

# 琼东沿岸泥质沉积常量元素地球化学特征

常宏<sup>1</sup>, 肖尚斌<sup>2,3</sup>, 陈忠<sup>3</sup>, 陈木宏<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局 武汉地质调查中心, 湖北 宜昌 443005; 2. 三峡库区生态环境教育部工程技术研究中心 (三峡大学), 湖北 宜昌 443002; 3. 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510301)

**摘要:** 对南海北部陆架琼东沿岸泥质区 S20 孔进行了岩性、粒度和常量元素分析, 初步探讨了该泥质区常量元素地球化学特征。S20 孔岩性较均一, 主要为黏土质粉砂, 研究区受相对单一而稳定的水动力条件控制。常量元素含量变化符合“元素的粒度控制律”, R 型因子分析结果表明, 第一因子  $P_2O_5$ , MnO,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  和  $K_2O$  等的组合, 体现了元素在表生环境中活动性差异与迁移状况, F2 因子 MgO 和  $Na_2O$  组合的意义在现有研究基础上我们尚无很好的解释, 亟待矿物学方面的研究支持。均匀的岩性组成、相对稳定的元素组成表明该区沉积物适宜于古环境重建等研究。

**关键词:** 南海; 陆架; 泥质沉积; 地球化学特征; 粒度; S20 孔

中图分类号: P736.42 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2011)05-0042-05

陆架沉积物记录了海陆变迁、海平面变化、河流入海和气候变化等地质信息, 而陆架区泥质沉积物的近岸远端输送是陆架全新世沉积的一个普遍现象, 近年来受到国内外高度重视<sup>[1-6]</sup>。中国近海分布着多处泥质沉积, 目前对渤海<sup>[7-8]</sup>、黄海<sup>[9-10]</sup>、东海陆架<sup>[11-17]</sup>、台湾海峡<sup>[18]</sup>等泥质沉积体进行了不同程度的研究, 如区域沉积物的分布、地球化学特征与物质来源、浅地层结构、沉积演化历史等方面取得了一系列研究成果。此外, 泥质区因其连续的沉积记录、蕴含的丰富古环境信息, 更在高分辨率的全新世全球变化记录重建方面发挥了重要作用。

南海背靠亚洲大陆, 外绕岛弧, 是一个典型的半封闭性边缘海, 其独特的地理位置和晚新生代以来的高沉积速率等使其成为国际海洋古环境研究的热点之一, 但已有研究主要限于深海区沉积物。海南岛东侧泥质沉积平行于海南岛东侧海岸, 分布于约 50~100 m 水深地带(图 1), 是南海北部陆架上水深最大的泥质沉积区, 然而对该泥质区的研究却鲜见报道。本文以 S20 孔为代表, 在沉积学分析基础上, 尝试通过常量元素地球化学的初步研究, 探讨该泥质沉积的动力特征、物质来源, 为后续其他高分辨率的古环境研究等提供基础。

## 1 材料与方法

研究所用的 S20 孔(110°03.22' E, 17°41.57' N)于 2003 年 9 月获取, 长 222 cm, 水深 127.3 m。整个岩

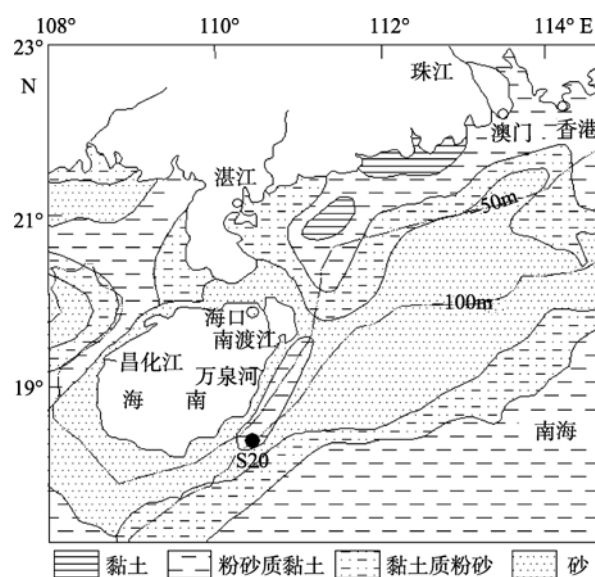


图 1 海南岛边缘沉积物分布(据刘昭蜀等<sup>[19]</sup>)

Fig. 1 Sediment distribution near the Hainan Island

芯以灰色、深灰色黏土质粉砂为主。

本文共分析样品 23 件, 采样间隔为 10 cm。粒度分析样品先后用过氧化氢( $\varphi=30\%$ )和盐酸

收稿日期: 2009-08-31; 修回日期: 2011-03-07

基金项目: 国家地质调查项目(1212010914002); 中国博士后基金(2005037177)

作者简介: 常宏(1975-), 男, 满族, 吉林省吉林市人, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境地质研究, 电话: 0717-6346947, E-mail: chhxtx@126.com; 肖尚斌, 通信作者, 教授, 博士, 主要从事环境科学研究, E-mail: shangbinx@163.com

(3 mol/L)处理。处理后的样品在中国科学院南海海洋研究所用英国 Malvern 2000 型激光粒度仪进行粒度测量, 测量范围为 0.2 ~ 2 000 μm, 重复测量的相对误差 < 3%。本文使用矩法计算粒度参数<sup>[20]</sup>, 沉积物粒度分类中砂、粉砂、黏土间的界线为 63 μm 和 4 μm, 峰态和偏态的分级标准见姜在兴等<sup>[21]</sup>。

元素分析样品洗盐后在恒温(60 °C)下烘干, 研磨至 250 目以下, 送中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所用 X-射线荧光仪器(XRF)分析。地球化学分析质量报告见表 1。

表 1 S20 孔元素分析质量报告

Tab. 1 Detection limits of geochemical compositions in Core S20

分析项目	检出限	单位
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	0.05	%
SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	%
MnO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , TiO <sub>2</sub>	10	μg/g

## 2 岩性特征

S20 孔岩性较均一, 主要为黏土质粉砂, 其中粉砂体积分数一般在 65%(67.59%~77.26%)左右, 黏土在 20%左右(12.50%~22.45%), 砂(主要为细砂)的体积分数约占 15%(4.88%~18.88%)。从底部向上, 平均粒径存在变细的总趋势(图 2)。

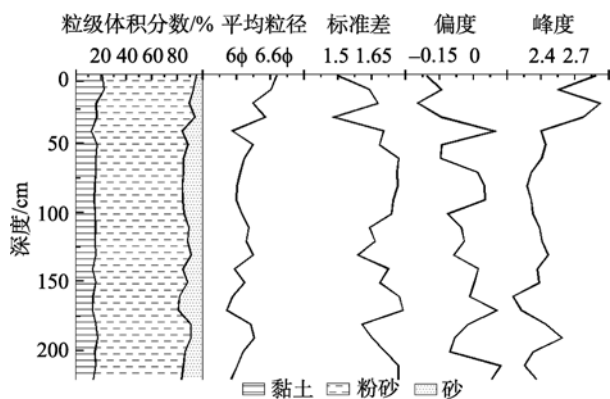


图 2 S20 孔岩性剖面与粒度参数

Fig. 2 Depth profiles of lithology and grain-size parameters in Core S20

S20 孔沉积物粒度分布多数近于对称、少数负偏(图 2 和图 3), 表明其沉积作用主要受相对单一而稳定的水动力条件控制; 峰度值指示频率曲线很尖锐(图 2), 表明沉积物总体分选较差, 这样该孔标准差

数值指示的分选较差状况一致。相对均匀的岩性及稳定的沉积物组分和水动力条件, 说明该孔沉积物可能处于相对稳定的沉积环境, 物质来源没有发生明显的变化, 可以用做定量古环境研究的材料。

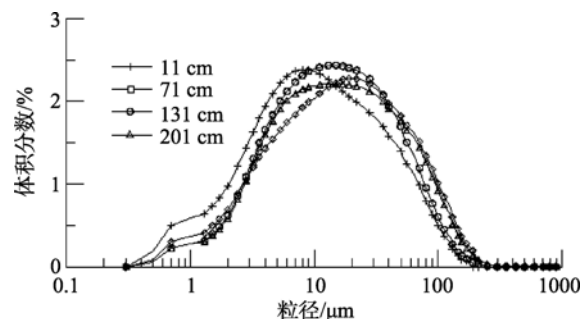


图 3 S20 孔沉积物典型粒度频率分布曲线

Fig. 3 Frequency distributions of sediment in Core S20

## 3 元素地球化学特征

S20 孔常量元素含量变化情况见图 4。可以看出, 从底部到顶部, 绝大部分元素含量存在不同程度的波动, 变异系数相对较稳定。20 cm 以上 Fe, Mg, Al, Mn, P 等元素含量明显增加, 而 Si, Ca 等元素含量明显降低, 这可能主要是由下文所分析的粒度效应引起。

### 3.1 元素含量与粒度的关系

图 5 为 S20 孔各元素含量与粒度的关系图( $M_z$  代表平均粒径)。可以看出, MnO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等元素与中值粒径表现为显著负相关, SiO<sub>2</sub> 则为显著正相关, MgO, Na<sub>2</sub>O, CaO 与平均粒径相关性较低, 仅表现为低度或是微弱相关。沉积物粒度与地球化学成分之间的关系已经得到了广泛的研究<sup>[7, 22-26]</sup>, 有学者研究认为, 沉积物元素含量随沉积物的粒度变化而有规律地变化, 基本上存在 3 种模式: (1)大多数元素的含量随粒度变细(砂→粉砂→黏土)而升高; (2)一些元素的含量随粒度变细而降低; (3)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出现极大值, 即“元素的粒度控制律”<sup>[22,27]</sup>, S20 孔泥质沉积物常量元素含量变化均符合该规律。有研究通过 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> 等组分含量的对比, 认为琼东南海域表层陆源物质源区可能主要为古红河水系<sup>[28]</sup>。由于元素含量受粒度等多种因素控制和影响, 且目前无海南各主要河流沉积物元素地球化学研究的系统报道, 本文尚无法进行更深入的分析 and 判断。

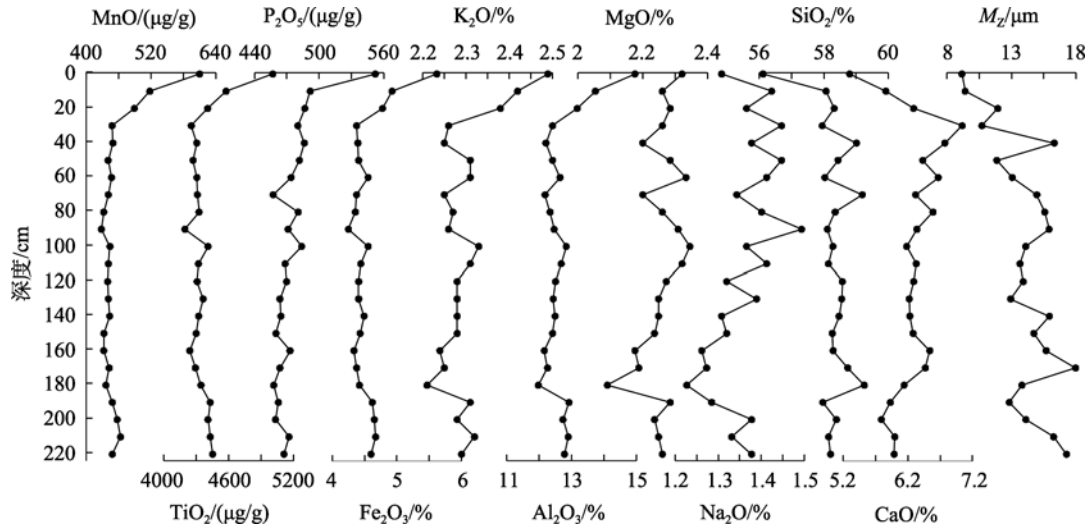


图4 S20孔常量元素分布

Fig. 4 Depth profiles of major elements in Core S20

徐方建等<sup>[29]</sup>通过对东海和南海沉积物陆源物质粒度以及矿物分析认为,中国边缘海陆源物质平均粒径与主要矿物成分含量大小具有一定的相关关系,通过对东海内陆架 EC2005 孔柱状沉积物的进一步研究,徐方建等<sup>[30]</sup>提出陆源矿物种类和含量特别是主要矿物含量控制了平均粒径的大小,也控制了地球化学成分及其含量,而粒度通过矿物组成变化对化学成分变化也会产生间接影响,矿物种类和含量对地球化学成分的控制是决定性的,而粒度对元素(化学成分)的“控制”实际上是粒度对地球化学成分

的影响。Kiminami 和 Fujii<sup>[26]</sup>通过对日本浊流岩研究也认为,粒度对砂岩化学成分的影响是与砂岩自身的矿物组成相关的。因此,对于 S20 孔泥质沉积物常量元素遵循“元素的粒度控制律”现象的本质含义,需要得到矿物学方面的进一步论证。

### 3.2 元素组合特征

S20 孔的化学元素组成的 R 型因子分析显示,前 2 个因子累计方差贡献为 86.56% (表 2),能够较好地代表整个样品的数据变化。

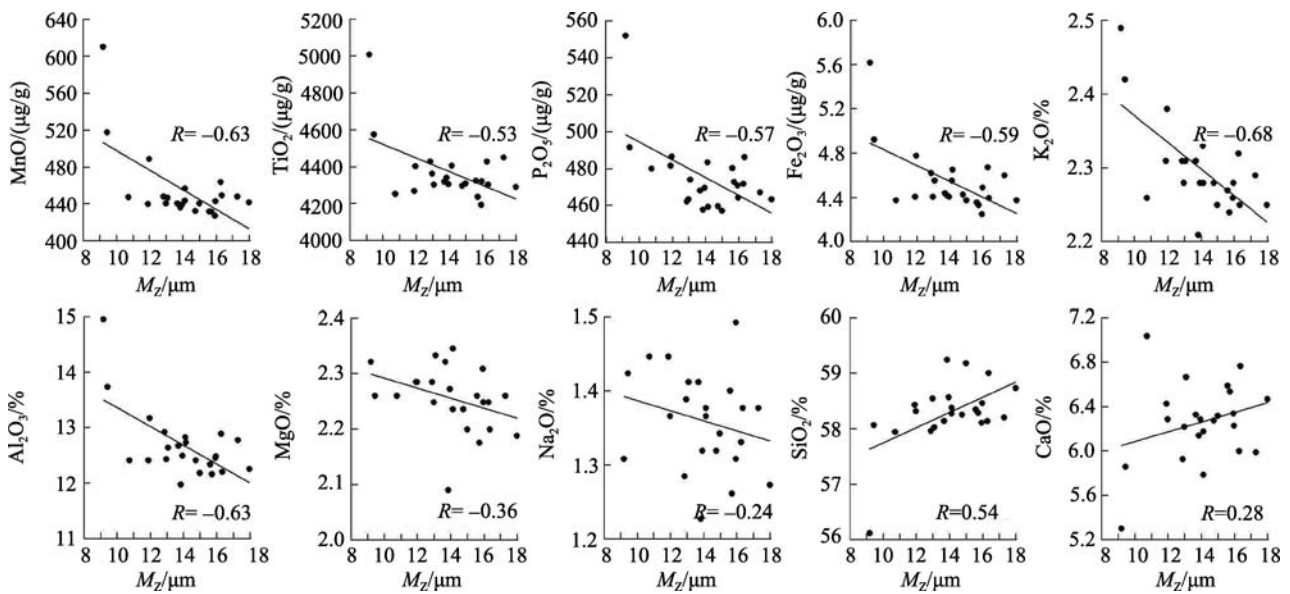


图5 S20孔常量元素含量与粒度关系图

Fig. 5 Relationship between major elements and mean grain-sizes in Core S20

表 2 S20 孔沉积物元素因子载荷矩阵(经过方差极大旋转)

Tab. 2 Matrix of factor loading (varimax law) of elements in sediments of Core S20

沉积物元素	因子载荷系数	
	F1	F2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.82	0.29
MnO	0.96	0.04
TiO <sub>2</sub>	0.98	-0.07
SiO <sub>2</sub>	-0.81	-0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.97	0.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.99	0.01
MgO	0.34	0.83
CaO	-0.78	0.27
Na <sub>2</sub> O	-0.15	0.89
K <sub>2</sub> O	0.91	0.32
方差贡献(%)	67.11	19.45
累积方差(%)	67.11	86.56

第一主因子 F1 的方差贡献为 67.11%，是影响该柱状沉积物元素变化的最主要地质因素。由因子载荷矩阵(表 2)，F1 的正载荷主要为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MnO、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 K<sub>2</sub>O 等的组合；负载荷主要为 SiO<sub>2</sub>、CaO 的组合。正载荷元素大部分为表生环境中活动性较弱的元素，其含量总体上具有随着粒径增大而变少的趋势；负载荷 SiO<sub>2</sub> 则相反，其含量与平均粒径表现为显著正相关，可能是受到沉积物粗粒石英、长石矿物的影响<sup>[29-30]</sup>；CaO 与平均粒径表现出微弱正相关，反映了钙质生物的稀释作用<sup>[22, 27]</sup>。该因子反映了该孔元素分布的主要特点，体现了元素在表生环境中活动性差异与迁移状况。

F2 因子的方差贡献为 19.45%，是影响该柱状沉积物元素变化的第二因素，表现为 MgO、Na<sub>2</sub>O 的组合。部分研究认为，MgO 主要受控于伊利石和绿泥石等黏土矿物，Na<sub>2</sub>O 则与长石含量呈正相关<sup>[30]</sup>，该两种主要受控于不同矿物的元素组合意义，在现有研究基础上我们尚无很好的解释，这同样亟待得到矿物学方面的研究支持。

## 4 结论

对 S20 孔沉积学、常量元素地球化学的初步分析表明，琼东南泥质区岩性较均一，主要为黏土质粉砂，研究区受相对单一而稳定的水动力条件控制；沉积物常量元素含量变化相对比较稳定，各元素含量变化符合“元素的粒度控制律”。R 型因子分析得到

的 2 个因子较好地代表了整个样品的数据变化。F1 因子正载荷主要为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MnO、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 K<sub>2</sub>O 等的组合，负载荷主要为 SiO<sub>2</sub>、CaO 的组合，反映了该孔元素分布的主要特点，体现了元素在表生环境中活动性差异与迁移状况，是影响该柱状沉积物元素变化的最主要地质因素。F2 因子为 MgO、Na<sub>2</sub>O 的组合，该因子的意义在现有研究基础上我们尚无很好的解释。本文得到的各元素含量符合“元素的粒度控制律”以及 MgO、Na<sub>2</sub>O 因子的意义解释亟待矿物学方面的研究支持。

### 参考文献:

- [1] Díaz J I, Palanques A, Nelson C H, et al. Morpho-structure and sedimentology of the Holocene Ebro prodelta mud belt (northwestern Mediterranean Sea)[J]. *Continental Shelf Research*, 1996, 16: 435-456.
- [2] Goodbred S L, Kuehl S A. The significance of large sediment supply, active tectonism, and eustasy on margin sequence development: Late Quaternary stratigraphy and evolution of the Ganges-Brahmaputra delta[J]. *Sedimentary Geology*, 2000, 133: 227-248.
- [3] Cattaneo A, Correggiari A, Langone L, et al. The late-Holocene Gargano subaqueous delta, Adriatic shelf: Sediment pathways and supply fluctuations[J]. *Marine Geology*, 2003, 193: 61-91.
- [4] Walsh J P, Nittrouer C A, Palinkas C M, et al. Clinoform mechanics in the Gulf of Papua, New Guinea[J]. *Continental Shelf Research*, 2004, 24: 2487-2510.
- [5] Aller R C, Blair N E. Carbon remineralization in the Amazon-Guianas tropical mobile mudbelt: A sedimentary incinerator[J]. *Continental Shelf Research*, 2006, 26: 2241-2259.
- [6] Puig P, Ogston A S, Guillén J, et al. Sediment transport processes from the topset to the foreset of a crenulated clinoform (Adriatic Sea)[J]. *Continental Shelf Research*, 2007, 27: 452-474.
- [7] 刘建国, 李安春, 陈木宏, 等. 全新世渤海泥质沉积物地球化学特征[J]. *地球化学*, 2007, 36(6): 559-568.
- [8] Liu Jianguo, Li Anchun, Chen Muhong, et al. Sedimentary changes during the Holocene in the Bohai Sea and its paleoenvironmental implication[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, 28: 1333-1339.
- [9] Liu J P, Milliman J D, Gao Shu, et al. Holocene

- development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 2004, 209: 45-67.
- [10] Yang Zuosheng, Liu J P. A unique Yellow River-derived distal subaqueous delta in the Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 2007, 240: 169-176.
- [11] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(21): 2233-2238.
- [12] 向荣, 杨作升, Saito Y, 等. 济州岛西南泥质区近 2300 a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J]. *中国科学 D 辑:地球科学*, 2006, 36(7): 654-662.
- [13] Xiao Shangbin, Li Anchun, Liu J P, et al. Coherence between solar activity and the East Asian winter monsoon variability in the past 8000 years from Yangtze River-derived mud in the East China Sea[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 237: 293-304.
- [14] Liu J P, Xu Kehui, Li Anchun, et al. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea[J]. *Geomorphology*, 2007, 85: 208-224.
- [15] 徐方建, 李安春, 万世明, 等. 东海内陆架泥质区中全新世环境敏感粒度组分的地质意义[J]. *海洋学报*, 2009, 31(3): 95-102.
- [16] 徐方建, 李安春, 肖尚斌, 等. 末次冰消期以来东海内陆架古环境演化[J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 118-127.
- [17] 肖尚斌, 李安春, 刘卫国, 等. 闽浙沿岸泥质沉积的物源分析[J]. *自然科学进展*, 2009, 19(2): 185-191.
- [18] Liu J P, Liu C S, Xu Kehui, et al. Flux and fate of small mountainous rivers derived sediments into the Taiwan Strait[J]. *Marine Geology*, 2008, 256: 65-76.
- [19] 刘昭蜀, 赵焕庭, 范时清, 等. *南海地质*[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [20] 黄思静. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数[J]. *成都理工学院学报*, 1999, 26(2): 196-198.
- [21] 姜在兴. *沉积学*[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [22] 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.
- [23] Ding Zhongli, Yang Shiling, Sun Jimin, et al. Iron geochemistry of loess and red clay deposits in the Chinese Loess Plateau and implications for long-term Asian monsoon evolution in the last 7.0 Ma[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 185: 99-109.
- [24] Yang Shouye, Jung H S, Lim D I, et al. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea[J]. *Earth-Science Reviews*, 2003, 63: 93-120.
- [25] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2 ka 来东海内陆架泥质沉积物地球化学特征[J]. *地球化学*, 2005, 34(6): 595-604.
- [26] Kiminami K, Fujii K. The relationship between major element concentration and grain size within sandstones from four turbidite sequences in Japan[J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 195: 203-215.
- [27] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. *东海地质*[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [28] 陈弘, 刘坚, 王宏斌. 琼东南海域表层沉积物常量元素地球化学及其地质意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(6): 39-45.
- [29] 徐方建, 万世明, 李安春, 等. 中国边缘海陆源沉积物粒度与矿物组成的关系[J]. *自然科学进展*, 2008, 18(11): 1271-1278.
- [30] 徐方建, 李安春, 万世明, 等. 东海内陆架陆源物质矿物组成对粒度和地球化学成分的制约[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2009, 34(4): 613-622.

(下转第 52 页)

# Major element characteristics of east coast mud off the Hainan Island

CHANG Hong<sup>1</sup>, XIAO Shang-bin<sup>2,3</sup>, CHEN Zhong<sup>3</sup>, CHEN Mu-hong<sup>3</sup>

(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Yichang 443005, China; 2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 3. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Received:** Aug., 31, 2009

**Key words:** the north South China Sea; continental shelf; mud; geochemical characteristics; grain-size; Core S20

**Abstract:** Lithology, grain-size, and major element analysis were carried out for Core S20, which was collected from the mud area off the east coast of Hainan Island. The lithology was homogenous, and was mainly composed of clay silt, indicating a relatively stable environment that extends to present day. The concentration of major elements obeyed the rule that “grain-size controlling on geochemical elements”. Based on R-model factor analysis, the first principal component had relatively high loadings of  $P_2O_5$ , MnO,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , and  $K_2O$ , reflecting the difference of elements' activity in hypergene environment. The second component had high loadings of MgO and  $Na_2O$ , of which we have no good explanation. Furthermore, the study on mineralogy is needed.

(本文编辑: 刘珊珊)