

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0268-07

近 2 ka 闽浙沿岸泥质沉积物物源分析

肖尚斌¹ 李安春¹ 蒋富清¹ 尤征² 陈莉³

1 (中国科学院海洋研究所 山东青岛 266071)

2 (中国石油测井公司 北京 100043)

3 (中国石油勘探与生产分公司 北京 100011)

摘要 对近 2 ka 以来闽浙沿岸泥质沉积物进行了粘土矿物和元素测试, 粘土矿物对比分析表明, 所研究的泥质沉积物来源为长江沉积物。金属元素聚类分析以及使用判别函数, 均得到了与上述一致的结果。沉积物物源的定量计算表明, 近 2 ka 以来闽浙沿岸泥质沉积物中长江的贡献基本稳定在 83% ~ 85%, 可以排除有黄河沉积物输入的可能, 且历史上黄河的改道与北徙并没有对本区的沉积环境和沉积物来源产生明显的影响。

关键词 闽浙沿岸泥质沉积物 粘土矿物 元素地球化学 物源

第一作者简介 肖尚斌 男 1970 年出生 博士研究生 海洋地质

中图分类号 P736.2 **文献标识码** A

东海陆架底质沉积物类型分布的基本格局, 是在砂质沉积区的背景上分布着呈斑块状发育的两大泥质沉积区, 即济州岛西南泥质区和闽浙沿岸泥质区。研究表明, 泥质区是东海末次冰消期高海面以来的沉积物堆积中心^[1~4], 是东海陆架的“物质汇”^[5], 尤其是碳的“汇”^[6]; 砂质沉积区这一时期的堆积厚度几乎为零^[3~4]。陆架细粒级沉积物的源、输运、转化及其归宿已成为东海陆海相互作用研究的核心内容之一。

济州岛西南泥质区是东海陆架北部海域的沉积中心, 主要来源于黄河扩散系统物质^[4, 11, 12], 通过黄海沿岸流输送而来^[11, 13]。另一块泥质沉积区, 即所谓的“东海内陆架泥质沉积物”, 分布在长江入海口以南、水深 60 m 以浅的浙闽沿岸地带, 被认为主要是由源自长江的悬浮体由冬季沿岸流以悬移方式搬运而沉积的^[14, 15~17]。

上述研究成果都是基于表层沉积物进行的, 由于历史上黄河曾在南黄海入海, 由于废黄河三角洲的侵蚀每年进入东部南黄海和东海沉积物近 0.5×10^9 t^[15], 与长江输送的沉积物通量相近, 且近几千年来长江口在不断地迁移之中, 所以探讨过去东海内陆架泥质沉积物的物源, 对于了解长江、黄河 (包括古黄河及废黄河三角洲) 物质的运移, 评价人类活动过程对近海环境的影响, 探讨海流和沉积动力过程等都具

有重要意义。

近十几年来许多学者对长江与黄河元素的矿物学和地球化学已做了许多工作, 对长江与黄河沉积物的元素组成特征有了初步的了解。本文旨在这些工作的基础上, 通过对东海内陆架泥区柱状沉积物的粘土矿物和元素地球化学的研究, 讨论其物源。

1 材料与方法

本文所分析的 DD2 孔, 由“金星二号”于 2002 年 5 月 11 日在东海内陆架闽浙沿岸泥质沉积带上采用重力取样器获取, 柱长 2.98 m。该孔远离河口 (122°37.92'E, 29°34.92'N), 水深 43.5 m; 212 cm 之上为粘土质粉砂, 沉积作用主要受沿岸流控制, 而 212 cm 之下以砂质粉砂为主, 为风暴流沉积所致^[16]。考虑到沉积环境与水动力条件, 本文仅讨论 212 cm 之上的部分。

样品用沉降法提取粘土粒级 ($< 2 \mu\text{m}$) 的组分, 制成薄片后, 在中国海洋大学测试中心, 用 D/max-1RB 型旋转阳极 X 射线衍射仪进行粘土矿物分析。仪器的一些工作参数如下: Cu 靶, 管压为 40 kV, 管流为 100 mA, 扫描速度为 5°/min, 扫描范围 $3 \sim 35^\circ$ (2)。

用于元素分析的样品在恒温 (60 °C) 下烘干后, 研磨至 250 目以下, 在中国地质科学院地球物理地球化

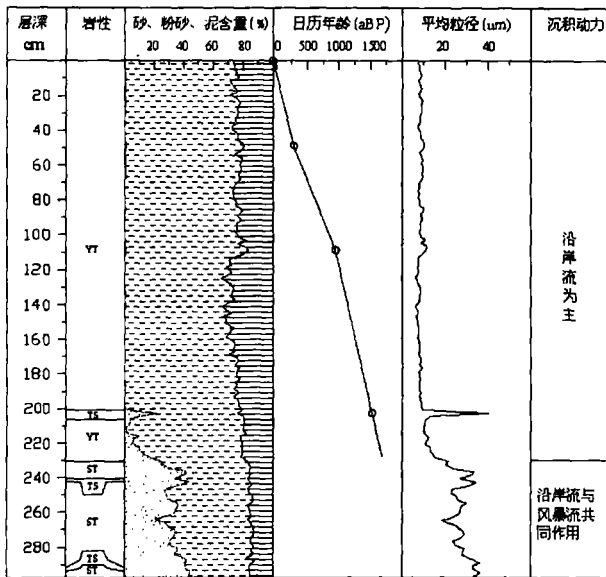


图 1 DD2孔岩性、年代地层与沉积动力图
Fig 1 Lithology, chronology and sedimentary dynamics of Core DD2

学勘查研究所中心实验室完成分析。分析所用等离子体光谱仪 (ICP—OES/MS), 型号为 FOEMS 3, 由美国热电公司生产。全自动 X 射线荧光光谱仪 (XRF), 仪器型号为 PW 2440, 由荷兰飞利浦公司生产。Al, K, Na 用 ICP—MS 测试; 其他元素用 XRF 测试。XRF 分析, 称取 4.00g 样品, 直接粉末压片分析。其他元素分析取 0.5 g 样品, 用 HF + HNO₃ + HClO₄ + 王水分解样

品, 以总稀释倍数 1000 倍进行 ICP—MS 测定。一级标准物质与重复样合格率均为 100%。

2 结果

2.1 粘土矿物

粘土矿物的含量采用 Biscay (1965) 方法进行半定量的计算, 只统计四种主要粘土矿物蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石的相对含量 (作为 100%)。具体方法是在经过乙二醇蒸汽饱和和处理后的 X 射线衍射图谱上, 分别读出 17Å (蒙脱石)、10Å (伊利石) 和 7 Å (高岭石 + 绿泥石) 的衍射峰强度和峰的半高宽, 相乘以后得到各自的峰面积, 再以峰面积乘以各自的重量因子 1、4 和 2, 分别求出各自的相对含量。其中高岭石和绿泥石的相对含量可以从高岭石的 (002) (3.58Å) 和绿泥石的 (004) (3.54Å) 衍射峰的相对强度求出。

X 射线衍射分析表明, 该柱状沉积物中粘土矿物成分以伊利石为主, 平均含量为 61.07%; 其次为绿泥石和高岭石, 平均含量分别为 18.9% 和 18.49%; 蒙皂石的含量最低, 平均含量为 1.54%。该柱状样所有样品的衍射峰的分布表现出一致性, 其差异仅在于各种组分的衍射峰强度不同。粘土粒级的沉积物除了上述四种矿物外, 还有介于蒙脱石和伊利石之间的混层矿物。此外还有许多非粘土矿物, 如石英和方解石等, 表现出粘土矿物强烈的陆源属性。

表 1 DD2 孔沉积物中粘土矿物含量表

Table 1 Clay mineral contents in the sediments of Core DD2

深度 /cm	粘土矿物含量 /%				IM	深度 /cm	粘土矿物含量 /%				IM
	S	I	K	C			S	I	K	C	
8	1.64	59.50	18.18	20.67	36.22	112	1.08	62.33	18.31	18.28	57.57
16	2.29	58.35	18.79	20.56	25.43	120	1.33	62.65	18.30	17.71	47.09
24	1.97	60.47	17.96	19.60	30.65	128	0.85	63.53	16.14	19.48	74.68
32	2.32	54.58	19.63	23.47	23.49	136	1.07	56.35	20.27	22.31	52.44
40	1.95	62.42	16.96	18.68	32.06	144	2.35	59.45	18.97	19.23	25.32
48	1.77	60.03	16.07	22.13	33.93	152	1.22	60.38	19.49	18.91	49.31
56	1.73	60.12	18.27	19.88	34.67	160	0.92	61.58	18.53	18.97	67.08
64	1.96	57.74	18.32	21.99	29.52	168	0.56	65.81	19.36	14.27	118.03
72	1.86	53.10	24.19	20.85	28.56	176	0.75	68.81	17.75	12.70	91.81
80	1.58	55.47	20.21	22.74	35.00	184	1.03	60.73	21.27	16.97	59.24
88	1.64	57.38	19.58	21.40	34.98	192	0.74	62.96	19.19	17.11	85.23
96	1.12	61.94	17.98	18.96	55.43	200	1.01	65.17	17.32	16.50	64.76
104	1.88	62.89	17.12	18.11	33.48	208	2.12	63.50	19.89	14.49	29.97

注: S - 蒙皂石; I - 伊利石; K - 高岭石; C - 绿泥石

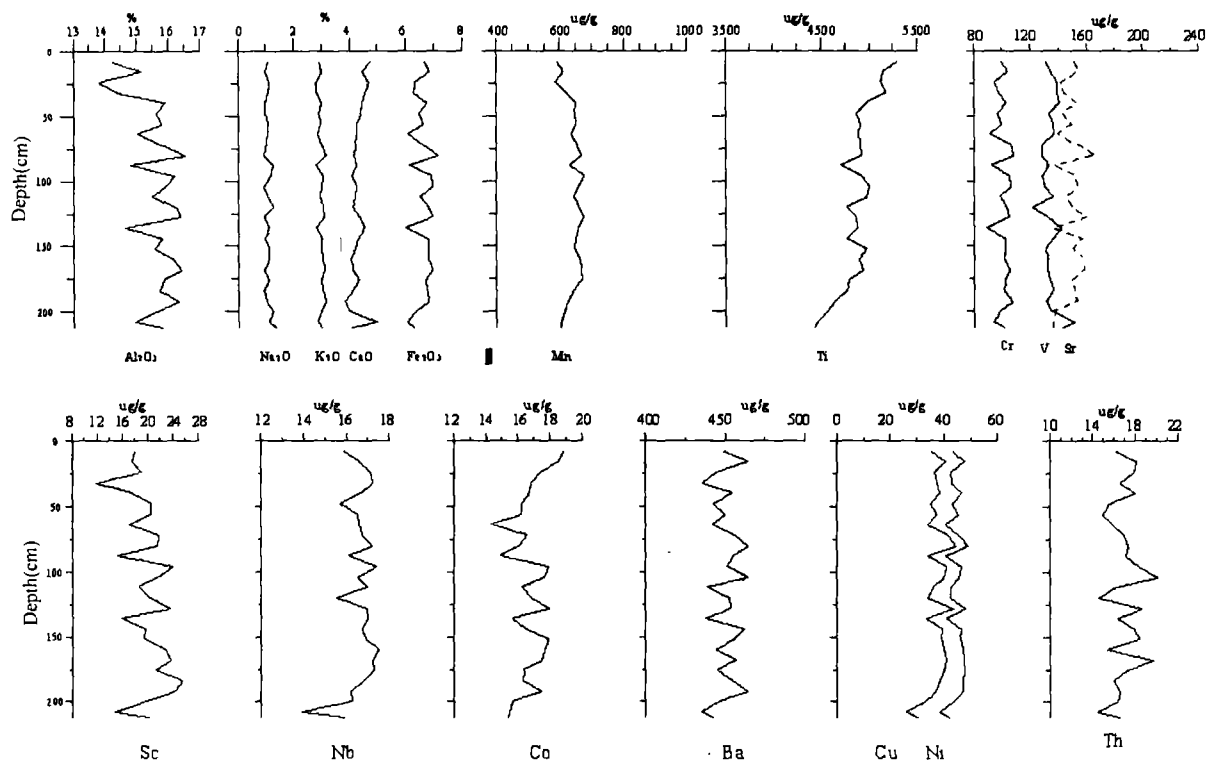


图 2 DD2孔金属元素分布图

Fig 2 Distribution of metal elements of Core DD2

2.2 元素分析

DD2孔 212 cm 之上的各元素含量与分布见下图 (图 2), 可以看出各元素在剖面上的含量都比较稳定, 变化不大。

3 物源分析与讨论

贺松林^[18]在分析闽浙沿岸各区域的泥沙平衡情况后指出, 长江近一百多年直接在长江口堆积的泥沙量约占一半, 至少有 30% 泥沙向其他区域输移, 长江口为一泥沙盈余系统, 具有潜在的供沙能力; 钱塘江和杭州湾接受的沉积, 来自钱塘江流域 (包括曹娥江流域在内) 的部分仅占 1/4, 即钱塘江河口为泥沙亏缺系统, 接纳外域泥沙的补给。因此, 历史上 DD2 孔所处区域并无来自钱塘江的沉积物。

3.1 粘土矿物

范德江等^[17]的研究表明, 长江、黄河沉积物中粘土矿物组合都为伊利石 + 绿泥石 + 高岭石 + 蒙皂石, 长江沉积物中伊利石含量高于黄河, 蒙皂石含量低于黄河; 在粘土矿物比值上, 长江沉积物中伊利石 / 蒙皂石比值都在 8 以上, 黄河沉积物中该比值都在 6 以下。DD2 孔沉积物中四种主要粘土矿物的相对含量和伊利石 / 蒙皂石比值见表 1, 可以看出该孔沉积物

中伊利石 / 蒙皂石比值都在 20 以上, 且大都在 30 以上。以伊利石、蒙皂石、绿泥石 + 高岭石为端元的端元图 (ISKc 图), 也显示出 DD2 孔沉积物均毫无例外地属于长江型沉积物类 (图 3)。这样, 来自粘土矿物的证据从 2 个方面与角度指示出 DD2 孔沉积物中粘土级物质来源为长江, 而不是黄河。

3.2 微量元素聚类分析

前人对于长江和黄河沉积物元素地球化学研究作了深入而系统地研究^[19-22], 为本文的分析提供了良好的前提。如屈翠辉等^[20]研究了黄河、长江和珠江下游悬浮物的化学成分及其制约因素, 结果显示, 地带性的生物气候因子决定了三大河流悬浮物主要元素含量的分布特征; 非地带性的区域地质条件决定了微量元素含量的变化趋势。进一步研究表明, 除 Na, Ca, Sr, Zr 和 Hf 之外, 长江沉积物比黄河沉积物富集绝大多数常量及微量元素, 尤其是 Sc, Ti, Fe, Al, Ga, V, Cu, Ni, Co, Cr 等元素在两者中差异显著, 它们可作为长江与黄河沉积物的指示元素而用来示踪长江与黄河沉积物^[23]。Ti, Al, Sc, Cr, Nb, Th, Ni, Co, Be 和 V 被认为是沉积环境中化学性质稳定的元素, 且前 7 者还能体现和反映原岩的成分^[24-25]。郭志刚等^[26]的研究表明, 东海内陆架泥质区细粒级部分 (<

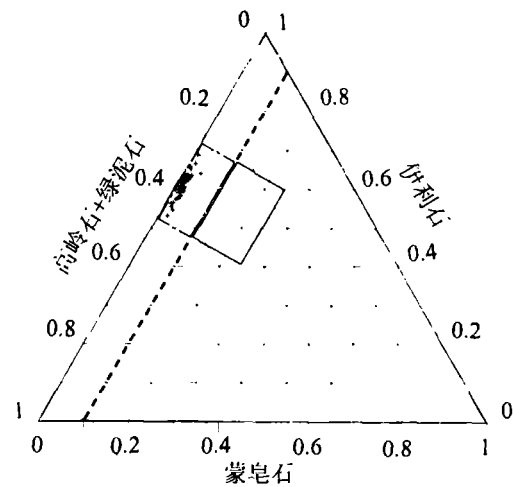


图 3 伊利石—蒙皂石—绿泥石+高岭石端元图 (ISKc 图)
(虚线左上方方形区域为长江源,右下方方形区域为黄河源)

Fig 3 The triangular map with end members of illite, smectite and kaolinite + chlorite

0.063 mm = 在总粒级沉积物中的含量约为 99.28%; 另外,一般认为粘土及粉砂粒级比全岩样更能反映沉积物物源区的物质组成特征^[27,28],所以这里选用长江(5个)和黄河(8个)样品中 <63 μm 组分的 9 个元素含量平均值作为示踪指标来作聚类分析(表 2),聚类计算采用欧氏距离法(the Euclidean distance)。

表 2 DD2 孔、长江和黄河沉积物中微量元素含量
Table 2 Trace element contents in the sediments of Core DD2, Changjiang and Huanghe Rivers

样号	Al	Sc	V	Cr	Co	Ni	Th	Nb	Ti
DD2	见表 2								
CJave	11.58	11.53	168.4	99.55	15.76	40.04	20.42	22.07	5394
HHave	9.8	8.35	108.3	66.93	11.38	25.79	19.9	16.19	3882

* 单位 At %; 其他: μg/g; CJave 和 HHave 分别为长江(5个)和黄河(8个)样品中 <63 μm 组分的平均,据杨守业和李从先^[199]。

图 4 显示出 DD2 孔 212 cm 以上的沉积物均与长江 <63 μm 组分的平均聚为一类,表明它们为长江来源,而与黄河的亲缘性则要远得多。

3.3 判别函数

另一种分析物质来源的方法,是用判别函数(DF)来表示该区沉积物与黄河沉积物和长江沉积物的接近程度。因为铝在沉积过程中相对稳定并且主要富集于粘土粒级中,而且大部分元素在沉积物的不同粒级中具有相近似的富集规律,所以沉积物中元素

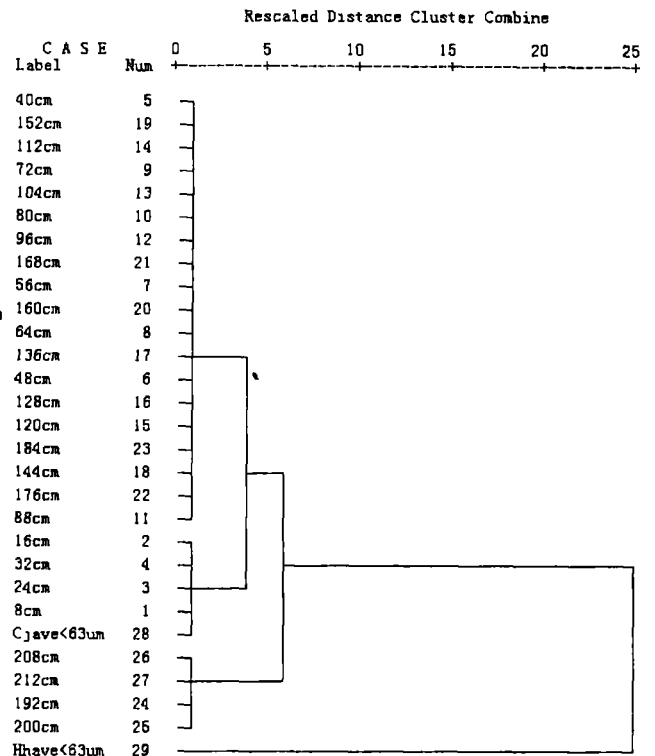


图 4 DD2 孔聚类分析结果树状图

Fig 4 Cluster analysis of Core DD2

与铝的比值已被广泛用于弥补沉积物粒度变化对元素含量的影响^[29-31]。图 5 为根据判别函数计算结果所绘,计算方法为: $DF = |(E/Al)_{\text{样品}} / (E/Al)_{\text{长江或黄河}} - 1|$, E 代表分析的元素。判别函数越小,表明沉积物化学成分越接近研究区沉积物组成。可以看出(图 5),除了元素 Th 的判别函数给出的结果存在争议外,其他元素的判别函数表明研究样品的沉积物在来源上明显趋向于长江沉积物。

3.4 物源定量识别

物源识别向定量化发展,是深入研究的趋势。在定量研究方面,已发展出两个分支^[32]:一是模式识别,如判别分析、模糊聚类、神经网络识别;另一分支则基于“质量守恒”原理,通过数理统计方法实现物源的定量识别。基于有限物源假设下的线性规划模型忽略了未知来源部分的影响,相应地降低了定量计算的准确度。针对沉积物物源组成可能存在不确定来源的特点,范德江等^[35]提出了物源定量识别的非线性规划数学模型,进而利用该模型计算出了东海陆架北部表层沉积物细粒级部分之长江、黄河物源的贡献量,阐明了长江、黄河两大来源物质在东海陆架分布特点。其定量估算研究表明,现代长江沉积物主要分布于 32°N 以南、台湾暖流以西的海域,黄河沉积

物主要分布于 32°N 以北、台湾暖流以东的海域。本文用同样的方法计算了 DD2 孔的物质来源组成,为了使不同数量级的变量同时发挥统计作用,计算时对原始数据阵进行了如下变化:

$$x' = x/x_{av-DD2}$$

x 代表某元素的原始数据, x_{av-DD2} 代表 DD2 孔该元素的平均值,选取的元素见表 2。计算结果见下表

(表 3)。可以看出,定量计算的结果与前面描述的定性分析结论一致,即本区沉积物在来源上长江沉积物的贡献占绝对优势,且基本上没有黄河沉积物混入。此外,计算的结果还表明,长江沉积物近 2 ka 以来向南的运输基本是稳定的,黄河的改道与北徙并没有对本区的沉积环境和沉积物来源产生明显的影响。

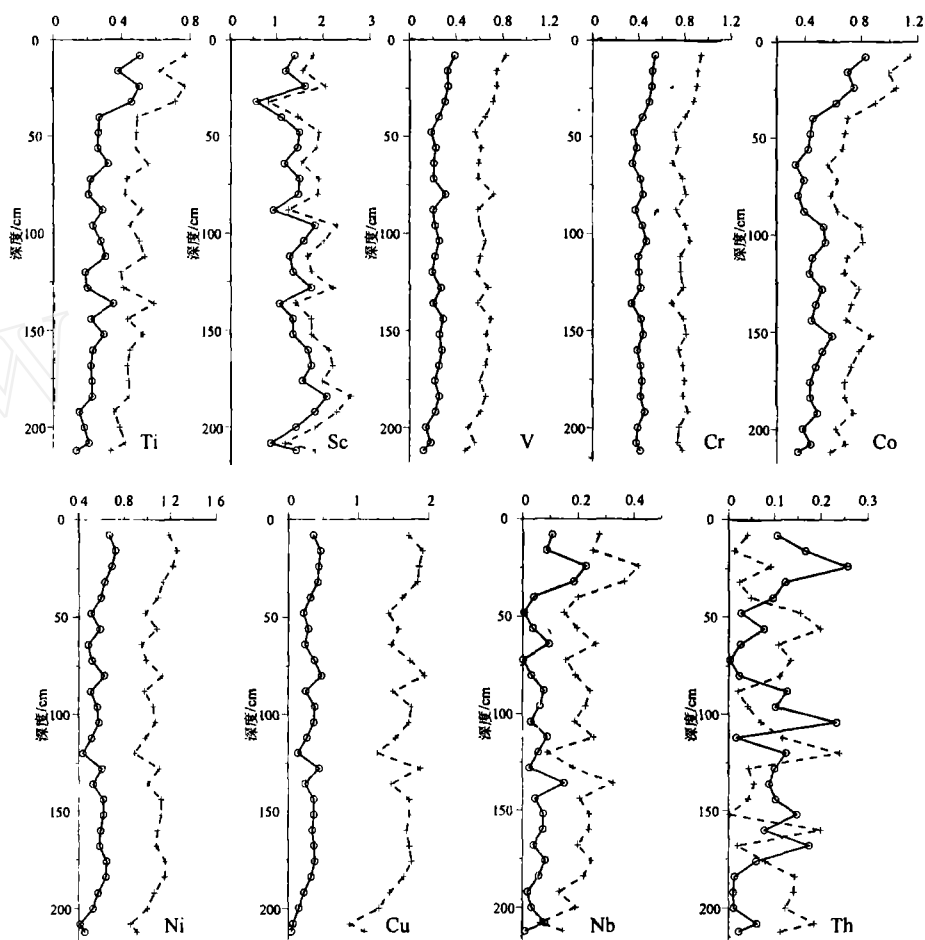


图 5 DD2 孔沉积物对黄河、长江沉积物的判别函数对比
实线为长江,虚线为黄河

Fig 5 Vertical distribution of DF in Core DD2
(bold: the Yangtze River, dashed: the Yellow River)

表 3 DD2 孔沉积物物源定量识别结果

Table 3 The percent of sediments of Core DD2 derived from Changjiang and Huanghe Rivers

样品深度 /cm		8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112
贡献 /%	长江	87	92	88	85	85	85	85	85	85	85	83	83	83	83
	黄河	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
样品深度 /cm		120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	212	
贡献 /%	长江	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
	黄河	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

4 结论

粘土矿物及元素地球化学分析结果表明,近 2 ka 以来闽浙沿岸泥质沉积物主要来源为长江沉积物,其贡献大约为 83% ~ 85%,基本可以排除有黄河沉积物输入的可能;历史上黄河的改道与北徙并没有对本区的沉积环境和沉积物来源产生明显的影响。

参考文献 (References)

- 秦蕴珊,郑铁民. 东海大陆架沉积物分布特征的初步探讨. 黄、东海地质. 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室编. 北京: 科学出版社, 1982. 39 ~ 51 [Qin Yunshan and Zheng Tien in Preliminary study on sediment distribution in the Inner Shelf of the East China Sea In: Department of the Marine Geology of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences Geology of the Yellow Sea and the East China Sea Beijing: Science Press, 1982. 31 ~ 51]
- 金翔龙主编. 东海海洋地质. 北京: 海洋出版社, 1992. 185 ~ 215 [Jin Xianglong Marine Geology of the East China Sea Beijing: Ocean Press, 1992. 185 ~ 215]
- Milliman J D, Qin Y S, Park Y A. Sediments and sedimentary processes in the Yellow Sea In: Taira A and Masud F. Sedimentary Facies in the active Plate margin Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1989. 233 ~ 249
- Demaster D J, Mckee B A, Nitrouer C A, *et al* Rates of sediment accumulation and particles reworking based on radiochemical measurements from shelf deposits in the East China Sea Continental Shelf Research, 1985, 4: 143 ~ 158
- Yang Z S, Saito Y, Guo Z G, *et al* Distal mud area as a material sink in the East China Sea In: Iseki K, Koike I, Tsunogai S, *et al*, eds Proceedings of International Symposium on Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastal-Ocean-Atmosphere System. Sapporo: Hokkaido University, 1994. 1 ~ 6
- 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. 沉积学报, 2000, 18 (2): 284 ~ 289 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Qu Yanhui, *et al* Study on comparison sedimentary of mud area on East China Sea continental shelf Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (2): 284 ~ 289]
- Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z S, *et al* Modern Huanghe driven on the Outer Shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanism. Continental Shelf research, 1985, 4: 175 ~ 188
- Yang Z S, Milliman J D. Fine-grained sediments of the Changjiang and Huanghe rivers and sediment source of the East China Sea In: Proc Int Sym. Sedimentation on the Continental Shelf, with special Reference to the East China Beijing: China Ocean Press, 1983. 436 ~ 446
- 郭志刚, 杨作升, 王兆祥. 黄东海海域水团发育对底质沉积物分布的影响. 青岛海洋大学学报, 1995, 25 (1): 75 ~ 83 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Wang Zhaoxiang Influence of water masses on the distribution of sea-floor sediments in the Huanghai Sea and the East China Sea Journal of Ocean University of Qingdao, 1995, 25 (1): 75 ~ 83]
- 郭志刚, 杨作升, 雷坤, 等. 东海陆架北部泥质区沉积动力过程的季节性变化规律. 青岛海洋大学学报, 1999, 29 (3): 507 ~ 513 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Lei Kun, *et al* Seasonal variation of the sedimentary dynamic process for the Mud Area in the northern East China Sea 1999, 29 (3): 507 ~ 513]
- 郭志刚, 杨作升, 张东奇, 等. 冬、夏季东北北部悬浮体分布及海流对悬浮体运输的阻隔作用. 海洋学报, 2002, 24 (5): 71 ~ 80 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Zhang Dongqi, *et al* Seasonal distribution of suspended matter in the northern East China Sea and barrier effect of current circulation on its transport Acta Oceanologica Sinica, 2002, 24 (5): 71 ~ 80]
- 范德江, 杨作升, 孙效功, 等. 东海陆架北部长江、黄河沉积物影响范围的定量估算. 青岛海洋大学学报, 2002, 32 (5): 748 ~ 756 [Fan Dejiang, Yang Zuosheng, Sun Xiaogong, *et al* Quantitative evaluation of sediment provenance on the North Area of the East China Sea Shelf Journal of Ocean University of Qingdao, 2002, 32 (5): 748 ~ 756]
- 杨作升, 郭志刚, 王兆祥, 等. 黄东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局. 海洋学报, 1992, 14 (2): 81 ~ 90 [Yang Zuosheng, Guo Zhigang, Wang Zhaoxiang, *et al* Suspended sediments on the Yellow and East China Sea Shelf and Macro-pattern of their being transported to the Eastern Deeper Sea Acta Oceanologica Sinica, 1992, 14 (2): 81 ~ 90]
- 孙效功, 方明, 黄伟. 黄东海陆架区悬浮体运输的时空变化规律. 海洋与湖沼, 2000, 31 (6): 581 ~ 587 [Sun Xiaogong, Fang Min, Huang Wei Spatial and temporal variations in suspended particulate matter transport on the Yellow and East China Sea Shelf Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31 (6): 581 ~ 587].
- Saito Y, Yang Z S. Historical change of the Huanghe (Yellow River) and its impact on the sediment budget of the East China Sea In: Iseki K, Koike I, Tsunogai, *et al*, eds Proceedings of International Symposium on Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastal-Ocean-Atmosphere System. Sapporo: Hokkaido University, 1994. 7 ~ 12
- 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分. 沉积学报, 2005, 23 (1): 122 ~ 129 [Xiao Shangbin, Li Anchun A study on environmentally sensitive grain-size population in inner shelf of the East China Sea Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23 (1): 122 - 129.]
- 范德江, 杨作升, 毛登. 长江与黄河沉积物中粘土矿物及地化成分的组成. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21 (4): 7 ~ 12 [Fan Dejiang, Yang Zuosheng, Mao Deng Clay minerals and geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21 (4): 7 ~ 12]
- 贺松林. 东海近岸带沉积物陆源矿物组份的比较研究. 华东师范大学学报 (自然科学版), 1991, (1): 78 ~ 86 [He Songlin Comparative study on terrigenous mineral component of sediment along near shore area of the East China Sea Journal of East China Normal University (Natural Science), 1991, (1): 78 ~ 86]
- 杨守业, 李从先. 元素地球化学特征的多元统计方法研究 - 长江与黄河沉积物元素地球化学研究. 矿物岩石, 1999, 19 (1): 63 ~ 67 [Yang Shouye, Li Congxian Multiple statistic study of element geochemical characteristics: element geochemical study on the Changjiang and Huanghe Sediments Journal of Mineral Petrology, 1999, 19 (1): 63 ~ 67]
- 屈翠辉, 郑建勋, 杨绍晋, 等. 黄河、长江、珠江下游控制站悬浮物

- 的化学成分及其制约因素的研究. 科学通报, 1984, (17): 1063 ~ 1066 [Qu Cuihui, Zheng Jianxun, Yang Shaojin, *et al* Chemical components of sediments from controlling sites of lower reaches of the Yellow, Yangtze and Zhujiang Rivers Chinese Science Bulletin, 1984, (17): 1063 ~ 1066]
- 21 赵一阳, 鄯明才. 黄河、长江、中国浅海沉积物地球化学元素丰度比较. 科学通报, 1992, (13): 1201 ~ 1204 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai Geochemistry elements comparison of sediments of the Yellow River, Yangtze River and Chinese Shallow Sea Chinese Science Bulletin, 1992, (13): 1201 ~ 1204]
- 22 杨守业, 李从先. 长江与黄河现代表层沉积物元素组成及其示踪作用. 自然科学进展, 1999, 9(10): 930 ~ 937 [Yang Shouye, Li Congxian Elements component of modern surface sediments of the Yangtze and Yellow Rivers and its tracing function Processes of Natural Sciences in China, 1999, 9(10): 930 ~ 937]
- 23 Yang S Y, Li C X, Jung H S, and Lee H J. Discrimination of geochemical compositions between the Changjiang and the Huanghe sediments and its application for the identification of sediment source in the Jiangsu coastal plain, China Marine Geology, 2002, 186: 229 ~ 241
- 24 Taylor S R, *et al* The continental crust: its composition and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1985
- 25 Fralick P W, and Kronberg B I Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources Sedimentary Geology, 1995, 113: 111 ~ 124
- 26 郭志刚, 杨作升, 范德江. 东海陆架北部表层细粒级沉积物的级配及意义. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 741 ~ 747 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Fan Dejiang Distributions and significance of the fine-grained surface sediments on the Northern Zhigang the Northern East China Sea Shelf Journal of Ocean University of Qingdao, 2002, 32(5): 741 ~ 747]
- 27 Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation Longman Scientific and Technical, 1993
- 28 Cullers R L, Barret T, Carlson R, *et al* REE and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment Chemical Geology, 1987, 63: 275 ~ 297
- 29 赵一阳, 鄯明才. 中国浅海沉积物地球化学. 北京: 科学出版社, 1994 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai Geochemistry of Sediments in Chinese Shallow Sea Beijing: Science Press, 1994]
- 30 Krømling K, Streu P. Saharan dust influenced trace element fluxes in deep North Atlantic Subtropical water Deep Sea Research, 1993, 40(6): 1155 ~ 1168
- 31 蓝先洪. 珠江三角洲第四纪沉积物 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值及地质意义. 台湾海峡, 1992, 11(3): 227 ~ 232 [Lan Xianhong $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ of Quaternary Zhujiang delta sediments and its geological significance Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1992, 11(3): 227 ~ 232]
- 32 范德江, 孙效功, 杨作升, 等. 沉积物物源定量识别的非线性规划模型——以东海陆架北部表层沉积物物源识别为例. 沉积学报, 2002, 20(1): 30 ~ 33 [Fan Dejiang, Sun Xiaogong, Yang Zuosheng, *et al* A mathematical Model on the quantitative provenance identification: take the identification of the surface sediment sources from ECS as example Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 30 ~ 33]

Provenance Analysis of Mud along the Min-Zhe Coast since 2 kaBP

XIAO Shang-bin¹ LI An-chun¹ JIANG Fu-qing¹ YOU Zheng² CHEN Li³

1 (Institute of Oceanology, Chinese Academy Sciences, Qingdao Shandong 266071)

2 (Well Logging Corporation of CNPC, Beijing 100043)

3 (Exploration and Production Corporation of CNPC, Beijing 100011)

Abstract The clay minerals and elements of the mud along the Min-Zhe Coast since 2 kaBP are analyzed. The provenance of the mud is from sediments of the Yangtze River according to the study of clay minerals. The same results are drawn based on cluster analysis and differentiation function of metal elements. It is about 83% ~ 85% of the mud from sediments of the Yangtze River since 2 kaBP according to quantitative calculation, and sediments of the Yellow River did not reach the study area. It also shows that there is no apparent effect on the sedimentary environment and sediment provenance when the Yellow River changed its course and moved northward during the last 2 ka.

Key words mud along the Min-Zhe Coast, clay minerals, elements geochemistry, provenance