

文章编号: 1000-0550(2010)06-1182-08

南黄海 NT2 孔沉积物物源研究^①

蓝先洪 张志珣 李日辉 丁 东

(青岛海洋地质研究所 山东青岛 266071)

摘 要 用等离子体质谱法(ICP-MS)对苏北岸外南黄海陆架区 NT2 孔 72 个沉积物样品的稀土元素(REE)进行了分析,研究了中更新世中、晚期以来苏北岸外南黄海陆架区沉积物物源的变化。相关分析揭示 NT2 孔粒度和化学风化对 REE 组成影响较小。判别函数和稀土元素配分模式表明南黄海 NT2 孔沉积物物源主要为长江源和黄河源。REE 判别图解揭示 NT2 孔上部 0~5.50 m 和 5.50~19.30 m 沉积物以长江源为主,中部 19.30~27.00 m 沉积物以黄河源为主,27.00~54.60 m 沉积物以长江源为主,下部 54.60~70.31 m 沉积物以黄河源为主。研究表明黄河在中更新世中晚期已开始对南黄海陆架沉积作用有明显影响,而长江从晚更新世早期到现代对南黄海陆架起着主要作用。

关键词 稀土元素 物源 NT2 孔 南黄海

第一作者简介 蓝先洪 男 1958 年出生 研究员 沉积地球化学 E-mail: lanxh@qingdaonews.com

中图分类号 P736.4 P595 **文献标识码** A

0 前言

长江和黄河两大水系中大量的沉积物汇入南黄海陆架,对南黄海沉积作用有着重要影响。前人已从矿物学和元素地球化学角度进行了不同程度的研究,初步得出了在不同的区域内,黄河、长江物源及朝鲜半岛物源影响作用不尽相同的重要结论^[1~15],但在物源贡献上仍然存在不同的看法^[16]。南黄海西部受黄海沿岸流的作用,主要接收黄河带来的物质^[3,4,11];东部是强潮流作用环境,有朝鲜半岛入海河流(如锦江、荣山江等)的加入^[6,9,10];南部受到南黄海冷水团的影响,有长江等沉积物自南向北输入^[1,13,15]。海底沉积物稀土元素的丰度、配分模式和配分参数对于探讨沉积物的形成条件、物源区性质和气候环境具有重要意义,目前对于海洋沉积物的稀土元素(REE)的研究主要集中在表层或柱状样沉积物 REE 地球化学特征、分布及其控制因素等方面^[17~22],利用钻孔中 REE 特征进行系统的研究还比较缺乏;李双林等对南黄海盆地北缘的 YA01 孔沉积物稀土元素组成作了研究^[23],但至今对苏北岸外南黄海陆架区钻孔的稀土元素分布特征研究尚未见有报道。本文依据国土资源地质大调查取得钻孔资料,分析了苏北岸外南黄海陆架区 NT2 孔岩芯的稀土元素分布特征,并对该孔的物质来源作了初步分析。

1 样品与分析方法

南黄海海洋区域地质调查于 2002 年 10 月在南黄海海域进行了地质浅钻调查,其中 NT2 孔孔深 70.45 m(33°27.5377'N、122°15.4904'E,水深 35.40 m),位于苏北岸外南黄海陆架西南部海域(图 1,黄、东海流系据文献[3])。NT2 孔共采集不同层位的各类岩芯样品(大致按 1 m 的间隔,岩性分层时加密)72 个用于稀土元素分析。

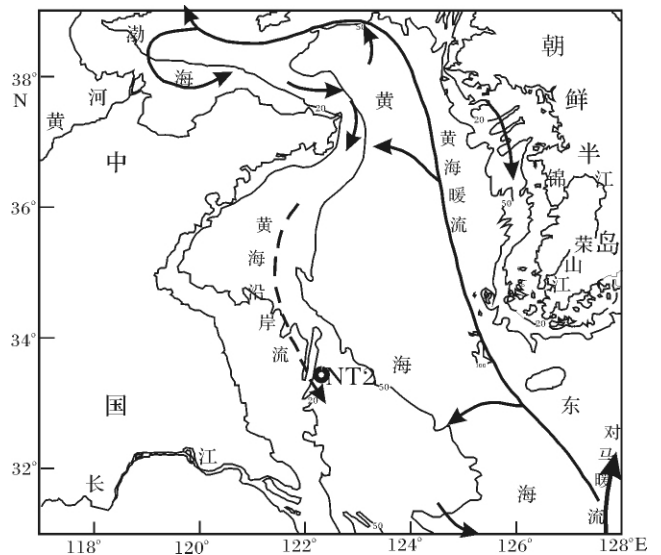


图 1 南黄海 NT2 孔位置示意图

Fig. 1 Sketch map of positions of Core NT2 from the South Yellow Sea

^①国土资源大调查项目(编号:200211000001)资助。
收稿日期:2009-08-03;收修改稿日期:2009-10-10

室内样品分析在国土资源部青岛海洋地质研究所测试中心完成。对 NT2 孔沉积物 15 个稀土元素进行了分析测试。试样经过氧化钠熔融后,用水提取 稀土元素形成氢氧化物沉淀,加三乙醇胺掩蔽铁、铝,加 EDTA 络合钙、钡,过滤。稀土元素氢氧化物沉淀溶于 2 mol/L 盐酸,经强酸性阳离子交换树脂分离富集后,再用 5 mol/L 盐酸洗提,蒸发定容后采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP—MS)测定 15 个稀土元素含量。分析过程中进行了重复样和标样分析,稀土元素分析的相对偏差小于 5%。

2 分析结果与讨论

2.1 分析结果

¹⁴C 和 ESR 测定结果表明,NT2 孔沉积物记录了苏北岸外南黄海陆架区大约中更新世中、晚期以来的沉积历史。依据 NT2 孔沉积物稀土元素含量的变化,并参考钻孔中有孔虫和孢粉等其他古环境指标^①的沉积环境的分析结果,可将 NT2 孔自上而下分为 5 层(图 2 和图 3)。

第 1 层深度为 0.0~5.50 m,稀土元素含量从上而下逐渐增高(图 2), Σ REE 介于 187~234 $\mu\text{g/g}$,平均为 212 $\mu\text{g/g}$ 。各稀土元素在地层中的变化趋势非常一致,表层最低,向下增加。沉积物以砂质粉砂、粉砂为主(图 3)。4.54~4.69 m ¹⁴C 年代为 9 750a \pm 240a BP,该层为全新世浅海沉积,相当于氧同位素 1 期。

第 2 层深度为 5.50~19.30 m,稀土元素含量总体上从上而下逐渐降低, Σ REE 介于 184~232 $\mu\text{g/g}$,平均为 209 $\mu\text{g/g}$;沉积物以砂质粉砂、粉砂为主,对应环境上部(5.55~13.00 m)为陆相沉积,下部为近岸浅海沉积。该层沉积相当于晚更新世晚期的氧同位素 2 期。

第 3 层深度为 19.30~27.00 m,该层稀土元素含量从上而下逐渐增加, Σ REE 介于 152~197 $\mu\text{g/g}$,平均为 170 $\mu\text{g/g}$;沉积物为砂质粉砂、粉砂质砂和砂,对应沉积环境上部为近岸浅海沉积,下部(25.05~27.00 m)为陆相沉积环境。该层 20.95~21.05 m 和 25.30~25.35 m 的 ESR 年代分别为 21.4 ka BP 和 24.7 ka BP,上部近岸浅海相当于晚更新世晚期的氧同位素 3 期,而下部陆相相当于晚更新世晚期的氧同位素 4 期。

第 4 层深度为 27.00~54.60 m,该层沉积物为粉砂和砂质粉砂(图 3),对应沉积环境为近岸浅海。稀土元素含量从上而下逐渐增高, Σ REE 介于 183~228 $\mu\text{g/g}$,平均为 204 $\mu\text{g/g}$;该层 44.10~44.16 m 和 53.60~53.67 m ESR 年代分别为 62.2 ka BP 和 116.6 ka BP,相当于晚更新世早期的氧同位素 5 期。

第 5 层深度为 54.60~70.31 m,稀土元素含量变化较大,从上而下先降后升,在底部出现 NT2 孔的最高值, Σ REE 介于 128~248 $\mu\text{g/g}$,平均为 170 $\mu\text{g/g}$ (图 3)。上部沉积物为灰色细砂夹深灰色粉砂质黏

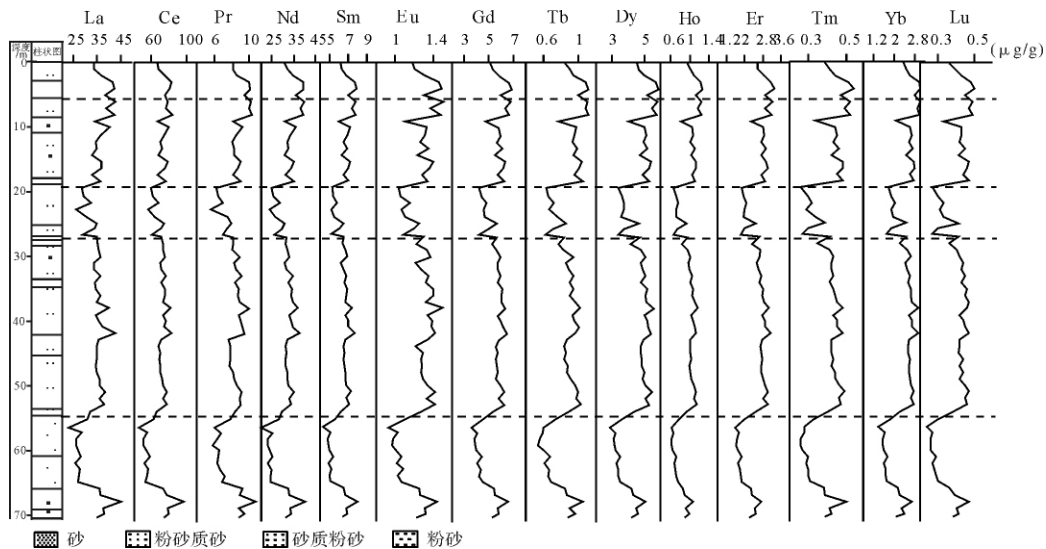


图 2 南黄海 NT2 孔稀土元素分布图

Fig. 2 REE distributions in Core NT2 from the South Yellow Sea

①青岛海洋地质研究所. 1:100 万南通幅海洋区域地质调查报告. 2007

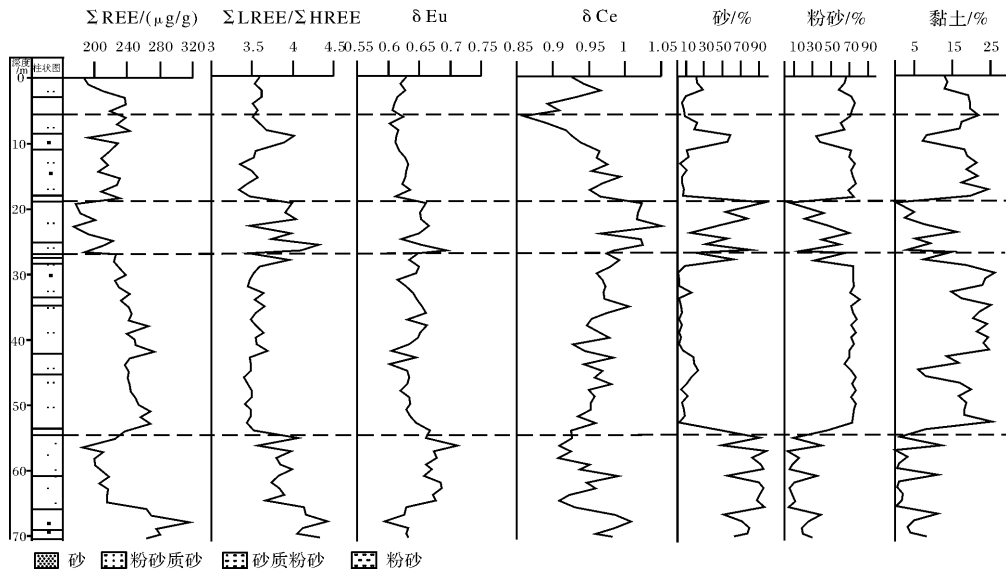


图 3 南黄海 NT2 孔 Σ REE、 Σ LREE/ Σ HREE、 δ Eu、 δ Ce 和沉积物类型垂向变化

Fig. 3 Downcore variations of Σ REE, Σ LREE/ Σ HREE, δ Eu, δ Ce and sediment type in the sediments of Core NT2 from the South Yellow Sea

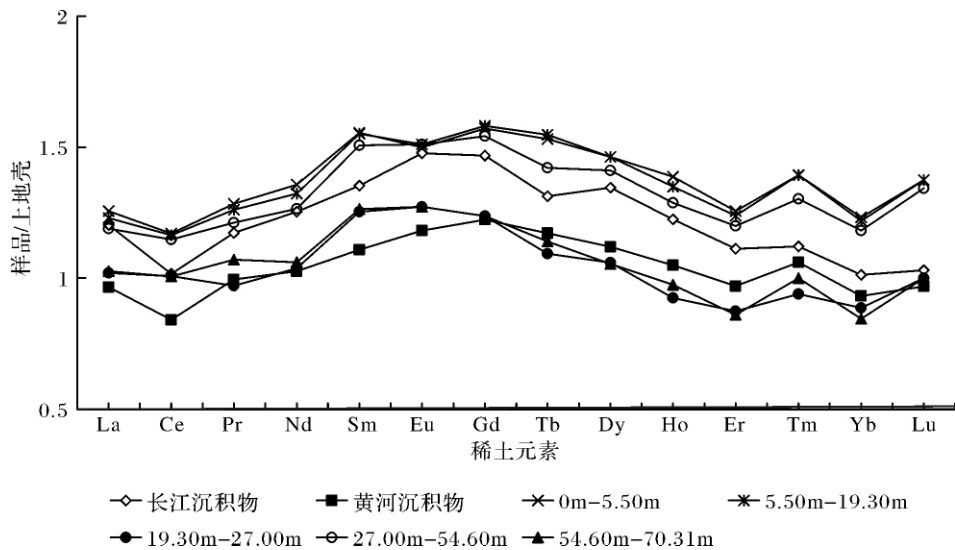


图 4 黄河、长江和 NT2 孔沉积物岩芯上地壳标准化稀土元素配分模式

Fig. 4 UCC-normalized REE distribution patterns of samples in Yellow River, Yangtze River and Core NT2

土薄层,下部沉积物为细砂与粉砂质细砂(图 4),本层沉积环境为滨岸相与陆相交替。该层 56.00 ~ 56.07 m 和 69.62 ~ 69.70 m ESR 年代分别为 138.6 ka BP 和 674 ka BP 相当于中更新世中、晚期沉积。

在球粒陨石标准化^[24]情况下所计算的样品 δ Eu 值在 0.59 ~ 0.71 之间,变化范围小且均显示明显的负 Eu 异常,表明相对于球粒陨石沉积物已经产生明显的分异,分异程度接近大陆地壳。在球粒陨石标准化情况下计算的样品 δ Ce 值在 0.86 ~ 1.05 之间,没

有明显的 Ce 异常。图 3 中 δ Eu 和 δ Ce 值随深度的变化曲线表明 δ Eu 和 δ Ce 值随深度的变化与 Σ REE 的变化基本同步,在 Σ REE 明显变化的位置, δ Eu 和 δ Ce 值也相应具有明显变化,但 δ Eu 值和 δ Ce 值的变化与 Σ REE 的变化趋势不尽相同,在第 3、4 层 δ Ce 值与 Σ REE 的变化大致呈镜像关系,第 5 层 δ Ce 值的变化与 Σ REE 的变化趋势相同,而 δ Eu 值第 5 层则与 Σ REE 的变化趋势相反。 Σ LREE/ Σ HREE 变化范围在 3.34 ~ 4.42,其变化与 Σ REE、 δ Eu 和 δ Ce 值的变

化均有所不同,可能反映了 LREE/HREE 变化主要与沉积环境和物质来源变化有密切关系。

依据长江、黄河沉积物的分析数据^[25],采用上地壳(UCC)^[26]对稀土元素标准化(图4)。由图4可见长江、黄河沉积物的稀土元素具有相同分布模式,REE分异不明显,均呈现Ce弱的负异常和Eu弱的正异常。NT2孔岩芯的稀土元素分布模式比较平缓,0~5.50 m、5.50~19.30 m和27.00~54.60 m更接近于长江沉积物稀土元素分布模式,而19.30~27.00 m和54.60~70.31 m更接近于黄河沉积物稀土元素分布模式。

2.2 稀土元素组成的控制因素

沉积物中REE组成主要受沉积物源区的源岩、粒度、矿物组成、化学风化和成土作用强弱以及人类活动等控制^[27],而受风化剥蚀、搬运、水动力、沉积、成岩及变质作用影响小。虽然一些研究揭示,化学风化强烈时,沉积物的REE组成会出现明显的分异,而明显偏离源岩组成,但是不少学者也认为,沉积物的物源仍然是控制REE组成的最重要因素^[27],因而REE常用作沉积物的物源示踪剂。黄河沉积物REE组成主要继承了黄河流域黄土的特征,长江REE特征受该流域下古生代、中生代泥岩地层及中、上游地区石灰岩分布的制约,而化学风化对黄河和长江REE的组分影响较弱^[28,29];长江与黄河沉积物的稀土元素(REE)组成特征不同,复杂的源岩决定了长江沉积物中的REE含量变化比黄河沉积物中的高,元素含量变化也大于黄河样品(图4)。

NT2孔的化学风化指数^[27](CIA)值为48~73, Σ REE组成与化学分化指数(CIA)之间呈弱正相关(图5),表明该孔化学分化作用对NT2孔REE含量影响较小。粒度对元素的控制作用被认为是对元素含量的主要控制因素^[7],稀土元素总量的变化也受粒度变化的控制,一般细粒级的泥和粉砂质泥较粗粒级的砂和粉砂含量高^[7]。NT2孔沉积物中稀土元素含量的垂向变化研究表明,稀土元素地球化学特征与不同类型沉积物有一定关系(图3),有向细粒沉积物富集的趋势, Σ REE与细粒沉积物呈正相关,而与砂质沉积物呈负相关,但NT2孔这种趋势不是很明显,NT2孔沉积物的 Σ REE与沉积物粒度平均值之间呈弱的正相关性(图6),反映出粒度对NT2孔沉积物中REE的控制作用并不显著。

沉积物中一些重矿物对沉积物的REE含量及配分形式有显著影响,锆石、石榴石、电气石、榍石、褐帘

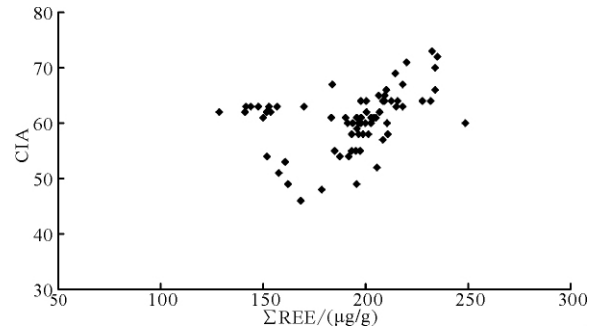


图5 NT2孔 Σ REE与CIA的相关图

Fig. 5 Correlation between Σ REE and CIA of Core NT2

石、角闪石、磷灰石和独居石等它们在沉积物中含量变化也会对整个沉积物的REE组成及模式产生较大影响^[28]。NT2孔沉积物中含有角闪石、磷灰石、石榴石、榍石和锆石等重矿物,角闪石平均含量为5.0%,其他重矿物平均含量在0.1%~1.0%;NT2孔在孔深2.08~10.04 m和大于52.88 m的沉积物中重矿物含量较高^①。NT2孔在该段 Σ REE并没有明显变化(图3),说明NT2孔重矿物对REE含量影响不明显。因此可以说NT2孔沉积物REE的变化主要是由沉积物组分的变化造成的。

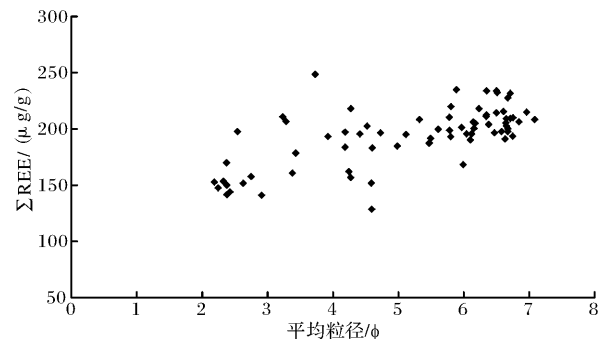


图6 NT2孔 Σ REE与平均粒度的相关图

Fig. 6 Correlation between Σ REE and average grain diameter of Core NT2

2.3 NT2孔沉积物物源判别

王颖等^[30]和张家强等^[31]对南黄海西部陆架区潮流沙脊沉积特点和水动力研究认为,潮流沙脊的物质来源主要受古长江—现代长江流域的影响,黄河物质主要在全新世最大海侵以来对其北部产生影响。秦蕴珊等^[2]发现晚更新世低海面时期在南黄海西部存在埋藏古河道,分布在水深40~80 m,根据古河道

① 青岛海洋地质研究所. 1:100万南通幅海洋区域地质调查报告. 2007

的地理位置和沉积物中富含 CaCO_3 , 认为是古黄河河道。杨子庚^[32]通过对 QC_2 ($34^\circ 18' \text{N}$ 、 $122^\circ 16' \text{E}$, 水深 49.05 m) 粒度、浅层剖面和矿物组合研究认为黄河对南黄海陆架的作用主要在全新世, 而长江则从早更新世就存在古长江三角洲, 古长江及古黄河是南黄海苏北岸外陆架最主要陆缘物源区。南黄海表层沉积物稀土元素研究表明, 西部沉积物主要来源于黄河及长江物质输入, 韩国河流沉积物对南黄海的影响主要在 $124^\circ 30'$ 以东区域^[22]。

用判别函数(DF)来表示黄河和长江沉积物同该区域物质的接近程度, DF 值越接近 0 表示两种沉积物越接近。判别函数计算方法为: $\text{DF} = | (E1/E2)_{\text{南黄海}} / (E1/E2)_{\text{黄河或长江}} - 1 |$ 。依据现代长江和黄河沉积物的对比研究结果及数据^[25], 选择 $\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$ 系统计算了 NT2 孔沉积物的 DF 值。

图 7 为 $\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$ 的判别函数。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。图 7 表明长江、黄河判别函数(DF_{cj}、DF_{hh})都较小, 反映出黄河、长江物质为该区域的主要影响要素, 外来物质对该区域影响较小。

图 7 的判别函数表明, 长江和黄河的判别函数值都小于 0.5, 说明长江、黄河物源为该孔的主要沉积物来源。在 19.30 ~ 27.00 m 和 54.60 ~ 70.31 m 岩芯段中黄河 DF 值均小于其它岩芯段, 同时也小于长江 DF 值, 说明本区域这段岩芯所对应的沉积物来源更接近黄河; 而在 19.30 m 以上、27.00 ~ 54.60 m 岩芯沉积物中的长江 DF 值较上述岩芯相比都小, 说明南黄海 NT2 孔中这三段岩芯沉积物与长江关系更近。

判别函数(DF)和稀土元素的配分模式表明, 南黄海 NT2 孔沉积物物质主要来源于长江和黄河。

NT2 孔中粒度、重矿物和化学分化作用对 NT2 孔 REE 含量影响较小, 因此 NT2 孔沉积物 REE 的变化主要是由沉积物组分的变化造成的。

NT2 孔沉积物 $\delta \text{Eu}_N - \Sigma \text{REEs}$ 关系图(ΣREEs 不含 Y 值)^[33] 揭示了该孔沉积物物源存在明显差异(图 8)。0 ~ 5.50 m、5.50 ~ 19.30 m 和 27.00 ~ 54.60 m 的样品数值大部分落在了长江沉积区, 而 19.30 ~ 27.00 m 和 54.60 ~ 70.31 m 的样品数值基本上都落在了黄河沉积区内。

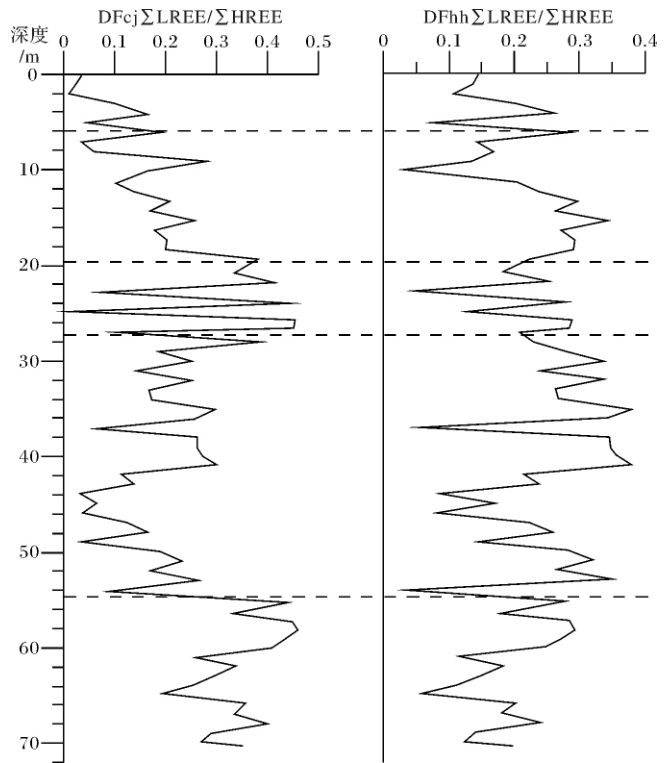


图 7 南黄海 NT2 孔沉积物的 $\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$ 判别函数变化

Fig. 7 Variation of discriminate function of $\Sigma \text{LREE} / \Sigma \text{HREE}$ for sediments in Core NT2 of the South Yellow Sea

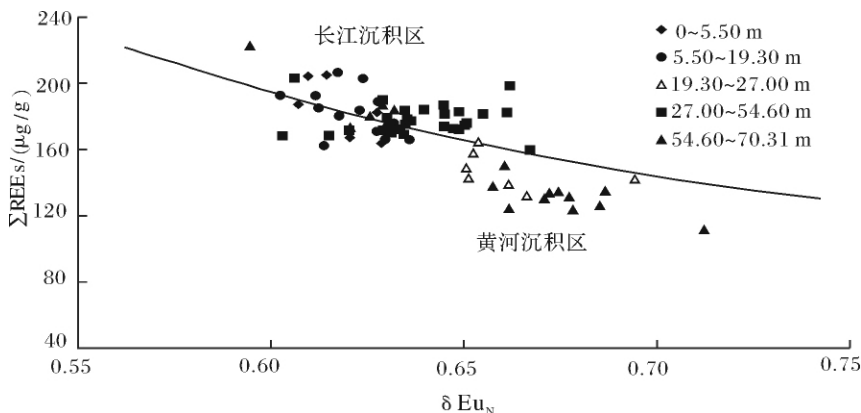


图 8 南黄海 NT2 孔沉积物 $\delta \text{Eu}_N - \Sigma \text{REEs}$ 关系图

Fig. 8 Correlation between δEu_N and ΣREEs for sediments in Core NT2 of the South Yellow Sea

NT2 孔下部 70.31 ~ 54.60 m 沉积物主要为黄河源,该段 56.00 ~ 56.07 m 和 69.62 ~ 69.70 m ESR 年代分别为 138.6 ka BP 和 674 ka BP 相当于中更新世中、晚期沉积。源区沉积物环境和物质特征是南黄海沉积物组成的主要影响因素之一。潘保田等^[34]研究表明,现代黄河东流入海的格局至少在 1.165 Ma 前就已出现。黄河沉积物主要来源于黄土高原,黄河流域以蒸发盐和碳酸盐类风化为主^[35],黄河流域物理风化占主导地位,物理风化时 REE 一般不会产生分异,其 REE 特征继承了黄土的 REE 组成特点,REE 分异作用较弱,这就决定了沉积物的轻、重稀土元素分异程度(LREE/HREE)相对较弱(图3)。随着海平面上升和源区沉积环境变化,NT2 孔中下部 54.60 ~ 27.00 m 沉积物转换为以长江源为主要来源,该段 44.10 ~ 44.16 m 和 53.60 ~ 53.67 m ESR 年代分别为 62.2 ka BP 和 116.6 ka BP 相当于晚更新世早期近岸浅海沉积。由于组成长江沉积物的来源相对黄河而言更为复杂,而且长江流域的酸性岩浆发育^[35],因此长江沉积物的 REE 含量比较高(图3)。杨子庚^[32]研究认为南黄海陆架存在古长江三角洲,长江从早更新世到现代已对南黄海陆架起主要作用。

NT2 孔中部 27.00 ~ 19.30 m 沉积物主要为黄河源,20.95 ~ 21.05 m 和 25.30 ~ 25.35 m 的 ESR 年代分别为 21.4 ka BP 和 24.7 ka BP,上部近岸浅海为更新世晚期的末次冰期中间冰阶(暖期)的海侵层,而下部陆相为晚更新世晚期的早玉木冰期。海平面变化是南黄海沉积物的来源和物质供应量的主要控制因素之一,因而也是沉积物 REE 特征的主要控制因素之一。随着海平面下降,苏北岸外南黄海陆架沉积物的来源也相应发生了变化,由以沉积长江沉积物为主,转变为以沉积黄河沉积物为主,前人研究也认为晚更新世晚期黄河已流入黄海陆架区^[36],使得沉积物的 REE 具有类似黄河沉积物的特征(图4)。NT2 孔 19.30 m 以上沉积物以长江源为主,上部 5.50 ~ 19.30 m 相当于晚更新世晚期的末次冰期晚期沉积,主要为陆相和滨岸相;顶部 0 ~ 5.50 m 为全新世滨岸及浅海沉积;南黄海陆架随着海平面上升,全新世海侵逐步由南向北扩展,体现在该孔海相性逐渐增强,而黄河对南黄海的影响相对减弱^[37]。Yoshihiro 等^[38]研究表明,在南黄海中西部的 Sr 同位素比值⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 介于 0.720 3 ~ 0.723 7 之间,与长江中、下游泛滥平原细粒沉积物的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 平均值(0.7214)相当^[39],可见 Sr 同位素比值特征表明南黄海中西部

表层沉积物源于长江。南黄海表层沉积物物源逐步判别分析也表明^[40],南黄海西部靠近现代长江口和老长江口,以长江源物质占优势,该区沉积作用明显受到现代长江物质输运和古长江三角洲物质再悬浮扩散机制的影响。随着海平面上升和黄海暖流的作用,全新世以来很可能来源于黄河的物质在此沉积下来逐渐减少,而长江物质相对逐渐增加,从而造成了这一时期沉积物稀土元素的组成特征发生了变化。

3 结论

南黄海 NT2 孔稀土元素分布特征表明,稀土元素组成的垂向变化可自上而下分为 5 层。相关分析揭示粒度 and 化学风化对 REE 组成影响较小。判别函数和稀土元素配分模式研究表明南黄海 NT2 孔沉积物物源主要为长江源和黄河源;REE 判别图解揭示 NT2 孔上部 0 ~ 5.50 m, 5.50 ~ 19.30 m 沉积物主要为长江源,中部 19.30 ~ 27.00 m 和下部 54.60 ~ 70.31 m 沉积物主要为黄河源,其间夹近 28 m 厚沉积物则主要为长江源,可见黄河在中更新世中晚期已开始对南黄海陆架沉积作用有明显影响,而长江从晚更新世早期到现代对南黄海陆架起着主要作用。

参考文献 (References)

- 1 Milliman J D, Shen H T, Yang S Z. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf[J]. *Continental Shelf Research*, 1985, 4: 37-45
- 2 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉. 黄海晚第四纪沉积[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 69-178 [Liu Minghou, Wu Shiyong, Wang Yongji. Late Quaternary Deposit of the Yellow Sea [M]. Beijing: Ocean Press, 1987: 69-178]
- 3 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-289 [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology in the Yellow Sea [M]. Beijing: Science Press, 1989: 1-289]
- 4 Lee H J, Chough S K. Sediment distribution, dispersion and budget in the Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 1989, 87: 195-200
- 5 郑光鹰. 黄海第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 31-64 [Zheng Guanying. Quaternary Geology of the Yellow Sea [M]. Beijing: Science Press, 1991: 31-64]
- 6 赵一阳, 李凤业, 秦朝阳, 等. 试论南黄海中部泥的物因及成因[J]. *地球化学*, 1991, 2: 112-117 [Zhao Yiyang, Li Fengye, Qin Saoyang, et al. Source and genesis mud in the central part of South Yellow Sea [J]. *Geochimica*, 1991, 2: 112-117]
- 7 赵一阳, 酆明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 46-89 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Geochemistry of Sediments of the China Shelf Sea [M]. Beijing: Science Press, 1994: 46-89]
- 8 杨子庚, 林和茂. 中国第四纪地层与国际对比[M]. 北京: 地质出

- 版社, 1996: 31-55 [Yang Zigeng, Lin Hongmao. Quaternary Stratigraphy in China and Its International Correlation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 31-55]
- 9 李绍全, 刘健, 王圣洁, 等. 南黄海东侧陆架冰消期以来的海侵沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 1-12 [Li Shaoquan, Liu Jian, Wang Shengjie, et al. Sedimentary characters in the Eastern South Yellow Sea during the post-glacial transgression[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1997, 17(4): 1-12]
 - 10 Kim G B, Yang H S, Church T M. Geochemistry of alkaline earth elements (Mg, Ca, Sr, Ba) in the surface sediments of the Yellow Sea [J]. Chemical Geology, 1999, 153(1-4): 1-10
 - 11 陈志华, 石学法, 王湘芹. 南黄海表层沉积物碳酸盐及 Ca、Sr、Ba 分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(4): 9-16 [Chen Zhihua, Shi Xuefa, Wang Xiangqin. Distribution characteristics of carbonate as well as Ca, Sr and Ba in the surface sediments in the South Yellow Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(4): 9-16]
 - 12 蓝先洪, 申顺喜. 南黄海中部沉积岩芯的地球化学特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 33-38 [Lan Xianhong, Shen Shunxi. Geochemical characteristics of sediment cores from the central South Yellow Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(2): 33-38]
 - 13 蓝先洪, 申顺喜. 南黄海中部沉积岩芯的微体古生物组合特征及古环境演化[J]. 海洋湖沼通报, 2004, 2: 16-21 [Lan Xianhong, Shen Shunxi. Micropaleontological assemblage characteristics sediment cores from the central South Yellow Sea and palaeo-environmental evolution[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2004, 2: 16-21]
 - 14 庄丽华, 阎军, 常风鸣, 等. 南黄海 EY02-2 孔碳酸盐含量特征与沉积物来源[J]. 海洋科学, 2004, 8(1): 8-10 [Zhuang Lihua, Yan Jun, Chang Fengming, et al. Carbonate content character and sediments source from the core EY02-2 in the southern Yellow Sea [J]. Marine Sciences, 2004, 8(1): 1-5]
 - 15 蓝先洪, 王红霞, 李日辉, 等. 南黄海沉积物常量元素组成与物源分析[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 197-203 [Lan Xianhong, Wang Hongxia, Li Rihui, et al. Major elements composition and provenance analysis in the sediments of the South Yellow Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(4): 197-203]
 - 16 蓝先洪, 张训华, 张志珣. 南黄海沉积物的来源及运移研究[J]. 海洋湖沼通报, 2005, 4: 53-60 [Lan Xianhong, Zhang Xunhua, Zhang Zhixun. Material sources and transportation of sediments in the Southern Yellow Sea [J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2005, 4: 53-60]
 - 17 吴明清, 王贤觉. 东海沉积物稀土和微量元素[J]. 地球化学, 1991, 1: 40-46 [Wu Mingqing, Wang Xianjue. Rare earth and trace elements in the east China Sea sediments [J]. Geochimica, 1991, 1: 40-46]
 - 18 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 15-25 [Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua. Rare-Earth Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1989: 15-25]
 - 19 王金土. 黄海表层沉积物稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 1990, 1: 44-53 [Wang Jintu. REE geochemistry of surficial sediments from the Yellow Sea of China [J]. Geochimica, 1990, 1: 44-53]
 - 20 蓝先洪, 申顺喜. 南黄海中部沉积岩芯的稀土元素地球化学特征[J]. 海洋通报, 2002, 21(5): 46-53 [Lan, Xianhong, Shen, Shunxi. Geochemical characteristics of rare earth elements of sediment cores from the central South Yellow Sea [J]. Marine Science Bulletin, 2002, 21(5): 46-53]
 - 21 高爱国, 陈志华, 刘炎光, 等. 楚科奇海表层沉积物的稀土元素地球化学特征[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(2): 148-154 [Gao Aiguo, Chen Zhihua, Liu Yanguang, et al. REE geochemistry of surface sediments in the Chuk chi Sea [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(2): 148-154]
 - 22 蓝先洪, 王红霞, 张志珣, 等. 南黄海表层沉积物稀土元素分布与物源关系[J]. 中国稀土学报, 2006, 26(6): 745-749 [Lan Xianhong, Wang Hongxia, Zhang Zhixun, et al. Distributions of rare earth elements and provenance relations in the surface sediments of the South Yellow Sea [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2006, 26(6): 745-749]
 - 23 李双林, 李绍全. 黄海 YA01 孔沉积物稀土元素组成与源区示踪[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 51-55 [Li Shuanglin, Li Shaoquan. REE composition and source tracing of sediments from core YA01 in Yellow Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2001, 21(3): 51-55]
 - 24 赵志根. 不同球粒陨石平均值对稀土元素参数的影响[J]. 标准化报道, 2000, 21(3): 15-16 [Zhao Zhigen. Effect of different chondrite on the parameter of rare earth elements [J]. Reporting of Standardization, 2000, 21(3): 15-16]
 - 25 杨守业, 李从先. 长江和黄河沉积物 REE 地球化学及示踪作用[J]. 地球化学, 1999, 28(4): 374-380 [Yang Shouye, Li Congxian. REE geochemistry and tracing application in the Yangtze River and the Yellow River sediments [J]. Geochimica, 1999, 28(4): 374-380]
 - 26 Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwells, 1985: 29-45
 - 27 杨守业, 韦刚健, 夏小平, 等. 长江口晚新生代沉积物的物源研究: REE 和 Nd 同位素制约[J]. 第四纪研究, 2007, 23(3): 339-346 [Yang Shouye, Wei Gangjian, Xia Xiaoping, et al. Provenance study of the Late Cenozoic sediments in the Changjiang Delta: REE and Nd isotopic constraints [J]. Quaternary Sciences, 2007, 23(3): 339-346]
 - 28 杨守业, 李从先, Lee C B, 等. 黄海周边河流的稀土元素地球化学及沉积物物源示踪[J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1233-1236 [Yang Shouye, Li Congxian, Lee C B, et al. Geochemistry of rare earth element in rivers near China sea and its trace to the source of sediments [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(11): 1233-1236]
 - 29 蓝先洪. 黄河、长江和珠江三角洲近代沉积物的沉积化学特征[J]. 台湾海峡, 1995, 14(1): 44-50 [Lan Xianhong. Sedimentary chemical characteristics of recent sediments in Yellow, Yangtze and Pearl Rivers deltas [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(1): 44-50]

- 30 王颖,朱大奎,周旅复,等.南黄海辐射沙脊群沉积特点及其演变[J].中国科学: D 辑,1998,28(5):386-393 [Wang Yin, Zhu Dakui, Zhou Lufu, *et al.* Sedimentary characteristics of radiative sand ridge field of the South Yellow Sea and its evolution [J]. Science in China: Series D, 1998, 28(5): 386-393]
- 31 张家强,李从先,丛友滋.苏北陆区古潮流沙体沉积动力环境及物源[J].海洋学报,1998,20(3):82-90 [Zhang Jiaqiang, Li Congxian, Cong Youzi. Hydrodynamic environment and source of the old tidal sand body in the coastal plain of the Northern Jiangsu [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1998, 20(3): 82-90]
- 32 杨子赓.晚松山时南黄海的古长江三角洲[J].第四纪研究,1994,1:13-23 [Yang Zigeng. Palaeo-Yangtze River delta in the South Yellow Sea during Late Matuyama Chron [J]. Quaternary Sciences, 1994, 1: 13-23]
- 33 蒋富清,周晓静,李安春,等. $\delta E u_N - \Sigma R E E s$ 图解定量区分长江和黄河沉积物[J].中国科学: D 辑,2008,38(11):1460-1468 [Jiang Fuqing, Zhou Xiaojing, Li Anchun, *et al.* The discrimination plot of $\delta E u_N - \Sigma R E E s$ in the Yangtze River and the Yellow River sediments [J]. Science in China: Series D, 2008, 38(11): 1460-1468]
- 34 潘保田,王均平,高红山,等.河南扣马黄河最高级阶地古地磁年代及其对黄河贯通时代的指示[J].科学通报,2005,50(2):255-261 [Pan Baotian, Wang Junping, Gao Hongshan, *et al.* Paleomagnetic age of the highest terrace of the Yellow River and its indicator of the Yellow River passing through in Kouma, Henan province [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(2): 255-261]
- 35 蒋富清,孟庆勇,徐兆凯,等.冲绳海槽北部 15kaB.P. 以来沉积物源及控制因素—稀土元素的证据[J].海洋与湖沼,2008,39(2):112-118 [Jiang Fuqing, Meng Qingyong, Xu Zhaokai, *et al.* The REE imprint on sediment provenance of the northern Okinawa Trough since the last 15ka BP [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(2): 112-118]
- 36 李凡,张秀荣,李永植,等.南黄海埋藏古三角洲[J].地理学报,1998,53(3):238-244 [Li Fan, Zhang Xiurong, Li Yongzhi, *et al.* Buried paleo-delta in the South Yellow Sea [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(3): 238-244]
- 37 陈志华,石学法,王相芹,等.南黄海 B10 孔岩芯的地球化学特征及其对古环境和古气候的反映[J].海洋学报,2003,25(1):69-77 [Chen Zhihua, Shi Xuefa, Wang Xianqin, *et al.* Geochemical changes in Core B10 in the southern Huanghai Sea and implications for variations in paleoenvironment and paleoclimate [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(1): 69-77]
- 38 Yoshihiro A, Tsuyoshi T, Hikari K. Asian continental nature of $^{87}S r / ^{86}S r$ ratios in north central Pacific sediments [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1995, 133: 105-116
- 39 孟宪伟,杜德文,陈志华,等.长江、黄河流域泛滥平原细粒沉积物的 $^{87}S r / ^{86}S r$ 空间变异的制约因素及其物源示踪意义[J].地球化学,2000,29(2):562-569 [Meng Xianwei, Du Dewen, Chen Zhihua, *et al.* Factors controlling spatial variation of $^{87}S r / ^{86}S r$ in the fine-grained sediments from the overbanks of the Yellow River and Yangtze River and its implication for provenance of marine sediments [J]. Geochimica, 2000, 29(6): 562-569]
- 40 孟宪伟,杜德文,王湘芹.南黄海表层沉积物物质来源的逐步判别分析[J].地质论评,2000,146(增刊):269-273 [Meng Xianwei, Du Dewen, Wang Xiangqin. Stepwise discriminant analysis used for discriminant sediment source of the South Yellow Sea [J]. Geological Review, 2000, 146(Suppl.): 269-273]

Provenance Study of Sediments in Core NT2 of the South Yellow Sea

LAN Xian-hong ZHANG Zhi-xun LI Ri-hui DING Dong

(Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao Shandong 266071)

Abstract The rare earth elements (REE) of 72 sediment samples taken from Core NT2 in the South Yellow Sea near Jiangsu coast were measured with ICP-MS in order to study the variation of sediment source since the middle-late period of middle Pleistocene. The correlation plot indicates that the REE composition was less influenced by sediment grain size and chemical weathering, therefore, was primarily controlled by provenance rocks. The discrimination plot of REE parameter suggests that provenance of sediment in this core is mainly the Yangtze River and Yellow River. Of the core, the sediments between 0 ~ 5.50 m, 5.50 ~ 19.30 m in upper Core NT2 mainly belong to Yangtze River source; the sediments between 19.30 ~ 27.00 m in middle Core NT2 are mainly from Yellow River, and the sediments between 27.00 ~ 54.60 m are mainly from Yangtze River; the sediments between 54.60 ~ 70.31 m in lower Core NT2 are mainly from Yellow River. The results demonstrate that the Yellow River has an obvious effect on sedimentation of the South Yellow Sea shelf from during the middle-late period of middle Pleistocene and the Yangtze River has been playing a main role to the South Yellow Sea since early period of Late Pleistocene.

Key words rare earth elements; provenance; Core NT2; South Yellow Sea