文章编号:1000-0550(2004)04-0651-07

东海 D GKS9617 岩芯物源研究

余 华^{1,2} 刘振夏¹ 熊应乾^{1,2} 李巍然² 王昆山¹

1(国家海洋局第一海洋研究所 山东青岛 266061)2(中国海洋大学 山东青岛 266003)

摘 要 东海内陆架东北部 DGKS9617 岩芯以 55cm 为界明显地分为两个沉积相,岩芯下部(55~851cm)潮流作用明显,为浅海潮流相,而上部(0~55cm)潮流作用不明显,为浅海相沉积。岩芯的重矿物含量特征,Fe、Mn、V、Cr、Ni、Cu、Zn等7个元素的判别函数计算结果,以及碳酸盐分析和 Ba—Sr—Zn 三角判别图均一致显示岩芯沉积物的重矿物和元素地球化学特征与长江沉积物类似,柱样沉积物主要来源于长江,虽然不同沉积相的沉积环境差别较大,但其物质来源并未发生变化。

关键词 东海 沉积物物源 重矿物 元素地球化学

第一作者简介 余华 女 1977 年出生 博士研究生 海洋沉积 古环境 中图分类号 P512.2 文献标识码 A

1 引言

东海东北部距离现代长江口约 250 km 处 40~60 m 等深线向海方向突出,形成一个引人注目的舌状 地形单元。关于该单元的成因有多种看法,一些学 者从地形上认为它与其北部的废黄河三角洲、苏北 浅滩共同构成古长江与古黄河联合三角洲^[1],秦蕴 珊等认为它是古长江的水下三角洲堆积体^[2,3],而 许东禹等则认为它是古长江、古黄河之间河间高地 的一部分^[1]。相对于现代长江三角洲和济洲岛西南 泥质区而言,该区的沉积学研究不够充分,明显缺 乏钻孔资料。

物源研究是沉积学研究中的一个重要内容,判定 该区的物源具有极其重要的意义,有利于对该区的沉 积成因进一步认识。长江、黄河是中国,乃至世界的 两条大河,每年携带巨量的泥沙入海^[4],黄、东海宽广 而平坦的陆架是其所携带泥沙的主要沉积场所,因此 判断东海内陆架钻孔的沉积物来源,很大程度上就是 判别这些沉积物的长江、黄河属性。重矿物组合是常 用的一种物源判别方法,但其所反映的物源信息量由 于受水动力因素及矿物自身稳定性影响而有所降低, 近年来利用元素地球化学方法进行沉积物物源研究 已取得了较好的效果^[5~8],因此本文除利用重矿物外 还利用元素地球化学指标来判别取自东海东北部扬 子浅滩西南边缘沟槽中的重力柱状样 DGKS9617 岩 芯的物质来源。

2 样品采集及测试方法

DGKS9617 孔(31 98.58 N,124 26.437 E,水深 57 m,柱长 851 cm)(图 1)是 1996 年中法合作使用法国 L'ATALANTE海洋调查船在东海陆架上获取的,是目 前该区所取得的较长的一个重力柱状样。对柱样进 行了粒度、重矿物、化学元素、孢粉^[9]和硅藻^[10]等项 目的分析,其中:

粒度分析:按2~3 cm间隔取样,采用辽宁仪表研究所生产的CSL-101B激光颗粒分布测量仪进行沉积物粒度测试,以0.25 间距记录测试结果,计算出砂、粉砂和粘土含量,并用福克和沃德公式计算出粒度参数。

重矿物分析:以4~5 cm 间隔选取样品,低温烘 干,称重。原样在清水中浸泡两天,然后过水筛(孔径 为0.063 mm)去掉泥质组分。待样品烘干后,再过套 筛分级,取0.125~0.063 mm 粒级的样品,称重后用 三溴甲烷(比重为2.88)进行分离处理,再对比重大 于2.88 的重组分和小于2.88 的轻组分分别称重。 最后借助双目镜和偏光显微镜(油浸法)对180 个样 品的重组分进行了鉴定(500 颗),计算出各种重矿物 的颗粒百分数。下文中所指的重矿物含量为重量百

国家自然科学基金项目(批准号:40421150011和40176018)资助. 收稿日期:2003-12-03;收修改稿日期:2004-02-23



图 1 DGKS9617站位图 Fig. 1 Location of the Core DGKS9617

分含量,而单矿物含量则为颗粒百分含量。

元素地球化学分析:182 个样品在低温状态(< 60)下烘干,研磨至 200 目,分成四份,其中一份用 于烧失量测定;一份采用容量法分析 CaCO₃含量^[11]; 一份用 XRF 测定 Si、Pb 和 Zr 的含量,另一份则采用 ICP - AES 测定 Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Ti、P、Mn、Ba、Cr、 Co、Cu、Ni、Sr、Zn、Li、V 等常、微量元素含量,分析误差 均小于 5%。

3 结果与讨论

3.1 岩芯沉积相分析

根据沉积物的岩性和沉积构造将 DGKS9617 岩 芯划分为两个沉积相(图 2):

沉积相 (0~55 cm):沉积物主要为粘土质粉
砂,泥质含量几乎为 100%。块状层理,生物扰动作
用强,表层 0-20 cm 为黄褐色,下部为灰色。

沉积相 (55~851 cm):沉积物粒度整体较沉积 相 粗,粒度组成和粒度参数变化很明显,灰色至深 灰色粘土质粉砂与砂质粉砂或粉砂质细砂互层,局部 夹有细砂层。沉积物分选极差,频率直方图多为双峰 或三峰,该段具有典型的潮流韵律,大量发育脉状层 理、透镜状层理、波状层理和青鱼刺状层理等,反映沉 积时水深较浅,潮流作用较强。

整个岩芯有孔虫和其它钙质生物介壳含量很低, 泡粉分析显示该孔为全新世中晚期的沉积^[9],岩芯中 所发现的硅藻属种在现代东海表层沉积物中均能发 现^[10],表明 DGKS9617 岩芯长期处于一种近岸浅海环 境。另外,柱样的 Sr/Ba 比值一般大于 0.35,Sr 含量 一般大于 160 ×10⁻⁶,表明岩芯从底部开始即处于一 种近岸浅海环境^[12]。研究表明东海陆架受太平洋潮 波系统控制的历史久远,6000~7000 年以来,东海海 侵达最大,扬子浅滩附近潮流作用很强,实测资料显 示其底层最大涨落潮流速为 55~70 cm/s^[13],最近关 于东海 10000 a B.P.以来潮流场的模拟也显示该区 在 6000 a B.P.左右潮流作用强烈^[14]。因此将沉积相

定名为浅海潮流沉积相,而沉积相 中潮流作用不 明显,为浅海相沉积。

3.2 重矿物特征及其物源意义

DGKS9617 岩芯中发现碎屑矿物 39 种,其中,重 矿物有 30 种,重矿物百分含量较低,平均为 3.08% (图 3),以普通角闪石、帘石类、自生黄铁矿、风化碎 屑为主,含量占重矿物总量的 76%。其次为绢云母、 金属矿物(钛铁矿、磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿)、云母、 阳起石、石榴石、透闪石、榍石、透辉石、电气石、普通 辉石等,而霓辉石、红柱石、锆石、蓝晶石、矽线石、钙 沸石、金红石、硅灰石、锡石、胶磷矿、橄榄石、十字石、 绿泥石、白钛石、磷灰石、紫苏辉石等仅在局部层位出 现。

长江沉积物中普通角闪石、绿帘石、钛铁矿、辉石 的含量较高,变质岩矿物以十字石为主,蓝晶石与红 柱石很少^[15]。榍石是其特征矿物,分布很普遍;而黄 河沉积物则以云母、磷灰石为主要矿物,其中磷灰石 的出现频率达95%^[16]。梁居廷等^[17]认为与长江河 口有关的矿物组合中石榴石含量低,一般小于2%。





DGKS9617 岩芯中 0~200 cm 和 550~851 cm 层位角 闪石 ---帘石矿物群占有绝对优势,它们与长江的矿物 组合类型一致。而在 200~550 cm 层位自生黄铁矿 大量出现,表明岩芯沉积环境发生了变化,岩芯所在 处环境较闭塞,可能造成陆源物质所占比重相对减 少,从而导致角闪石、帘石的含量减少。但这两种矿 物含量变化的趋势很一致,且重矿物百分含量变化不 大,说明在 200~550cm 层位沉积物陆源物质来源并 没有发生大的改变。此外,整个柱样中榍石含量较 高,平均为1.2%;磷灰石出现频率很低,平均含量很 少. 仅为 0. 20 %; 云母含量较低, 平均仅为10. 01 %; 石 榴石含量仅为 0~5.8%;且柱样的变质矿物组合以 十字石为主,蓝晶石和红柱石很少(图3),这些均与 长江沉积物的重矿物组合特征相一致。另外 ,柱样还 进行了 67 个样品的轻矿物鉴定,其中仅在一个样品 中发现了黄河沉积物的特征矿物方解石^[16]。

虽然沉积相 的水动力条件强于沉积相 ,但由 于沉积相 的沉积速率较大,沉积物快速堆积,因此 整个岩芯的重矿物含量,以及矿物的分选性都变化不大。综合对比 DGKS9617 岩芯与长江、黄河沉积物的 重矿物组合特征可以看出,整个柱样的重矿物分布特 征与长江沉积物类似。

3.3 元素地球化学特征及其物源意义

3.3.1 判别函数

判别函数 $DF = (C_{1x}/C_{2x})/(C_{1L}/C_{2L}) - 1$ 是判 别现代长江、黄河沉积物与待判别沉积物化学成分接 近程度的一种常用方法^[18]。式中(C_{1x}/C_{2x})表示待 判别样品中两种元素的比值,(C_{1L}/C_{2L})表示现代黄 河或长江沉积物中两种元素的比值。一般而言 DF的绝对值小于 0.5 即认为两种沉积物接近。为使这 一判断能更有效地反映沉积物之间的接近程度,构成 比值的元素对应尽可能选取化学性质相近的元素,最 好是能够同时带入带出的元素。由于铝从大陆到海 洋是一个相对稳定的元素,主要富集于细粒沉积物 中,而且大多数元素,特别是微量元素与 AI 在沉积物 的不同粒级中具有相近似的富集规律,因此,沉积物



图 3 DGKS9617 岩芯主要和特征重矿物含量变化图(辉石类包括普通辉石、透辉石、霓辉石、紫苏辉石) Fg. 3 Variation diagram of main and characteristic heavy minerals (pyroxene includes augite, diopside, aerinine-augite and hypersthene)

中元素与 Al 的比值已被广泛用于消除沉积物化学成 分的粒度效应^[19,20]。

考虑到本样品主要以粉砂为主,且为全新世中晚 期的沉积,故采用杨守业等^[21]给出的长江、黄河表层 沉积物中常微量元素丰度值,另外根据常微量元素相 关系数选用与 Al 具有明显正相关关系的 Fe、Mn、V、 Cr、Ni、Cu、Zn 等7个元素进行判别,利用这些元素与 Al 的比值,以及现代长江、黄河沉积物中这些元素与 Al 的比值,计算 DGKS9617 岩芯沉积物的 DF 值。

判别函数计算结果(图 4)显示 DGKS9617 岩芯沉 积物的化学元素丰度在 0~200cm 和 580~851cm 层 位明显接近于现代长江沉积物。而在 200~580cm 层 位一些样品点相对于长江、黄河两种沉积物的判别函 数计算结果均大于 0.5,这可能与该段沉积环境发生 变化有关。陆源物质的供应量相对减少,导致岩芯中 Si ,AI 两种主元素含量降低,因而使判别函数计算结 果出现较大的偏差。但其丰度更接近于长江沉积物 的总体趋势并没有改变。

3.3.2 岩芯碳酸盐特征

碳酸盐是河流沉积物的组成部分,也是一种重要

的潜在示踪物。研究表明长江和黄河在碳酸盐组成 上存在着明显的差异,长江沉积物碳酸盐含量在4% ~8%之间,在<0.125 mm的粒级中碳酸盐含量稳定 于3%~5%左右;而黄河沉积物碳酸盐含量在8%~ 18%之间,并且在<0.045 mm的粒级中碳酸盐含量 明显增高,达12%以上^[22]。

DGKS9617 岩芯碳酸钙含量总体较低,为 3.7% ~8.3%。顶层 20 cm 碳酸盐含量较高,平均含量为 7.7%,可能是受废黄河三角洲物质或生物碳酸盐的 影响,但在其它层位碳酸盐含量较低,一般在 3%~4%之间(图 5b)。柱样的 CaO 与碳酸盐变化趋势相 似(图 5a,b),两者相关系数很高,为 0.76。从以碳酸 盐形式存在的 Ca(Ca_t)与总 Ca(Ca)比值垂向变化 上(图 5c)可看出,DGKS9617 岩芯中的 Ca 主要以碳酸 盐形式赋存。由 Ca 元素富集系数(柱样中 Ca 的含量 /中国浅海或大陆沉积物中 Ca 的丰度)垂向变化可以 看出,相对于中国浅海沉积物高言^[19],柱样中 Ca 除 顶部的 20cm 接近浅海沉积物丰度外,往下均贫化(图 5d),而柱样中 Ca 的丰度比较接近中国大陆沉积物的丰度^[19](图5e)。而且最近的研究表明



图 4 判别函数结果图(圆圈代表相对于长江沉积物的判别函数计算结果,三角代表相对于 黄河沉积物的判别函数计算结果,直线代表|x|=0.5)

Fig. 4 Discrimination function results (circle : relative to the Yangtze River sediment ; triangle : relative to the Yellow River ; straight lines : |x| = 0.5)



图 5 碳酸钙含量垂向变化图

Fig. 5 Down core variation of the carbonate content

长江、黄河沉积物中的生物碎屑碳酸盐主要分布于 >

0.125 mm 的粒级之中^[22],这些都说明 DGKS9617 柱 样中的钙主要来源于陆地,也即柱样中的碳酸盐主要 为陆源碳酸盐,生物碳酸钙所占比例低。此外考虑到 整个岩芯的粒度较细,即以粉砂(<0.063 mm)为主, 可以看出其碳酸盐含量明显低于黄河沉积物,而与长 江沉积物碳酸盐含量相近。

3.3.3 Ba — Sr — Zn 三角图

长江、黄河沉积物的 Ba、Sr 和 Zn 元素含量存在 着明显的差异^[21],虽然 Sr 元素在海洋环境下易受生 物成因碳酸盐的影响,但在 DGKS9617 岩芯中 Sr 与 Ca 相关性较强,相关系数达 0.61,而柱样中的 Ca 主 要是陆源的,再加之柱样中有孔虫和其它钙质生物介 壳含量很低,因此可以认为柱样中的 Sr 受生物影响 较小,可以作为三角判别图的一个端员。图 6 显示岩 芯样品点分布较集中,且与长江沉积物^[21]很接近。

4 结论

(1) DGKS9617 岩芯以 55 cm 为界明显地分为两 个沉积相,岩芯下部(55~851 cm)潮流作用明显,为 浅海潮流相,而上部(0~55 cm)潮流作用不明显,为 浅海相沉积。虽然不同沉积相之间沉积环境差别较



图 6 Ba — Sr — Zn 端元图 Fig. 6 Ba — Sr — Zn ternary diagram

大,但其物质来源并未发生变化。

(2) 岩芯的重矿物含量特征, Fe、Mn、V、Cr、Ni、 Cu、Zn 等 7 个元素的判别函数计算结果,以及柱样碳 酸盐分析和 Ba — Sr — Zn 三角判别图均一致显示岩芯 沉积物的重矿物和元素地球化学特征与长江沉积物 类似,柱样沉积物主要来源于长江。

致谢 感谢中法合作 L 'ATALANTE 科学考察组 全体工作人员的辛勤劳动,感谢中国海洋大学庄振业 教授、金秉福博士和本文的评审专家提出的宝贵意 见。

参考文献(References)

- 1 许东禹,刘锡清,张训华,等.中国近海地质.北京:地质出版社, 1997. 62[Xu Dongyu,Liu Xiqing, Zhang Xunhua, *et al*. China Offshore Geology. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 62]
- 2 秦蕴珊,赵一阳,陈丽蓉,等. 东海地质. 北京:科学出版社, 1987. 134~136[Qing Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Marine Geology of the East China Sea. Beijing: Science Press, 1987. 134~ 136]
- 3 牛作民.东海沉积环境分区及其基本特征.海洋地质与第四纪地质,1985,5(2):27~36[Niu Zuomin. Deposition environment sub-division of the East China Sea and their basic features. Marine Geology and Quaternary Geology, 1985,5(2):27~36]
- 4 Milliman J D, Meade R H. World wide delivery of river sediment to the oceans. Journal of Geology, 1983, 91:1~21
- 5 Garver J I, Royce P R, Smick T A. Chromium and Nickel in shale of the Taconic Foreland: a case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66(1): 100 ~ 106

- 6 Wronkiewcz D J , Condie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwaterstrand Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 2401 ~ 2416
- 7 Grigsby J D. Chemical fingerprinting in detrital ilmenite : a variable alternative in provenance research ?Journal of Sedimentary Petrology , 1992 , 62 (2) : 331 ~ 337
- 杨守业,李从先,张家强.苏北滨海平原全新世沉积物物源研究
 ——元素地球化学与重矿物方法比较.沉积学报,1999,17(3):
 458-463[Yang Shouye, Li Congxian, Zhang Jiaqiang. Provenance study of Holocene sediments in Subei Coastal Plain-comparison between elemental geochemistry and heavy mineral methods. Acta Sedimentologica Sinica, 1999,17(3): 458~463]
- 9 李珍, 王永吉, 刘振夏, 等. 东海沉积物中全新世中晚期气候变化 的孢粉学证据. 海洋通报, 2001, 20(5): 1-9[Li Zhen, Wang Yongji, Liu Zhenxia, *et al.* Palynological evidence on climate changes in the East China Sea during the middle and late Holocene. Marine Science Bulletin, 2001, 20(5): 1~9]
- 10 李超, 蓝东兆, 方琦. 东海陆架晚第四纪沉积硅藻及其古海洋学 意义. 台湾海峡, 2002, 21(8): 351-359 [Li Chao, Lan Dongzhao, Fang Qi. Late Quaternary sedimentary diatom from East China Sea continental shelf and its paleoceanographical significance. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2002, 21(8): 351~359]
- 11 中国人民共和国国家标准.海洋调查规范:海洋地质地球物理调查.北京:国家技术监督局,1993.27~28[People 's Republic of China 's standards, Specification for oceanographic survey: Marine geology and geophysics investigation. Beijing: National technology supervising office, 1993.27~28]
- 12 Zhongyuan Chen, Zhenglou Chen. Quaternary Stratigraphy and Trace-Element Indices of the Yangtze Delta, Eastern China, with Special Reference to Marine Transgressions. Quaternary Research, 1997, 47: 181 ~ 191
- 13 Zhen Xia Liu. Yangtze shoal a modern tidal sand sheet in the northwestern part of the East China Sea. Marine Geology, 1997, 137: 321 ~ 330
- 14 Katsuto Uehara, Yoshiki Saito, Kazuaki Hori. Paleotidal regime in the Changjiang (Yangtze) Estuary, the East China Sea, and the Yellow Sea at 6 ka and 10 ka estimated from a numerical model. Marine Geology, 2002, 183: 179 ~ 192
- 15 陈丽蓉,徐文强,申顺喜.东海沉积物的矿物组合及其分布特征的研究.见:中科院海洋研究所海洋地质室.黄东海地质.北京:科学出版社,1982.82-97 [Chen Lirong, Xu Wenqiang and Shen Shunxi. Mineral assemblages and their distribution patterns in the sediments of the East China Sea. In: Department of Marine Geology, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. The Geology of the Yellow Sea and the East China Sea. Beijing: Science Press, 1982. 82~97]
- 16 孙白云.黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征.海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):23~34[Sun Baiyun. The detrital mineral composes characteristics of the Yellow River, Changjiang and Zhujiang River sediments. Marine Geology and Quaternary Geology, 1990, 10(3):23~34]
- 17 Liang Juting, Miao Yutian. Near-bottom Sediment Transport in the Changjiang Estuary and on its Adjacent Shelf. Proceedings of International Symposium on sedimentation on the continental shelf, with special ref-

erence to the East China Sea, 1983: 536~543

- 18 李双林,李绍全,孟祥君.东海陆架晚第四纪沉积物化学成分及 物源示踪.海洋地质与第四纪地质,2002,22(4):21~28[Li Shuanglin, Li Shaoquan, Meng Xiangjun. Chemical composition and source tracing of late Quaternary sediments in the East China Shelf. Marine Geology and Quaternary Geology, 2002,22(4):21~28]
- 19 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学. 北京:科学出版社, 1994. 22,175[Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Geochemistry of sediment of the China shelf sea. Beijing: Science Press, 1994. 22, 175]

Arguin (Mauritania). Continental Shelf Research , 1999 , 19: 665 ~ 691

- 21 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. Element composition of modern surface sediment of the Yangtze and Yellow Rivers and its tracing implication. Progress in Natural Science, 1999, 9(10): 930~937]
- 22 范德江,杨作升,王文正.长江、黄河沉积物中碳酸盐组成及差异.自然科学进展,2002,12(1):60~64[Fang Dejiang, Yang Zurosheng, Wang Wenzheng. The carbonate composes and differences of the Changjiang and Huanghe Rivers. Progress in Natural Science, 2002,12 (1):60~64]

Provenance Study of Core DGKS9617 in the East China Sea

YU Hua^{1,2} LIU Zhen-xia¹ XIONG Ying-qian^{1,2} LI Wei-ran² WANG Kun-shan¹ 1 (First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong 266061) 2(Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003)

Abstract Piston Core DGKS9617, which is located in northern part of the East China Sea, is divided into two sedimentary facies: tidal shallow marine facies (55-851cm), in which tidal current played an important role in the sedimentation of this part, and shallow marine facies (0-55cm). Although the lower and the upper part has different sedimentary environment, the provenance of the whole core does not change. The character of heavy mineral assemblage, the results of discrimination function of Fe, Mn, V, Cr, Ni, Cu, Zn, carbonate analysis and Ba-Sr - Zn ternary diagram consistently show that the mineral and geochemical characteristics of Core DGKS9617 are similar to the Changjiang River sediment, implying that its sediment is mainly provided by the Changjiang River.

Key words East China Sea, provenance, heavy mineral, elementary geochemistry