莱州浅滩表层沉积物元素地球化学特征及物源识别

岳 伟,金秉福

(鲁东大学 地理与规划学院,山东 烟台 264025)

摘要:使用电感耦合等离子体质谱仪对采自菜州浅滩表层沉积物悬浮组分进行研究,从地球化学角度 分析了6种常量元素质量分数、24种微量元素质量比特征及它们与黄河细粒沉积物的联系。研究表明: 菜州浅滩所取的7个样品东西两侧略有差异,元素质量分数的变异系数较小,样品间变化不明显,同 源性和整体性显著。同黄河沉积物相比,菜州浅滩细粒泥沙Al,Fe,Ca,K,Mg和部分金属元素Cu,Zn 质量分数略高,大多数微量元素质量比略低,两者大多数元素的判别系数绝对值较低,标准偏差比值 也较小,经过Al标准化处理后,各元素对比值变化趋势较一致,表现出较强的相似性。黄河细颗粒沉 积物可以通过余流、环流扩散迁移至整个渤海,而菜州浅滩所处地理位置及水文环境为黄河悬浮泥沙 提供了良好的沉积条件,黄河泥沙的沉积使浅滩细粒沉积物表现出了黄河沉积物的元素特征,而两者 细微差异可能与附近河流输沙、元素迁移方式及人类活动影响有关。通过菜州浅滩表层沉积物与黄河 样各元素地球化学特征对比分析可以为探索黄河的入海悬浮组分在海域中的混合及扩散提供参考。

关键词:细粒沉积物;元素地球化学;物源;莱州浅滩;黄河 中图分类号:P56;P596 文献标识码:A 文章编号:1000-3096(2012)02-0088-08

莱州浅滩位于莱州湾东部的刁龙嘴西北近岸海 域、为山东半岛北岸规模最大的近岸水下堆积地 貌(图 1)。有关浅滩泥沙来源问题的研究、许多学者 在沉积动态和地貌演变^[1]、沿岸潟湖沉积演化^[2]及海 岸发育变化^[3]等方面做了较详细的工作,一致认为 浅滩泥沙来源于山东半岛西北部王河、界河等河流 输送、这些河流输沙对浅滩形成的贡献毋庸置疑。龙 口至刁龙嘴段为 NE~SW 走向, 由于浅滩所处的水文 条件、在偏北波浪作用下沿岸河流搬运入海的泥沙 可以形成龙口至刁龙嘴段由东北向西南运动的沿岸 纵向泥沙流、到达刁龙嘴并堆积。虽然近源陆地泥沙 对浅滩形成至关重要,但也不能忽视黄河细粒泥沙 通过扩散参与其形成过程。由于浅滩所处的莱州湾 位于渤海南部、为一半封闭性海湾、注入渤海的黄 河是世界著名的高携沙率大河、每年携带数亿吨的 细粒沉积物入海、其中约 9%~15%的细粒沉积物向 东运移^[4],这些大量的入海物质对我国大陆架浅海 沉积作用有着巨大贡献^[5]。黄河细粒泥沙扩散范围很 广,可以通过渤海沿岸流的作用,在山东半岛北岸 沿途沉积^[6],可能对莱州浅滩的形成产生影响。虽然 莱州浅滩泥沙来源于流域河流输送已得到许多学者 一致认可、但尚未从元素地球化学角度对其成因和

物质来源等做进行进一步的研究, 需要从物质来源 的微观方面寻找更有力的证据。本文通过对莱州浅 滩粉砂级以下级细(<0.063 mm)表层沉积物元素地球 化学研究, 将其与现代黄河沉积物元素组成进行比 较, 分析常量及微量元素不同迁移及富集规律, 进 一步探讨区域地质构造背景、元素迁移以及人类活 动等因素对两者差异的影响, 并通过分析沉积动力 环境及搬运途径确定浅滩沉积物的来源。

1 样品采集与实验方法

2008 年在莱州浅滩用抓斗和箱式取样器进行了 沉积物取样,样品均为 0~10 cm 的表层样。所采样品 在实验室内用蒸馏水充分浸泡,清洗去除盐分,运 用沉降法提取小于 0.063 mm 粒级的全岩样,在 60℃低温环境下烘干,送至青岛海洋地质研究所实 验测试中心,采用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP~MS)测定沉积物的元素质量分数。为监控测试

海洋科学 / 2012 年 / 第 36 卷 / 第 2 期

收稿日期: 2011-04-20; 修回日期: 2011-11-15

基金项目: 国家海洋局海洋沉积与环境地质重点实验室开放基金项 目(MASEG200803)

作者简介: 岳伟(1986-), 男, 安徽蚌埠人, 硕士在读, 研究方向:河口 海 岸 过 程 与 自 然 环 境, E-mail: yuexiyuan@126.com, 电 话: 13455577250; 金秉福, 通信作者, E-mail: bfjin@126.com

精度与准确度,对样品进行了重复测试,绝大多数 测定元素的相对偏差小于 5%,表明测数据准确可 靠。



2 浅滩表层沉积物元素组成

莱州浅滩细粒沉积物常量元素 Al, Ca, K, Mg, Na, Fe 等质量分数较高,均在 1%~6%,其中 Al 质量 分数最高, Mg 质量分数最低;微量元素方面, Ti, Mn, Ba, Sr 质量比较高,均在 100 μg/g 以上,依次减小, 而 Sc, Be, Mo, U, W, Cd 等质量比偏低,均不足 10 μg/g。所取的 7 个样品间变化较小,30 个元素中只 有 4 个元素的变异系数超过 20%,大多数元素变异 系数在 10%左右。为了对莱州浅滩表层沉积物元素 特征进行分析,列出了莱州浅滩 7 个表层细颗粒沉 积物 6 种常量元素的质量分数及 24 种微量元素的质 量比(表 1)。

为了消除沉积物粒级以及实验系统误差对元素 质量分数的影响,采用元素比值来最大限度降低沉 积物粒级对元素质量分数的影响。最常用的是元素 与 Al 的比值,因为 Al 在沉积物形成过程中相对稳定 且主要富集在黏土粒级中^[7]。同时为便于同黄河表层 细颗粒沉积物进行对比研究,用判别函数 $F_{\rm D}$ 来判断 两者的相似程度。判别函数 $F_{\rm D}$ 的计算公式如下^[8]: $F_{\rm D} = (C_{\rm q} - C_{\rm h}) / C_{\rm h}$ (式中 $C_{\rm q}$, $C_{\rm h}$ 分别表示浅滩、黄河沉 积物中某种元素质量分数同 Al 质量分数的比值)。一 般而言, $F_{\rm D}$ 绝对值越小说明浅滩沉积物化学元素成 分越接近黄河组分,越大则越偏离黄河沉积物成分。 表 2 列出了浅滩具有代表性的 25 个元素平均质量分 数同 Al 质量分数的比值、判别系数、标准偏差并计 算了莱州浅滩沉积物各元素标准差与黄河样的比值。

2.1 莱州浅滩元素特征

所取 7 个莱州浅滩表层沉积物元素质量分数波 动较小(表 1),同源性显著,但它们之间也有细微的 差异、表现为西部样品大多数元素平均质量分数高 于东部。西部样品编号为 E02, F02, G04, H05 和 J03, 东部样品编号为 D08, F10。西部样中 H05 大部分元 素质量分数较高、共计21个元素质量分数为最高值、 占所测元素的 70%; 邻近采样点 H05 西北处的 G04 采样点绝大多数元素质量分数微低于 H05, 仅个别 元素质量分数为最高值;东部两个样品 D08 和 F10 大多数元素质量分数较西部样品普遍较低。虽然浅 滩7个样品元素质量分数具有差异、但变化微小、其 较小变异系数可以反映。浅滩 30 个元素中只有 4 个 元素的变异系数超过 20%, 大多数元素变异系数在 10%左右, 说明莱州浅滩元素质量分数比较集中稳 定,样品间相似性显著。因此,可将它们的均值作为 莱州浅滩的整体同其他样品进行比较。

2.2 莱州浅滩沉积物同黄河样比较

取莱州浅滩 7 个样品的均值同黄河表样品数据 进行比较,发现浅滩沉积物常量元素普遍略高,其 中 Al, Fe, Ca, K, Mg 质量分数略高于黄河样, Na 几 乎相等。6 个常量元素的判别系数均不高, *F*_D 介于 0.2~0.34,两者经 Al 标准化处理后的比值趋势图一 致(图 2)。此外,两者标准差比值较小,均在一个数 量级内变化。常量元素这些特征均反映出两者具有 一定的相似性。

同黄河沉积物相比, 莱州浅滩微量元素的质量 比普遍略微低于后者, 有 14 种元素质量分数经 Al 标准化处理后的比值偏小, 占所有微量元素的 70%, 只有个别元素如 Cu 和 Zn 偏大。在判别函数方面, V, Ga, Ba, Pb 和 Th 大于 0.3, 其余的 15 种微量元素均 在 0.15 左右, 其中稀有元素 Li, Be, Sc 以及稀土元素 La, Ce, Y 绝对值接近 0, 显示出了两者间很强的相似 性。两者微量元素 Al 标准化处理后比值的趋势线基 本一致也直观反映了这一点。在标准差方面, 莱州浅 滩与黄河样也很接近, 两者标准差比值均在一个数 量级内变化。其中最大值小于 5, 有 14 种元素的标 准差小于 2.0, 占所有微量元素的 70%, 有 9 种元素 小于 1.0。标准差的相似反映出微量元素在莱州浅滩 中的质量比变化同黄河中的相近。

与此同时,为了验证 A1 比值法结果,还将浅滩

《 】 木川//// 体化/ 一/ 小// 生// 以及文开示	表 1	莱州浅滩表层样元素质量分数及变异系数
--	-----	--------------------

Tab. 1 Elemental contents and discriminant indexes of the sediments from the Laizhou Shoal

		平均	变异						
兀系	D08	F10	E02	F02	G04	H05	J03		系数
Al*	6.33	6.15	6.68	5.83	7.09	7.72	5.94	6.53	9.66
Ca*	3.13	2.92	4.11	3.19	4.34	4.70	3.67	3.72	16.87
K*	2.12	2.05	2.15	2.01	2.25	2.50	1.95	2.15	7.91
Mg*	1.21	1.09	1.44	1.01	1.58	1.79	1.18	1.33	19.76
Na*	1.76	1.76	1.47	1.78	1.73	1.60	1.66	1.68	6.29
Fe	2.85	2.80	3.34	2.42	3.62	4.24	2.75	3.15	18.43
V	68.46	68.51	81.11	59.83	86.21	100.10	68.66	76.13	16.76
Mn	612.7	586.4	598.4	483.4	637.5	697.2	531.4	592.4	10.90
Ti	3522.6	4110.6	3694.5	3196.8	3832.2	3791.4	3528.0	3668.0	7.31
Cr	55.61	63.86	65.55	51.35	71.84	79.24	58.92	63.77	13.93
Co	10.26	9.87	11.99	8.93	12.96	15.56	9.81	11.34	18.95
Ni	24.19	25.06	29.63	20.67	32.23	38.45	23.37	27.66	20.60
Cu	30.08	29.92	29.37	19.32	32.36	38.44	22.20	28.81	20.42
Zn	83.86	83.70	83.78	74.56	94.79	109.80	66.52	85.29	15.13
Cd	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.18	0.10	0.16	23.82
Pb	29.41	27.60	24.21	20.82	26.21	28.96	21.16	25.48	12.81
Ga	15.84	15.76	16.36	14.64	17.17	18.95	14.92	16.23	8.37
Li	33.37	30.89	41.42	28.14	44.89	55.75	31.71	38.02	24.00
Be	1.76	1.70	1.90	1.62	2.07	2.34	1.62	1.86	13.20
Sc	9.87	9.79	11.92	8.42	12.75	14.86	9.83	11.06	18.58
Ba	515.7	531.5	447.6	506.4	474.2	459.1	478.9	487.6	5.93
Sr	195.4	207.3	184.7	200.2	195.3	190.1	191.9	195.0	3.55
Rb	99.1	93.3	111.4	90.9	117.0	136.3	92.7	105.8	14.72
Mo	0.52	0.51	0.52	0.42	0.55	0.65	0.53	0.53	12.14
W	1.71	1.81	2.11	1.54	1.91	2.12	1.70	1.84	10.94
Th	10.71	12.60	13.14	8.52	13.06	14.31	11.23	11.94	15.00
U	2.26	2.54	2.48	1.92	2.62	2.81	2.43	2.44	10.87
La	32.75	40.00	37.00	26.97	37.94	39.30	34.65	35.52	11.85
Ce	66.23	76.76	71.09	50.13	73.85	76.48	67.91	68.92	12.37
Y	21.29	23.70	24.04	17.86	24.93	26.25	23.19	23.04	11.03

注: 有*的表示常量元素, 没有*的表示微量元素

7 个样品及黄河样品中一些表生地球化学环境中比 较稳定能作物源示踪的元素 Cr 与 Sc, Th 与 Co 进行 比较, 计算 w(Cr)/w(Sc)和 w(Th)/w(Co)(其中 w(Cr), w(Sc)、w(Th)和 w(Co)分别代表这些元素的质量比) 的数值作二元散点图(见图 3)。图 3 中显示浅滩沉积 物和黄河样的元素比值散点基本分布于一条直线, 说明浅滩微量元素在很大程度上接近黄河沉积物。

总体而言, 莱州浅滩沉积物常量元素质量分数 略高于黄河沉积物, 微量元素普遍略微低于黄河样。 虽然如此, 这些差异都是细微的, 两者各元素标准 化处理后比值趋势图一致性,稳定元素判别比较图 呈一条直线,标准偏差的相似性同样可以反映出它 们之间的密切联系。

3 讨论

通过上述分析可知, 莱州浅滩表层样元素质量 分数分布具有同源的整体性。同黄河样相比, 浅滩常 量略高, 微量元素略低, 两者之间的相似性反映了 黄河泥沙对浅滩形成的重要影响, 而浅滩周围较弱 的沉积动力环境为黄河泥沙的搬运和沉积提供了良

|--|

Tab. 2 Comparison of elemental contents between the sediments of the Laizhou Shoal and the Yellow River

	平均质量分数(%)		各元素质量分数 比 Al 质量分数		标准偏差(a=0.05)		浅滩标准	浅滩变异 系数比黄河	
元素							偏差比黄		
	浅滩	黄河	浅滩	黄河	浅滩	黄河	河样标准差	样变异系数	
Al	6.53	5.22	1.00	1.00	0.63	0.40	1.56	0.27	
Ca	3.72	2.77	0.57	0.42	0.63	0.16	4.05	0.34	
Κ	21.15	1.62	0.33	0.25	0.17	0.15	1.13	0.33	
Mg	1.33	1.10	0.20	0.17	0.26	0.13	2.04	0.20	
Na	1.68	1.67	0.26	0.26	0.11	0.39	0.27	0.00	
Fe	3.14	2.35	0.48	0.36	0.58	0.19	3.04	0.34	
V	76.13	108.90	11.66	20.86	12.76	14.81	0.86	-0.44	
Mn	592.44	433.60	90.73	83.07	64.48	22.55	2.86	0.09	
Ti	3668.10	3890	561.73	745.21	267.68	283.97	0.94	-0.25	
Cr	63.77	64.77	9.77	12.41	8.88	10.69	0.83	-0.21	
Со	11.34	10.98	1.74	2.10	2.15	1.63	1.32	-0.17	
Ni	27.66	26.71	4.24	5.12	5.70	2.08	2.73	-0.17	
Cu	28.81	17.80	4.41	3.41	5.88	2.05	2.87	0.29	
Zn	85.29	60.33	13.06	11.56	12.90	4.59	2.81	0.13	
Pb	25.48	29.49	3.90	5.65	3.26	2.24	1.46	-0.31	
Ga	16.23	20.33	2.49	3.89	1.36	2.66	0.51	-0.36	
Li	38.02	30.34	5.82	5.81	9.13	5.86	1.56	0.00	
Be	1.86	1.57	0.28	0.30	0.25	0.12	2.11	-0.05	
Sc	11.06	8.49	1.69	1.63	2.05	0.42	4.94	0.04	
Ва	487.62	663.2	74.67	127.05	28.63	112.74	0.25	-0.41	
Sr	194.96	186.6	29.86	35.75	6.75	13.06	0.52	-0.16	
Мо	0.53	3.38	0.08	0.65	0.06	1.46	0.04	-0.87	
Th	11.94	18.51	1.83	3.55	1.79	5.16	0.35	-0.48	
La	35.52	29.23	5.44	5.60	4.21	2.63	1.64	-0.03	
Ce	68.92	54.50	10.55	10.44	8.53	5.12	1.66	0.01	
Y	23.04	20.75	3.53	3.98	2.54	2.72	0.94	-0.11	

注: 黄河样元素平均质量分数及标准偏差数据来自文献[7]



图 2 浅滩、黄河沉积物中各元素质量分数 Al 标准化后比较

Fig. 2 Comparison of elemental contents normalized with Al between the sediments of the Laizhou Shoal and the Yellow River
 其中 V, Mn, Cr, Zn, Ba, Sr 和 Ce 质量分数 Al 标准化后的比值投影在右侧的 Y 轴, 其余元素同左侧 Y 轴对应
 V, Mn, Cr, Zn, Ba, Sr and Ce content in Al ratio of normalized project on the right Y-axis, and the remaining elements project on the left Y-axis

Marine Sciences / Vol. 36, No. 2 / 2012





Fig. 3 Discrimination plots of Th/Co vs. Cr/Sc in the sediment from the Laizhou Shoal or the Yellow River

好的条件。虽然如此,由于浅滩的区域地质构造背 景、部分元素的迁移富集以及人类活动等因素的作 用也使得两者出现了细微差异,以下就这些方面进 行分析。

3.1 沉积物来源探讨

莱州浅滩顶部为粗砂,向东北依次为粗砂、中 砂、细砂、粉砂质砂,向西南依次为粗砂、中砂、细 砂、泥质细砂;沉积物中值粒径为 1*Φ*~4*Φ*,呈 SE~NW 向展布的等值线分布密集,从东南向西北和 从滩顶向两侧由粗变细^[9]。浅滩较粗粒级的沉积物来 源于沿岸河流输沙毋庸置疑,而通过上述对莱州浅 滩细颗粒沉积物地球化学分析,也验证了其与黄河 沉积物有密切联系,两者的元素差异主要由于莱州 浅滩区域地质构造背景、部分元素迁移富集以及人 类活动等造成的。

3.1.1 区域地质构造背景

众所周知黄河泥沙的主要来源于黄土高原,大 约 90%的黄河泥沙来源于此地^[10],由于黄土高原独 特的自然地理条件,Ca,Na,K质量分数较高,使得黄 河泥沙中这些元素也很高^[11]。虽然黄河常量元素质 量分数较高,但莱州浅滩常量元素 Al,Fe,Ca,K,Mg 比黄河表层沉积物略高。这是由于莱州浅滩所处的 区域构造背景为胶东隆起区,新生代在断块抬升过 程中,发育着一系列与郊庐断裂带方向一致的 NNE 向断裂和大量近于同向展布的花岗岩质及变质岩体, 形成了以元古界片麻岩类、混合岩、混合花岗岩或 中生代花岗岩构成的破碎丘陵及山前低缓起伏的剥 蚀平原为主的地貌,沿岸均为基岩或砂石海岸^[12]。而 这些大面积出露的岩浆岩(花岗岩)及变质岩(片麻岩) 都含有富含 K, Al, Ca, Fe 和 Mg 的硅酸盐,如长石 类、云母类和角闪石类矿物,这些矿物经分化容易形 成细颗粒的黏土,随着周围河流混入浅滩,从而增 加了浅滩沉积物的常量元素质量分数。

微量元素方面,大多数元素的标准偏差以及这 些元素经过 Al标准化处理后的比值在浅滩与黄河沉 积物中十分接近,稀有元素 Li, Be, Sc 以及稀土元素 La, Ce,Y 几乎没有差异。这是由于沉积物微量元素 往往赋存于重矿物中,黄河物源碎屑沉积物以云母~ 普通角闪石~绿帘石组合为特征,富含黑云母,高的 黑云母/白云母值^[13],而莱州浅滩重矿物主要矿物为 普通角闪石,次要矿物为绿帘石,黑云母、水黑云母 的质量分数也偏高,只含有微量的白云母^[14],组合 特征高度相似重矿物导致两则微量元素质量比差异 非常微小。

3.1.2 元素化学性质及迁移富集方式

不同元素物理化学性质不同,其风化、迁移及富 集方式也有差异,这也是导致莱州浅滩与黄河沉积 物部分元素分布差异的因素之一,这些元素包括 Sr, Ba, Fe, Mn, V 等。Sr 与 Ca 为同族元素,化学性质相 似,在表生地球化学环境中两者具有相似的迁移、富 集行为,按照正常情况均在粗粒级沉积物中富集^[7], 两者质量比通常呈正相关关系^[15]。但与 Ca 的增加不 同,莱州浅滩样中 Sr 却出现了减少。这因为所取浅 滩沉积物颗粒较细, Ca 可以通过生物自生作用替代 其中的 Sr,使得其溶解至海水中。同一族元素的 Ba 也出现了较大幅度的减少,可能由于黄河悬浮泥沙 由于长距离扩散、搬移,在生物的作用下沉淀于黄河 入海口附近大陆架。

铁族元素 Mn 可以在细颗粒沉积物中自生出其 氧化物,由于研究区出露大面积的花岗岩及胶东寒 武纪片麻岩,海水中的 Mn²⁺质量分数相对较高,生 物作用会使 Mn²⁺发生沉淀而被浅滩中的细颗粒泥沙 所吸附,从而导致 Mn 质量分数的增加。但由于 Mn 的生物自生作用主要发生在矿物间隙较大的沉积物, 而所取样品为细颗粒,因此 Mn 只有少量的增加。此 外,铁族元素 V 质量分数相对黄河样品亏损较大, 这是由于区域黏土矿物、土壤或者沉积物中的有机 质等细分散相物质对其吸附作用,容易使其沉淀而 在表生环境中不能被长距离搬运造成的^[16]。莱州浅滩 其他微量元素相对黄河沉积物出现的略微的增减可能 由于黄河泥沙入海后长时间,长距离迁移造成的。

3.1.3 人类活动的影响

莱州浅滩金属元素与黄河沉积物相比增加幅度

较大,可能与浅滩近岸河流输沙以及沿岸人类活动 向海洋倾污有关。金属元素是近海环境中最主要的 污染物之一、进入海洋的金属元素污染物绝大部分 富集在沉积物中, 沉积物被认为是海洋环境中金属 元素最终的蓄积。由于浅滩所在的莱州湾沿海人口 密集、经济发展迅速、工业厂矿众多, 王河、界河、 宋桥河、诸流河等大小河流的注入使得莱州湾附近 地区废水中大量金属元素均可通过河流进入海水 中。这些金属元素大部分为沉积物吸附并随之沉积 和迁移^[17],主要赋存于细颗粒的粉砂和黏土中^[18]。 由于研究区所取的表层沉积物为粉砂以下级的、所 以亲铜 Cu, Zn 都有较大幅度的增加。常量元素 Fe 质量比增加也可能有一定程度受到人类活动的影 响。尽管如此、浅滩金属元素污染不高、测定质量比 同莱州湾表层沉积物金属元素背景值相当, 小干国 家海洋沉积物质量一类标准,属于低污染水平^[19]。

3.2 沉积动力环境分析

莱州浅滩为两种不同性质潮流海域,浅滩以西 海域为规则半日潮流,以东为不规则半日潮流;其 流速表层值不超过 70 cm/s,底层在 60 cm/s,为莱州 湾弱流速区^[20]。海域强波向和常波向均为北北东,频 率为 12%,平均波高 1.3 m,最大波高 3.9 m;次强浪 向为北西向,频率为 6%,平均波高 1.1 m,最大波高 3.8 m;波浪年平均周期为 4.4,4.5 s^[9]。

总体而言, 浅滩海域沉积动力环境较弱, 但不 同方位的水动力条件有所差异,因顶部水深较浅对 北向的波浪及潮流均会产生阻碍作用、而导致西南 侧其水动力作用弱于东北侧、浅滩东北侧沉积物粗 于西南侧^[1],西部样品沉积物比东部样品更细。根据 粒度控制规律^[21]、西部五个样品元素平均质量分数 大于东部两个样品的均值。据研究、浅滩西南有气旋 式潮余环流^[22]、西南大部分样粉砂加黏土占 65%~80%, 高值中心位于 H04^[1]。同理, 在粒度控制 规律的作用下, 邻近 H04 的 H05 及 G04 样元素质量 分数普遍较高,大多数元素质量分数为浅滩中最高 的。浅滩北端沉积过程主要受潮流绕浅滩运动时的 次生环流控制,在经过浅滩时发生 270°饶流,产生 的离心力在基底诱导向岸流和上升流,导致 E02 及 F02 样品沉积物颗粒较粗、表现为它们的元素质量 分数较 H05 及 G04 略低。此外, 西部采样点的 J03 离岸最近,底层沉积物受波浪的影响最大,颗粒较 粗、因此元素质量分数为西部样品中最低的、多数 样品元素质量分数与东部质量分数相当。总体而言 莱州浅滩两侧东北部和西南部水动力都较弱,细粒 的悬浮组分在此沉积的量较多,它们的平均粒度范 围为 3.64*Φ*~6.59*Φ*,属中~粗粉砂^[14]。较弱的水动力 可以为扩散的黄河悬浮泥沙提供了良好的沉积环境, 虽然浅滩两侧的泥沙由于受不同区域水动力影响而 表现细微的差异,但总体波动不大,同源性明显,同 黄河沉积物联系密不可分。

3.3 沉积物搬运路径探讨

黄河为季节性多泥沙河流,进入 20 世纪 90 年 代以来、虽然水沙量明显减小、但其输沙对整个渤 海的沉积作用仍发挥着巨大的作用。据统计, 1950~2002 年多年平均来沙量 8.23 亿 t, [23]。径流携 带大量的泥沙, 在进入滨海区后, 由于水流平面扩 散及海水顶托的作用、流速减缓、大量较粗粒级的 泥沙在河口地区迅速沉积,进入河口的约 80%的悬 浮泥沙沉积在三角洲前缘约 8 km 以内的范围以内 $^{[24]}$, 而较细的粉粒物质在偏南方向的潮流作用下向莱州 湾扩散。潮流对沉积物的搬运必不可少,但它是周期 性的,只能进行中短距离输沙,输送范围在20km左 右、向深海或远离河口的海区扩散的泥沙主要受海 洋动力控制、而海洋动力中对泥沙扩散起作用的是 余流,余流的分布状况决定着泥沙扩散的趋向^[25]。余 流包括风海流、密度流、径流等,在渤海的余流中, 潮余流占很大比例。此外,环流的变化也会影响到入 海悬沙输移扩散。据研究、在黄河口的南侧出现了一 个顺时针的环流,中心在119.2°E,37.6°N,与莱州湾 顶的逆时针环流形成旋涡对^[26]。渤海的余流和环流 虽然流作用微弱、比较复杂,但却是持久的、大尺度的 动力,它们在很大程度上影响着粒径小于 0.063 mm 的 悬移组分进行长距离搬运、扩散。

4 结论

(1) 莱州浅滩两侧表层沉积物元素含量变化小, 各元素的变异系数较小,同源性和整体性显著。但由 于浅滩海洋地质作用影响,同时受到粒度控制规律 的制约,东部样品大多数元素含量略低于水动力更 弱的西部样品。

(2) 莱州浅滩较弱的水动力环境为扩散的黄河 悬浮泥沙提供了良好的沉积环境, 其细粒沉积物表 现出黄河沉积物化学组分特征。莱州浅滩常量元素 Al, Fe, Ca, K, Mg 质量分数略高于黄河表层沉积物, 而大多数微量元素出现了微量的减少。莱州浅滩相 对黄河沉积物的判别系数绝对值较小,常量、微量元 素经过 AI标准化处理后对比值变化趋势一致性,以 及标准偏差的相似性均说明两者有存在密切的联系, 据此判断浅滩细颗粒沉积物主要来自黄河。部分元 素的差异可能由于浅滩沿岸附近河流输沙及元素自 身迁移富集规律控制有关。

(3) 相对于黄河沉积物, 莱州浅滩部分金属元 素, 如 Fe, Cu, Zn 等含量出现了较大幅度的变化, 这 可能与浅滩近岸河流输沙以及沿岸人类活动向海洋 倾污有关。

参考文献:

- [1] 王庆,杨华,仲少云,等.山东莱州浅滩的沉积动态 和地貌演变[J].地理学报,2003,58(5):749-756.
- [2] 庄振业.山东莱州三山岛—嘴地区砂坝泻湖沉积与 演化[J].海洋地质与第四纪地质,1994,14(4):43-52.
- [3] 蔡爰智,刁龙咀.海岸的发育[J].海洋与湖沼, 1980,1(3): 204-210.
- [4] 杨作升,孙宝喜,沈渭铨.黄河口毗邻海域细粒级沉 积物特征及沉积物入海后的运移[J].中国海洋大学 学报,1985,2(16):121-129.
- [5] 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉.黄海地质[M].北京:海洋 出版社,1989.
- [6] 秦蕴珊,李凡.黄河入海泥沙对渤海和黄海沉积作用的影响[C]//中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊
 (27).北京:科学出版社,1986:126-135.
- [7] 杨守业,李从先.长江与黄河沉积物元素组成及地质 背景[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):19-26.
- [8] 王爱萍,杨守业,李从先.南京地区下蜀土元素地球化学特征[J].同济大学学报,2001,29(6):660-661.
- [9] 中国海湾志编委会. 中国海湾志(第三卷)[M]. 北京: 海洋出版社,1991.
- [10] 史德明. 长江流域水土流失与洪涝灾害关系剖析[J].土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 1-7.
- [11] 吴明清,文启忠.中国黄土的平均化学成分:上陆壳的一种典型代表[J].岩相古地理,1995,15(2):
 127-136.
- [12] 张华锋, 李胜荣. 胶东半岛早白垩世地壳隆升剥蚀及

其动力学意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 285-295.

- [13] 林晓彤,李巍然,时振波.黄河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.
- [14] 刘春暖. 莱州湾东部海区沉积物特征及沉积环境[D].烟台: 鲁东大学, 2008: 4:105-113.
- [15] 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.
- [16] 赵一阳, 鄢明才. 黄河、长江、中国浅海沉积物化学 元素丰度比较[J]. 科学通报,1992, 14(13): 202-204.
- [17] Kern U, Li C C, Westrich B. Assessment of sediment contamination from pollutant discharge in surface waters[J]. Water Science and Technology, 1998, 37(6-7): 1-8.
- [18] Vertacrik A, Prohic E, Kozar S, et al. Behavior of some trace elements in alluvial sediments, Zagreb water-well field area, Croatia[J]. Water Research, 1995, 29(2): 237-246.
- [19] 罗先香,张蕊,杨建强,等.莱州湾表层沉积物重金 属分布特征及污染评价[J]. 生态环境学报,2010, 19(2): 262-269.
- [20] 房宪英,姜太良. 莱州湾的潮流特征[J]. 海岸工程, 1991, 10(3): 44-49.
- [21] 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学若干模式[J].地质科学, 1983, 4(5): 307-314.
- [22] 黄大吉,苏纪兰.黄河三角洲岸线变迁对莱州湾流场和对虾早期栖息地的影响[J].海洋学报,2002,24(6):104-111.
- [23] 王开荣,李平,郑春梅,等.黄河河口泥沙输移分布
 特性及其回归计算[J].海洋科学,2004,28(12):
 22-25.
- [24] 孙效功,杨作升,陈彰榕,等.现行黄河口海域泥沙
 冲淤的定量计算及其规律探讨[J].海洋学报,1993,
 15(1): 129-137.
- [25] 王开荣. 黄河河口泥沙输移及其分布规律研究[D].西安: 西安理工大学, 2003.
- [26] 吴永胜, 王兆印. 渤海动力对黄河入海泥沙输移的影响[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 22-30.

海洋科学 / 2012 年 / 第 36 卷 / 第 2 期

94

Elemental geochemistry and provenance of surface sediments from the Laizhou Shoal

YUE Wei, JIN Bing-fu

(School of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

Received: Apr., 20, 2011

Key words: suspended component; elemental geochemistry; the Laizhou Shoal; the Yellow River

Abstract: Surface sediments collected in the Laizhou Shoal were analyzed by inductively coupled plasma-mass spectrometer. Chemical analysis was performed to investigate the characteristics of elemental geochemistry of the Laizhou Shoal. The content of each element was normalized by that of Al. The composition of the study area was influenced by regional dynamic conditions. The elemental contents of samples from the western area were slightly higher than samples from the eastern area. However, the tiny fluctuations of all samples reflected they had the same provenance. Compared with the Yellow River, the contents of most major elements and some metal elements, such as Al, Fe, Ca, Mg, Cu and Zn, in the Laizhou Shoal were slightly higher, while the contents of most trace elements indicate the sedimentary geochemical composition of the Laizhou Shoal is very similar to the Yellow River, indicating the surface sediments of the Laizhou Shoal partly come from the Yellow River. The differences of elemental characteristics between the Laizhou Shoal and the Yellow River may result form geological background, dynamic conditions, element migration and human activities.

(本文编辑:刘珊珊)