

胶州湾沉积岩心化学元素聚集特征

李凤业¹⁾, 齐君^{1, 2)}, 宋金明¹⁾, 李学刚¹⁾,

1) 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东青岛, 266071;

2) 中国科学院研究生院, 北京, 100039

内容提要: 本文对胶州湾沉积岩心 B3、C2、C4、B6、D4 和 D6 进行了²¹⁰Pb放射活度的测定, 在相应的岩层测定了化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr 和 V。结果表明, ²¹⁰Pb的分布模式反映了胶州湾不同区域沉积速率和沉积环境。胶州湾沉积岩心中化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、和 V 的垂直分布, 在不同的区域和不同的地层年代都有明显的变化。胶州湾现在和过去沉积过程中化学元素的聚集速率发生了明显的变化, 揭示了采样站位物质来源和沉积环境。反映了近百年来人类工农业活动对胶州湾环境的影响。

关键词: ²¹⁰Pb分布; 元素聚集速率; 沉积通量; 沉积岩心; 胶州湾

沉积物中元素的含量、分布、迁移和富集特征是海洋沉积地球化学的重要研究内容之一。了解海区沉积岩心中化学元素的丰度、垂直分布、迁移和聚集特征, 对探讨研究海区现在和过去沉积物的物质来源、沉积环境的变化等具有重要意义。

胶州湾位于山东半岛南岸, 是与黄海连通的半封闭海湾, 平均水深 7m, 最大水深 64m。青岛市环绕胶州湾, 近百年来人类活动日益增加, 这就不可避免地对胶州湾的自然环境、生态环境产生一定的影响。如港口工程建设、河流上游修建水库和修建青岛连接黄岛的跨海大桥等等, 这都将改变胶州湾的水动力状况、沉积速率和堆积格局。近年来多个海洋研究机构对胶州湾及其邻近海岸进行了调查研究, 诸如胶州湾的气象、水文、地质地貌、沉积等(边淑华等, 2005; 2006; 戴纪翠等, 2006; 孔令双等, 2004; 赵亮等, 2002), 胶州湾的沉积类型(周莉等, 1983; 李玉瑛等, 1997) 和胶州湾悬浮体含量(李凡, 1994; 张铭汉, 2000; 杨世伦等, 2003) 等, 并有较多的成果发表。限于当时的条件, 对胶州湾海域欠缺地层年代和元素聚集速率的分析研究, 尤其是对能记录历史变迁的柱状样的研究更少。过去对沉积速率的获得是利用¹⁴C和海图对比法(朱诚等, 2005), 但这两种方法判断在百年时间尺度上的变化精度较差。本文利用²¹⁰Pb法, 以百年的时间尺度, 测定研

究胶州湾海域兴建跨海大桥施工前的沉积速率和沉积通量的基础上, 根据测得柱状岩心中化学元素的含量, 了解胶州湾沉积物中化学元素过去、现在的分布和聚集特征, 探讨胶州湾海域的物质来源和沉积环境变化。

1 样品采集和分析方法

2003年9月, 中国科学院海洋研究所“金星二号”调查船对胶州湾进行了调查, 利用重力采样器在胶州湾内和胶州湾外海域成功采得柱状岩心 B3、C2、C4、B6、D4 和 D6。采样站位如(图 1)所示。实验室内进行岩性描述, 以间距 2cm 取样, 称重、烘干、测其含水量, 计算沉积物干密度, 研磨、备用。

沉积物年龄的测定: 采用²¹⁰Pb测年法, 即利用浸取法对样品进行化学处理以提取²¹⁰Pb, 用²⁰⁸Po 作为示踪剂, BH1124 型 α 多道能谱仪测定²¹⁰Pb 活度。仪器的探测效率 > 25%, 能量分辨率 < 20 keV, 本底 < 1 个计数/小时, 稳定性 < 3 道/24h, 对示踪剂²⁰⁸Po的回收率 > 90%。通过绘图法确定²¹⁰Pb的本底值, 最小二乘法计算相关系数和斜率。最后利用以下公式计算沉积物的沉积速率和沉积通量(Lu and Eiji, 2006; Li, 1993; Demaster, 1985):

$$D_R = \lambda H / \ln(I_0 / I_H)$$

$$T = H / D_R$$

注: 本文为国家重点基础研究发展项目(2007CB407305)、中国科学院百人计划(科人 2003-202)和青岛市科技将才专项计划(05-2-JC-90)的成果。

收稿日期: 2006-12-06; 改回日期: 2007-05-16; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 李凤业, 男, 1950年生。研究员。主要从事海洋生态系统碳通量、海洋放射年代学研究。Email: fyli@ms.qdio.ac.cn。

式中 D_R 为沉积速率, H 为深度, λ 为 ^{210}Pb 衰变常数 ($0.0311/\text{a}$), I_0 为沉积岩心表层的 ^{210}Pb 放射性活度, I_H 为深度 H 处的 ^{210}Pb 放射性活度, T 为沉积物的年龄。

沉积物中化学元素的测定: 沉积物样品在 $60\sim 70^\circ\text{C}$ 下烘干, 研磨至 $160\sim 180$ 目, 然后准确称取 0.1g 于聚四氟乙烯坩埚中, 加入氢氟酸、硝酸和高氯酸溶解样品, 利用等离子发射光谱 ICP-AES 测定 Ca 、 K 、 Li 、 Mg 、 Na 、 Rb 、 Sr 、 V 等元素。采用海洋沉积物国家一级标准物质 GBW07314、GBW07315、GBW07316 作为质控样, 分析的相对偏差不超过 10% 。

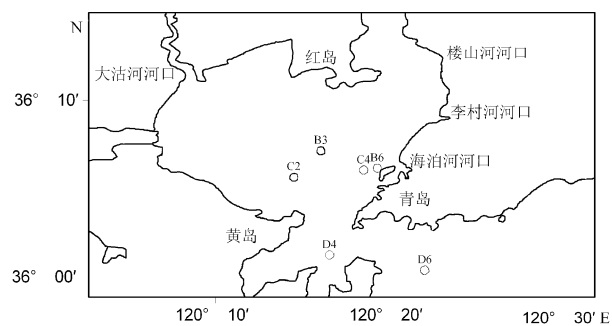


图1 胶州湾采样站位图

Fig. 1 Sampling station in the Jiaozhou Bay

2 结果和讨论

2.1 胶州湾沉积岩心化学元素的垂直分布和聚集速率

Goldberg 首次利用铀系法测定了格陵兰冰心沉降速率和年龄, 后被广泛利用测定海洋、湖泊和海

湾环境沉积物的沉降速率和沉积通量 (Nittrouer et al., 1979; Demaster, 1985; Li, 1993; 李凤业等, 1996; Joseph et al., 1996; Hong et al., 1999; 李凤业等, 2002a; 2002b)。陆架区海洋沉积物中 ^{210}Pb 主要有 3 个来源: 来自大气的沉降, 河流、海滨外水域的输入 (Joseph et al., 1996) 和母体 ^{226}Ra 的衰变。 ^{210}Pb 半衰期为 22.3a , 适合现代人类活动时间尺度 (100 年时间尺度) 环境过程的示踪。根据自然界 ^{210}Pb 的衰变原理, ^{210}Pb 随岩心深度衰变垂直分布的差异将记录沉积环境的变化。

根据海洋沉积岩心中化学元素在地质作用过程中的地球化学行为, 特别是元素的迁移和堆积, 可反演海区沉积物的物质来源和沉积环境的变化。如 Li 等 (2006) 根据黄海沉积物中 Ca 、 Sr 、 Rb 、 Cu 、 Fe 、 V 等元素的组合特征判断黄海沉积物有多种来源, 其中以黄河物质来源为主。因此, 测定胶州湾沉积岩心中化学元素的丰度, 可揭示胶州湾近百年来沉积岩心中化学元素聚集速率, 探讨胶州湾沉积环境的变化和物质来源。

根据测得岩心沉积物的干密度和沉积通量, 计算出胶州湾岩心有代表性岩层中化学元素的聚集速率, 并列于表 1。

岩心 C2 采自胶州湾南部附近海域 ($36^\circ 05.602' \text{N}$, $120^\circ 17.500' \text{E}$), 水深 13m , 岩心表层为黄灰色软泥, 3cm 以下为灰色软泥, 该岩心沉积物沉积结构较均一, 为灰色粘土软泥。从图 2 可以看出, ^{210}Pb 随岩心深度衰减在 $0\sim 17\text{cm}$ 为衰变段。 17cm 以下 ^{210}Pb 不再随岩心深度衰减, 即是 ^{210}Pb 的衰变平衡段, 也可称为 ^{210}Pb 的本底值。计算该岩心沉积速率为 0.56cm/a , 沉积通量为 $0.51\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。在岩

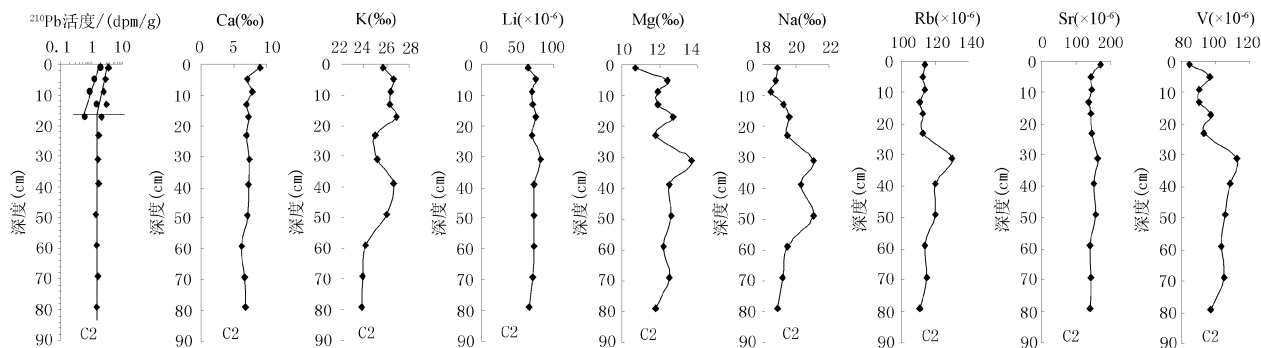


图2 岩心 C2 化学元素垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of chemical elements in core C2

^{210}Pb 活度垂直分布图中 \blacklozenge 表示 ^{210}Pb 总量, \bullet 表示 ^{210}Pb 过剩

\blacklozenge is Total ^{210}Pb and \bullet is Excess ^{210}Pb in ^{210}Pb activity vertical distribution

表 1 胶州湾岩心元素聚集速率[$\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$]Table 1 Elements accumulation rates [$\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$] in cores from the Jiaozhou Bay

站位	深度(cm)	Ca	K	Mg	Na	Li	Rb	Sr	V
C2	1	4.59	13.11	5.46	9.64	0.0329	0.0581	0.0882	0.0430
	5	3.62	13.46	6.32	9.59	0.0387	0.0576	0.0734	0.0491
	17	3.66	13.72	6.48	10	0.0385	0.0576	0.0740	0.0497
	31	3.76	12.85	6.99	10.76	0.0419	0.0663	0.0836	0.0576
	59	3.14	12.29	6.22	9.95	0.0373	0.0581	0.0724	0.0525
	69~79	3.42	12.16	6.2	9.72	0.0353	0.0576	0.0727	0.0516
B3	1	2.9	7.13	2.56	7.36	0.0133	0.0333	0.0604	0.0180
	17	3.3	8.22	4.03	8.35	0.0218	0.0409	0.0611	0.0267
	59	8.51	6.7	2.61	6.93	0.0133	0.0429	0.108	0.0185
	79	25.08	5.54	1.67	4.88	0.0062	0.0535	0.188	0.0116
	69~79	20.71	6.12	1.85	5.36	0.0079	0.0507	0.165	0.0133
C4	1	2.78	5.25	2.02	5.4	0.0122	0.0293	0.0513	0.0158
	13	3.9	6.8	1.72	5.3	0.0106	0.0305	0.0613	0.0143
	17~23	13.41	6.61	1.16	4.4	0.0064	0.0406	0.116	0.0095
B6	1	19.55	34.08	14.57	37.54	0.105	0.199	0.467	0.116
	13	19.9	27.33	16.69	34.08	0.199	0.171	0.557	0.153
	39	17.04	26.12	13.79	41.17	0.107	0.204	0.517	0.123
	69	10.92	48.61	9.81	34.95	0.0772	0.206	0.277	0.0945
	69~79	12.57	45.59	9.08	33.48	0.0692	0.177	0.208	0.0878
D4	1	5.96	17.25	6.27	15.63	0.0339	0.0728	0.127	0.0523
	9	5.78	16.17	5.33	13.09	0.0289	0.0697	0.128	0.0442
	17	6.69	17.94	6.55	15.4	0.0346	0.0778	0.137	0.0484
	39	17.05	43.38	15.05	34.38	0.0799	0.167	0.281	0.113
	69	17.19	41.4	19.26	36	0.107	0.189	0.315	0.143
	69~79	17.23	41.13	17.01	35.37	0.0923	0.183	0.335	0.129
D6	1	33.46	57.07	19.32	49.3	0.0956	0.264	0.545	0.150
	13	25.9	62.5	26.39	57.27	0.134	0.276	0.491	0.194
	69~79	47.06	64.74	15.39	40.34	0.0772	0.294	0.697	0.122

心底部 69~79cm 地层段,测得 Ca、K、Mg、Na 平均含量分别为 6.70、23.85、12.15、19.05mg/g, Li、Rb、Sr、V 的平均含量分别为 69.3、113、142.5、101.1 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。根据该岩心沉积速率,计算岩心 5cm 处为 1994 年,岩心 17cm 处为 1972 年,由于该岩心 17cm 段以下 ^{210}Pb 随岩心深度衰减已达到平衡,不能确定确切的地层年龄,假定采样点近百年来物质来源没有间断,沉积速率没有太大的变化,那么岩心 31cm 处计算地层年龄应为 1948 年,69cm 的地层年龄为 1886 年。岩心底部 69~79cm 段测得的元素平均含量,可视作近百年来元素的背景值,计算岩心底部化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的聚集速率分别为 3.42、12.16、0.0353、6.20、9.72、0.0576、0.0727、0.0516 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ (见表 1)。从图 2 可以看出,岩心 31cm 处多数元素有较大的变化,计算 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的聚集速率分别为 3.76、12.85、0.0419、6.99、10.76、0.0663、

0.0836、0.0576 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。岩心 5cm 处 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的聚集速率分别为 3.62、13.46、0.0387、6.32、9.59、0.0576、0.0734、0.0491 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。岩心表层(2003 年)Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的聚集速率分别为 4.59、13.11、0.0329、5.46、9.46、0.0581、0.0882、0.0430 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。从图 2 可以看出,岩心中化学元素 Ca、Sr 的聚集速率自 1886 年至 1948 年逐渐递增,1948 年至 1994 年逐渐递减,1994 年至今呈现递增的分布趋势。从岩心底部(1886 年)至(31cm)1848 年, K、Li、Mg、Na、Rb、V 的聚集速率递增的幅度较大。除 K 元素外,岩心的该沉积层上述化学元素均有明显的激增现象。自 1948 年至今化学元素 Li、Mg、Na、Rb、V 呈现逐渐递减的分布趋势。尤其 K、Li、Mg、V 聚集速率自 1994 年至今明显减少。这反映了采样点在该时期陆源物质的来源逐年减少,以 Ca、Sr 元素为代表的生源物质逐年增加。

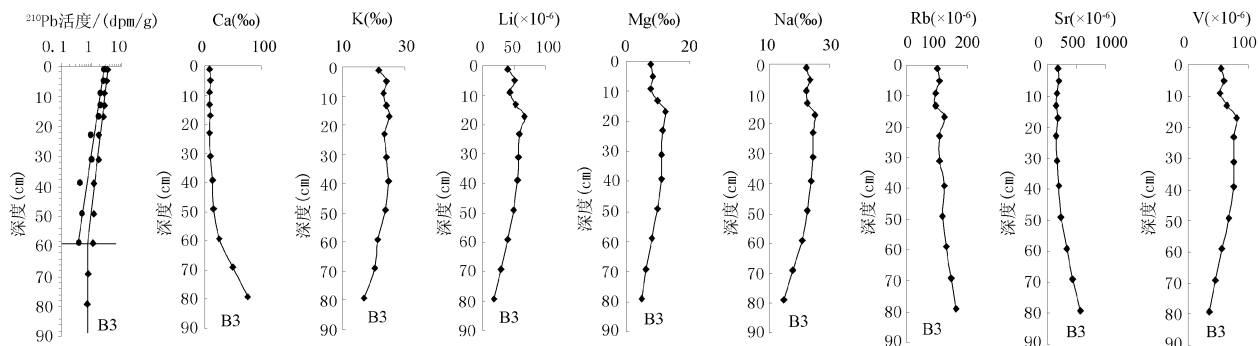


图3 岩心 B3 化学元素垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of chemical elements in core B3

^{210}Pb 活度垂直分布图中◆表示 ^{210}Pb 总量,●表示 ^{210}Pb 过剩

◆ is Total ^{210}Pb and ● is Excess ^{210}Pb in ^{210}Pb activity vertical distribution

岩心 B3 位于胶州湾中部附近海域($36^{\circ}07.113' \text{N}$, $120^{\circ}15.061' \text{E}$),水深 16m,该岩心表层为黄灰色砂质泥,50cm 以下贝壳增多,砂含量增多,在 70cm 以下贝壳明显增多。从图 3 可以看出,岩心 0~59cm 为 ^{210}Pb 的衰变层,59cm 以下为本底区。计算该岩心沉积速率为 0.85cm/a,沉积通量为 0.33g/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$)。如图 3 所示,在岩心底部 69~79cm 地层段,测得 Ca 平均含量为 62.75%,Sr 和 Rb 平均含量分别为 499、153.5 $\mu\text{g/g}$ 。计算该岩心 17cm 地层年龄为 1983 年,59cm 地层年龄为 1933 年,假定该岩心沉积速率没有大的变化,岩心 79cm 的地层年龄为 1910 年。计算 Ca、Sr、Rb 的背景值平均聚集速率分别为 20.71、0.0165、0.0507mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),1910 年 Ca、Sr、Rb 元素聚集速率分别为 25.08、0.0188、0.0535 mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),1933 年为 8.51、

0.108、0.0429mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),1983 年为 3.30、0.0611、0.0409mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),2003 年为 2.90、0.0604 和 0.0333mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$)。测定的数据表明(见表 1),1910 年前后 Ca、Sr、Rb 元素背景值很高。从图 3 中可以看出,自 1910 年至 1933 年 Ca、Rb、Sr 含量逐年明显递减,1933 年至今递减的趋势趋于平缓。该岩心底部 K、Mg、Na、元素的平均含量分别为 18.55%、5.6%、16.25%,Li、V 元素的平均含量分别为 24.00、40.35 $\mu\text{g/g}$ 。计算 K、Mg、Na、Li、V 元素背景值聚集速率依次为 6.12、1.85、5.36、0.079 和 0.0133 mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),岩心 79cm(1910 年)聚集速率为 5.54、1.67、4.88、0.0062、和 0.0116 mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),在 1933 年地层段 K、Mg、Na、Li、V 聚集速率分别为 6.70、2.61、6.93、0.0133、0.0185 mg/($\text{cm}^2 \cdot \text{a}$),在 1983 年地层段,上述元素聚集速

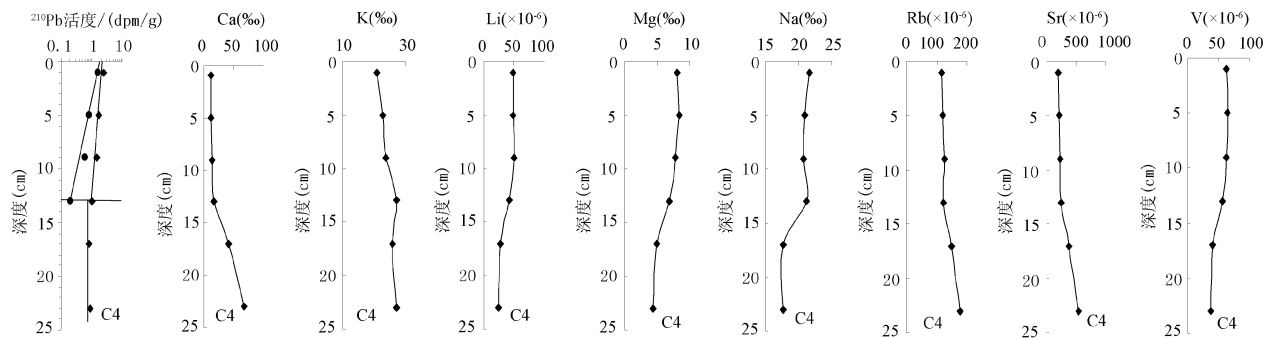


图4 岩心 C4 化学元素垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of chemical elements in core C4

^{210}Pb 活度垂直分布图中◆表示 ^{210}Pb 总量,●表示 ^{210}Pb 过剩

◆ is Total ^{210}Pb and ● is Excess ^{210}Pb in ^{210}Pb activity vertical distribution

率最高,分别为 8.22、4.03、8.35、0.0218 和 0.0267 mg/(cm²·a),在岩心表层(2003 年)它们的聚集速率分别为 7.13、2.56、7.36、0.0132 和 0.0180 mg/(cm²·a)。图 3 和表 1 表明,岩心中 K、Li、Mg、Na 和 V 元素背景值很低,它们自岩心的底部(工业革命时期)至 1983 年有明显递增的趋势,图 3 显示,多数化学元素在该岩心 17cm 处有明显的变化,元素聚集速率最高,自 1983 年至今有逐渐递减的分布趋势。

岩心 C4 位于胶洲湾中东部沧口水道附近,水深 10m,沉积物为灰色砾砂质泥和泥质砂组成,沉积物在 0~8cm 为灰黑色,8cm 以下为灰黄色,随着深度的增加,生物贝壳逐渐增多,砾粒逐渐变粗。从图 4 可以看出,岩心中 ²¹⁰Pb 随深度的衰减较有规律,呈现了 ²¹⁰Pb 的衰减段和平衡段。该岩心沉积速率为 0.19cm/a,沉积通量为 0.25g/(cm²·a)。测得岩心底部化学元素 Ca、K、Mg、Na 平均含量分别为 53.65%、26.45%、4.63%、17.6%,Li、Rb、Sr、V 平均含量分别为 25.6、162.5、465.5、39.25μg/g。该岩心化学元素的垂直分布也有明显的变化,计算岩心 13cm 处的底层年龄为 1934 年,该时期采样点化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的平均聚集速率分别为 3.90、6.80、0.0106、1.72、5.30、0.0305、0.0613、0.0143mg/(cm²·a)(见表 1),计算岩心表层(2003 年)化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V 的聚集速率分别为 2.78、5.25、0.0122、2.02、5.40、0.0293、0.0513、0.0158 mg/(cm²·a)。图 4 中表明,化学元素 Ca、K、Rb、Sr 聚集速率自 1934 年至今呈现逐渐递减的趋势,且在 1934 年以

前上述元素背景值较高;Li、Mg、Na 和 V 元素自 1934 年至今有明显递增的分布趋势,同时可以看出,在 1934 年以前的地层段,这些元素的背景值较低。

岩心 B6 位于胶州湾东部,靠近海泊河口附近海域(36°06.114'N,120°18.230'E),水深 15m,岩心表层为灰黑色软泥,在岩心 70cm 以下沉积物中砂质含量逐渐增多。从图 5 可以看出,岩心上部 0~5cm 出现混和层,继之 ²¹⁰Pb 随岩心深度的衰减较有规律。计算岩心沉积速率为 1.62cm/a,沉积通量为 1.73g/(cm²·a)。

图 5 同时显示,岩心中化学元素的垂直分布在岩心 13cm、39cm 和 69cm 层段出现较大的差异,计算岩心 13cm 和 39cm 的地层年龄分别为 1995 年和 1979 年,岩心 69cm 的地层年龄为 1960 年。计算岩心 69~79cm Ca、K、Mg、Na 的平均背景值分别为 7.27%、26.35%、5.25%、19.35%,Li、Rb、Sr、V 的平均背景值分别为 40、102.5、120、50.75μg/g。从表 1 可以看出,1960 年 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr 和 V 的聚集速率分别为 10.92、48.61、0.0772、9.81、34.95、0.206、0.277、0.0945mg/(cm²·a);1979 年 Ca、Li、Mg、Na、Sr、V 的聚集速率分别增至 17.04、0.107、13.79、41.17、0.517、0.123 mg/(cm²·a),K、Rb 的聚集速率先后降至 26.12、0.204 mg/(cm²·a)。1995 年 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr 和 V 的聚集速率分别为 19.90、27.33、0.199、16.69、34.08、0.171、0.557、0.153 mg/(cm²·a)。2003 年上述化学元素的聚集速率分别为 19.55、34.08、0.105、14.57、37.54、0.199、0.467 和 0.116 mg/(cm²·a)。

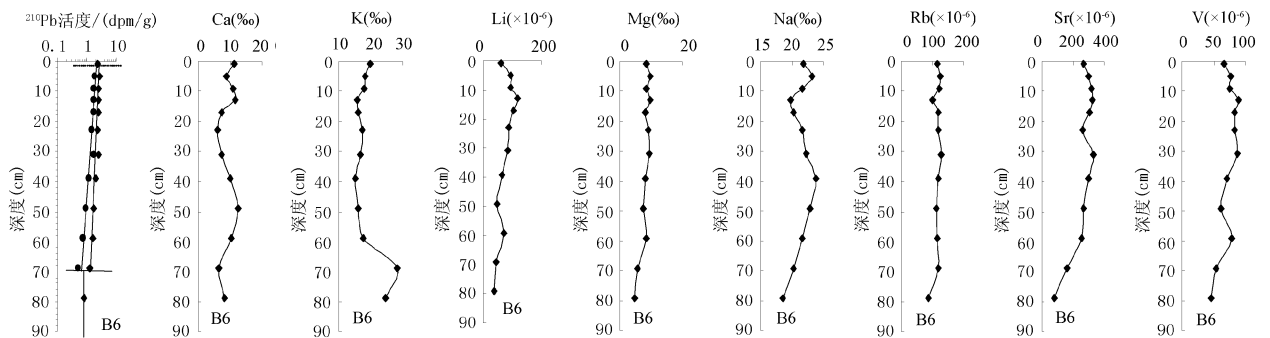


图 5 岩心 B6 化学元素垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution of chemical elements in core B6

²¹⁰Pb 活度垂直分布图中◆表示 ²¹⁰Pb 总量,●表示 ²¹⁰Pb 过剩

◆ is Total ²¹⁰Pb and ● is Excess ²¹⁰Pb in ²¹⁰Pb activity vertical distribution

a)。从图5可以看出,岩心中化学元素Ca、Li、Mg、Na、Sr和V自1960年至1979年呈现出逐渐递增的分布趋势,K、Rb元素呈现出递减的趋势。1979年至1995年时间段,Ca、Na元素呈现逐渐递减的现象,K、Li、Mg、Rb、Sr、V元素呈现出明显递增现象。自1995年至今K、Mg、Na和Rb元素的聚集速率呈现了逐渐递增的分布趋势,而Ca、Li、Sr和V元素的聚集速率呈现了逐年递减的分布趋势。

岩心D4采自胶州湾口外黄岛湾口附近海域(36°01.144'N,120°15.552'E),水深21m,岩心表层为灰黑色,10cm以下颜色逐渐变黑。从图6中可以看出,该岩心²¹⁰Pb随深度的衰减呈现两个衰变区。测得岩心0~17cm沉积速率为1.63cm/a,沉积通量为0.77g/(cm²·a)。计算岩心9cm的地层年龄为1997年,17cm为1992年。岩心17cm以下沉积速率为3.96cm/a,沉积通量为1.80g/(cm²·a),计算岩心39cm的地层年龄为1986年,岩心69cm的地层年龄为1978年。从²¹⁰Pb的垂直分布和测得的数据显示,1992年前期和现在时期采样点沉积速率变化很大。测得沉积岩心底部69~79cm化学元素Ca、K、Mg、Na的平均含量分别为9.57、22.85、9.45、19.65%,Li、Rb、Sr、V的平均含量分别为51.3、101.55、186、71.60μg/g。根据沉积速率和沉积物干密度,计算出1978年岩心(69cm)中化学元素Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V的聚集速率分别为17.19、41.40、0.107、19.26、36.0、0.189、0.315、0.143mg/(cm²·a)(见表1)。1986年化学元素Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V的聚集速率分别为17.05、43.38、0.0799、15.05、34.38、0.167、0.281、0.113mg/(cm²·a)。1992年期间岩心中化学元

素的聚集速率发生了较大的变化,Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V的聚集速率分别为6.69、17.94、0.0346、6.55、15.40、0.0778、0.137、0.0484mg/(cm²·a)。1997年上述元素的聚集速率分别为5.78、16.17、0.0289、5.33、13.09、0.0697、0.128、0.0442mg/(cm²·a)。岩心表层(2003年)Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V的聚集速率分别为5.96、17.25、0.0339、6.27、15.63、0.0728、0.127和0.0523mg/(cm²·a)。从图6可以看出,该沉积岩心中化学元素的垂直分布自1978年至1992年呈现了递减的分布趋势。自1992年至1997年,上述元素的聚集速率递减现象明显,K、Na元素递减的幅度较大。自1997年至今上述元素又出现了逐渐递增的分布趋势。

岩心D6采自胶州湾外海域(36°00.204'N,120°21.021'E),水深33m,岩心表层为黄灰色软泥,2~8cm为灰色软泥,30cm处为灰色砂质软泥,在60cm以下粉砂质含量逐渐增多,在88cm处开始出现贝壳。从图7可以看出,岩心中²¹⁰Pb的分布在0~9cm没有规律,出现混合层,9~69cm为²¹⁰Pb的衰变区。计算该岩心沉积速率和沉积通量分别为2.27cm/a和2.49g/(cm²·a)。计算岩心13cm为1997年,69cm为1973年。测得岩心底部Ca、K、Mg、Na的含量分别为18.9、26.00、6.18、16.20mg/g, Li、Rb、Sr、V的含量分别为31.70、118、280、49μg/g。计算岩心79cm(1968年)Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V元素的聚集速率分别为47.06、64.74、0.772、15.39、40.34、0.294、0.697、0.122mg/(cm²·a),岩心13cm处(1997年)Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V元素的聚集速率分别为25.90、62.50、0.134、

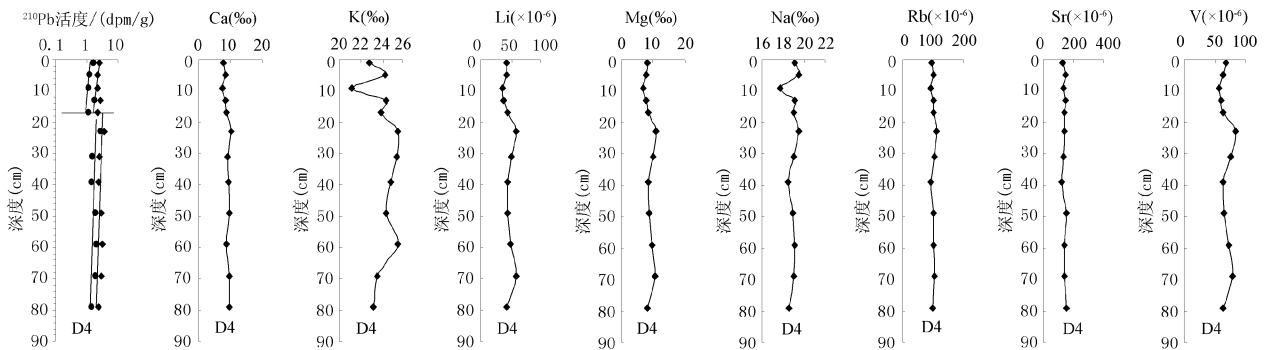


图6 岩心D4化学元素垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of chemical elements in core D4

²¹⁰Pb活性垂直分布图中◆表示²¹⁰Pb总量,●表示²¹⁰Pb过剩

◆ is Total ²¹⁰Pb and ● is Excess ²¹⁰Pb in ²¹⁰Pb activity vertical distribution

26.39、57.27、0.276、0.491、0.194 mg/(cm²·a)，岩心表层(2003年)Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr、V元素的聚集速率分别为33.46、57.07、0.0956、19.32、49.30、0.264、0.545和0.150 mg/(cm²·a)(见表1)。从图7同时可以看出,该岩心中Ca、Sr元素的聚集速率从1968年至1997年呈现了逐渐递减的分布趋势,1997年至今有递增的分布趋势;K和Rb元素的聚集速率自1968年至今呈现了减、增交替变化的趋势,但总体看来是逐渐递减的分布趋势;自1968年至1997年Li、Mg、Na和V元素的聚集速率有逐渐递增的分布趋势,1997年至今则呈现了明显递减的分布趋势。

2.2 胶州湾沉积岩心中化学元素的聚集特征与沉积环境

Na、Mg、Ca、K是海洋沉积的主要元素,它们主要来自大陆岩石的风化作用,其次来自海洋生物及自生作用产物。Sr是典型的分散元素,它的离子半径与Ca的相似,常以类质同相方式取代矿物中的Ca,所以常和Ca一起讨论。微量元素Li、K、Rb是典型的亲石元素,在海水中常以吸附和离子交换的形式被海底细粒沉积物所聚集,硅酸盐态沉积物中含量最高。V为铁族元素,明显受沉积物粒级所控制,在河口海区广泛聚集,常被作为陆源物质的标志。国内外众多学者对沉积物中这些元素的变化进行了研究(刘广虎等,2006;Roussiez et al., 2006; Karageorgis, 2005; Vazquez and Sharma, 2004)。

胶州湾沉积岩心中化学元素在过去沉积过程中(100年左右)的背景值、随着时间的推移其元素的聚集速率、聚集速率的变化与物质来源的关系等,是

我们讨论的主要问题。如以上所述,胶州湾中部附近海区岩心B3,在岩心底部69~79cm地层段,可以看出1910年前后Ca、Sr、Rb元素背景值很高,Ca、Sr、Rb的聚集速率从1933年至1983年呈现了逐渐递减的分布特征,该时期K、Mg、Na、Li、V元素背景值较低,从1933年至1983年呈现了逐渐递增的分布特征。这说明,在过去沉积过程时期(100a左右)位于胶州湾中部的B3采样点的沉积物含有较多的钙质生物碎屑物质,这表现在沉积物高Ca、Sr为特征。随着人类工农业活动和河流泥砂的输入,胶州湾沉积物发生了较大的改变,这表现在代表陆源物质标志的元素K、Mg、Na、Li、V逐年增加的现象。近年来对于胶州湾的环境保护有所加强,这表现为作为典型陆源标志的元素V等的聚集速率自1983年至今呈现了逐渐递减的分布特征。

在胶州湾中部偏南海域的岩心C2,如图2所示,岩心中²¹⁰Pb的垂直分布属于典型的²¹⁰Pb的两段分布模式,该分布模式在浅海陆架区多见,它代表了稳定的沉积环境,且沉积物的堆积速率较低。从岩心中化学元素聚集速率分析,Ca元素背景值聚集速率为3.42 mg/(cm²·a),岩心表层Ca的聚集速率为4.59 mg/(cm²·a);Sr背景值为0.0727 mg/(cm²·a),岩心表层其聚集速率为0.0882 mg/(cm²·a),从图2可以看出,Ca、Sr元素的聚集速率从1886年到1994年变化的幅度不大,从1994年至今有明显的增长。岩心中K、Mg、Na、Li、V元素的聚集速率从岩心底部(1886年)到1948年明显递增,这表明了虽然采样点距岸边较远,仍然接受了较多的细颗粒陆源物质,1948年至今上述元素聚集速

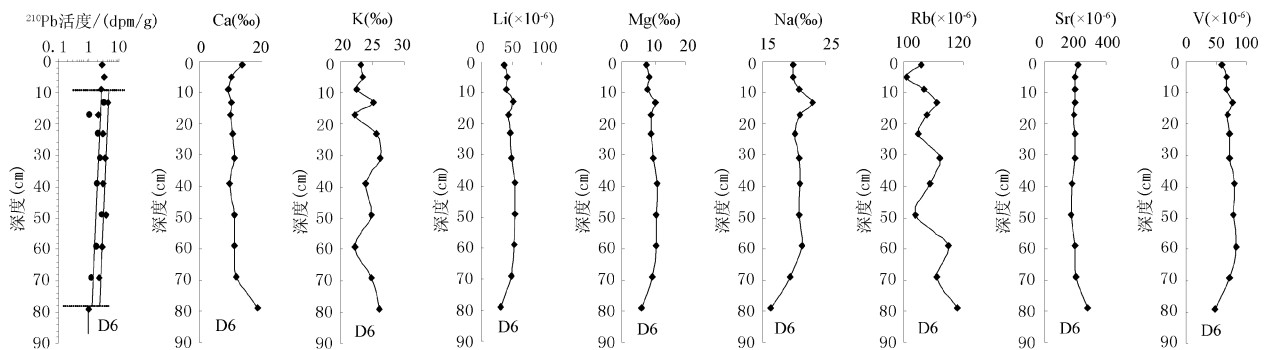


图7 岩心 D6 化学元素垂直分布

Fig. 7 Vertical distribution of chemical elements in core D6

²¹⁰Pb活度垂直分布图中◆表示²¹⁰Pb总量,●表示²¹⁰Pb过剩

◆ is Total ²¹⁰Pb and ● is Excess ²¹⁰Pb in ²¹⁰Pb activity vertical distribution

率明显递减的分布特征,同样反映了采样点接受的陆源物质逐年减少,且多数元素的聚集速率基本上恢复到其各自的原始值。

胶州湾东部沿岸附近海域,岩心 C4 中化学元素的垂直分布在过去和现代沉积过程中有比较明显的变化特征,在 1934 年以前的沉积过程中,Ca、K、Rb、Sr 元素的聚集速率很高,且它们的背景值也很高。自 1934 年至今呈现了逐渐递减的分布趋势。在过去沉积过程中,Li、Mg、Na、V 元素的聚集速率和背景值很低,自 1934 年至今呈现了逐渐递增的分布趋势。从该岩心岩性分析,该岩心 8cm 以下随着深度的增加,生物贝壳逐渐增多,砾粒逐渐变粗。由于 Ca、Sr 元素与生物贝壳密切相关,故,岩心底部的过去沉积物中 Ca、Sr 聚集速率和背景值呈现较高的沉积特征。自 1934 年至今,采样点在胶州湾沿岸流的作用下逐年接受了部分细颗粒泥沙,所以 Li、Mg、Na、V 元素的聚集速率呈现了逐步递增的分布特征。在浅海陆架大多数元素,特别是微量元素,如 K、Na、Li、Rb、V 等的高值区主要分布在泥沉积区,低值区主要分布于砂沉积区,其含量随着沉积物粒度变细而增加,Ca、Sr 等元素的含量随着沉积物粒度的变细而降低。在胶州湾,该岩心中 K、Rb 元素在过去沉积过程中没有遵守元素粒度控制效应的规则,因 K、Rb 元素在岩心底部较粗颗粒的沉积物中含量和聚集速率较高,采样点过去沉积中 K、Rb 元素的高背景值可能来源于陆地岩石和土壤风化。

位于胶州湾东部,靠近海泊河口附近海域的岩心 B6,²¹⁰Pb 的垂直分布表明,采样点水动力条件活跃,这表现在岩心上部²¹⁰Pb 的垂直分布出现混合层。由于采样点距海泊河口较近,海泊河输出的物质较多堆积到该采样点,沉积物堆积速率很快。该岩心中化学元素的分布有别于浅海陆架沉积中元素的分布规律。自 1960 年至 1979 年 Ca、Li、Mg、Na、Sr、V 元素聚集速率呈现出逐渐递增的分布趋势,K、Rb 元素呈现出递减的分布趋势,在稳定的沉积环境条件下,理论上与陆源密切相关的元素含量高时,则与生源相关的元素如 Ca、Sr 相应的含量将降低,该岩心化学元素的聚集速率在该沉积期没有发现这种特征,推断在 1960 年至 1979 年期间,采样点同时接受了海泊河输入的泥沙和胶州湾沿岸流所携带来泥砂的混合沉积。1979 年至 1995 年时间段,Ca、Na 元素呈现逐渐递减趋势,K、Li、Mg、Rb、Sr、V 元素呈现出明显递增现象,表明了该时期海泊河输入到采样点的泥砂增加。自 1995 年至今 K、Mg、

Na 和 Rb 元素的聚集速率呈现了逐渐递增的分布趋势,Li、Sr 和 V 元素的聚集速率呈现了逐年递减的分布,而 Ca 元素的聚集速率则呈现出先递减后递增的分布趋势。海泊河的改造已断流近十年,只有每年洪峰季节海泊河的河流入海,所以,岩心中化学元素的聚集速率的变化和分布特征,基本上记录了研究海区采样点物质来源和沉积环境的变化。

位于胶州湾口外西部、黄岛湾口附近 D4 岩心,²¹⁰Pb 的垂直分布呈现了两个沉积段,采样点沉积物的堆积速率在不同历史时期差异很大,反映了采样点沉积环境很复杂。在地理位置上,采样点距岸边较近,它不仅接受了沿岸入海的陆源物质,而且接受了较多的被胶州湾沿岸流携带扩散至此的泥沙,计算采样点在 1978 年至 1992 年期间沉积物堆积速率为 3.96cm/a。该沉积期化学元素的聚集速率较大,Ca、Rb、Sr 元素的垂直分布没有发现明显变化,K、Li、Mg、Na、V 元素的聚集速率呈现了不同程度的递增趋势,这反映了采样点逐年接受了大量的陆源物质。1992 年至今采样点沉积物堆积速率减小,岩心沉积物中化学元素的聚集速率呈现了不同程度的下降趋势。

胶州湾外海域岩心 D6 从²¹⁰Pb 的垂直分布可以看出,岩心表层 9cm 出现混合层,该岩心沉积速率为 2.27cm/a。这表明采样点水动力条件很活跃,较高的沉积物堆积速率表明,采样点可能沉积了黄海沿岸流携带的物质和胶州湾输出的泥沙。表 1 化学元素聚集速率表明,采样点在 1968 年沉积期多数元素聚集速率很高,Ca、Sr、K、Rb 元素的聚集速率随着岩性的改变至 1997 年呈现了明显降低的分布趋势。Li、Mg、Na、V 元素的聚集速率则呈现递增的分布趋势。1997 年至今的沉积期,Ca、Sr 元素的聚集速率明显递增,V 和其它元素的聚集速率明显递减,反映了采样点近年来陆源物质相对的减少,故生源元素明显增高。

3 结 论

(1) 对胶州湾 6 个沉积岩心进行了²¹⁰Pb 放射性活度和化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr 和 V 的测定,结果表明,胶州湾沉积岩心 B3、C4、C2、B6²¹⁰Pb 活度随岩心深度衰减呈现出衰变段和平衡段的两段分布模式;岩心 D6²¹⁰Pb 呈现出混合段、衰变段和平衡段的三段分布模式;岩心 D4²¹⁰Pb 的垂直分布呈现出两阶沉积速率;²¹⁰Pb 的不同分布模式反映了胶州湾不同区域的沉积环境的差异。胶州湾中

部海域沉积速率介于 0.56 和 0.85cm/a。胶州湾东部沿岸海域沉积速率介于 0.19 和 1.62cm/a。胶州湾口门外沉积速率介于 1.63 和 3.96cm/a。

(2) 胶州湾沉积岩心中化学元素 Ca、K、Li、Mg、Na、Rb、Sr 和 V 的垂直分布有很大的差异,在不同的区域和不同的地层年代都有明显的变化。

(3) 胶州湾现在和过去沉积过程中化学元素的聚集速率发生了明显的变化,揭示了采样站位物质来源和沉积环境。反映了近百年来人类工农业活动对胶州湾环境的影响。

(4) 胶州湾沉积岩心中化学元素的垂直分布、聚集速率受到沉积物粒度、生源要素和水动力条件的制约。

(5) 利用同位素 ^{210}Pb 测定海洋沉积岩心现代地层年龄,确定化学元素在过去沉积过程中的聚集速率,揭示海洋沉积环境的变化有重要意义。

参 考 文 献 / References

边淑华, 夏东兴, 陈义兰, 赵月霞. 2006. 胶州湾口海底沙波的类型、特征及发育影响因素. 中国海洋大学学报, 36(2): 327~330.

边淑华, 夏东兴, 李朝新. 2005. 胶州湾潮汐通道地貌体系. 海洋科学进展, 23(2): 144~151.

戴纪翠, 宋金明, 郑国侠. 2006. 胶州湾沉积环境演变分析. 海洋科学进展, 24(3): 397~406.

孔令双, 刘德辅, 李炎保, 曹祖德. 2004. 胶州湾海域中随机因素对流场模拟结果的影响. 水动力学研究与进展, 19(2): 225~230.

李凡, 林宝荣, 吴永成, 王从敏. 1994. 薛家岛湾沉积动力学特征及海港开发研究. 海洋与湖沼, 25(4): 452~457.

李凤业, 高抒, 贾建军. 2002a. 冲绳海槽北部晚第四纪沉积速率. 见: 高抒和李家彪主编, 中国边缘海的形成演化. 北京: 海洋出版社, 140~146.

李凤业, 高抒, 贾建军, 赵一阳. 2002b. 黄、渤海泥质沉积区现代沉积速率. 海洋与湖沼, 33(4): 364~369.

李凤业, 史玉兰, 申顺喜, 何丽娟. 1996. 同位素记录南黄海现代沉积速率环境. 海洋与湖沼, 27(6): 584~589.

李玉瑛, 沈渭铨, 章伟. 1997. 鲁南沿海沉积物分布及规律的研究. 青岛海洋大学学报, 27(4): 546~552.

刘广虎, 李军, 陈道华, 刘坚. 2006. 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. 海洋地质与第四纪地质, 26(5): 61~68.

杨世伦, 孟翔, 张经, 薛元忠, 陈洪涛, 魏皓, 刘哲, 吴瑞明, 王玲香, 杨华, 王亮, 张文祥. 2003. 胶州湾悬浮体特性及其对水动力和排污的响应. 科学通报, 48(23): 2493~2498.

张铭汉. 2000. 胶州湾海水中悬浮体的分布及其季节变化. 海洋科学集刊, 42: 49~54.

赵亮, 魏皓, 赵建中. 2002. 胶州湾水交换的数值研究. 海洋与湖沼, 33(1): 23~29.

周莉, 赵其渊, 李巍然. 1983. 山东半岛南部表层沉积物粒度分布与泥沙动态. 山东海洋学院学报, 13(3): 45~58.

朱诚, 马春梅, 黄林燕, 赵宁曦. 2005. 南京江北地区 9490~4840 a BP 环境演变的地层记录研究. 地质论评, 51(3): 347~352.

Demaster, D J. 1985. Rates of sediment reworking at the Hebble site based on measurements of Th-234, Cs-137 and Pb-210. Marine Geology, 1985, 66: 133~148.

Han Gui Rong, Xu xiao Shi and Xin Chun Ying. 1998. Geochemical characteristics of the sediment in buried paleoriver channel area in the Huanghai Sea and Bohai Sea. Studia Marina Sinica, 40: 79~87.

Hong Gi Hoon, Park Sun Kyu, Baskaran M, Kim Suk-Huyn, Chung Chang-Soo, Lee Sang-Han. 1999. Lead-210 and polonium-210 in the winter well-mixed turbid waters in the mouth of the Yellow Sea. Continental Shelf Research, 19: 1049~1064.

Joseph M S, Demaster D J, Steven A K, Pope R H, McKee B A. 1996. The behavior of particle-reactive tracers in a high turbidity environment: ^{234}Th and ^{210}Pb on the Amazon continental shelf. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60 (12): 2123~2137.

Karageorgis A P, Kaberia H, Price N B, Muir G K P, Pates J M, Lykousis V, 2005. Chemical composition of short sediment cores from Thermaikos Gulf (Eastern Mediterranean): Sediment accumulation rates, trawling and winnowing effects. Continental Shelf Research, 25: 2456~2475.

Li Feng Ye, Li Xue Gang, Song Jin Ming, Wang Gui Zhi, Cheng Peng, Gao Su, 2006. Sediment flux and source in northern Yellow Sea by ^{210}Pb technique. Chinese journal of Oceanology and Limnology, 24(3): 255~263.

Li Feng Ye, 1993. Modern sedimentation rates and sedimentation feature in the Huanghe River Estuary based on ^{210}Pb technique. Chinese journal of oceanology and limnology, 11(4): 333~342.

Lu Xue Qiang, Eiji M, 2006. LEADAT: a MATLAB-based program for lead-210 data analysis of sediment cores. Acta oceanologica sinica, 25(6): 128~137.

Nittrouer C A, Sternberg R W, Carpenter R, Bennett J T. 1979. The use of ^{210}Pb geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington continental shelf. Marine Geology, 1979, 31: 297~316.

Roussiez V, Ludwig W, Monaco A, Probst J L, Bouloubassi I, Buscaill R, Saragoni G. 2006. Sources and sinks of sediment-bound contaminants in the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea): A multi-tracer approach. Continental Shelf Research, 26: 1843~1857.

Vazquez F G, Sharma V K. 2004. Major and trace elements in sediments of the Campeche Sound, southeast Gulf of Mexico. Marine Pollution Bulletin, 48: 87~90.

Chemical Elements Accumulation Characteristics of the Sediment Drill Core in the Jiaozhou Bay

LI Fengye¹⁾, QI Jun^{1,2)}, SONG Jinming¹⁾, LI Xuegang¹⁾

1) *Key laboratory of Marine Ecology and Environmental Science,
The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071;*

2) *The Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing, 100039*

Abstract

The ^{210}Pb activity was measured in cores B3, C2, C4, B6, D4 and D6 of the Jiaozhou Bay and the elements of Ca, K, Li, Mg, Na, Rb, Sr and V were measured in corresponding sediment layers. The results show that the model of ^{210}Pb distribution reflects the sedimentation rate and sedimentation environment in different region for Jiaozhou Bay. The vertical distributions of Ca, K, Li, Mg, Na, Rb, Sr and V in Jiaozhou Bay core sediments has obvious variety in different regions and at different stratigraphic time. The obvious change of accumulation rate which occurred in sedimentary course at present and foretime reveals the matter source and sedimentation environment of sampling stations, and reflects the influence of industrial and agricultural activity on Jiaozhou bay environment in recent 100 years.

Key words: ^{210}Pb distributions; elements accumulation rate; Sedimentation flux; sedimentary cores; Jiaozhou Bay

(上接第 607 页)

(5) 古地震与能源、矿产资源联系,认为古地震与金属矿产均是构造—岩浆活动的产物,因此古地震带往往是某一重要金属矿产成矿带。断裂活动与油气运移有着直接关系,断裂诱发地震;古地震可用以分析含油气盆地的演化与判别相关断层活动的时代;石油地质学研究中关注“生、储、盖”问题,古地震一书提示为:“生、储、盖与地震”的四位一体。

“古地震”作为一个分支学科尚待科学的系统化理论化。但《地层中古地震记录(古地震)》一书无疑地为在我国建立《古地震地质学》方面迈出了可喜的一步。笔者与该书

的第一作者在学术交流方面有很长的历史,知其近二十年来年致力于古地震研究,孜孜不倦、严谨治学、深入探索,在中国地质科学院地质研究所形成了一个老、中、青的研究群体,国内外均有相当影响;他们的研究成果被大量引用,推动了国内古地震的研究。据作者所知为了出版这本书,该书作者将多年来节俭积蓄的研究经费全部投给了出版费用,可见一个老年地质学家对科学事业的执著精神。

总之,我对该书给以高度评价,并向广大地学工作者鼎力推荐;我们期待这本书的出版在帮助人们建立在认识地球和完善的地球观方面能起到有益的作用。

