素及 B/Ga、Sr/Ba 比值可为判别物质来源、沉积环境及气候变化提供新的佐证^[6]。南海西南海域表层沉积物 Ba 元素明显受到沉积环境水深及陆源物质输入的影响^[7], 南海表层沉积物中稀土元素分布主要与陆源物质输入、火山物质等补给密切相关^[8]。李军等^[9]认为冲绳海槽的沉积物 REEs 组成主要受陆源碎屑组分所控制。郭志刚等通过研究发现, 浙江近岸泥质区沉积物元素地球化学特征与长江沉积物非常一致, 远岸济州岛西南泥质区沉积物主要来源于黄河源的细颗粒沉积物^[10]。

前人通过大量数据研究发现近海表层沉积物元素分布基本遵循“粒度控制律”^[11-17]。与此同时, 人类活动产生的污染物通过各种途径影响着海洋环境, 这些信息都会被很好地记录在海洋沉积物中, 因此, 通过分析近海沉积物元素的地球化学特征, 能够反映水体环境变化及人类活动历史。

收稿日期: 2015-03-12

基金项目: 国家自然科学基金(41376079); 1:25 万青岛幅海洋区域地质调查(试点)项目(GZH200900501); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室基金(201304)

作者简介: 李小月(1990—), 女, 在读硕士, 主要从事地质工程方面的研究工作。E-mail: 1243451695@qq.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 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 等同位素测年技术,建立沉积物的元素记录,可以确定我国近海沉积物元素区域环境背景值及判定环境演变趋势,探讨人类活动在不同时段对沉积记录的影响^[18-20]。

1 研究区概况

本项目研究区位于山东半岛南部近海海域,在崂山头以东海域,表层沉积物类型主要以粉砂和砂质粉砂为主;崂山头以西表层沉积物类型复杂多样,且呈现斑块式分布特征;崂山头附近海域主要为晚更新世陆相残留沉积。沿岸主要有乳山河、五龙河、大沽河、胶莱河、白沙河等中小河流入海,根据区域水文年鉴资料,这几条河的多年年均输沙量在 200 万 t 以上^[21]。本文通过对该区海域及周边河流进行样品采集与测试,获取相关数

据,对该区域表层沉积物中主要元素的分布特征及影响因素进行了研究。

2 材料与方法

2.1 野外样品采集

2011 年 7 月,青岛海洋地质研究所使用“业治铮”号调查船,采用箱式取样器完成了 147 个站位的海底表层沉积物取样(见图 1),取样间距为 5 km,近岸区域适当加密,所采集到的样品全部超过 2 kg。2011 年 10 月,在研究区沿着周边大沽河、五龙河、乳山河等河漫滩地区采集了 46 个站位的表层沉积物样品,取样工具为木铲,样品用布袋盛装,样品质量不少于 1 kg。

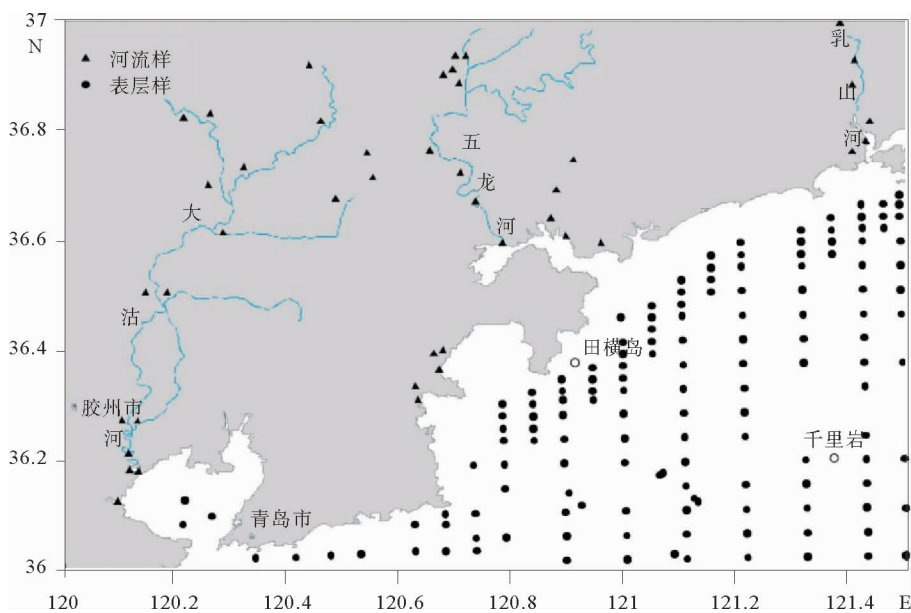


图 1 表层沉积物取样站位

Fig. 1 Study area and sampling stations

2.2 分析测试方法

2.2.1 粒度分析

粒度分析由国土资源部海洋地质实验检测中心完成。从原始样品中各取样 10~20 g,经 H_2O_2 和稀 HCl 浸泡处理,除掉有机质和碳酸盐,然后洗盐,用 $(\text{NaPO}_3)_6$ 溶液经超声波分散后,用

英国马尔文(MLVERN)公司生产的 Mastersizer-2000 型激光粒度分析仪(测量范围为 0.02~2000 μm ,偏差 $<1\%$,重现性 $\varphi_{50}<1\%$)进行粒度测试。最后,对测量数据采用距法(McManus J. 1988)计算了平均粒径(M_z)、分选系数(σ_i)、偏态系数(SK)和峰态(K_g)等粒度参数。

2.2.2 地球化学测试

地球化学测试由国土资源部海洋地质实验检测中心完成,沉积物地球化学测试方法:严格按照 GB/T 20260—2006(海底沉积物地球化学分析方法)的具体规定执行控制,符合地球化学工作要求。将样品在恒温($<60\text{ }^{\circ}\text{C}$)下烘干后,研磨至 250 目以下进行元素分析。分析项目包括常量元素、微量元素等。常量组分 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 和微量元素 Sn 、 V 、 Cr 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Zn 、 Ga 、 Rb 、 Sr 、 Zr 、 Nb 、 Cs 、 Ba 、 Hf 、 Pb ,采用 X 荧光光谱分析方法(XRF)测定。

3 结果

3.1 主要常量元素含量及分布

常量元素是沉积物的主体组成部分,包括 Si 、 Al 、 Ca 、 K 、 Fe 、 Mg 等元素,其氧化物含量约占总量的 70%以上。与中国近海海域平均值相比, SiO_2 、 CaO 、 K_2O 含量低于平均值, Al_2O_3 、 MgO 、 TFe_2O_3 含量高于平均值,其含量统计见表 1。

表 1 沉积物表层样常量元素含量统计
Table 1 Main elements contents in the surface sediments

测试项目	有效数据 /个	全国海域 平均值/%	调查海域 平均值/%	中位数 /%	众数 /%	标偏 偏差	偏度	峰度	极小值 /%	极大值 /%	变异 系数
SiO_2	147	62.51	60.97	61.69	56.62	5.02	-0.96	1.37	45.50	71.62	0.082
Al_2O_3	147	11.09	14.07	14.24	13.92	1.46	-1.02	1.37	9.26	16.85	0.103
CaO	130	5.3	2.32	2.40	1.70	0.60	0.48	-0.34	1.22	4.01	0.260
K_2O	146	2.32	2.89	2.91	2.86	0.17	-0.98	1.58	2.31	3.21	0.059
TFe_2O_3	144	4.43	5.27	5.26	5.25	0.99	0.02	0.69	1.93	7.88	0.188
MgO	147	1.82	2.36	2.37	2.36	2.37	-0.69	1.91	0.80	3.10	0.158

注:全国浅海沉积物元素含量平均值数据引自文献[21]

SiO_2 是表层沉积物中含量最高的指标,百分含量 $<50\%$ 的仅有 7 个站位,其他站位均在 50%以上,变异系数较小,为 0.08。含量介于 45.5%~71.62%之间,大部分集中于 58%~65%,其众数为 56.62%,中位数为 61.69%,平均值为 60.97%,基本与我国浅海沉积物中 SiO_2 的平均含量(62.51%)相当。在研究区的分布相对其他元素而言较为均匀,变异系数最小。其高值区主要分布于沿岸浅水海域,东南部有局部高值区;低值区自 NE 向 SW 呈条带状分布(图 2a)。

Al_2O_3 是表层沉积物中含量居第 2 位的指标,含量介于 9.26%~16.85%之间,变异系数不大,为 0.10,主要集中于 13.3%~15.1%,众数为 13.92%,中位数为 14.24%,平均值为 14.07%,高于我国浅海沉积物中 Al_2O_3 的平均含量(11.09%), Al_2O_3 的分布与 SiO_2 的分布基本相反,其在研究海域分布的明显特征表现为高值区自 NE 向 SW 呈舌状延伸,主要由于在本海域存在一个自 NE 向 SW 延伸的舌状泥质条带,沉积

物粒度较细(图 2b)。

CaO 的含量介于 1.22%~4.01%,主要集中于 1.7%~2.7%,在常量元素中其变异系数最大,为 0.26,众数为 1.7%,中位数为 2.4%,平均值是 2.32%,远低于我国浅海沉积物中 CaO 的平均含量(5.3%)。 CaO 在研究区的分布趋势(图 2c),高值区集中在崂山东南部海域,其他海域含量较低且变化梯度不大。

K_2O 的含量变化范围介于 2.31%~3.21%之间,主要集中于 2.82%~3.00%,在常量元素中其变异系数最小,为 0.06,众数为 2.86%,中位数为 2.91%,平均值是 2.89%,略高于我国浅海沉积物中 K_2O 的平均含量(2.32%)。在本研究区 K_2O 的高值区自东北向西南断续延伸,与泥质条带的分布大体一致。另外,在东南部海域也出现一个斑状高值区(图 2d)。

TFe_2O_3 的含量变化范围是 1.93%~7.88%,主要集中于 4.6%~5.8%,变异系数稍大,为 0.19,众数为 5.25%,中位数为 5.26%,平

均值为 5.27%，含量高于我国浅海沉积物中 TFe_2O_3 的平均含量(4.43%)。 TFe_2O_3 的高值区总体上呈自东北向西南的条带状分布趋势，近岸和远海含量较低，这也是由于中部存在泥质条带的缘故(图 2e)。

MgO 的含量介于 0.8%~3.1% 之间，主要

集中于 2.14%~2.57%，变异系数较大，为 0.16，众数为 2.36%，中位数为 2.37%，平均值是 2.36%，高于我国浅海沉积物中 MgO 的平均含量(1.82%)。 MgO 在调查海域的分布与 Al_2O_3 具有相似的分布规律，高值区自 NE 向 SW 舌状延伸，近岸和远海含量较低(图 2f)。

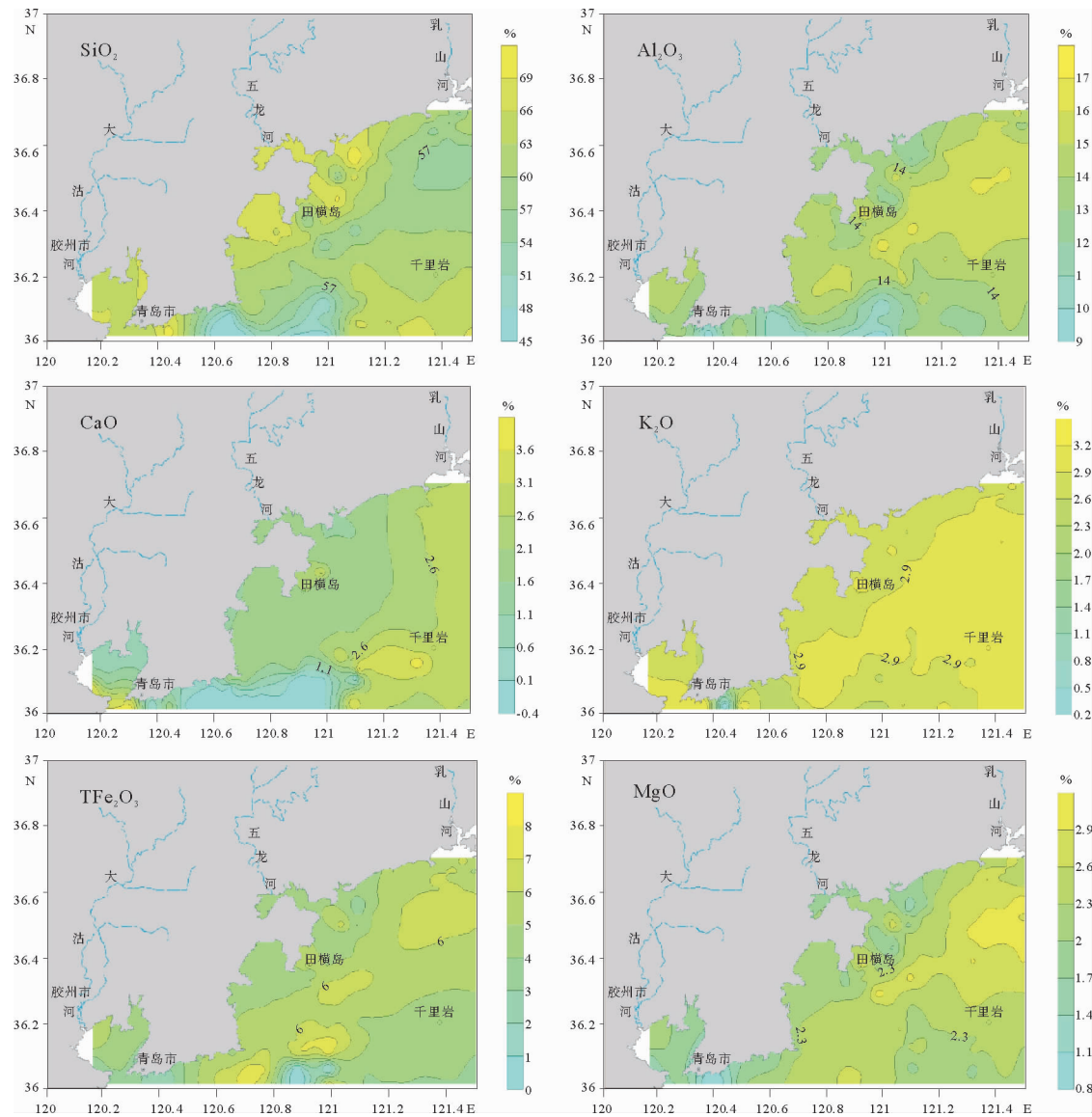


图 2 表层沉积物主要常量元素含量分布
Fig. 2 Distribution of main elements in the surface sediments

3.2 主要微量元素含量及分布

微量元素具体指 Ni、Co、Li、W、Mo、Sb、Bi、

V、Nb、Zr、Se、As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 等元素，在沉积物中含量<0.10%，是影响沉积物环境的重要组分(表 2)。

表 2 沉积物表层微量元素含量统计特征

Table 2 Trace elements contents in the surface sediments

	平均值	标准 偏差	变异 系数	最小值	最大值
Ni/ $\times 10^{-6}$	29.93	5.80	0.19	10.70	44.60
Co/ $\times 10^{-6}$	14.00	2.66	0.19	4.90	22.50
Li/ $\times 10^{-6}$	45.26	9.82	0.22	13.30	70.10
W/ $\times 10^{-6}$	1.72	0.25	0.15	0.80	2.56
Mo/ $\times 10^{-6}$	0.69	0.34	0.49	0.31	3.38
Sb/ $\times 10^{-6}$	0.63	0.17	0.27	0.30	1.28
Bi/ $\times 10^{-6}$	0.32	0.08	0.24	0.11	0.57
V/ $\times 10^{-6}$	80.60	14.59	0.18	27.60	114.00
Nb/ $\times 10^{-6}$	14.44	1.89	0.13	8.60	17.60
Zr/ $\times 10^{-6}$	218.63	50.88	0.23	122.00	410.00
Se/ $\times 10^{-6}$	0.12	0.04	0.29	0.02	0.21
Cu/ $\times 10^{-6}$	23.10	5.00	0.22	8.20	34.80
Pb/ $\times 10^{-6}$	25.00	4.40	0.18	15.00	41.20
Zn/ $\times 10^{-6}$	71.10	17.50	0.25	21.30	114.00
Cr/ $\times 10^{-6}$	64.30	13.00	0.20	20.00	90.80
As/ $\times 10^{-6}$	11.40	5.60	0.49	4.30	44.20
Hg/ $\times 10^{-9}$	32.00	9.80	0.31	12.00	61.00
Cd/ $\times 10^{-9}$	82.40	28.70	0.35	32.00	210.00

Ni 元素平均含量为 29.93×10^{-6} ,略高于全国海域平均值,含量都随着沉积物粒度由粗变细(砂—粉砂—泥)、由低变高。元素的分布主要受粒度控制;Co 元素平均含量为 14×10^{-6} ,略高于全国海域平均值,分布与 Ni 接近,主要受制于粒度;Li 的平均含量为 45.26×10^{-6} ,高于全国海域平均值,主要本区周围有大量花岗岩侵入,由于风化作用,形成 Li 元素含量高,同时,粒度对高值区的分布产生影响,主要高值分布在泥质区附近;W 元素平均值 1.72×10^{-6} ,略高于全国海域平均值,高值分布在调查区南部海域;Mo 元素平均值为 0.69×10^{-6} ,高于全国海域平均值,高值区比较集中,分布在南部海域,最高值达到 3.38×10^{-6} ;Sb 元素平均值为 0.63×10^{-6} ,高于全国海

域平均值,高值区主要集中于南部海域的 4 个局部区域;Bi 元素平均值为 0.32×10^{-6} ,含量接近中国浅海沉积物的平均含量,其区域分布与 Ni、Co 相似;V 元素在本区平均值为 80.60×10^{-6} ,高于中国浅海沉积物的平均含量,元素含量都随着沉积物粒度由粗变细由低变高;Nb 元素在本区平均值为 14.44×10^{-6} ,接近中国浅海沉积物的平均含量,近岸区域高于远岸海域;Zr 元素在本区平均值为 218.63×10^{-6} ,接近中国浅海沉积物的平均含量,高值区位于胶州湾口外、丁字湾口外,这是由于酸性侵入岩提供了锆石和其他含锆的副矿物,通过河流作用与沿岸流作用在此富集;Se 元素本区平均值为 0.12×10^{-6} ,低于中国浅海沉积物的平均含量。

微量元素中含有 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn 7 种重金属元素。As 的含量介于 $(4.3 \sim 44.2) \times 10^{-6}$,平均值为 11.4×10^{-6} ,高值区集中分布在崂山东南部海域;Cd 的高值区主要分布在崂山东南部海域和胶州湾北部,东北部为次高值区,含量介于 $(32.0 \sim 210.0) \times 10^{-9}$,平均值为 82.4×10^{-9} ;Cr 的含量介于 $(20.0 \sim 90.8) \times 10^{-6}$,平均值为 64.3×10^{-6} ,高值区自 NE 向 SW 呈条带状延伸,远海为低值区,其中胶州湾中部沿岸海域含量也稍高;Cu 的含量 $(8.2 \sim 34.8) \times 10^{-6}$,平均值为 23.1×10^{-6} ,高值区分布与 Cr 类似,自 NE 向 SW 呈条带状延伸;Hg 的含量介于 $(12.0 \sim 61.0) \times 10^{-9}$,平均值为 32.0×10^{-9} ,高值区集中分布在胶州湾南部;Pb 的高值区集中分布在胶州湾北部和崂山东南部海域,含量介于 $(15.00 \sim 41.2) \times 10^{-6}$,平均值为 25.0×10^{-6} ;Zn 的含量介于 $(21.3 \sim 114.0) \times 10^{-6}$,平均值为 71.1×10^{-6} ,高值区分布形式与 Cr 和 Cu 基本一致,主要呈条带状或舌状自 NE 向 SW 延伸。

4 讨论

4.1 粒度影响

“元素的粒度控制律”即绝大多数元素的含量随沉积物粒度的变细而升高;一些元素的含量随沉积物粒度的变细而降低;个别元素的含量随沉积物粒度的变细先升后降,在中等粒度

的粉砂中出现极大值^[22]。张开毕等^[23]通过对福建省沿海经济带的生态地球化学调查结果表明,沉积物大部分元素的含量高于中国浅海沉积物,含量变化基本遵循“元素的粒度控制律”,其高值、高背景区的区域分布也总是与细粒沉积物有关,而低值、低背景区则明显地与粗粒沉

积物的分布相关。通过图 3 可以看出,除 SiO₂、Sr 元素的含量与平均粒径 Mz 的相关性呈显著负相关以外,其他元素如 FeO、MgO、Ni、Co、Li、W 等元素的含量与平均粒径 Mz 的相关性均呈显著正相关。这说明该海域表层沉积物地球化学元素含量符合“元素的粒度控制律”。

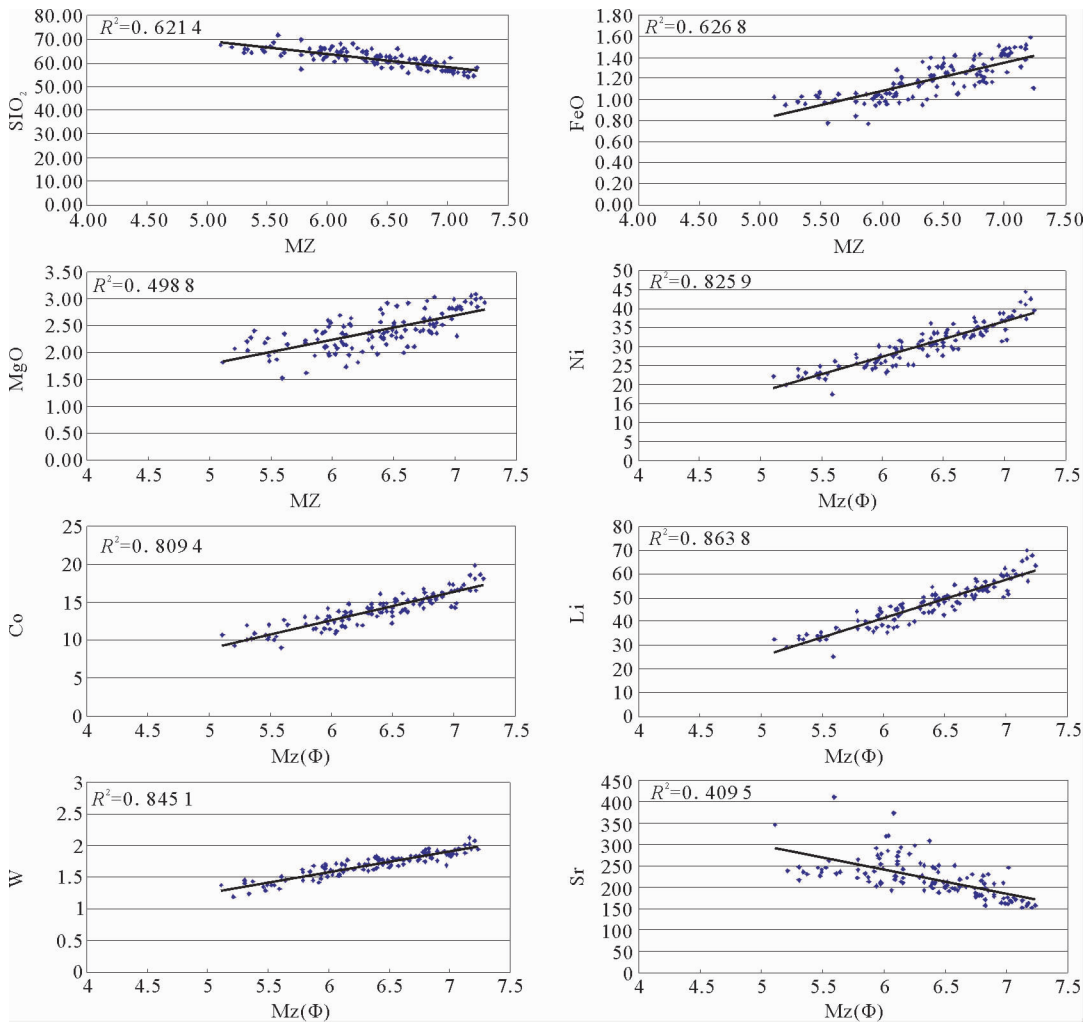


图 3 主要微量元素与粒度平均粒径(Mz)相关性
Fig. 3 Correlation between main trace elements and Mz

4.2 入海河流影响

元素的丰度比较可以揭示若干地球化学的特征(表 3)。通常依据元素富集系数 K 的大小,可以比较元素的丰度接近、贫化或富集的程度。 $K_1=0.75\sim1$ 或 $1\sim1.5$, 可为“接近”; $K_1<0.75$ 为“贫化”,其中 $K=0.5\sim0.75$ 为“弱贫化”, $K_1=0.25\sim0.5$ 为“强贫化”, $K_1<0.25$ 为“异常贫

化”; $K_1>1.5$ 为“富集”,其中 $K_1=1.5\sim2$ 为“弱富集”, $K_1=2\sim4$ 为“强富集”, $K_1>4$ 为“异常富集”^[22]。据表 3 不难看出,中国近海沉积物与中国大陆沉积物相比,在 27 个元素中丰度接近的有 24 个($K_1=0.75\sim1.5$), 占 89%, 仅有 Al₂O₃、As、Cl、Na₂O 4 个指标在浅海呈现富集,其中 As 与人类影响关系较大。

表 3 研究区表层沉积物与中国大陆沉积物
地球化学元素丰度比值

Table 3 The ratios of the surface sediments in the study
area and the abundances of geochemical elements
from the terrestrial sediments of China

名称	研究区 表层沉积物 平均含量	中国大陆 沉积物 平均含量	研究区入海 河流沉积物 平均含量	K_1
$Al_2O_3/10^{-2}$	14.07	8.84	12.59	1.59
$As/10^{-6}$	14.12	8.5	9.96	1.66
$Bi/10^{-6}$	0.32	0.28	0.18	1.14
$CaO/10^{-2}$	3.17	3.11	1.92	1.02
$Cd/10^{-9}$	80	100	100	0.80
$Ce/10^{-6}$	72.88	75	57.85	0.97
$Cl/10^{-6}$	13 777.8	3 000	4 724.35	4.59
$Co/10^{-6}$	14	13	10.34	1.08
$Cr/10^{-6}$	65.85	70	53.18	0.94
$Cu/10^{-6}$	23.28	20	27.16	1.16
$Hg/10^{-9}$	30	30	60	1.00
$K_2O/10^{-2}$	2.9	2.17	2.83	1.34
$La/10^{-6}$	36.39	37	29.14	0.98
$Li/10^{-6}$	45.26	33	26.48	1.37
$MgO/10^{-2}$	2.36	2.02	1.38	1.17
$Mo/10^{-6}$	0.69	0.8	0.58	0.86
$Na_2O/10^{-2}$	3.12	1.7	2.98	1.84
$Nb/10^{-6}$	14.44	15	12.28	0.96
$Ni/10^{-6}$	29.93	28	22.66	1.07
$OrgC/10^{-2}$	0.52	N	0.80	N
$Pb/10^{-6}$	25.63	25	23.03	1.03
PH	7.52	N	N	N
$S/10^{-6}$	892.37	N	985.79	N
$Sb/10^{-6}$	0.63	0.8	0.87	0.79
$Se/10^{-6}$	0.12	0.14	0.19	0.86
$SiO_2/10^{-2}$	60.97	64.29	68.87	0.95
$V/10^{-6}$	80.6	80	56.00	1.01
$W/10^{-6}$	1.72	1.8	1.24	0.96
$Zn/10^{-6}$	72.75	66	86.42	1.10
$Zr/10^{-6}$	218.63	260	213.16	0.84

注: K_1 =浅层沉积物平均值/中国大陆沉积物平均值,N 表示无数据;全国浅海沉积物元素含量平均值数据引自文献[21]

4.3 人类活动影响

近年来,随着经济的发展,人类对海洋的影响越来越大,影响范围也明显扩大。研究区位于青岛近海,海洋工程、港口建设、渔业养殖等经济活动发达,对海洋环境影响显著。对该区采集的柱状样进行分层处理,采取 150 cm 以下部位作为研究区背

景值,并对均匀分布在本区的 8 根柱状样进行平均计算,计算结果作为本区背景值。计算表层沉积物与背景值比值 K_2 ,根据 K_2 的大小,可以分析出人类活动对该区地球化学元素的影响(表 4)。常量元素 Al_2O_3 、 MgO 、 K_2O 变化较小, K_2 值基本在 1 左右,表明影响较小。 Na_2O 比值为 1.14, SiO_2 比值为 0.94,这是由于入海河流流量减小,带入的粗粒物质较少,造成 SiO_2 的含量较少。人类活动影响在重金属元素表现明显,As 比值为 1.83、Cd 为 1.14、Hg 为 3.00、Mo 为 1.26、Pb 为 1.19、Zn 为 1.08,只有 Cr、Cu 变化较小。有机碳比值为 1.28,受人类排污影响较大。

表 4 研究区表层沉积物元素含量与该区背景值比较

Table 4 The ratios of the contents of the elements in the
sediments and the background values in the study area

名称	研究区表层沉积物 元素丰度平均含量	研究区 背景值	平均含量/ 背景值(K_2)
$Al_2O_3/10^{-2}$	14.07	13.82	1.02
$As/10^{-6}$	14.12	7.70	1.83
$Bi/10^{-6}$	0.32	0.29	1.12
$CaO/10^{-2}$	3.17	2.36	1.35
$Cd/10^{-9}$	80	70	1.14
$Ce/10^{-6}$	72.88	73.67	0.99
$Cl/10^{-6}$	13 777.8	4 760.45	2.89
$Co/10^{-6}$	14	14.04	1.00
$Cr/10^{-6}$	65.85	67.91	0.97
$Cu/10^{-6}$	23.28	22.53	1.03
$Hg/10^{-9}$	30	10	3.00
$K_2O/10^{-2}$	2.9	2.89	1.00
$La/10^{-6}$	36.39	36.12	1.01
$Li/10^{-6}$	45.26	46.14	0.98
$MgO/10^{-2}$	2.36	2.27	1.04
$Mo/10^{-6}$	0.69	0.55	1.26
$Na_2O/10^{-2}$	3.12	2.73	1.14
$Nb/10^{-6}$	14.44	15.15	0.95
$Ni/10^{-6}$	29.93	31.71	0.94
$OrgC/10^{-2}$	0.52	0.40	1.28
$Pb/10^{-6}$	25.63	21.62	1.19
$S/10^{-6}$	892.37	1 468.42	0.61
$Sb/10^{-6}$	0.63	0.59	1.07
$Se/10^{-6}$	0.12	0.13	0.89
$SiO_2/10^{-2}$	60.97	64.93	0.94
$V/10^{-6}$	80.6	80.63	1.00
$W/10^{-6}$	1.72	1.75	0.98
$Zn/10^{-6}$	72.75	67.11	1.08
$Zr/10^{-6}$	218.63	234.15	0.93

5 结论

(1)研究区表层沉积物常量元素含量 SiO₂、CaO、K₂O 含量低于我国近海海域平均值, Al₂O₃、Na₂O、TF_{e2}O₃ 含量高于我国近海海域平均值。

(2)重金属元素含量均高于我国近海海域平均值。

(3)粒度、入海河流和人类活动是影响元素地球化学分布的主要原因。

参考文献:

[1] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物化学元素丰度[J]. 中国科学(D辑), 1993, 23(10): 1 087-1 090.

[2] 蓝先洪, 张志珣, 李日辉, 等. 长江口外海域表层沉积物微量元素地球化学特征[J]. 现代地质, 2011, 25(6): 1 066-1 077.

[3] 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, 26(5): 61-68.

[4] 岳 伟, 金秉福. 莱州浅滩表层沉积物元素地球化学特征及物源识别[J]. 海洋科学, 2012, 36(2): 88-95.

[5] 胡恭任, 于瑞莲, 余伟河. 泉州湾潮间带表层沉积物稀土元素地球化学特征[J]. 环境科学, 2011, 30(12): 2 086-2 091.

[6] 蓝先洪. 海洋地球化学若干领域的研究进展[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 6-11.

[7] 蔡冠强, 邱 燕, 彭学超, 等. 南海西南海域表层沉积物中微量元素 Ba 的地球化学特征[J]. 现代地质, 2010, 24(3): 560-569.

[8] 刘建国, 陈 忠, 颜 文, 等. 南海表层沉积物中细粒组分的稀土元素地球化学特征[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2010, 35(4): 563-571.

[9] 李 军, 胡邦琦, 窦衍光, 等. 中国东部海域泥质沉积区现代沉积速率及其物源控制效应初探[J]. 地质论评, 2012, 58

(4): 746-756.

[10] 郭志刚, 杨作升, 曲艳慧, 等. 东海陆架泥质区沉积地球化学比较研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 284-288.

[11] 蓝先洪, 王红霞, 李日辉, 等. 南黄海沉积物常量元素组成及物源分析[J]. 地学前缘, 2007, 14(3): 187-203.

[12] 刘 激, 欧阳秀珍, 周 英, 等. 珠江口底质元素含量分布特征及地球化学意义[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 116-125.

[13] 甘华阳, 梁 开, 郑志昌. 珠江口表层沉积物中微量元素地球化学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 131-139.

[14] 常 宏, 肖尚斌, 陈 忠, 等. 琼东沿岸泥质沉积物常量元素地球化学特征[J]. 海洋科学, 2011, 35(5): 42-52.

[15] 孙晓燕, 李希彬. 近 3 ka 来东海陆架北部泥质沉积物地球化学特征[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(4): 10-16.

[16] 高爱国, 赵冬梅, 李 超, 等. 闽江下游河口区及其邻近海域表层沉积物的地球化学特征[J]. 海洋地质前沿, 2011, 28(5): 1-6.

[17] 李淑媛, 苗丰民, 赵全民, 等. 辽东半岛西南及渤海中部海域表层沉积物的地球化学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 123-130.

[18] 董爱国, 翟世奎, Matthias Z, 等. 长江口外海域岩心沉积物地球化学特征及其对人类活动的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 107-114.

[19] 刘 明, 范德江. 近 60 年来长江水下三角洲沉积地球化学记录及其对人类活动的响应[J]. 科学通报, 2010, 55(36): 3 506-3 515.

[20] 张现荣, 张 勇, 叶 青, 等. 辽东湾北部海域沉积物重金属环境质量和污染演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(2): 21-29.

[21] 张晓波, 张 勇, 孔祥淮, 等. 山东半岛南部近岸海域表层沉积物稀土元素的物源指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(3): 57-66.

[22] 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.

[23] 张开毕. 福建省近岸浅海沉积物地球化学环境质量[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(2): 45-52.

(下转第 69 页)

THE ERROR ANALYSIS OF TWO UNDER-WATER POSITIONING METHODS

LIANG Donghong, YAO Huiqiang, LIU Yonggang

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China)

Abstract: Two kinds of positioning data, which form two deep-sea video recording profiles, on a guyot are analyzed. The results show that high accuracy positioning data could be acquired by the ultra-short baseline system, but the errors of positioning data by LAYBACK correcting method are deeply uncertain. The accuracy of positioning data by LAYBACK correcting method are affected by the variation in vessel course more than by the variation in speed of the vessel and length of the towrope, so, a special attention should be paid to the changes in moving course of the vessel when LAYBACK correcting is carried out.

Key words: deep-sea video recording; under-water position; ultra-short baseline; LAYBACK

(上接第 22 页)

DISTRIBUTION PATTERN AND INFLUENCING FACTORS OF THE MAJOR ELEMENTS IN SURFACE SEDIMENTS OFF SOUTH SHANDONG PENINSULA

LI Xiaoyue^{1,2,3}, LIU Shanshan⁴, ZHANG Yong^{2,3*}, BI Shipu^{2,3}, LIN Xuehui^{2,3}

(1 Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 2 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 3 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 4 Geo-engineering Investigation Institute of Xiamen, Xiamen 3610008, China)

Abstract: 147 surface sediment samples and 46 river samples were collected from the offshore area of the South Shandong Peninsula and surrounding rivers for study of the distribution pattern of major elements and its controlling factors. The results show that the main elements of SiO_2 , CaO and K_2O are lower than the average of these elements in other coastal areas, whereas Al_2O_3 , MgO , TFe_2O_3 and heavy metal elements are higher. Grain size of surface sediments, input of surrounding rivers and human activities are the main reasons for the element distribution pattern.

Key words: surface sediments; main elements; trace elements; Shandong Peninsula