

西非下刚果盆地刚果扇 A 区块中新统深水水道分类及演化

熊浩浩¹, 王振奇², 付欢³, 郑勇⁴, 贺小林⁵

(1 中国石化西北油田分公司; 2 长江大学地球科学学院; 3 中国石油新疆油田公司重油开发公司)

(4 中国石化河南油田分公司研究院海外所; 5 中国石化河南油田分公司石油物探技术研究院)

摘要 以高精度三维地震资料为基础, 结合深水水道成因机制和水道截面形态特征, 将下刚果盆地 A 区块中新统深水水道分为侵蚀型、侵蚀加积型和加积型三类, 并进一步细分为九种亚类。该分类体现了 A 区块深水水道从近源至远源方向的横向展布特征。从近源至远源, 流体动力条件逐渐减弱, 水道形态演化过程为限制性-非限制性-限制性-前端朵叶, 水道宽深比和弯曲度均逐渐变大。通过对每个三级层序均方根振幅属性图的分析, 并结合海平面升降和构造抬升作用, 可见刚果扇不断由南向北迁移及向盆地方向进积, 层序自下而上并由南向北, 整体由加积水道和远端朵叶沉积向侵蚀加积水道和侵蚀水道沉积转变。

关键词 下刚果盆地; 中新统; 海底扇; 深水水道; 水道分类; 沉积演化

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

随着20世纪末期全球对能源和有关矿产资源需求的急剧增长, 以及海洋勘探技术的不断发展, 特别是高精度三维地震数据的应用, 海洋深水沉积以及深水水道成为了广泛关注的热点。本次研究利用高精度三维地震资料对西非下刚果盆地中新统刚果扇中的深水水道进行了分类, 并结合前人研究成果分析了其演化过程。

1 区域地质背景

下刚果盆地是西非被动大陆边缘裂谷盆地之一, 北邻加蓬盆地, 南邻宽扎盆地, 东为刚果海岸, 西为深水海盆(图1)。盆地基底为前寒武系结晶基岩, 上覆中新世, 本次研究的目的是中新统。在渐新世—中新世期间, 盆地主要沉积陆源硅质碎屑岩, 沉积速率很高, 沉积厚度相当大, 最大可达4 500 m^[1]。

下刚果盆地发育了世界上最大的海底扇之一——刚果扇, 这是西非沿岸渐新世—中新世的主要沉积中心之一^[2-3]; 按发育位置, 刚果扇主要分为3个海底扇复合体: 北部扇、南部扇和轴部扇, 共包含

80多个水道—天然堤复合体^[4-5]。本次研究工区(三维地震A区块)位于下刚果盆地东北部(图1), 陆架坡折以下, 面积1 760 km², 水深为500~1 200 m, 研究对象为北部扇复合体。

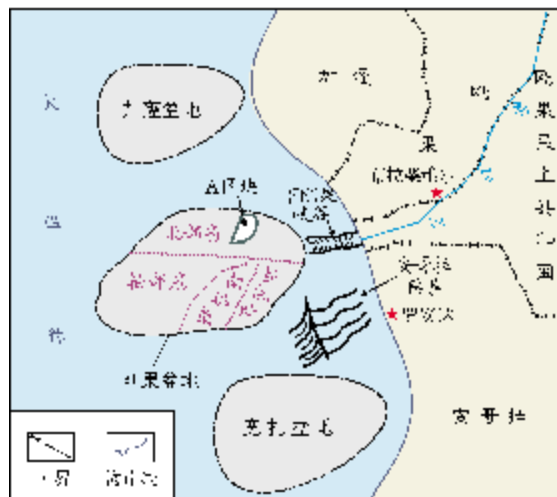


图1 下刚果盆地与研究区位置

收稿日期: 2012-11-16; 改回日期: 2013-09-30

本文受国家科技重大专项“西非深水碎屑岩高精度层序与储层精细评价”(编号: 2011ZX05030-003-001)资助

熊浩浩: 1987年生。2013年毕业于长江大学地球科学学院, 获硕士学位。通讯地址: 434000 湖北省荆州市沙市区德馨路德馨园王府; E-mail: xionghaohao19412006@126.com

2 深水水道分类与特征

单个水道的形成演化可分为侵蚀期、充填期、溢出期和泥岩充填期,而单个水道演化过程的多次重复则可构成多期复合水道^[6]。前人关于深水水道的分类多是基于单因素的,如分别从水道的成因和截面的形态两个方面所做的一些研究^[7-8]。考虑到多期水道内部结构的复杂性,本文在前人研究的基础上,依据下刚果盆地深水水道的地震反射结构,综合水道成因和截面形态两种因素,把研究区内的深水水道从近物源至远物源方向分为三类九种(图2): (1)侵蚀型水道,包括峡谷、限制下切型水道、限制叠置水道和非限制迁移水道; (2)侵蚀加积型水道,包括限制叠置水道、限制迁移水道和限制加积水道; (3)加积型水道,包括孤立加积水道和远端朵叶。

上述分类反映的是,从近源至远源,随着流体动力条件逐渐减弱,水道呈现出限制性—非限制性—限制性—前端朵叶的演化过程,水道侵蚀性逐渐减弱,加积性逐渐增强,并且水道的宽深比逐渐变大。换句话说,近物源端主要为侵蚀水道,其原因在于该区域具有高坡降和低可容纳空间,因而使流体具有较大的重力势能和较高的流速,故主要表现为侵蚀性;由近物源端向远物源端,随着坡度逐渐降低和可容纳空间逐渐变大,流体流速和能量降低,故主要呈侵蚀加积水道;至远物源端,坡度趋于平缓,地势开阔,流体动力弱,流速缓慢,因此水道主要为加积水道。下面对刚果扇所发育的各种深水水道进行更详细的描述。

(1) 峡谷(图2a) 峡谷一般发育在大陆坡折带区域,它将大陆架上大量的陆源碎屑沉积物运输至大陆坡和深海盆地。由于研究工区主要位于大陆坡,范围较小,未能观察到峡谷,图2a中的峡谷是前人对刚果峡谷的刻画,本文引用于此,在地震剖面上,峡谷一般呈明显的V形,宽深比较小,具极强的侵蚀性。在刚果扇中,峡谷从大陆架一直延伸至大陆坡,至今仍活跃,宽深比大约为15,坡度5~12 m/km^[9]。

(2) 限制下切水道(图2b) 该类水道在地震剖面上主要表现为V形或U形,内部充填杂乱,为连续性较差、中—强振幅反射。水道整体局限在U形内,强振幅反射两侧一般伴生连续—不连续的弱振幅地震相,它们为内天然堤沉积^[10]或水道滑塌沉积^[11]。由于水道几乎完全表现为侵蚀性,所以水道壁稳定性

较差,这些连续—不连续的弱振幅地震相更可能是水道滑塌沉积。该类型水道与峡谷相连接,一般不具有外天然堤,水道底部对下覆地层具有明显的侵蚀性,同时会形成底部滞留沉积。该类水道多发育在上扇区域,侵蚀性很强。

(3) (侵蚀型)限制叠置水道(图2c) 该类水道在地震剖面上主要表现为宽缓U形,为中—差连续性、中—强振幅反射。水道整体仍限制在U形之内,但水道有较明显的侧向迁移现象,后一期水道叠置于前一期水道的侧面,但仍以垂向叠置为主,侧向迁移属次。该类型水道侵蚀性很强,发育水道内部滑塌沉积,同时伴生分支水道和决口扇沉积,一般发育于上扇中下部。

(4) 非限制迁移水道(图2d) 该类水道在地震剖面上主要表现为宽缓的U形,为中—差连续性、中—强振幅反射。水道侧向迁移特征非常明显,后一期水道侧向叠置于前一期水道之侧上方,并对前一期水道的一侧有明显的切割作用,主要表现为侧向迁移性,垂向叠置性属次。该类型水道主要发育在中扇,侵蚀性强,有时发育外天然堤沉积,但厚度相对较小,容易发育决口扇和废弃水道等沉积。

(5) (侵蚀加积型)限制叠置水道(图2e) 该类水道在地震剖面上表现为U形,水道内部为中—差连续性、中—强振幅反射,它与前述的(侵蚀型)限制叠置水道有所不同。水道主要表现为叠置性,后一期水道叠置于前一期水道上方,水道迁移性不明显,在水道的两翼具明显的外天然堤,呈楔状,表现为中—好连续性、中—强振幅反射,水道内部具有明显的内天然堤,位于水道轴部的强反射和外天然堤之间,表现为连续性较差的弱反射。该水道一般发育于中扇中下部,侵蚀性较强。

(6) 限制迁移水道(图2f) 该类水道在地震剖面上呈宽缓的U形,水道内部为中—差连续性或中—好连续性、中—强振幅反射。单期水道具叠置迁移现象,且迁移性为主,叠置性属次,叠置迁移的现象不是很明显,主要是由于规模较小。水道两翼具较明显的外天然堤,表现为较好连续性的中—强反射,但其厚度相对较小。该类水道一般发育于中扇与下扇的过渡区域,侵蚀性弱,加积性较强。

(7) 限制加积水道(图2g) 该类水道在地震剖面上主要表现为U形,为差—中连续性、中—强振幅反射,规模较小。单期水道依次向上叠加,几乎没有

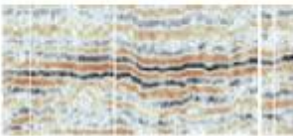
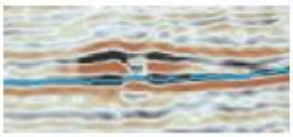
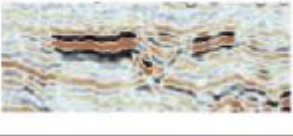




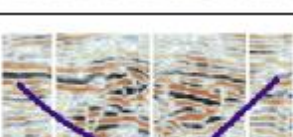

水道类型	地震特征	水道形态	特征描述
加积型	(i) 远端朵叶		地震上为中—强振幅、连续性较好的反射
	(ii) 孤立加积水道		地震为中—好连续性、中—强振幅反射。几乎完全表现为加积现象
侵蚀加积型	(a) 限制加积水道		水道内部为中—差连续性、中—强振幅反射。水道侵蚀性较弱, 具明显的天然堤
	(b) 限制迁移水道		水道内部为中—差连续性、中—强振幅反射。水道侵蚀性较弱, 早期水道具有明显的叠置迁移现象, 具明显的天然堤
	(c) 限制叠置水道		水道内部为中—差连续性、中—强振幅反射。早期水道呈叠置形态, 具明显的天然堤
侵蚀型	(d) 非限制迁移水道		为中—差连续性, 中—强振幅反射。后一期侧向叠置于前一期水道之上, 并对前一期水道的一侧有明显的切割作用, 以侧向迁移为主, 垂向叠置其次
	(e) 限制叠置水道		中—差连续性、中—强振幅反射。后一期水道叠置于前一期水道侧面, 以垂向叠置为主
	(f) 限制下切水道		为连续性较差、中—强振幅反射。内部充填杂乱, 具较强的侵蚀性
	(g) 峡谷		宽深比较小, 具极强的侵蚀性

图2 下刚果盆地海底扇深水水道分类与形态特征

侧向迁移现象,水道两翼具有很明显的外天然堤,表现为连续性好、中—强振幅反射,水道侵蚀性较弱,加积性明显,主要发育于下扇中上部区域。

(8) 孤立加积水道(图2h) 该类水道在地震剖面上表现为单一的U形,中—好连续性、中—强振幅反射。两翼具有较明显的天然堤,表现为连续性好的中—强振幅反射,该水道几乎完全表现为加积性,规模很小,一般发育于下扇中下段区域。

(9) 远端朵叶(图2i) 远端朵叶又称水道前端舌状体^[12],它是水道在最前端的开阔区域将细粒沉积物散开而形成的,范围较广,厚度较小,是水道的终止形式。严格地讲,它不属于水道一类,本文只是为了更好地描述水道分类及其变化,才将其归为其中。远端朵叶在地震上表现为中—强振幅、连续性较好的反射结构。

3 刚果扇深水水道变迁特征及演化模式

3.1 深水水道变迁特征

下刚果盆地中新统自下而上划分为7个三级层序(对应的层序底界面分别为SB₁—SB₇)^[13],为了分析每个层序内水道的分布,对每个层序提取了自底界

面向上100ms(分别用SB₁'—SB₇'表示)的均方根振幅属性(图3)。在图3中,水道表现为中—强振幅,呈曲线长条状向前延伸,水道侵蚀性越强,振幅也越强;远端朵叶表现为中—弱振幅,平面呈扇状向前发散。

SB₁' 全区主要表现为中—弱振幅,中部和南部以弱振幅为主,北部以中等强度振幅为主,且都以平面散开,主要发育朵叶沉积。

SB₂' 南部和中部主要表现为中—强振幅,且呈长条状延伸,主要发育水道沉积;北部主要表现为中—弱振幅,且呈平面散开,发育朵叶沉积。

SB₃' 中南部和中北部表现为中—强振幅,且都从长条延伸转变为平面散开,开始发育水道沉积,并向前延伸逐步发育朵叶沉积。

SB₄' 南部表现为中—弱振幅且呈平面散开,主要发育朵叶沉积;中部以中等振幅的长条状为主,主要发育水道沉积;北部表现为弱振幅且呈平面散开,发育朵叶沉积。

SB₅' 北部表现为中—强振幅且呈平面散开,发育朵叶沉积;中部为中等振幅的长条状,发育水道沉积;南部为中等振幅的散开状,发育朵叶沉积。

SB₆' 南部发育弱振幅的长条状,中北部发育中等振幅的长条状,全区主要发育水道沉积。

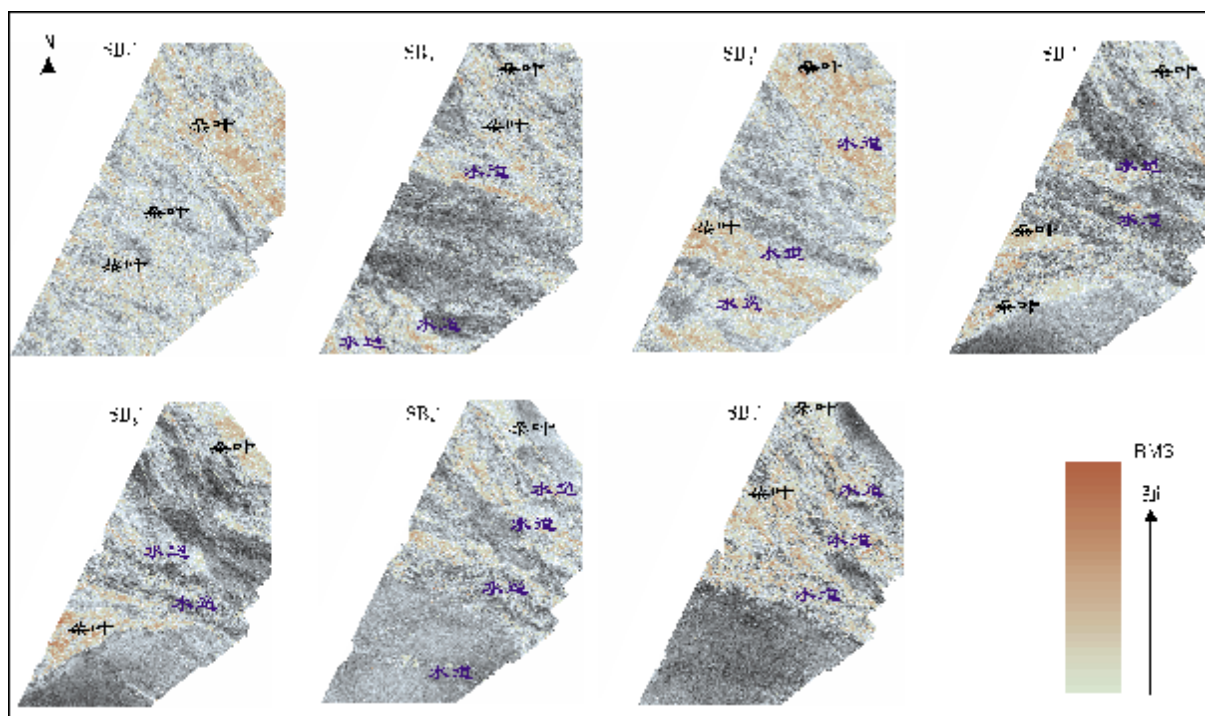


图3 下刚果盆地刚果扇A区块中新统各层序均方根振幅(RMS)属性

SB₇' 南部水道和朵叶均不发育,中北部表现为中—强振幅,并且有长条状逐渐转变为平面散开状,表明开始发育水道沉积,然后逐渐演变为朵叶沉积。

从上述各层序水道和朵叶的发育特征可见,各层序自下而上整体表现为朵叶沉积向水道沉积的转变,水道沉积整体从南向北迁移,由此表明了物源由南向北迁移。各层序均方根振幅图上,从下至上水道振幅变得越来越强,说明了振幅较弱、侵蚀性弱、加积性强的远端朵叶、孤立加积水道沉积逐步向振幅强、侵蚀性强、加积性弱的限制下切、限制叠置等水道沉积转变,即由加积型向侵蚀加积型再向侵蚀型的转变,这也表明了刚果扇深水水道不断地向盆地方向进积。

3.2 刚果扇中新世演化模式

根据上述分析,结合前人研究,本文建立了刚果扇中新世的演化模式(图4)。

(1)早中新世,下刚果盆地发育的水道朵叶沉积主要位于南部。

(2)中中新世,南部安哥拉陡崖抬升,使得南部地势增高;北部同生铲式断层发育,使得北部地势降低,总体形成南高北低的地形^[14]。同时海平面下降,使得水道和朵叶沉积向盆地方向进积,并向北迁移,这与前述的物源由南向北迁移对应。

(3)晚中新世,安哥拉陡崖抬升幅度减小,海平面整体保持长期下降^[1],这使得刚果扇水道朵叶沉积不断向盆地方向进积,并进一步向北迁移。

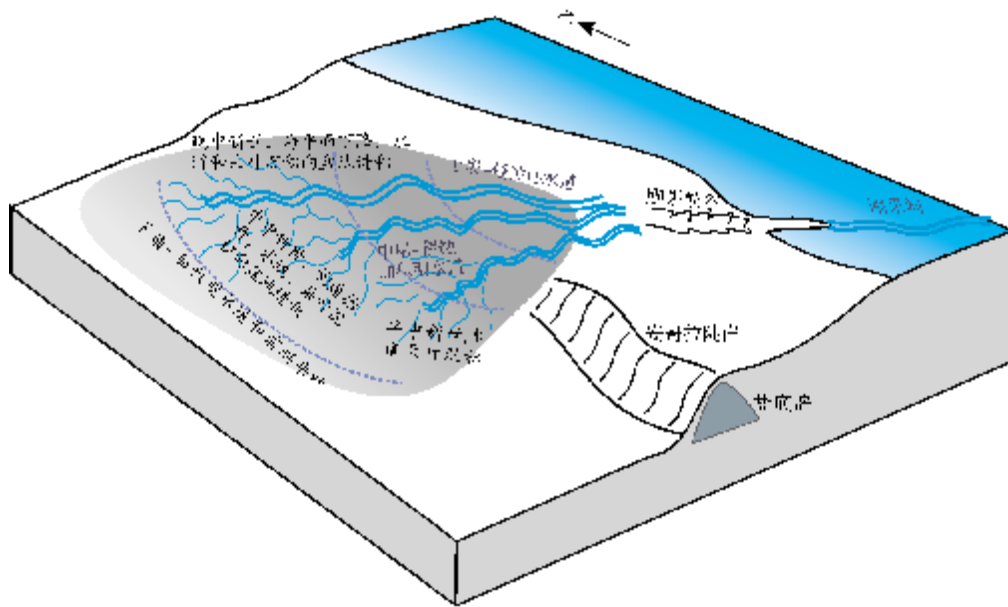


图4 刚果扇中新世演化模式

4 结 论

根据水道成因和水道形态两个属性,将研究区发育的水道从近物源至远物源方向分为三类九种:侵蚀型水道包括峡谷、限制下切水道、限制叠置水道和非限制迁移水道;侵蚀加积型水道包括限制叠置水道、限制迁移水道和限制加积水道;加积型水道包括孤立加积水道和远端朵叶。从近源至远源,流体动力条件逐渐减弱,水道的演化过程包括:由限制性向非限制性演化,再向限制性演化,最后以前端朵叶散

开;水道宽深比和弯曲度均逐渐变大。

对刚果扇中新统 7 个三级层序的均方根振幅分析表明,自下而上,刚果扇水道朵叶沉积不断由南向北迁移且向盆地方向进积,这导致了中新统自下而上、由南向北整体由孤立加积水道和远端朵叶沉积向侵蚀加积水道、侵蚀下切水道沉积的转变。

参考文献

- [1] ANKA Z, SÉRANNE M. Reconnaissance study of the ancient Zaire (Congo) deep sea fan (ZaiAngo Project)[J]. Marine Geology, 2004, 209(1/4): 223-244.

- [2] HEEZEN B C, MENZIES R J, SCHNEIDER E D, et al. Congo submarine canyon[J]. AAPG Bulletin, 1964, 48(7): 1126-1149.
- [3] DROZ L, RIGAUT F, COCHONAT P, et al. Morphology and recent evolution of the Zaire turbidite system(Gulf of Guinea)[J]. GSA Bulletin, 1996, 108 (3): 253-269.
- [4] VITTORI J, MORASH A, SAVOYE B, et al. The Quaternary Congo deep-sea fan: Preliminary results on reservoir complexity in turbidite systems using 2D high-resolution seismic and multibeam data[C]//WEIMER P, SLATT R M, COLEMAN J, et al. Deep-water reservoirs of the world. Gulf Coast Section SEPM. 2000, 1045-1058.
- [5] DROZ L, MARSET T, ONDREAS H, et al. Architecture of an active mud-rich turbidite system: the Zaire Fan (Congo-Angola margin southeast Atlantic): Results from ZaiAngo 1 and 2 cruises [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(7): 1145-1168.
- [6] MAYALL M, JONES E, CASH M. Turbidite channel reservoirs—key elements in facies prediction and effective development [J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(8): 821-841.
- [7] MAYALL M, O'BYRNE C. Reservoir prediction and development challenges in turbidite slope channels[C]//Offshore Technology Conference: Paper OTC 14029. Houston. 2002: 6-9.
- [8] 刘军, 庞雄, 颜承志, 等. 南海北部陆坡白云深水区浅层深水水道沉积[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 255-259.
- [9] BABONNEAU N, SAVOYE B, CREMER M, et al. Morphology and architecture of the present canyon and channel system of the Zaire deep-sea fan[J]. Marine and Petroleum Geology, 2002, 19(4): 445-467.
- [10] DEPTUCKA M E, STEFFENS G S, BARTON B M, et al. Architecture and evolution of upper fan channel-belts on the Niger Delta slope and in the Arabian Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(6/8): 649-676.
- [11] POSAMENTIER H W. Depositional elements associated with a basin floor channel-levee system: case study from the Gulf of Mexico [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(6/8): 677-690.
- [12] POSAMENTIER H W, KOLLA V. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings[J]. Journal of sedimentary research, 2003, 73(3): 367-388.
- [13] 张笑, 王振奇, 李士涛, 等. 下刚果盆地深水沉积中新统层序划分及其控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(10): 27-33.
- [14] ANKA Z, SERANNE M, LOPEZ M, et al. The long-term evolution of the Congo deep-sea fan: A basin-wide view of the interaction between a giant submarine fan and a mature passive margin(ZaiAngo project) [J]. Tectonophysics, 2009, 470 (1/2): 42-56.

编辑:董庸,金顺爱

Classification and Evolution of Deep Water Channels at Block A in Miocene Congo Fan, Lower Congo Basin

Xiong Haohao, Wang Zhenqi, Fu Huan, Zheng Yong, He Xiaolin

Abstract: Combined with high-resolution three-dimensional seismic data and the genetic mechanism of deep-water channels and the morphology of channel cross-sections at the studied Block A in Miocene Congo fan, Lower Congo Basin, it is shown that the deep-water channels can be divided into erosional, erosion-aggradational and aggradational channels, which can be further divided into nine subtypes. This classification indicates the lateral variations of these deep water channels from proximal to distal source at the Block A. From proximal to distal source, the channels display an evolutionary process in morphology along with the hydrodynamic condition of these channels gradually decreases, that is, from limit, through unlimit and limit, to frontal splay, which results in the width/depth ratio and the sinuosity of the channels gradually increase. Based on the RMS amplitude diagram of per third-order sequence, considering of both sea level changes and tectonic uplift, it is claimed that the Miocene Congo fan migrates from south to north, and progresses toward the basin. The whole sedimentary sequence represent, from lower to upper and from south to north, that the aggradational channel and the distant fan are replaced by erosion-aggradational channels and erosional channels.

Key words: Miocene; Sea floor fan; Deep water channel; Classification of channel; Sedimentary evolution; Lower Congo Basin

Xiong Haohao; male, MSc. Add: SINOPEC Northwest Oilfield Branch Company, Dexin Rd., Shashi, Jingzhou, Hubei, 434000, China