

中国近海沿岸泥的地球化学特征及其指示意义

赵一阳¹ 鄢明才² 李安春¹ 高 抒^{1,3} 贾建军¹

(1.中国科学院海洋研究所,山东 青岛 266071;

2.国土资源部地球物理与地球化学勘查研究所,河北 廊坊 102849;

3.南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室,江苏 南京 210093)

提要 :中国海域辽阔,分为渤海、黄海、东海和南海4个海区。各海区沿中国大陆均有呈斑块状或条带状的泥质沉积分布。选取各沿岸泥的代表性样品,采用先进的XRF和ICP-MS等方法,测定了K、Li、Rb、Cs、Mg、Ca、Sr、Ba、Al、Fe、Ti、Be、Nb、Ta、W、Sn、Bi、La、Ce、Th。元素的地球化学研究表明:渤海和黄海、东海、南海沿岸泥的地球化学特征分别与黄河、长江、珠江沉积物的地球化学特征一致,显示了元素的物源效应;从渤海到南海,由于气候的变化使沿岸泥中某些元素有所流失或富集,显示了元素的气候效应;中国沿岸泥元素的丰度相对接近中国大陆沉积物的丰度,而不同于西太平洋褐色粘土和深海粘土的丰度,显示了元素的亲陆性。

关键词 :泥质沉积;元素地球化学;中国近海

中图分类号 :P737 文献标识码 :A 文章编号 :1000-3657(2002)02-0181-05

中国大陆架浅海表层沉积物分布的基本模式是泥与砂的镶嵌结构图案(图1),即在晚更新世末次盛冰期低海面时形成的粗粒“残留砂”之上;“镶嵌”着若干现代细粒泥质沉积斑块或条带,泥与砂之间呈现“过渡”的粉砂。尽管早期的砂有现代物质加入或受现代水动力的改造,但基本未改变原来固有的“面貌”,此即“残留”之意。其中特别值得注意的是,沿中国大陆近岸,从北向南,从渤海到南海,断续分布着若干块状泥及条带状泥,其形成分别与中国三大水系黄河、长江、珠江的物质供应有关。由于物源及其所处气候环境的不同,自然使这些泥质沉积分别具有独特的地球化学差异。本文旨在查明这些泥的某些地球化学特征,并进而探讨其指示意义。

1 样品

渤海沿岸泥,主要分布于黄河口至渤海湾一带(图1,下同);黄海沿岸泥主要分布于山东半岛北岸、南岸以及苏北老黄河口;东海沿岸泥是指分布于长江口和浙、闽沿岸的泥;南海沿岸泥是指分布于珠江

口的泥和北部湾东北部的泥。

样品的选取大致按各沿岸泥的面积大小选取样品数,为使其具有可比性和代表性。在渤海沿岸泥选取样品10个,黄海沿岸泥8个,东海沿岸泥16个和南海沿岸泥14个,共48个样品做化学分析。

2 测试方法与结果

采用先进的X射线荧光光谱法(XRF)测定了K、Mg、Ca、Sr、Ba、Rb、Al、Fe、Ti、Nb、Th;采用等离子体质谱法(ICP-MS)测定了Li、Rb、Cs、Sr、Ba、Be、Ti、Nb、Ta、W、Sn、La、Ce、Th;采用原子荧光光谱法(AF)测定了Bi。重复测定和标准样检验,除Be外所有元素测定的相对误差均为<5%;仅Be为<9%。各样品测定的结果见表1。

3 讨论与结论

大陆架陆源碎屑沉积物中化学元素含量的变化遵从“元素的粒度控制律”^[1],即大多数元素的含量随粒度变细(砂→粉砂→泥)而升高;少数元素的含

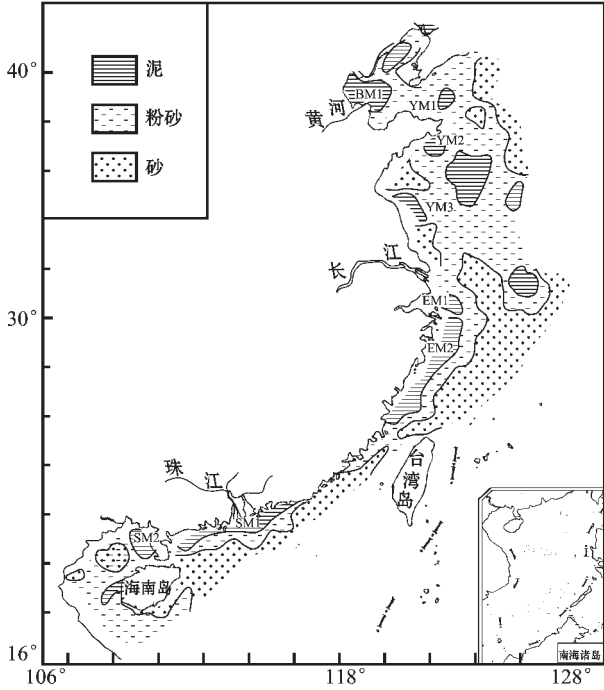


图1 中国浅海沉积物分布简图

Fig. 1 Distribution of shallow-sea sediments of China
 BM1—黄河口泥 ;YM1—山东半岛北岸泥 ;YM2—山东半岛南岸泥 ;YM3—老黄河口泥 EM1—长江口泥 EM2—浙、闽沿岸泥 ;SM1—珠江口泥 ;SM2—北部湾东北部泥

量随粒度变细而降低 ;个别元素的含量随粒度变细先升后降而在中等粒度粉砂中达到最大值。为了避免粒度对元素地球化学特征的影响 ,故笔者特选定同类粒度的沿岸泥进行地球化学的研究。

制约大陆架沉积物地球化学特征的因素除了元素本身的地球化学性质外 ,最显著的莫过于物源和气候因素等 ,这些在中国沿岸泥中有充分的体现。

大陆架浅海沉积物的物源基本是来自入海河流的输沙 ,以及海岸带大陆岩石的风化侵蚀。中国大陆架浅海沉积物主要来源于黄河、长江和珠江。黄河输沙量居世界河流之首 ,每年约 $10 \times 10^8 t$;长江为世界第三大河 ,每年输沙约 $5 \times 10^8 t$;珠江每年输沙近 $1 \times 10^8 t$ 。

分布于黄河口至渤海湾一带的渤海沿岸泥 ,其物源基本来自黄河已是不争的事实。分布于山东半岛北、南两岸及老黄河口的黄海沿岸泥 ,历经多年的系统研究^[2-3] ,同样认为是主要来自黄河 ,即黄河泥沙大部分沉积于渤海后 ,一少部分在沿岸流输送下 ,沿山东半岛北、南两岸沉积成泥。分布于长江口和浙、闽沿岸的东海沿岸泥 ,是长江入海物质在南

下的沿岸流输送下顺岸沉积而成^[4]。在南海分布于珠江口的泥无疑是源自珠江 ,分布于北部湾东北角的泥主要源自珠江分支水系及海岸的风化侵蚀物质^[5]。显然 ,渤、黄海沿岸泥的主要物源同属黄河 ,东海沿岸泥的主要物源是长江 ,而南海沿岸泥的主要物源是珠江。

从元素的丰度(表2)比较可知 ,中国沿岸泥从北向南 ,从渤海到南海 ,一些元素的丰度依次降低或有降低的趋势 ,如Ca、Sr、Ba、K、Mg等(图2) ,相反 ,另一些元素的丰度依次升高或有升高的趋势 ,如Nb、Ta、W、Sn、Bi、Be、La、Ce、Th、Li、Rb等(图3) ,而这种地球化学特征恰与从黄河、长江到珠江沉积物中这些元素丰度的变化趋势相一致(图4、5) ,充分体现了元素的物源效应^[6]。

除了物源效应外 ,气候效应也不容忽视^[7]。渤、

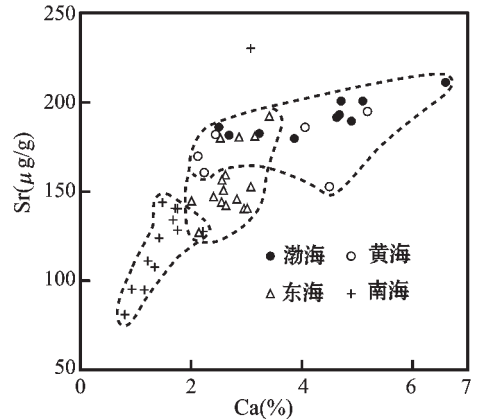


图2 中国沿岸泥Ca—Sr散点图

Fig. 2 Ca—Sr scatter diagram of coastal muds of China

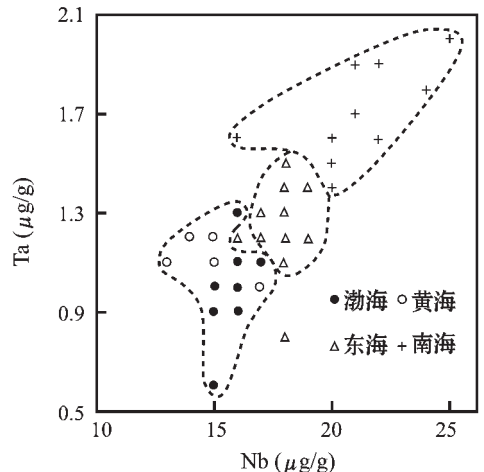


图3 中国沿岸泥Nb—Ta散点图

Fig. 3 Nb—Ta scatter diagram of coastal muds of China

表 1 中国近海沿岸泥化学元素含量(μg/g)

Table 1 Contents(μg/g) of elements in muds along the coast of China

海区	样号	化 学 元 素																			
		K	Li	Rb	Cs	Mg	Ca	Sr	Ba	Al	Fe	Ti	Be	Nb	Ta	W	Sn	Bi	La	Ce	Th
渤海沿岸泥	BM1-1	2.24	55	128	11.6	1.65	3.25	182	499	8.03	4.60	0.44	2.6	17	1.1	1.9	3.2	0.62	36	77	13.4
	BM1-2	2.39	54	122	11.8	1.65	4.94	190	491	7.74	4.46	0.43	2.4	16	1.0	2.2	2.3	0.58	35	74	13.6
	BM1-3	2.27	48	127	n	1.62	4.74	193	750	7.43	4.13	0.42	2.1	16	1.1	2.0	1.9	n	38	84	14.5
	BM1-4	2.41	52	118	11.2	1.62	4.76	201	459	7.57	4.31	0.42	2.4	16	1.0	2.0	2.7	0.52	34	73	12.8
	BM1-5	2.45	54	142	11.0	1.60	3.91	180	483	7.73	4.40	0.43	2.1	16	1.3	2.2	2.3	0.50	43	90	16.0
	BM1-6	2.28	45	108	9.9	1.69	6.67	211	444	7.44	4.31	0.39	1.8	15	0.6	2.4	1.2	0.55	36	75	14.5
	BM1-7	2.08	42	103	9.8	1.59	5.16	201	528	7.02	n	0.39	2.1	15	0.9	2.0	2.9	0.45	32	68	11.8
	BM1-8	2.37	52	116	10.0	1.50	2.70	182	466	7.64	4.05	0.43	2.4	15	0.9	2.0	3.9	0.50	37	71	12.5
	BM1-9	2.22	46	113	10.7	1.64	4.69	192	489	7.36	4.03	0.40	2.5	15	1.0	1.9	2.8	0.52	37	79	13.8
	BM1-10	2.27	41	95	8.1	1.46	2.52	186	432	7.45	3.64	0.41	1.9	16	0.9	1.8	4.4	0.39	34	68	11.6
	平均	2.30	49	117	10.5	1.60	4.33	192	504	7.54	4.21	0.42	2.2	16	1.0	2.0	2.8	0.51	36	76	13.5
黄海沿岸泥	YM1-1	2.27	51	109	9.6	1.51	2.15	170	450	7.35	3.83	0.42	2.6	15	1.1	2.2	3.6	0.38	35	70	11.8
	YM1-2	2.48	n	122	9.1	1.85	2.26	161	500	8.62	3.83	0.43	2.4	17	1.0	3.9	n	n	38	72	12.0
	YM2-1	2.02	40	100	8.5	1.33	2.47	182	420	6.54	3.30	0.38	2.3	15	1.0	1.8	3.2	0.35	34	67	11.1
	YM2-2	n	66	140	11.7	n	n	190	578	n	n	0.49	3.0	14	1.2	2.8	4.0	n	46	95	15.4
	YM2-3	n	52	117	9.2	n	n	189	508	n	n	0.45	2.5	13	1.1	3.0	3.4	n	40	83	13.4
	YM3-1	2.12	45	109	11.1	1.54	5.24	195	480	6.96	3.84	0.40	2.3	15	1.0	1.7	2.6	0.50	37	75	13.6
	YM3-2	1.98	39	104	7.5	1.43	4.10	186	390	6.39	3.36	0.39	2.2	15	1.2	1.6	3.1	0.32	38	81	13.7
	YM3-3	2.05	44	102	9.3	1.56	4.57	153	400	6.80	3.76	0.41	2.1	15	1.1	2.2	3.6	0.50	41	75	13.2
平均	2.15	48	113	9.5	1.54	3.47	178	466	7.11	3.65	0.42	2.4	15	1.1	2.4	3.4	0.41	39	77	13.0	
东海沿岸泥	EM1-1	2.38	50	134	11.6	1.54	2.97	141	470	8.25	4.73	0.56	2.7	19	1.4	1.6	3.8	0.65	41	79	14.9
	EM1-2	2.18	n	112	9.5	1.51	3.18	181	410	7.39	3.97	0.45	2.8	16	1.2	1.5	4.0	0.52	38	70	13.2
	EM2-1	2.03	41	100	7.4	1.31	2.89	181	440	6.38	3.43	0.40	2.5	15	0.9	1.6	3.4	0.40	33	62	10.6
	EM2-2	2.49	59	136	11.5	1.53	3.03	141	440	8.29	4.85	0.55	3.2	18	1.3	3.2	3.8	0.55	39	74	13.7
	EM2-3	2.63	58	144	11.6	1.42	2.84	145	420	9.08	5.30	0.53	2.9	19	1.2	2.0	3.8	0.68	40	73	14.0
	EM2-4	2.44	58	131	11.4	1.41	3.44	192	430	8.24	4.32	0.44	3.0	16	1.0	1.8	3.5	0.50	36	73	13.3
	EM2-5	2.52	63	127	11.2	1.77	3.11	152	390	8.48	4.69	0.51	2.9	18	1.1	1.7	4.0	0.62	37	71	13.6
	EM2-6	2.74	70	153	12.4	1.75	2.62	159	460	8.97	4.65	0.48	2.9	18	0.8	1.7	3.7	0.65	38	82	15.3
	EM2-7	2.36	57	126	10.0	1.58	2.65	142	400	7.98	4.32	0.49	2.2	18	1.2	1.6	3.8	0.58	39	83	14.7
	EM2-8	2.74	70	144	12.9	1.74	2.56	145	430	8.97	4.69	0.50	2.8	18	1.5	1.6	3.6	0.60	39	78	14.2
	EM2-9	2.72	69	155	13.2	1.78	2.17	127	430	9.42	5.04	0.51	2.8	18	1.4	2.0	3.8	0.70	43	88	16.2
	EM2-10	2.69	73	149	12.4	1.38	2.42	147	430	9.25	5.34	0.51	3.0	17	1.3	1.9	4.0	0.58	41	85	15.4
	EM2-11	2.45	69	146	12.0	1.46	2.58	156	420	8.23	4.63	0.50	2.2	17	1.2	1.6	3.6	0.60	41	84	15.6
	EM2-12	2.63	69	141	11.9	1.72	2.60	150	430	8.84	4.64	0.51	2.2	18	1.4	1.9	4.0	0.62	40	77	14.6
	EM2-13	2.08	58	123	9.0	1.23	2.54	180	410	7.00	3.67	0.44	2.2	18	1.2	1.7	4.8	0.50	39	80	13.6
EM2-14	2.59	72	138	11.6	1.27	2.02	145	440	8.95	5.15	0.49	3.0	18	1.2	1.8	3.3	0.55	38	76	14.3	
平均	2.48	62	135	11.2	1.53	2.73	155	428	8.36	4.59	0.49	2.7	18	1.2	1.8	3.8	0.58	39	77	14.2	
南海沿岸泥	SM1-1	2.05	51	133	n	1.03	0.93	95	360	9.26	5.10	0.30	3.7	25	2.0	5.4	6.5	1.20	53	95	19.2
	SM1-2	2.14	56	134	11.8	1.91	1.44	124	350	8.51	4.92	0.52	3.0	21	1.9	3.2	5.1	0.82	47	93	19.4
	SM1-3	2.14	62	138	9.2	1.31	1.77	141	370	8.81	3.89	0.45	2.3	20	1.4	2.8	6.1	0.73	45	88	18.7
	SM1-4	1.98	72	134	7.0	1.21	1.69	134	390	8.63	3.87	0.50	2.4	20	1.6	2.6	5.1	0.75	48	91	18.6
	SM1-5	1.71	56	111	8.6	0.97	1.16	95	340	7.50	3.99	n	2.4	24	1.8	3.7	6.7	0.98	40	86	16.5
	SM1-6	2.08	73	129	11.6	1.15	1.23	111	330	8.38	4.64	n	3.0	22	1.9	4.4	5.0	1.30	48	92	18.2
	SM1-7	1.88	64	121	10.5	1.05	1.36	108	330	8.08	4.70	0.58	2.9	21	1.9	2.8	5.2	0.76	46	91	18.8
	SM1-8	1.83	64	115	8.2	1.13	2.23	128	370	7.37	4.10	0.54	2.2	20	1.5	2.4	4.4	0.70	40	82	15.8
	SM1-9	2.04	75	127	9.6	1.14	1.77	129	360	8.82	4.53	n	2.6	22	1.6	2.8	5.3	0.70	45	91	18.1
	SM2-1	1.46	72	99	9.6	1.12	0.81	81	270	7.97	3.56	0.40	2.6	16	1.6	2.5	4.0	0.56	37	75	17.6
	SM2-2	1.50	55	91	8.3	1.13	3.12	230	270	7.04	3.76	0.43	2.6	16	1.0	2.2	3.5	0.60	36	69	13.4
	SM2-3	1.93	68	129	11.8	1.44	1.50	133	330	8.89	4.11	0.51	3.2	21	1.7	2.6	4.9	0.67	44	84	18.0
	SM2-4	1.23	58	122	11.5	1.47	n	127	336	9.35	4.29	0.53	3.3	19	1.2	2.6	4.3	0.69	47	81	16.8
	SM2-5	1.98	70	122	9.3	1.48	1.74	141	380	8.04	3.57	0.48	2.5	20	1.5	2.5	4.1	0.55	41	79	16.1
	平均	1.85	64	122	9.8	1.20	1.60	128	342	8.33	4.22	0.48	2.8	21	1.6	3.0	5.0	0.79	44	86	17.5
中国近海沿岸泥平均	2.21	58	124	10.4	1.44	2.86	159	425	8.01	4.27	0.46	2.6	18	1.3	2.3	3.9	0.61	40	79	14.8	

注: K、Ma、Ca、Fe、Al、Ti 含量为% n 表示未测。

表2 化学元素丰度($\mu\text{g/g}$)
Table 2 Elements abundances($\mu\text{g/g}$)

化学元素	渤海沿岸泥	黄海沿岸泥	东海沿岸泥	南海沿岸泥	中国沿岸泥	中国大陆沉积物 ^[6]	西太平洋褐色粘土 ^[6]	黄河沉积物 ^[6]	长江沉积物 ^[6]	珠江沉积物 ^[6]
K	2.30	2.15	2.48	1.85	2.21	1.80	2.32	1.61	1.83	1.50
Li	49	48	62	64	58	33	63	23	43	26
Rb	117	113	135	122	124	90	103	70	100	93
Cs	10.5	9.5	11.2	9.8	10.4	6.5	9.5	4.0	7.3	7.4
Mg	1.60	1.54	1.53	1.20	1.44	1.21	2.11	0.84	1.33	0.90
Ca	4.33	3.47	2.73	1.60	2.86	2.22	1.43	3.29	2.86	1.66
Sr	192	178	155	128	159	200	240	220	150	100
Ba	504	466	428	342	425	510	3060	540	512	340
Al	7.54	7.11	8.36	8.33	8.01	5.82	7.14	4.87	6.51	6.80
Fe	4.21	3.65	4.59	4.22	4.27	3.15	4.90	2.20	3.85	4.52
Ti	0.42	0.42	0.49	0.48	0.46	0.42	0.44	0.36	0.55	0.65
Be	2.2	2.4	2.7	2.8	2.6	1.9	1.8	1.7	1.9	2.3
Nb	16	15	18	21	18	15	18	15	19	22
Ta	1.0	1.1	1.2	1.6	1.3	1.1	0.8	1.0	1.2	1.7
W	2.0	2.4	1.8	3.0	2.3	1.8	4.9	1.8	1.8	2.0
Sn	2.8	3.4	3.8	5.0	3.9	3.2	4.0	2.5	3.5	4.0
Bi	0.51	0.41	0.58	0.79	0.61	0.28	0.89	0.13	0.42	0.45
La	36	39	39	44	40	37	72	37	40	46
Ce	76	77	77	86	79	75	94	72	78	86
Th	13.5	13.0	14.2	17.5	14.8	12.5	9.0	13.0	12.4	15.0

注：K、Mg、Ca、Al、Fe、Ti单位为%。

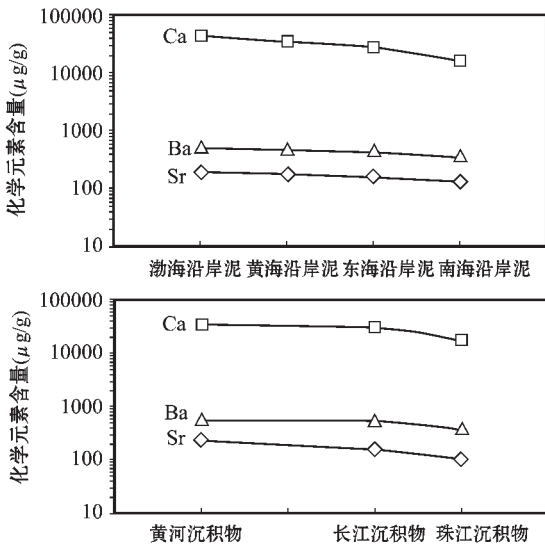


图4 Ca、Sr、Ba元素丰度的变化

Fig. 4 Changes of Ca, Sr and Ba abundances

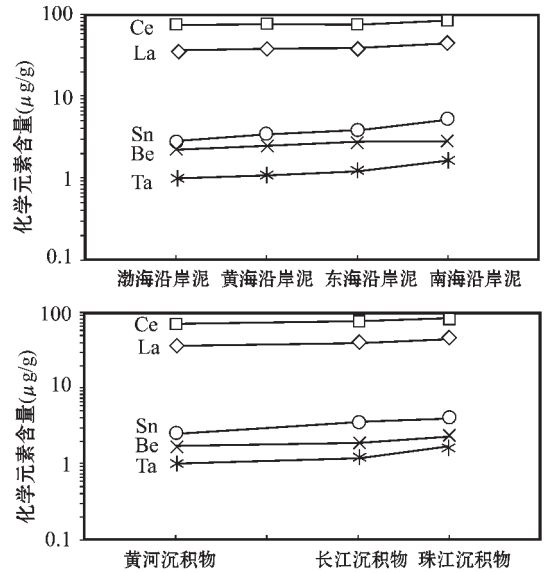


图5 Ta、Sn、Be、La、Ce元素丰度的变化

Fig. 5 Changes of Ta, Sn, Be, La and Ce abundances

黄海地处华北,东、南海地处华南,华北、华南分处不同气候带。华北气温低、雨量少、干寒,风化以物理风化为为主,元素少流失;华南为明显的亚热带和热带气候,温高、雨多、湿热,以化学风化强烈为特色,促使元素迁移与流失。上述中国沿岸泥从北向南丰度趋于降低的一些元素,如K、Mg、Ca、Sr、Ba等,均属易于迁移的碱金属和碱土金属元素,在华南强化学风

化过程中易于流失;而从北向南丰度趋于升高的一些元素,如Nb、Ta、W、Sn、La、Ce、Bi、Be、Th等,均属风化中较稳定、不易迁移的元素,抗风化作用强,因此使之在南海相对富集。另外,珠江沉积物中的Mg、Cs的丰度相对较高,而南海沿岸泥中二者丰度相对较低,这亦说明在华南气候下Mg和Cs在运输—沉积过程中淋失较大。凡此均显示了元素的气候效应。

必须指出的是, Li、Rb 同属较易迁移的元素, 却在南海沿岸泥中相对富集, 这主要是 Li 和 Rb 在华南的区域背景值明显高于华北^[8], 致使珠江和南海沿岸泥中丰度未减而增高。这表明对 Li 和 Rb 而言, 其物源效应大于气候效应。

大陆架沉积物地球化学的特征之一是“元素的亲陆性”^[9], 对此中国沿岸泥亦有所呈现。从所测定的元素看(本文未测某些区别大陆和大洋的指示性元素如 Cu、B、U 等), 中国大陆沉积物元素丰度与中国沿岸泥元素丰度之比值均介于 0.5~1.3; 而西太平洋褐色粘土元素丰度与中国沿岸泥元素丰度之比值介于 0.5~7.2, 超过 1.5 的有 La、W、Sr、Ba, 特别是西太平洋褐色粘土的 Ba 是中国沿岸泥的 7 倍多。另外, 如与深海粘土^[10]相比, 二者元素丰度比值介于 0.4~5.4, 其中深海粘土的 La、Ce 和 Ba 分别是中国沿岸泥的 3 倍、4 倍和 5 倍。这表明中国沿岸泥元素的丰度相对接近中国大陆沉积物元素的丰度, 而有别于大洋深海粘土元素的丰度, 显示了元素的亲陆性。

综上所述, 中国沿岸泥的地球化学变异特征显示了元素的物源效应、气候效应和亲陆性。

参考文献:

- [1] 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式[J]. 地质科学, 1983 (4): 307~314.
- [2] 秦蕴珊, 李凡. 黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 125~135.
- [3] Zhao Yi-yang, Park Y A, Qin Yun-shan, et al. Material source for the Eastern Yellow Sea Mud: evidence of mineralogy and geochemistry from China-Korea joint investigation[J]. The Yellow Sea, 2001, 7(1): 22~26.
- [4] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1~290.
- [5] 中国科学院南海海洋研究所海洋地质研究室沉积组. 南海北部大陆架表层沉积物特征[J]. 南海海洋科学集刊, 1980, (1): 35~50.
- [6] 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. 1~203.
- [7] Zhao Yi-yang and Yan Ming-cai. Geochemical record of the climate effect in sediments of the China Shelf Sea[J]. Chemical Geology, 1993, 107: 267~269.
- [8] 鄢明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 1~292.
- [9] Zhao Yi-yang, Yan Ming-cai and Jiang Rong-hua. Abundance of chemical elements in continental shelf sediments of China[J]. Geo-Marine Letters, 1995, 15: 71~76.
- [10] Turekian K K and Welephol K H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust[J]. Geol. Soc. Amer. Bull., 1961, 72(2): 175~192.

Geochemistry of muds along the coast of China and their significance

ZHAO Yi-yang¹, WU Ming-cai², LI An-chun¹, GAO Shu^{1,3}, JIA Jian-jun¹

(1. Oceanographic Institute, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, Shandong, China;

2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Ministry of Land and Resources, Langfang 102849, China;

3. Key Laboratory of Coast and Sea Island Development of the Ministry of Education, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: Four sea areas may be distinguished in China; they are the Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea and South China Sea. Muddy sediments are distributed as patches or bands along the continent of China in the four sea areas. Representative samples of muds were taken from their coasts and they were analyzed by XRF and ICP-MS methods for K, Li, Rb, Sc, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, Fe, Ti, Be, Nb, Ta, W, Sn, Bi, La, Ce and Th. The element geochemistry indicates that the geochemical characteristics of the muds along the coasts of the Bohai Sea and Yellow Sea, East China Sea and South China Sea are consistent with those of the sediments of the Yellow River, Yangtze River and Pearl River respectively, showing the material source effect of the elements. From the Bohai Sea to South China Sea, some elements in the coastal muds lose or are enriched more or less owing to the climatic change, showing the climatic effect of the elements. The element abundances in the muds along the coast of China are close to those in sediments in the continent of China but different from those of brown clays and abyssal clays in the western Pacific Ocean, showing the continental affinity of the elements.

Key words: muddy sediments; element geochemistry; offshore of China