

doi:10.3799/dqkx.2012.085

尼日尔三角洲盆地深水沉积体系特征

于水,程涛,陈莹

中海油研究总院,北京 100027

摘要: 尼日尔三角洲盆地深水沉积研究是目前世界油气勘探的热点问题之一。通过对三维地震资料、岩心及测井曲线分析,揭示了尼日尔三角洲盆地南部地区新近系深水沉积体系特征。基于不同属性的层序界面识别,研究区划分出 SQ1-SQ6 共 6 个三级层序,并建立层序地层格架,进而总结出研究区深水沉积模式。研究区除堆积正常半深海—深海泥岩外,还广泛发育海底扇沉积,海底扇由浊积水道和海底扇朵体组成,其中水道分支少、弯度大,外部形态类似曲流河;朵体平面上成朵叶状分布,可以划分为末端朵体和决口扇朵体。研究区新近系地层自下向上由老到新,相对海平面先下降再上升, SQ1-SQ4 层序以海底扇朵体沉积为主, SQ5-SQ6 层序以浊积水道沉积为主。

关键词: 尼日尔三角洲盆地;水道;朵叶;层序地层;沉积学;油气。

中图分类号: TE132

文章编号: 1000-2383(2012)04-0763-08

收稿日期: 2012-02-21

Depositional Characteristics of Deepwater Systems in the Niger Delta Basin

YU Shui, CHENG Tao, CHEN Ying

CNOOC Research Institute, Beijing 100010, China

Abstract: The research of deepwater sedimentary systems in the Niger Delta basin is one of the key issues in hydrocarbon exploration in the world. According to the analysis of 3D seismic data, well, core, sedimentary structure and logs characters, depositional characteristics of deepwater systems are discussed on Neocene in the south of Niger Delta basin. Sequence stratigraphic framework is established based on identification of sequence boundary and 6 third-order sequences are divided and named as SQ1-SQ6. The depositional models of deepwater sedimentary systems are established. Three kinds of depositional facies are identified in the deepwater sedimentary systems, namely, turbidite channel, submarine lobe and hemipelagic mudstones. Channel only has few branches that are highly sinuous, with morphology similar to that of meandering river; submarine lobes can be divided into terminal lobe and crevasse splay lobe. During the Neocene deposition from the SQ1 to the SQ6, relative sea level firstly fell and then rose, submarine lobe facies developed in the SQ1-SQ4 and turbidite channel facies developed in the SQ5-SQ6.

Key words: Niger Delta basin; water channel; lobe; sequence stratigraphy; sedimentology; hydrocarbon.

近年来,随着深海钻探技术的不断提高及对深水沉积认识的逐渐加深,深水勘探在墨西哥湾、西非、巴西坎潘斯盆地、孟加拉湾及澳大利亚等地获得了一系列的突破,使得深水勘探成为当今油气勘探热点之一(Pettingill, 1998; 庞雄等, 2007)。尼日尔三角洲盆地是世界著名的油气富集区之一,其深水更是目前世界油气勘探的热点地区,进入 20 世纪 90 年代,开始对该盆地进行深水油气勘探并连续发现了以深水沉积为储层的 Bonga、Bosi、Erha、

Zafiro、Akpo、Usan 等多个巨型油气田,使得尼日尔三角洲盆地深水区成为世界油气勘探的焦点和油气储量增长的新亮点。该地区深水区的油气储层主要集中在新近系深水碎屑岩沉积体系,随着勘探的不断推进,迫切需要对研究区深水沉积体系开展更加深入的、系统的综合研究,从而推动深水勘探获得更多突破。

深水沉积研究大致可以分为 2 个阶段。第 1 个阶段是 21 世纪之前的起步阶段,总体而言对于深水

基金项目:国家“十一·五”重大专项(No. 2008ZX05-030-03)。

作者简介:于水(1963—),男,高级工程师,主要从事海外石油勘探研究工作。E-mail: yushui@cnooc.com.cn

沉积研究处于初步认识阶段,研究成果相对较少(Clark and Pickering, 1996; Droz *et al.*, 1996; Von Ran and Tahir, 1997);第 2 个阶段为 21 世纪以来的发展阶段,随着油气勘探技术及深水钻探技术的不断提高,深水水道的报道及研究程度大幅度提升(Peakall *et al.*, 2000; Kollar *et al.*, 2001; Deptuck *et al.*, 2003; Kollar, 2007; 蒋恕等, 2008; 王颖和吕明, 2009; Nakajima *et al.*, 2009; 袁圣强等, 2010; 刘新颖等, 2012). 2005 年在英国南汉普顿召开了主题为“深水弯曲水道:成因、形态及结构特征”的专题会议,《Marine and Petroleum Geology》第 24 卷刊载了此次会议的主要成果. 加强深水沉积体系的研究不仅能提高深水沉积理论的认识,还能更好地为油气勘探提供技术指导,扩大油气勘探领域,提高油气勘探的成功率. 本文借助近年来新采集的三维地震和钻井资料,开展对尼日尔三角洲盆地南部地区新近系深水沉积体系分析,揭示了研究区层序地层的发育特点与深水沉积特征,促进了研究区深水勘探战略的实施,也深化了对西非被动大陆边缘深水沉积的认识.

1 尼日尔三角洲盆地深水沉积背景

尼日尔三角洲盆地位于西非几内亚湾,面积 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是世界上最大的海退型三角洲之一,构造位置处于非洲板块西部,为典型的被动大陆边缘盆地. 盆地基底为元古界火成岩和变质岩,发育有白垩系、古近系、新近系地层. 盆地演化经历了裂谷期和漂移期 2 个阶段,相应地形成了裂谷期湖相、漂移期海相和海陆交互相沉积. 自晚白垩世以来,来自于非洲大陆的碎屑物沿裂陷槽不断向大西洋推进而形成大型三角洲沉积盆地;早始新世开始,受全球海平面下降的影响,尼日尔三角洲盆地进入大规模海退阶段,浅水区三角洲沉积体系进入繁盛期,并大规模向海推进,于新近纪在深水区发育规模宏大的三角洲前缘远端深水碎屑岩沉积(吕明和王颖, 2008),在广泛沉积的海相泥岩中发育了多套砂岩储层,成为深水区最有利勘探层系.

研究区位于尼日尔三角洲南部深水区(图 1),已经钻探多口钻井并采集了三维地震资料,构造位置上处于尼日尔三角洲盆地前缘逆冲挤压冲断带上,在沉积环境上处于下陆坡—深海盆地,并且从中新世至今一直处于海相深水沉积环境,广泛发育了典型的深水碎屑岩沉积,形成了优质储层并获得多



1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical position of research area

个重要油气发现.

2 深水沉积层序地层特征

2.1 层序界面特征

研究区层序界面的识别主要从地震、测井及岩心出发. 其中,地震反射特征主要表现为局部上超与局部侵蚀不整合、地震反射强弱变化及地震相的变化等;测井相特征主要为 GR 和 RT 曲线形态及幅度突变(图 2). 通过以上方法共识别出 7 个层序界面,自下而上依次为 SB23. 8、SB16. 5、SB15. 5、SB13. 8、SB12. 5、SB10. 5 和 SB8. 2.

SB23. 8 界面是渐新世与中新世的分界面,在近物源的北部地区为侵蚀不整合特征,在研究区南部界面之下具有削截特征,界面之下的振幅强于界面之上,界面以下自然伽玛与电阻率都表现为高值微齿状,界面之上自然伽玛为箱形或钟形. SB16. 5 界面在全区为较连续的强反射,是全区地震对比标志层,界面之上沉积多期叠置朵叶并存在水道侵蚀现象,其自然伽玛曲线为典型的箱形特征,界面之下突变为微齿状. SB15. 5 界面为典型沉积转换面,地震反射上水道侵蚀特征明显,界面之上以强振幅、中高频、较差连续性地震反射特征为主,界面之下为低频、弱振幅地震反射,其自然伽玛曲线表现为岩性突变面. SB13. 8 界面对应全球海平面一次较大幅度下降,是一个沉积转换界面,界面之上自然伽玛曲线以箱状或钟形为主,界面之下多为微齿状,界面之上可见明显上超现象,具强振幅、中等频率反射特征,界面之下有削截现象,具弱振幅、中低频反射特征. SB12. 5 界面为沉积相转换面,界面之上岩性主要为砂岩,界面之下则多为单一泥质沉积,岩性呈突变接

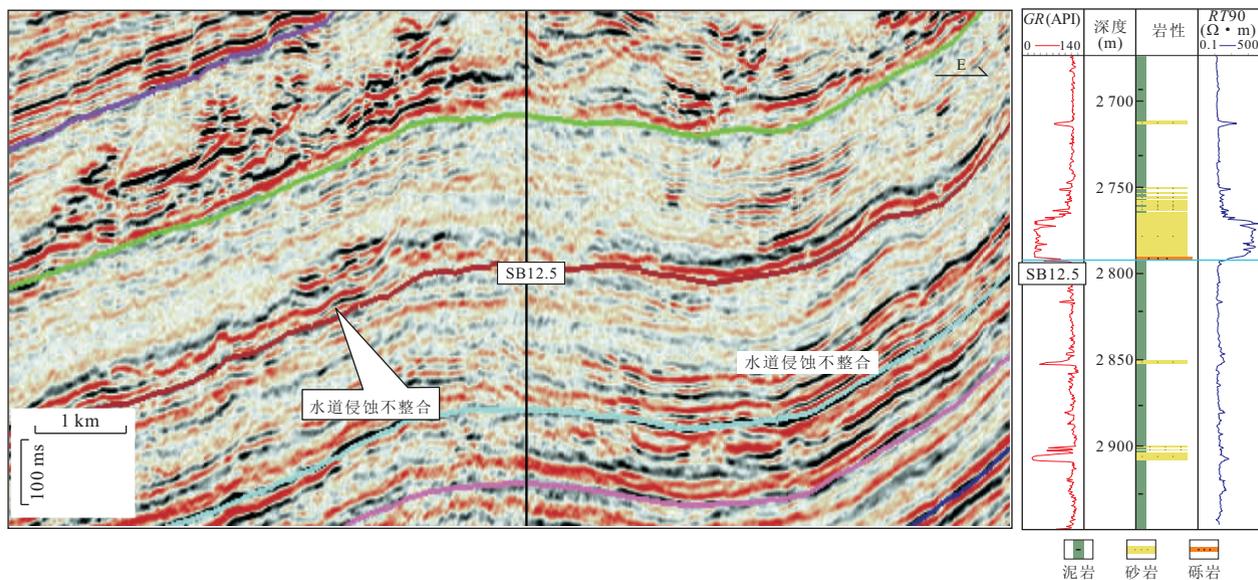


图 2 新近系主要层序界面特征

Fig. 2 Characteristics of main sequence boundaries in Neocene

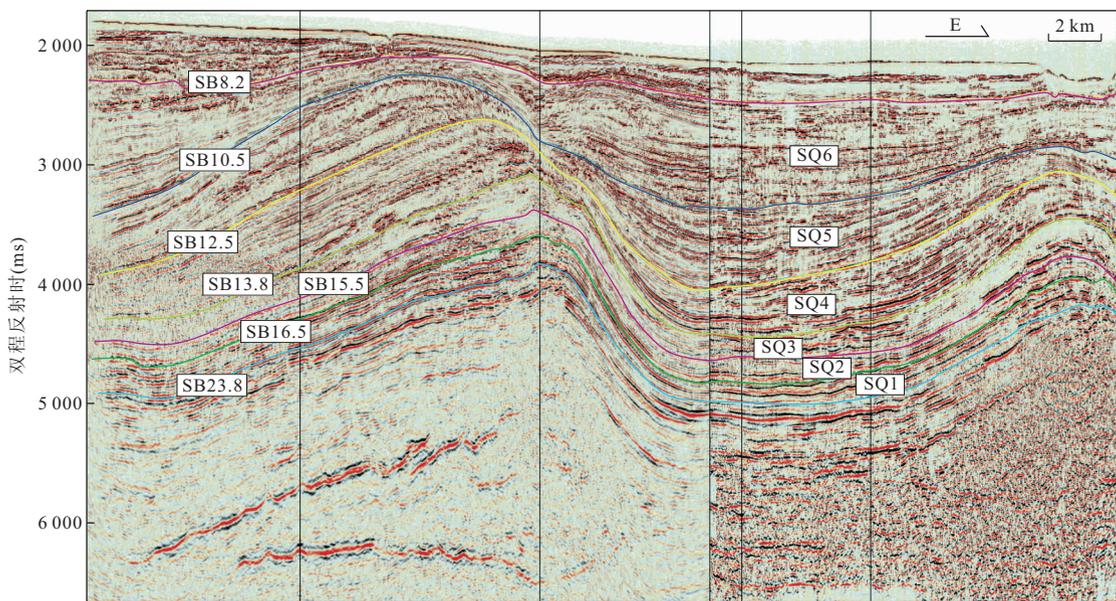


图 3 研究区层序地层单元划分

Fig. 3 Classification of sequence stratigraphic units in the study area

触,地震上见水道侵蚀不整合现象(图 2),在自然伽玛曲线上表现为岩性突变面(图 2). SB10.5 界面与全球较大规模海退事件相对应,相当于区内二级层序界面,自然伽玛曲线在界面之上为箱形,与下伏微齿状的泥岩呈突变接触关系,地震反射可见削截特征,上下地层呈小角度不整合,或可见明显小角度水道侵蚀不整合,界面之下大部分区域都为弱反射或空白反射. SB8.2 界面上下地震相差明显,界面之上为强振幅、平行—亚平行的反射特征,界面之上可

见上超不整合现象,界面之下为连续性较差弱反射,可见削截不整合.

2.2 层序地层单元划分

根据以上 7 个层序界面的成因类型、界面性质、分布范围以及界面的区域接触关系分析,结合尼日尔三角洲盆地构造发育史及沉积演化特征,将新近系地层划分为 6 个三级层序(图 3). 其中,层序界面 SB23.8 和 SB10.5 为二级层序界面,SB23.8 代表区域构造事件所形成的不整合面,是由非洲板块与

Iberia 板块碰撞作用所形成的构造不整合界面；SB10.5 代表全球区域性海平面下降所形成的不整合界面。研究区内 SB16.5、SB15.5、SB13.8、SB12.5 和 SB8.2 均为三级层序界面，是由相对海平面变化引起的沉积相转换面。

3 深水沉积体系特征

如前文所述，始新世早期开始，全球海平面下降，尼日尔三角洲盆地浅水区三角洲沉积体系大规模向海推进，并且在渐新世一早中新世非洲板块与 Iberia 板块碰撞，非洲大陆特别是西非地区处于挤压状态，非洲大陆快速增生，全球海平面快速下降，导致广泛的海退和沉积间断，同时西非洋壳热沉降致使西非边缘块体向西掀斜，进一步加大了大陆的抬升，侵蚀作用加强，使得研究区东北方向陆源碎屑物源供给不断增加，于新近纪在深水区三角洲前缘远端形成规模宏大的深水碎屑岩沉积体系(童晓光和关增森, 2002; Fort *et al.*, 2004; Seranne and Anka, 2005)。

综合研究区的 10 余口钻井、测井曲线以及岩心

资料，借助三维地震资料的综合分析，认为研究区新近纪以半深海环境下的深水碎屑岩沉积体系为主，主要包括半深海—深海泥、浊积水道充填和海底扇朵体 3 种类型，其中后两者构成深水海底扇的两大沉积单元，不同类型的沉积相具有明显不同的岩性、电性以及地震反射特征。

3.1 水道充填沉积

深水浊积水道发育在陆坡和盆底不同的地形条件下，有时具有高弯曲度，并与堤岸和决口扇伴生。依据岩心、测井、地震资料可将水道沉积进一步划分为水道复合体、孤立水道、堤岸和溢岸沉积。

3.1.1 水道复合体 水道复合体具有宽缓的带状外形，由相对连续的侧向水道摆动或水道迁移叠加形成，水道内部具有非常清晰的侧积结构。水道规模相对较大，宽度可达数公里。地震相一般都是扁平透镜状低频强振幅中等连续反射，下切现象明显，在测井曲线上具有箱形曲线特征，岩心上为由多个向上粒度变细或箱状的砂岩层叠置而成(图 4)，底部发育以砾石为主的底部滞留沉积，单砂层底部常见低角度冲刷面和粒度的突变。

3.1.2 孤立水道 孤立水道一般水道宽度较窄，水道轨迹清楚，以高弯曲的形态为特征。地震反射为较

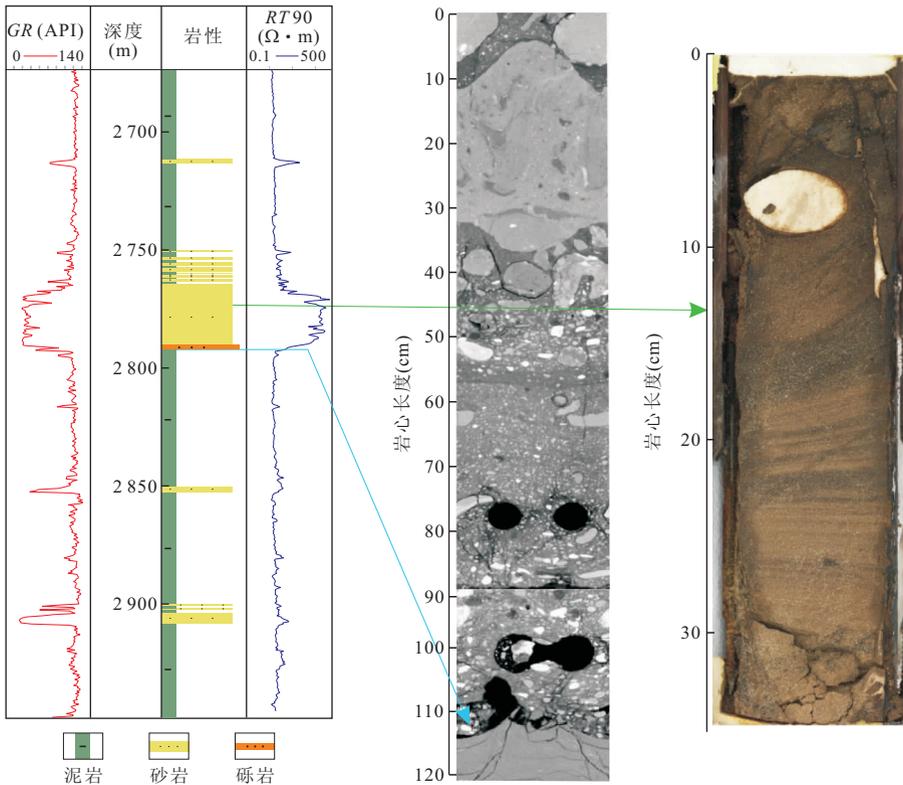


图 4 水道充填沉积特征
Fig. 4 Characteristics of channel filling

扁平透镜状中强振幅反射, 微弱下切, 水道宽度较窄, 宽约 400~500 m. 岩心为分选好的块状含砾细砂岩, 石英颗粒仅数毫米, 夹少量厘米、分米级的漂砾, 磨圆差, 整体为向上变细序列, 砂岩发育小型交错层理, 之间发育水平纹层的泥岩隔层. 有的孤立水道由 5~6 个向上变细的沉积旋回构成. 每个旋回都是由中粗砂岩向上过渡为细砂岩, 沉积层理由块状含砾、定向排列卵石向具有波痕、水平层理转变; 底部是底砾岩和含砾粗砂岩, 夹杂大量磨圆泥屑、漂浮石英颗粒.

3.1.3 堤岸/溢岸沉积 堤岸与水道伴生, 通常在流体超载和易于加积的地方发育 (Posamentier and Kolla, 2003), 堤岸捕获较细粒沉积物, 随着搬运距离的增加, 堤岸趋向于变薄, 堤岸之外逐渐过渡到更细粒的溢岸沉积. 研究区深水沉积多条水道发育近对称堤岸, 水道的底部和近端的翼部为杂乱弱反射, 由块状砂岩—砂泥岩互层组成, 局部滑塌变形, 砂岩层物性好. 远端堤岸/溢岸快速过渡为连续层状的强振幅反射结构, 岩性以泥岩为主, 夹纹层砂—粉砂质泥岩—块状泥岩, 多为隔层.

3.2 朵叶体沉积

朵叶体沉积可分为末端朵叶和决口扇朵叶, 前

者发育于水道末端, 代表海底扇最远端的沉积构成单元, 通常形成于水流能量下降卸载区; 后者则发育于水道旁侧, 为水道决口形成.

3.2.1 末端朵叶 末端朵叶发育于主水道末端, 平面呈朵状展布, 由深水水道卸载形成, 岩性多为薄的细砂岩与泥岩互层, 细砂岩分选好, 多为泥质胶结. 朵叶近端沉积在地震剖面上为中强振幅、中等连续, 下切不明显, 测井曲线为整体向上变粗、砂岩变厚的反旋回趋势; 向朵叶远端过渡为中等振幅、中差连续的席状结构, 局部也有低角度叠瓦反射, 测井曲线变为指状曲线, 指示频繁砂泥岩薄互层特征, 并逐渐与深海泥岩过渡. 当水道携带的沉积物相对较少时, 水道能够延伸更长, 导致水道末端朵叶规模随搬运距离而减小, 在盆底形成狭长的纺锤体, 沉积边界清晰 (图 5), 内部结构由近端叠置水道下切结构向远端的层状结构的透镜体转变, 形成的末端朵叶在相对受限的范围内展布, 砂岩具有较高的成熟度, 其粒度更细.

3.2.2 决口扇 决口扇是洪水期高能量浊流冲出水道堤岸堆积于水道旁侧的小型朵体. 测井曲线多为漏斗型形态, 呈向上变粗序列, 砂岩自然伽玛值较高, 粉砂与泥岩成互层, 多为中弱振幅中等连续丘状

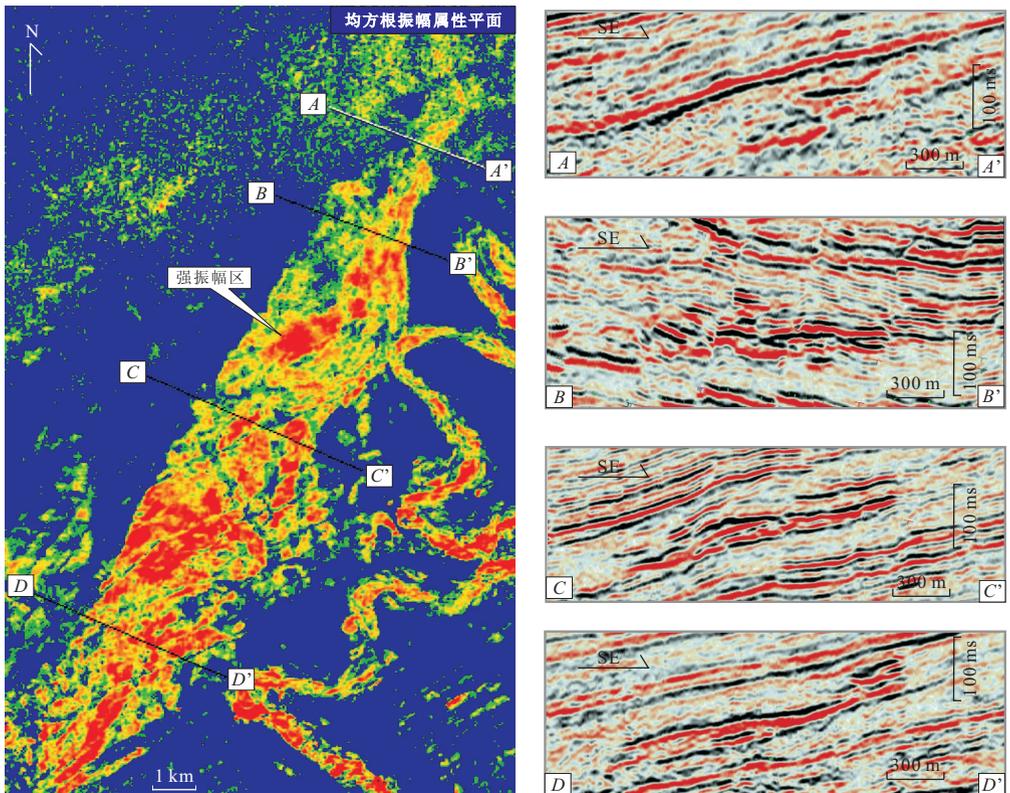


图 5 海底扇朵体地震反射特征

Fig. 5 Seismic characteristics of submarine lobe

或杂乱斜层地震反射。

3.3 半深海泥质沉积

半深海泥岩地震相为弱振幅平行一亚平行反射,在测井曲线上表现为平直基线,岩心为深灰绿色泥岩,页理十分发育,很容易破碎,是典型的凝缩段沉积;整段泥岩都见到丰富的遗迹化石和生物扰动现象,表明是一种适于底栖生物生活的平静海底环境,遗迹化石以 *Zoophycos*(动藻迹)相为主。

4 沉积体系演化特征

Posamentier and Kollar(2003)通过对墨西哥湾、尼日尼亚、印度尼西亚的深水沉积体系研究,认为在海平面下降时期,砂泥比高,发育砂质碎屑流和朵体;而在海平面上升时期,砂泥比较小,以发育水道为主;在水体较深时期以泥岩沉积为主,经典层序地层将体系域划分为低位体系域、海侵体系域及高位体系域(Vail *et al.*, 1977),研究区从中新世至今一直处于深水沉积环境,距离陆坡远,位于陆架坡折以下,不发育大规模的不整合面;低位体系域主要为砂岩夹少量的泥岩,而海侵体系域和高位体系域主

要为泥岩夹少量的砂岩、粉砂岩,传统的浅水区低位体系域、海侵体系域和高位体系域因初始和最大海泛面在深水区难以识别界定而不能有效划分。从研究区深水沉积体系综合分析结果看,其沉积特征主要表现为二元结构,层序下部以大套砂岩沉积为主,储层发育,上部则主要为大套泥岩夹薄层砂岩沉积。

本文沉积演化分析主要关注各层序下部储层发育的低位体系域,而单纯以泥岩沉积为主的海侵体系域和高位体系域沉积特征十分简单。通过系统的井震对比分析,研究区均方根振幅属性可以很好地反映各层序低位体系域深水沉积的时空发育展布,故利用均方根振幅属性平面图来研究各个层序低位体系域的沉积相平面展布。研究表明:研究区自下而上,由 SQ1 到 SQ6,各层序低位体系域发育的深水沉积呈现规律性变化,SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 低位体系域主要发育朵体沉积(图 6),而 SQ5、SQ6 层序低位体系域则主要发育大型水道,局部水道末端见小型朵体(图 6)。SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 时期朵体面积巨大,岩性主要为砂泥互层,在大型朵体根部砂岩厚度大,储集物性好。SQ5、SQ6 时期则发育了一系列规模较大的深水水道,相应地朵体面积较小,但宽度

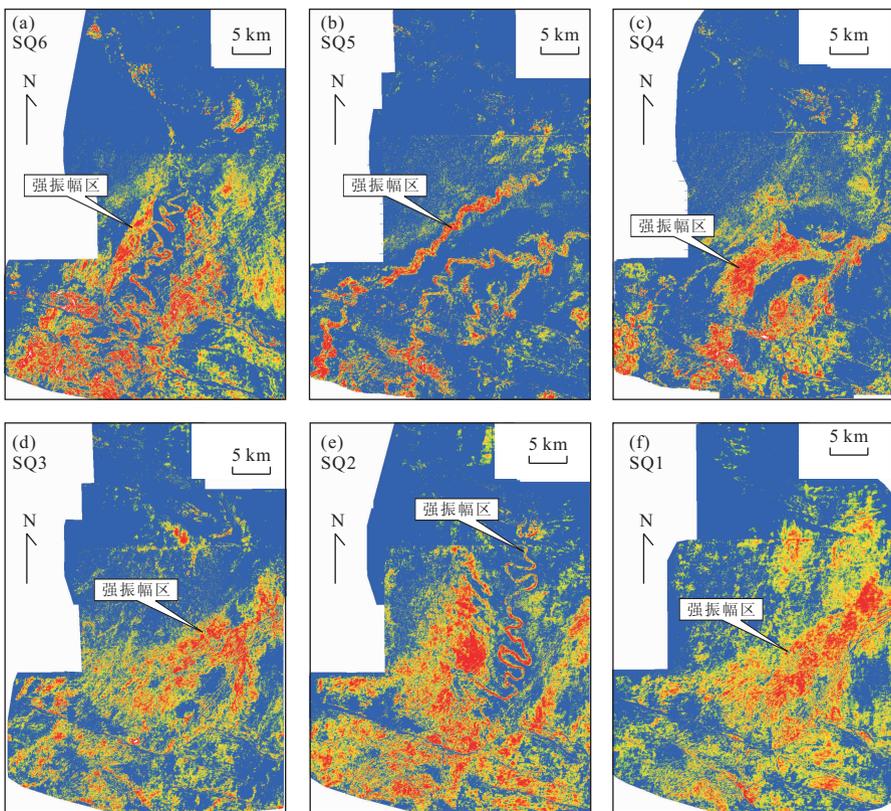


图 6 SQ1-SQ6 层序低位体系域沉积相

Fig. 6 Sedimentary facies of low stand system tracts: SQ1-SQ6

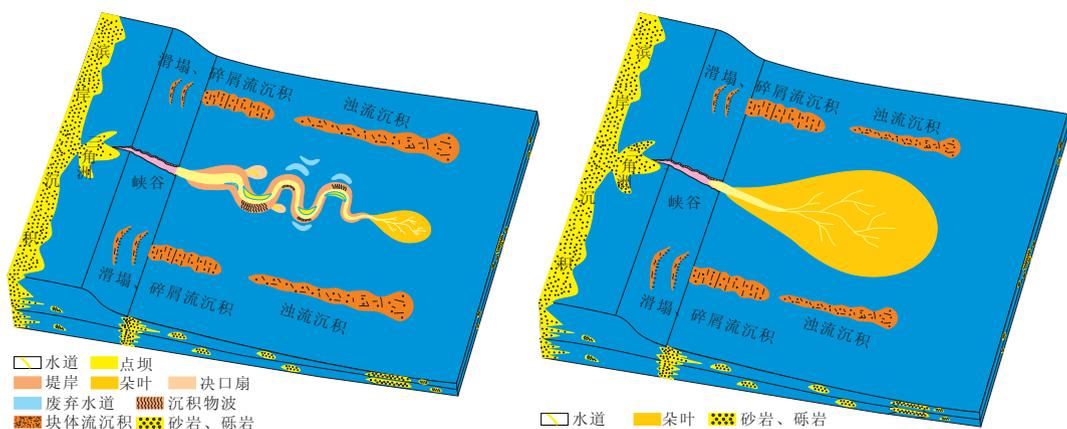


图7 深水沉积体系沉积模式

Fig. 7 Sedimentary model of deepwater sedimentary systems

可达数百米,岩性主要为砂岩,局部见砾岩,储集物性较好,并且自下而上水道规模逐渐增加。

研究区新近系各层序之所以具有上述沉积演化规律,是因为 SQ1-SQ4 沉积时期,长期相对海平面下降,为深水沉积提供了丰富的物源,深水沉积规模大,砂/泥比值相对较高,在通过峡谷及水道向深水地区搬运卸载形成以大型海底扇朵体为主的深水沉积模式(图7);随后,至 SQ5-SQ6 沉积时期,构造运动相对减弱,相对海平面上升,沉积物供给相对减少,砂/泥比值相对减小,则形成以水道为主的深水沉积模式(图7)。

5 结论

(1)通过对尼日尔三角洲盆地层序地层分析,共识别出7个层序界面,自下而上依次为 SB23.8、SB16.5、SB15.5、SB13.8、SB12.5、SB10.5、SB8.2,依次将新近系地层划分为 SQ1-SQ6 共6个三级层序。

(2)研究区新近系以半深海环境下的深水碎屑岩沉积体系为主,包括半深海—深海泥、水道充填和朵叶体3种类型,其中后两者构成深水海底扇沉积的两大沉积单元,具有明显不同的岩性、电性以及地震反射特征。

(3)新近系从 SQ1 到 SQ6 层序沉积时期,相对海平面经历了先下降再上升过程, SQ1-SQ4 时期主要发育朵体沉积,岩性主要为砂泥互层,储集性能好; SQ5-SQ6 层序沉积时期则主要发育大型浊积水道,岩性主要为砂岩,局部见砾岩,储集性能较好。

References

- Clark, J. D., Pickering, K. T., 1996. Architectural elements and growth patterns of submarine channels: application to hydrocarbon exploration. *AAPG Bulletin*, 80 (2): 194—221. doi: 10.1306/64ED878C-1724-11D7-8645000102C1865D
- Deptuck, M. E., Steffens, G. S., Barton, M., et al., 2003. Architecture and evolution of upper fan channel-belts on the Niger Delta slope and in the Arabian Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 20 (6): 649—676. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2003.01.004
- Droz, L., Rigaut, F., Cochonat, P., et al., 1996. Morphology and recent evolution of the Zaire turbidite systems (gulf of Guinea). *Geological Society of American Bulletin*, 108(3): 253—269. doi: 10.1130/0016-7606(1996)108<0253:MAREOT>2.3.CO;2
- Fort, X., Brun, J. P., Chauvel, F., 2004. Salt tectonics on the Angolan margin, synsedimentary deformation processes. *AAPG*, 88 (11): 1523—1544. doi: 10.1306/06010403012
- Jiang, S., Wang, H., Weimer, P., 2008. Sequence stratigraphy characteristics and sedimentary elements in deepwater. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(6): 825—833 (in Chinese with English abstract).
- Kollar, V., 2007. A review of sinuous channel avulsion patterns in some major deep-sea fans and factors controlling them. *Marine and Petroleum Geology*, 24(6—9): 450—469. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.01.004
- Kollar, V., Bourges, P., Urruty, J. M., et al., 2001. Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (West Africa) and implications for reservoir architecture. *AAPG Bulletin*, 85(8): 1373—1405. doi: 10.

- 1306/8626CAC3-173B-11D7-8645000102C1865D
- Liu, X. Y., Yu, S., Tao, W. X., et al., 2012. Filling architecture and evolution of Upper Miocene deep-water channel in Congo Fan basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(1): 105–112.
- Lv, M., Wang, Y., 2008. A discussion on origins of submarine fan deposition model and its exploration significance in Nigeria deep-water area. *China Offshore Oil and Gas*, 20(4): 275–282 (in Chinese with English abstract).
- Nakajima, T., Peakall, J., McCaffrey, W. D., et al., 2009. Outer-bank bars: a new intra-channel architectural element within sinuous submarine slope channels. *Journal of Sedimentary Research*, 79(12): 872–886. doi: 10.2110/jsr.2009.094
- Pang, X., Shen, J., Yuan, L. Z., et al., 2007. Petroleum prospect in deep water fan system of the Pearl River in the South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 27(3): 11–15 (in Chinese with English abstract).
- Peakall, J., McCaffrey, B., Kneller, B., 2000. A process model for the evolution, morphology, and architecture of sinuous, submarine channels. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3): 434–448. doi: 10.1306/2DC4091C-0E47-11D7-8643000102C1865D
- Pettingill, H. S., 1998. Turbidite giants: lessons from the world's 40 largest turbidite discoveries. EAGE/AAPG 3rd Research Symposium, Leipzig.
- Posamentier, H. W., Kolla, V., 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, 73(3): 367–388. doi: 10.1306/111302730367
- Seranne, M., Anka, Z., 2005. South Atlantic continental margins of Africa: a comparison of the tectonic vs climate interplay on the evolution of equatorial West Africa and Southwest Africa margins. *Journal of African Earth Sciences*, 43(1–3): 283–300. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2005.07.010
- Tong, X. G., Guan, Z. M., 2002. Atlas of petroleum exploration and development of the world. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Vail, P. R., Mitchum, Jr. R. M., Thompson III, S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Parts 3. Relative changes of sea level from coastal onlap; section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. *Seismic stratigraphy: application to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir (Special)*, 26: 63–81.
- Von Rad, U., Tahir, M., 1997. Late Quaternary sedimentation on the outer indus shelf and slope (Pakistan): evidence from high-resolution seismic data and coring. *Marine Geology*, 138(3–4): 193–236. doi: 10.1016/S0025-3227(96)00090-4
- Wang, Y., Lv, M., 2009. Reservoir characteristics sediment in Nigeria deep water area. *Natural Gas Geosciences*, 20(2): 228–236 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, S. Q., Cao, F., Wu, S. G., et al., 2010. Architecture and origin of deepwater sinuous channel on the slope of northern South China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(1): 68–75 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蒋恕, 王华, Paul Weimer, 2008. 深水沉积层序特点及构成要素. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(6): 825–833.
- 刘新颖, 于水, 陶维祥, 等, 2012. 刚果扇盆地上中新世深水道充填结构及演化特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(1): 105–112.
- 吕明, 王颖, 陈莹, 2008. 尼日利亚深水区海底扇沉积模式成因探讨及勘探意义. *中国海上油气*, 20(4): 275–282.
- 庞雄, 申俊, 袁立忠, 等, 2007. 南海珠江深水海底扇系统及油气勘探前景. *石油学报*, 27(3): 11–15.
- 童晓光, 关增森, 2002. 世界石油勘探开发图集(非洲地区分册). 北京. 石油工业出版社.
- 王颖, 吕明, 2009. 深水沉积储层特征——以尼日利亚 OML130 区块为例. *天然气地球科学*, 20(2): 228–236.
- 袁圣强, 曹锋, 吴时国, 等, 2010. 南海北部陆坡深水曲流水道的识别及成因. *沉积学报*, 28(1): 68–75.