

# 南海北部古韩江物源的演化特征

张向涛<sup>1</sup>, 陈亮<sup>1</sup>, 余清华<sup>1</sup>, 张素芳<sup>1</sup>, 乔培军<sup>2</sup>, 邵磊<sup>2</sup>

(1 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司研究院, 广州 510240; 2 同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要:**珠江和韩江是南海北部陆源物质的两个重要供给来源, 南海北部陆丰-韩江地区自古近纪以来即接受两者的沉积。通过稀土元素配分特征及判别分析发现, 在始新世, 研究区沉积物稀土元素配分形式多样, 不同地区差异明显, 显示出在始新世沉积时, 研究区尚不具备大的物源供给, 基本以近源为主。在渐新世, 韩江源区和珠江源区基本形成, 但是古韩江对陆丰-韩江地区相对影响较大, 主要影响研究区东部及中部的广大地区, 而珠江则主要影响研究区西北及西部地区。到早中新世, 韩江物源影响范围进一步扩大, 一直影响到研究区西南部地区, 并有部分物质到达研究区西部。但是, 从中中新世开始, 韩江物源逐步退缩, 使西南地区受珠江和韩江来源沉积物的共同影响, 而探井 Lf14 则主要受珠江的影响。到晚中新世, 韩江和珠江来源沉积物均发生减弱, 本地区主要接受浅海泥灰质沉积。研究区除了接受韩江和珠江带来的陆源碎屑沉积外, 从渐新世开始, 一直持续到早中新世均受到东沙隆起区的基性火山活动的影响, 对研究区南部 Lf7 和 Lf14 探井影响较大。由于受火山活动的影响, 使该地区沉积物的稀土元素 Eu 出现较多的正异常。

**关键词:**韩江; 物源; 稀土元素; 沉积学; 南海

**中图分类号:**P736.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**0256-1492(2012)04-0041-08

## 1 地质背景

韩江流域跨越闽西南和粤东地区(极少部分在江西省境内), 地理位置在北纬  $23^{\circ}17'$ ~ $26^{\circ}05'$ 、东经  $115^{\circ}13'$ ~ $117^{\circ}09'$  之间, 流域总面积为  $30\ 112\text{ km}^2$ , 流域内主要为花岗岩丘陵和震旦-寒武纪中细粒钙质长石石英砂岩、泥盆系石英砂岩、页岩和石炭系的砂岩、页岩和灰岩组合, 以及中生代沉积岩和花岗岩侵入体以及高钾钙碱性火山岩, 古生代地层普遍发生变质<sup>[1-2]</sup>。

韩江是南海北部除珠江以外另一个沉积物的主要提供者。由于该河流发育规模相对较小, 研究资料相对缺乏, 长期以来没有对其开展认真研究, 其形成演化过程至今并不清楚。随着南海北部陆丰-韩江凹陷地区油气田的勘探开发, 发现了古韩江三角洲的存在, 为该问题的解决提供了良好的物质基础<sup>[3]</sup>。现有研究结果表明<sup>[4-5]</sup>, 南海北部陆坡深水区在  $23.3\text{ Ma}$  的渐新世/中新世界线处存在一次明显的向北迁移现象, 造成南海北部深水区在渐新世以

浅海三角洲沉积为特征, 到中新世后, 海水急剧加深, 接受了包括深水扇在内的深海沉积物。在由古韩江三角洲控制的陆丰-韩江凹陷地区是否受到该构造运动的影响, 其表现如何并不清楚, 急需开展相关研究。

南海北部陆丰-韩江凹陷地区盆地基底主要由中生代中酸性、酸性及基性侵入岩组成, 其东南侧的东沙隆起还存在中基性火山物质<sup>[6]</sup>, 在始新世盆地开始拉张, 接受了始新-渐新世的河流-湖泊相沉积、中新世以来的海陆过渡相以及滨浅海相沉积, 其中在渐-中新世接受了大量三角洲沉积的砂体<sup>[2]</sup>。由于该地区介于古珠江和古韩江的交汇处, 查明这些三角洲砂体的物质来源及搬运途径, 不仅对解释古珠江和古韩江的形成演化、对于恢复该地区的古地理格局及相关大地构造背景具有重要意义, 对揭示陆丰-韩江地区的生、储、盖层组合等也十分重要。

## 2 材料与方法

为了揭示古韩江三角洲的发育演化过程, 本文通过对陆丰-韩江凹陷地区 7 口探井揭示的古三角洲沉积物的 396 个样品开展源区地质学、沉积地球化学对比分析等方面的研究, 确定古韩江三角洲不同时代沉积物源区地质特点及其变迁历史, 揭示其中包含的构造演变及沉积环境变迁信息, 为探讨河

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05023-003); 国家自然科学基金项目(91128207, 40976023)。

作者简介: 张向涛(1969—), 男, 高级工程师, 石油地质学专业。  
E-mail: zhangxt1@cnooc.com.cn

收稿日期: 2012-07-06; 改回日期: 2012-07-17。 张光威编辑

流对盆地的沉积充填过程,建立不同时期源区演化与盆地沉积充填之间的耦合关系、深入理解该凹陷储层特征及有利储层发育期提供重要依据。

为了与韩江及珠江来源沉积物进行对比,本研究还采集韩江现代河流样品 23 个,珠江河流样品 112 个,尽可能使研究结果更全面、更具有代表性。样品采集位置分布见图 1。

对所采样品首先筛选出 0.27~0.063 mm 粒级的沉积物,用去离子水对其进行清洗,低温(50 °C)下烘干,压碎,并在 580 °C 灼烧 30 min 以剔除有机质及沉积物内黏土矿物中的层间水,称重并计算烧失率。然后用 0.1 M HCl 除去  $\text{CaCO}_3$ ,避免自生沉积物对分析结果产生的干扰。样品用  $\text{HF} + \text{HNO}_3$  混合酸分解,并用外部标准校正方法在等离子体光谱仪(ICP—AES)和质谱仪(ICP—MS)上测定常量及微量元素含量<sup>[7-8]</sup>。每个样品测定 6 次,并由国际标样(如 GSR-1, JSD-1)、重复样品以及空白样品进行校正,样品准确度及精确度由控制样品及重复样品监控。样品处理及测试均在同济大学海洋地质国家重点实验室完成。

### 3 结果及讨论

陆丰-韩江凹陷地区可能的物质来源主要有 3 种途径:(1)凹陷周边发育的低突起和隆起带,在一定时期为剥蚀区,为凹陷提供沉积物;(2)位于凹陷西北侧的古珠江,其提供的沉积物有可能进入该地区;(3)位于凹陷东北侧的古韩江,可能为该地区提

供较多物质供给。现将这 3 种潜在源区的地质组成特征及差异进行讨论。

#### 3.1 稀土元素分布特征

区域研究揭示,从研究区东北向西南方向推进的为古韩江三角洲,在研究区西侧则存在有古珠江来源物质的供给(图 2);但是,这两个三角洲物源自渐新世以来各自的影响范围和程度尚未做过深入研究。由于沉积物中 REE 组成及分布模式主要取决于源岩组成,而受风化剥蚀、搬运、水动力、沉积、成岩及变质作用影响小<sup>[9-11]</sup>,在河流和地表水的剥蚀和搬运作用过程中的变化不明显,其含量、配分模式和一些重要的稀土元素参数对探讨沉积物的形成条件和物源区性质具有重要意义,因而,REE 常被作为沉积物的物源示踪工具。

对于不同来源沉积物稀土元素分布特征已经有深入研究<sup>[12-17]</sup>,珠江、韩江现代河流及韩江-陆丰地区样品稀土元素球粒陨石标准化后含量配分模式见图 3。图中显示,现代珠江和韩江河流稀土元素配分模式与代表上地壳平均值的澳大利亚后太古代页岩数据 PAAS 极为接近,均呈斜率负值的形式, $\text{La}-\text{Eu}$  段斜率较大, $\text{Eu}-\text{Lu}$  段较平缓,在元素 Eu 处出现“凹”谷。可以看出,现代珠江、韩江沉积物中 REE 的球粒陨石标准化配分模式均为 LREE 相对富集,而 HREE 相对稳定,Eu 具有中等程度的亏损,Ce 没有明显的异常情况,与上地壳平均值一致,反映了沉积物长距离搬运混合的结果。

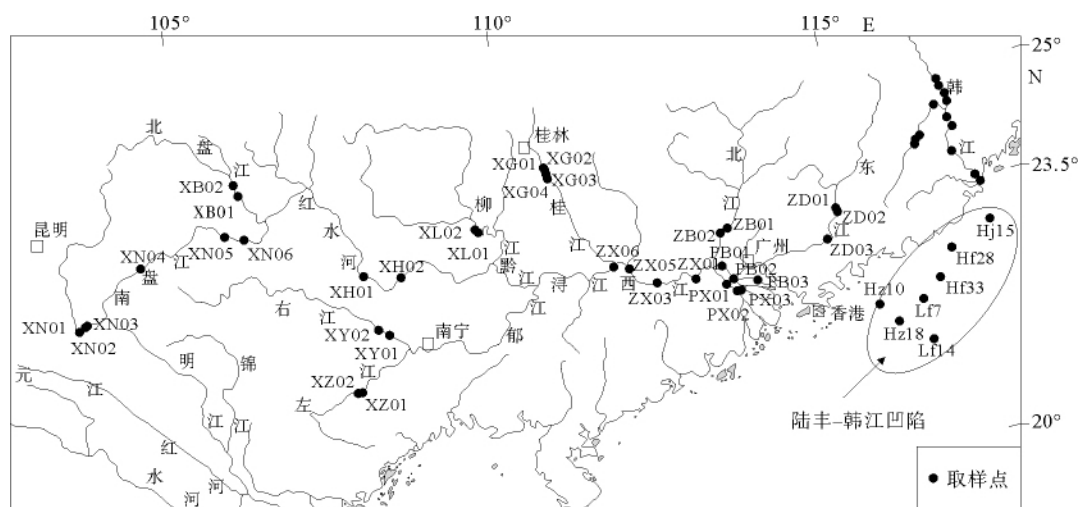


图 1 河流及探井样品位置分布

Fig. 1 Location of the river samples and well samples

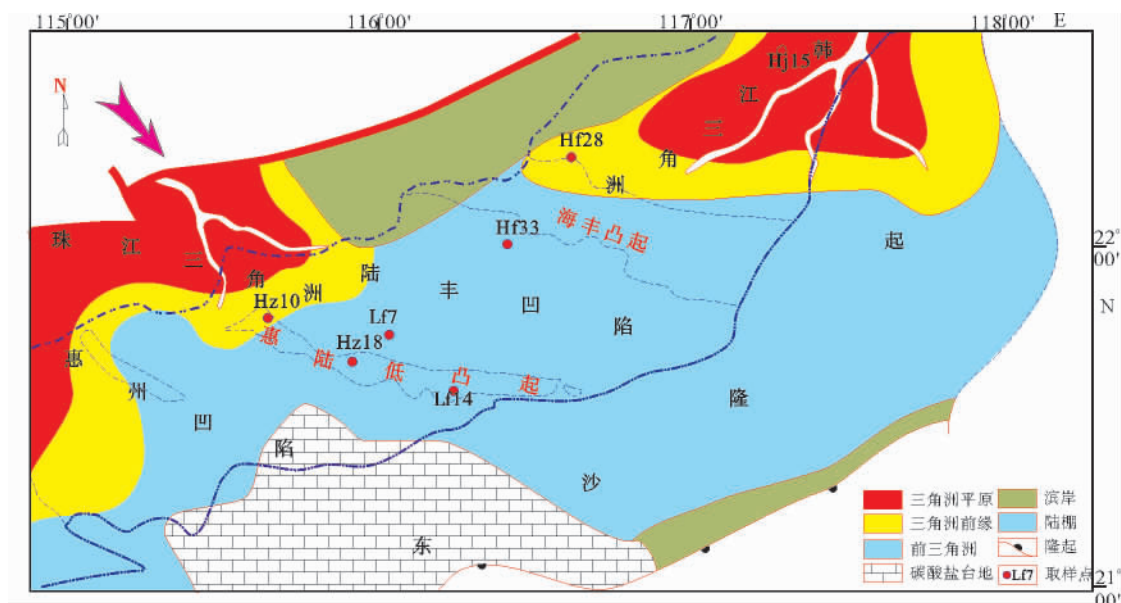


图2 南海北部地区古韩江三角洲和古珠江三角洲分布示意

Fig. 2 The distribution of paleo-Pearl River delta and paleo-Han River delta in northern South China Sea

但是,韩江来源沉积物稀土元素配分形式在始新世虽然在轻重稀土含量特征上与现代韩江类似,却表现出Eu元素的正异常或者无异常,说明始新世韩江源区岩石类型与现今韩江存在一定差异,从始新世到渐新世,韩江来源沉积物Eu元素逐步从无异常到负异常的转变,反映出韩江流域随时间扩大的特点。

始新世沉积物稀土元素配分模式显示,位于研究区东侧的Hf28、Hf33以及Hf15井与盆地西侧完全不同,均表现出Eu元素的正异常或者无异常,反映物源区以中性到基性母岩为主的特点,而西侧则以酸性岩或沉积岩母岩为特征;到渐新世,除来自研究区西南侧的Lf7、Lf14和Hf18井呈现Eu元素明显正异常或无异常外,其他几口井均表现出负异常。

进入早中新世,研究区西南侧的Lf7和Lf14井仍然保持Eu元素明显正异常,而位于研究区东侧的Hf5、Hf28和Hf33井沉积物Eu元素则从无异常到负异常的转化,显示沉积物随着搬运距离加大,Eu元素含量逐步降低的过程,从地震剖面揭示的情况也可看出,该时期是古韩江三角洲最为发育的时期;到中中新世,所有探井沉积物均呈现出Eu元素明显负异常,含量也与PAAS最为接近,同时地震剖面显示,该时期古珠江来源沉积物明显增多。到晚中新世,除Lf7井沉积物保持Eu元素明显正异常外,其他探井均呈现出Eu元素明显负异常,说明Lf7井沉积物受到除古珠江和古韩江以外其他物源的影响(图3)。

### 3.2 稀土元素判别分析

为了更好地理解研究区7口探井沉积物来源,确定不同时期珠江、韩江来源物质对研究区的影响作用,在此对7口探井与韩江、珠江河流沉积物按时间进行稀土元素判别对比分析,由于始新世样品数量较少,加之始新世韩江来源沉积物稀土元素与渐新世以来沉积物存在一定差异,故判别分析从渐新世开始。

结果显示(图4),在早渐新世,除Lf7井以外,其他各井样品相对集中,与韩江样品相对较近而远离珠江样品,到晚渐新世,情况基本相同,说明韩江物源在整个渐新世对研究区影响较大,Lf7井主要受东沙隆起基性物源的影响,珠江对本区的影响相对较小。在早中新世,Lf7井样品仍然偏离其他各井,韩江沉积物与各井样品相对接近,珠江相对偏离较远,说明该时期韩江来源沉积物是研究区主要物质来源,Lf7井还受到东沙隆起物源的影响。在中中新世,本区受到韩江和珠江的共同影响,具体表现在珠江主要影响Hf10和Hf18等井研究区西南侧,韩江则影响研究区东侧和中部,韩江的影响力略微减弱。到晚中新世,珠江、韩江沉积物与各井样品均比较接近,判别准确率低,具有混合物源的特点,表明该地区受两者共同作用的影响,Lf7井样品相对略有偏离,结合该时期其稀土元素中Eu表现为明显正异常,说明存在基性火山物质的加入。

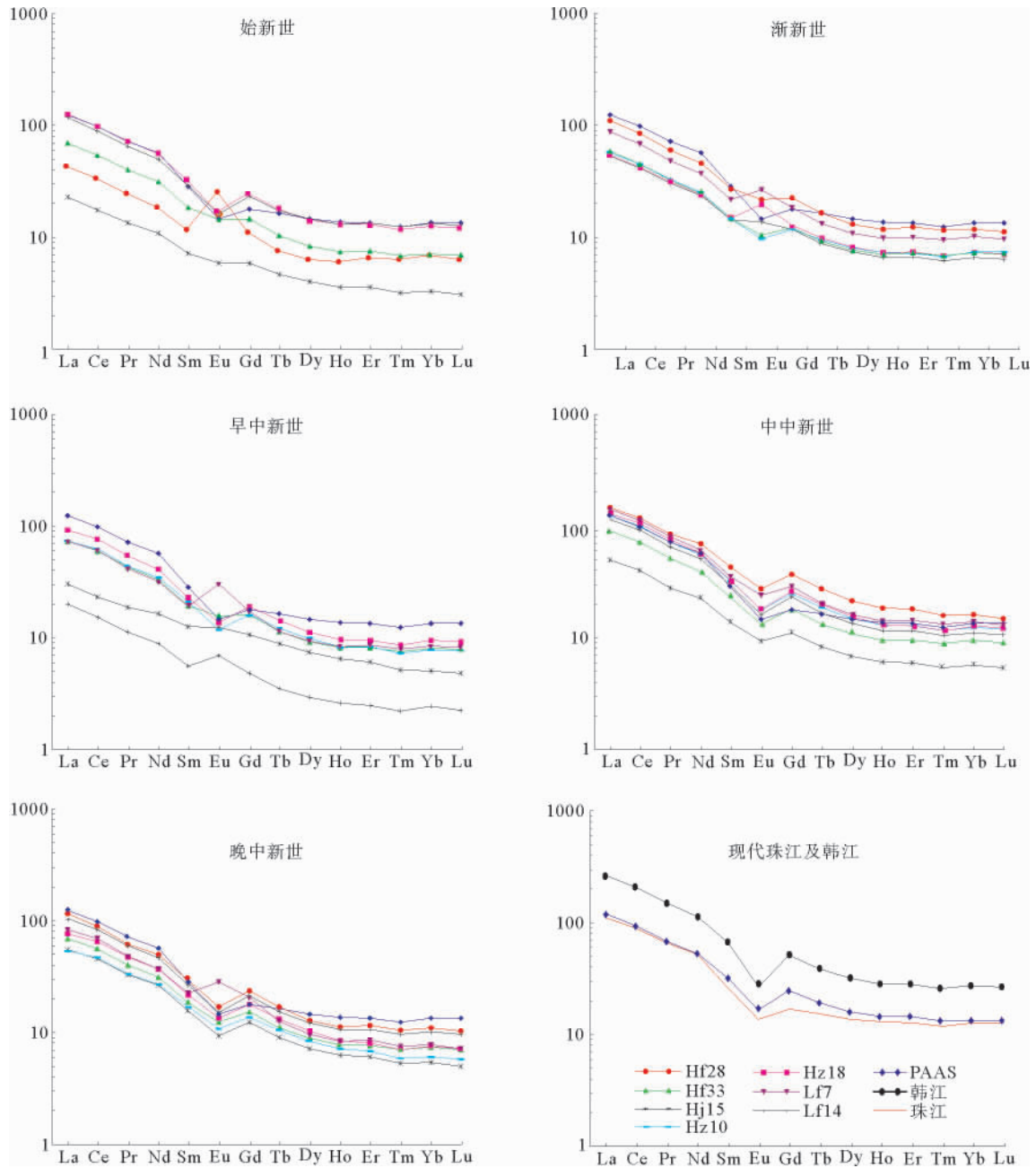


图3 珠江与韩江及韩江-陆丰凹陷沉积物的 REE 球粒陨石标准化曲线

Fig. 3 The Chondrite-normalized REE diagram for the sediments from Pearl River, Han River and Hanjiang-Lufeng depression

判别分析结果显示,研究区从早渐新世至晚中新世沉积物源区存在迁移,在渐新世主要以韩江为沉积物源区;到中中新世,珠江来源沉积物对本区影响逐步变大;特别是到中中新世,本地区基本为珠江来源沉积物与韩江来源沉积物平分秋色,韩江来源沉积物主要影响研究区东北部,珠江来源沉积物则影响研究区的西部,在它们之间存在混合沉积区。在珠江和韩江沉积物影响本地区的同时,东沙隆起的火山活动对本地区南部也具有一定影响,但规模

较小。

### 3.3 物源演变分析

通过以上分析可以看出,在始新世,研究区尚不具备大的物源供给,基本以近源为主(图5),在 Hf28 井以基性母岩为特征,稀土元素中 Eu 呈现明显的正异常,而在 Hf18 井则以酸性岩区为特征,稀土元素中 Eu 呈现明显的负异常(图3)。

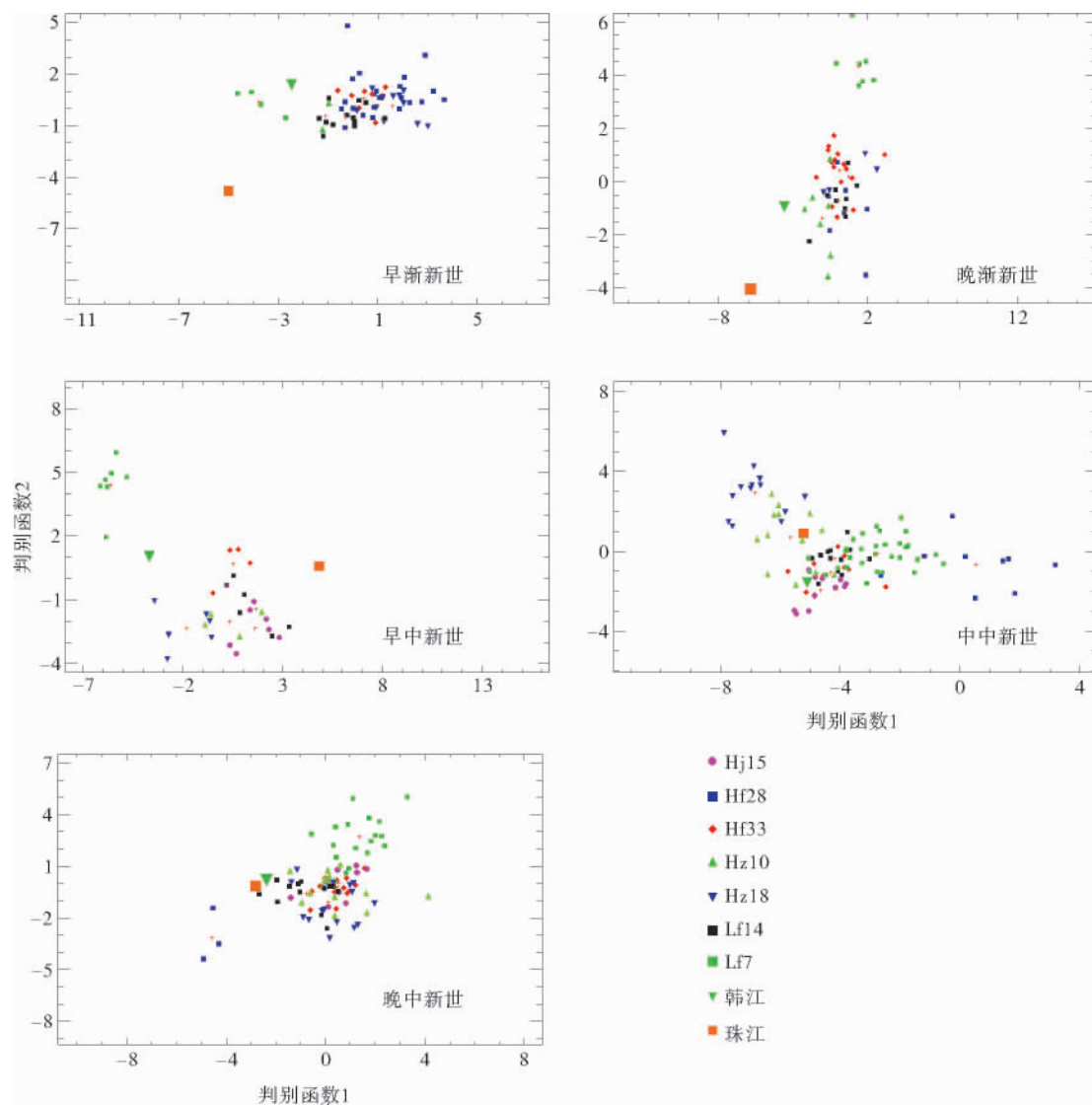


图4 珠江与韩江及韩江-陆丰凹陷沉积物稀土元素判别分析

Fig. 4 The discriminate analysis of the sediments from Pearl River, Han River and Hanjiang-Lufeng depression

到渐新世韩江源区和珠江源区开始形成,韩江物源主要影响从 Hj15 到 Hf33 井的广大地区,而珠江则主要影响 Hz10 到 Hz18 井的西南部地区。Lf7 和 Lf14 井除了受韩江和珠江的共同影响外,还存在来自东沙火山活动提供的物源(图 5)。

到早中新世,韩江物源影响范围进一步扩大,一直影响到 Lf7 井地区,并有部分物质达到 Lf14 井(图 5)。但是,从中中新世开始,韩江物源逐步退缩,使 Lf7 井地区受珠江和韩江来源沉积物的共同影响,而 Lf14 井则主要受珠江的影响(图 5)。

到晚中新世,韩江和珠江来源沉积物均发生减弱,本地区主要接受浅海泥灰质沉积,使沉积物的成分成熟度进一步降低,稀土元素配分形式与上地壳平均值类似(图 5)。

值得指出的是,本地区除了接受韩江和珠江带

来的陆源碎屑沉积外,从渐新世开始,一直持续到早中新世均受到东沙隆起区的基性火山活动的影响,对本区南部沉积物产生影响,但影响范围不大。到晚中新世该地区仍然存在少量火山活动。

研究显示<sup>[3, 18-20]</sup>,古珠江三角洲在渐新世就已经存在,但发育规模较小。到晚渐新世珠江口盆地由断陷型转为拗陷型,古珠江来源沉积物突然增多,沉积物越过珠一坳陷在目前位于珠江三角洲前缘深水陆坡区的珠二坳陷内形成大量低位扇,珠江口盆地沉积物成分也从渐新世以前主要以富砂为特征(砂泥比为 62.3 : 37.7)转为中新世以来以泥为主的沉积堆积(砂泥比转变为 35.3 : 64.7)。这种盆地类型与沉积充填方式的改变在时间上与南海扩张以及沉积物的物源突变事件完全吻合。但是,这一转变过程在本地区表现并不明显,其原因在于古珠



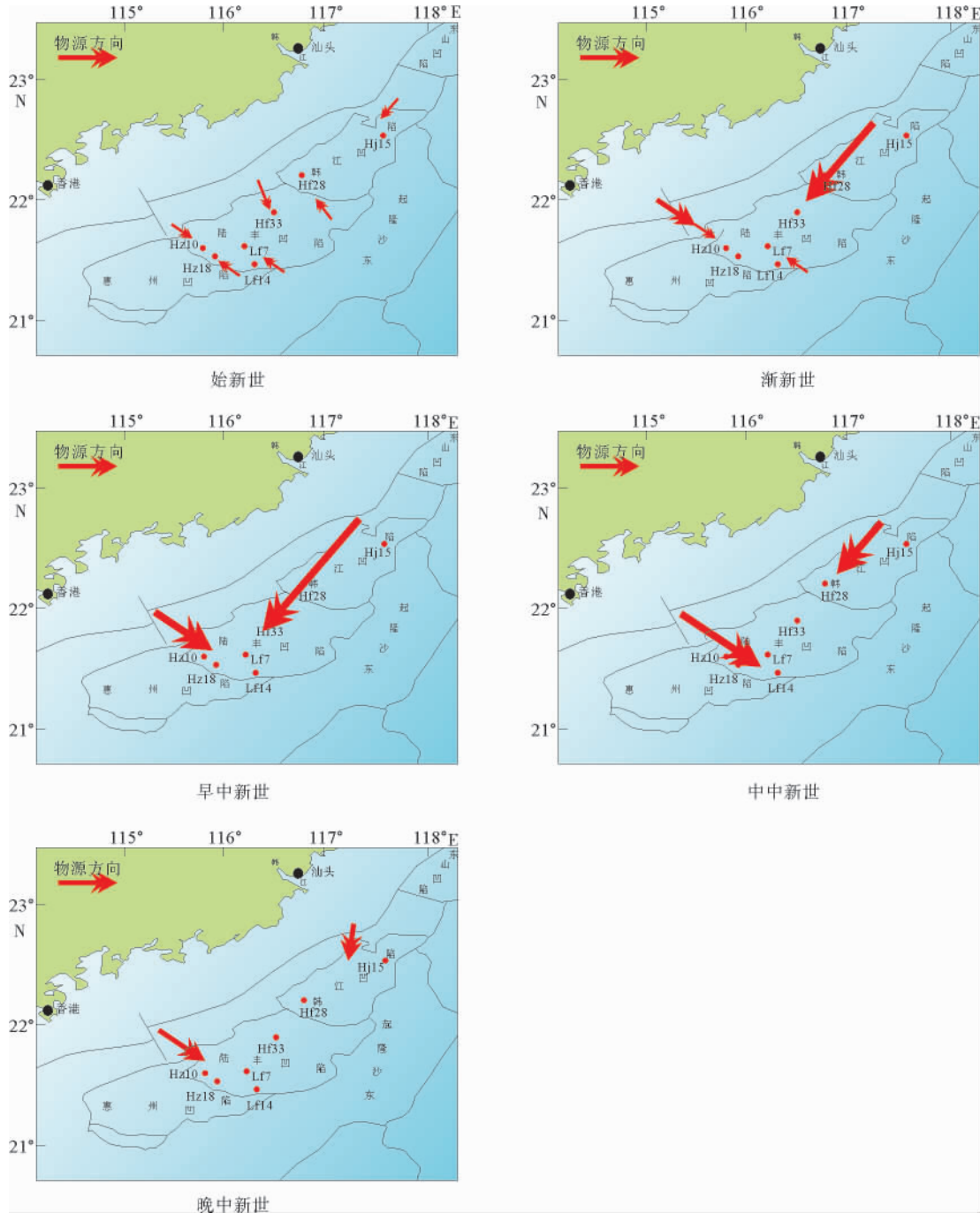


图5 韩江-陆丰地区始新世—中新世沉积物来源演变示意

Fig. 5 Source areas evolution of the Hanjiang-Lufeng depression from Eocene to Miocene

江从本地区西南部穿越而过,使本地区并未接受太多古珠江三角洲的沉积。

#### 4 结论

(1)注入南海北部的古珠江和古韩江均是陆丰-韩江地区的潜在源区,然而,由于其现代沉积物均经过较长距离的搬运,混合充分,使两条河流沉积物的

稀土配分形式十分相似,仅在稀土元素绝对含量上存在差别。在渐新世-中新世时期,韩江物源与珠江物源样品差异明显,通过样品稀土元素配分特征及判别分析区分两者物源成为可能。

(2)在始新世,陆丰-韩江地区东北部沉积物稀土元素均表现为Eu元素的正异常或无异常,以基性母岩为特征,与现代韩江、珠江沉积物存在较大差异,而与凹陷基底稀土元素配分形式一致;在研究区

西部的 Hz18 井沉积物稀土元素则表现为 Eu 元素的负异常,反映沉积物来自酸性岩区,与研究区东侧物源不同。可以看出,在始新世沉积时,研究区尚不具备大的物源供给,基本以近源为主。

(3)渐新世-中新世稀土元素判别分析结果显示,陆丰-韩江地区沉积物各时期物质来源均存在一定程度的混合。在渐新世,韩江源区和珠江源区即已经存在,但是古韩江对陆丰-韩江地区相对影响较大,主要影响从 Hj15 到 Hf33 井的广大地区,而珠江则主要影响 Hz10 到 Hz18 井地区,造成沉积物中的稳定组分随着搬运距离的增加而增高。到早中新世韩江物源影响范围进一步扩大,一直影响到 Lf7 井地区,并有部分物质达到 Lf14 井。但是,从中新世开始,韩江物源逐步退缩,使 Lf7 井地区受珠江和韩江来源沉积物的共同影响,而 Lf14 井则主要受珠江的影响。到晚中新世,韩江和珠江来源沉积物均发生减弱,本地区主要接受浅海泥灰质沉积。

(4)值得指出的是,本地区除了接受韩江和珠江带来的陆源碎屑沉积外,从渐新世开始,一直持续到早中新世均受到东沙隆起区的基性火山活动的影响,对南部 Lf7 和 Lf14 井影响较大,但影响范围不大。由于受火山活动的影响,这两口井沉积物的稀土元素 Eu 出现较多的正异常。

#### 参考文献 (References)

- [1] 都洵,张永康. 东南区区域地层,全国地层多重划分对比研究 30[M]. 中国地质大学出版社,1998,1-189. [DU Xun, ZHANG Yongkang. Regional stratigraphy of southeast China, Multiple classification and correlation of the stratigraphy of China (30) [M]. China University of Geosciences Press, 1998, 1-189.]
- [2] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1988. [Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong Province. Regional geology of Guangdong province, People's Republic of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.]
- [3] 陈长民,施和生,许仕策,等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社,2003. [CHEN Changmin, SHI Hesheng, XU Shice, et al. Tertiary formed condition of hydrocarbon reservoir in the Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003.]
- [4] 庞雄,陈长民,邵磊,等. 白云运动:南海北部渐新统-中新统重大地质事件及其意义[J]. 地质论评,2007,53(2):145-151. [PANG Xiong, CHEN Changmin, SHAO Lei, et al. Baiyun Movement, a great tectonic event on the Oligocene-Miocene boundary in the Northern South China Sea and its implications[J]. Geological Review, 2007, 53(2): 145-151.]
- [5] 邵磊,雷永昌,庞雄,等. 珠江口盆地构造演化及对沉积环境的控制作用[J]. 同济大学学报,2005,33(9):1177-1181. [SHAO Lei, LEI Yongchang, PANG Xiong, et al. Tectonic evolution and its controlling for sedimentary environment in Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(9): 1177-1181.]
- [6] 王家林,张新兵,吴健生,等. 珠江口盆地基底结构的综合地球物理研究[J]. 热带海洋学报,2002,21(2):13-22. [WANG Jialin, ZHANG Xinbing, WU Jiansheng, et al. Integrated geophysical researches on base texture of Zhujiang River Mouth Basin [J]. Tropic Oceanology, 2002, 21(2): 13-22.]
- [7] 刘颖,刘海臣,李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学,1996,25(6):552-558. [LIU Ying, LIU Haichen, LI Xianhua. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS [J]. Geochemica, 1996, 25(6): 13-22.]
- [8] 李献华,刘颖,涂湘林,等. 硅酸盐岩石化学组成的 ICP-AES 和 ICP-MS 准确测定:酸溶与碱溶分解样品方法的对比[J]. 地球化学,2002,31(3):289-294. [LI Xianhua, LIU Ying, XU Xianglin, et al. Precise determination of chemical compositions in silicate rocks using ICP AES and ICP MS: A comparative study of sample digestion techniques of alkali fusion and acid dissolution[J]. Geochemica, 2002, 31(3): 289-294.]
- [9] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and sea-floor spreading stages in the South China Sea; implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98, 6299-6328.
- [10] Jenner G J, Longerich H P, et al. ICP-MS a powerful tool for high precision trace-element analysis in earth sciences; evidence from analysis of selected U. S. G. S. reference samples [J]. Chem Geol, 1990, 83: 132-148.
- [11] Kirkland DW, Evans R. Source rock potential of evaporitic environment[J]. AAPG Bull., 1981, 65: 181-190.
- [12] McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics//Processes Controlling the composition of Clastic Sediments. Boulder[M]. Colorado. Geological Society of America Special Paper, 1993, 284: 21-40.
- [13] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes//Geochemistry and Mineralogy of Rare earth elements[M]. The Mineralogical Society of America, Washington, D. C. 1989, 169-200.
- [14] Morton A C, Hallsworth C R. Identifying provenance: specific features of detrital mineral assemblages in sandstones [J]. Sedimentary Geology, 1994, 90: 241-256.
- [15] Richard C. Selley. Ancient Sedimentary Environments[M]. Chapman and Hall, London, 1985.
- [16] Rollinson H R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation[M]. New York: Longman Scientific, Technical, 1993, 352.
- [17] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: its

- Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks[M]. Blackwell scientific Publication, Oxford London, 1985, 1-301.
- [18] 龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997. [GONG Zaisheng, LI Sitian. Continental Margin Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997.]
- [19] 邵磊, 庞雄, 乔培军, 等. 珠江口盆地的沉积充填与珠江的形成演变[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 179-185. [SHAO Lei, PANG Xiong, QIAO Peijun, et al. Sedimentary filling of the Pearl River Mouth Basin and its response to the evolution of the Pearl River[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 179-185.]
- [20] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, YANG Shaokun, et al. Natural Gas Geology in the Northern Continental Margin Basin of South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.]

## PROVENANCE EVOLUTION OF THE PALEO-HANJIANG RIVER IN THE NORTH SOUTH CHINA SEA

ZHANG Xiangtao<sup>1</sup>, CHEN Liang<sup>1</sup>, SHE Qinghua<sup>1</sup>, ZHANG Sufang<sup>1</sup>, QIAO Peijun<sup>2</sup>, SHAO Lei<sup>2</sup>

(1 Research Institute, CNOOC Ltd. Shenzhen, Guangzhou 510240;

2 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** The Pearl and Hanjiang rivers are the two important terrigenous sediment sources for the Hanjiang-Lufeng area in the northern part of the South China Sea (SCS) since Paleogene. In Eocene, the partition coefficients of the rare-earth elements of the sediments varied from region to region, indicating that there is no large river dominating the region for sediments supply. The nearby uplifting areas were the major source areas. In the Oligocene, Hanjiang River and Pearl River just appeared, and the Hanjiang River was relatively larger than the Pearl River then and could provide most of the sediments to the east and middle part, whereas the Pearl River could only affect the northwest and west part of the research area. Up to early Miocene, the sediment from the Hanjiang River source area reached the southwest part, and even the west part of the research area, reflecting the expansion of the Hanjiang River source area. The Hanjiang River started retreating in the middle Miocene. As the result, the sediments from both rivers deposited together in the southwest part of the research area and the Lf14 region started receiving sediments from the Pearl River at this time. Because of the sea level rise, sediments from the two rivers were decreased in the research area, and brought about the deposition of the mixed mud and carbonate deposits in an epicontinental sea environment in late Miocene. Besides the terrigenous sediments from the two rivers, there were some basic volcanic materials coming from the Dongsa Uplift during the period from Oligocene to early Miocene that led to the positive anomaly of element Eu in the Lf7 and Lf14 regions in the south.

**Key words:** South China Sea; Hanjiang River; provenance; Rare earth element; sediment