

深水沉积储层特征

——以尼日利亚 OML130 区块为例

王 颖, 吕 明

(中海石油研究中心勘探研究部, 北京 100027)

摘要:深水沉积体系的研究正处于不断探索和认识阶段,近年来国内外进行了大量的研究,并取得了一定的认识。尼日尔三角洲位于非洲大陆西部,深水沉积体系特征明显,通过对二维地震剖面的反射结构、三维地震的切片及属性,岩心沉积结构、构造、含有物,钻井岩性剖面,测井曲线反映的粒序变化及旋回特征等现象的综合分析,总结出了研究区主要的沉积模式。海底扇可分上扇、中扇、下扇,其主要沉积和储层类型为水道、朵叶和水道叠加或水道—决口扇复合体。并对各类储层的特点和成因进行了分析。

关键词:深水沉积;尼日利亚;储层;水道;朵叶;沉积模式

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2009)02-0228-09

0 引言

随着技术的进步和能源需求的增长以及陆上和浅海老油区新发现难度的增加,自20世纪80年代中期以来勘探家的目光就投向了深水区^[1-2]。深水沉积体系是储集体的一种类型,相对于其他储集体,在现代沉积环境中不易被发现和研究,因此,还处于需要不断去发现和探索认识的阶段。

近15年来随着深海钻探活动和深海成像技术的提高,关于深水沉积体系有了很多的发现^[3]。如:晚更新世印度尼西亚东加里曼丹海域深水沉积体系(早期,富砂物质沉积在水道中,形成陆坡上的加积型水道复合体和盆底平原扇上的开阔朵叶体;晚期,物源供应偏泥质,进而在陆坡和盆地平原形成了具有天然堤的高弯度水道复合体^[4]);晚更新世的印度扇高弯度水道^[5];中新世西非安哥拉海区振幅提取图显示中新世的高弯水道体系^[6];上中新世墨西哥湾北部深水区晚更新世密西西比扇的高弯水道—堤体系^[7];现代海底的亚马逊扇水道^[8]等。尼日利亚 OML130 区块就是研究深水沉积体系的良好区域。

1 地质概况

尼日尔三角洲盆地位于非洲大陆西部,面积为

$12 \times 10^4 \text{ km}^2$,是世界著名的含油气盆地和油气勘探的热点之一^[9]。尼日尔三角洲盆地是非洲板块与大西洋板块边缘三联点上发育的裂谷盆地^[10],该三联点的东北支为贝努埃拗拉槽,延伸进入大陆内部;西支为达荷美(贝宁)盆地;南支延伸进入大西洋,即尼日尔三角洲盆地的主体^[11](图1)。

尼日尔三角洲盆地基底为元古界火成岩和变质岩,上覆沉积地层包括中生界白垩系;新生界古近系、新近系,及表层的第四系。中生代盆地的基底大致呈北高南低的斜坡,新生代转化为以伸展作用为主的张性盆地。由于尼日尔河的汇水面积较大,沉积物供应充分,在河口形成快速堆积的三角洲沉积,平面上呈向海推进的前积斜层。这种前积推进呈幕式间歇发育,自晚始新到晚中新世可识别出6期前期体。其前端由于重力的作用,触发了若干条走向大致平行岸线的同沉积正断层,剖面呈铲状或犁状。沿断面滑动的塑性地层在三角洲远端可形成逆冲推覆断层,并引起塑性地层的底辟或上隆。尼日利亚 OML130 区块就位于此底辟带附近(图2),即尼日尔三角洲南缘、水深900~1700 m海域,距海岸线120~160 km处。

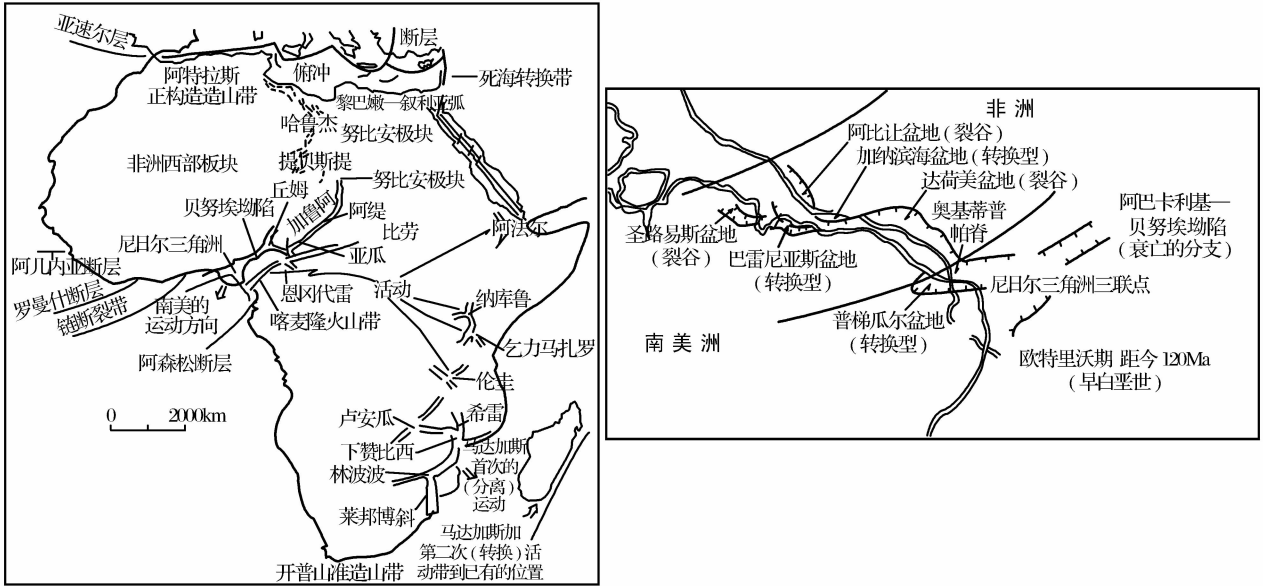


图 1 尼日尔三角洲盆地地质背景^[9]

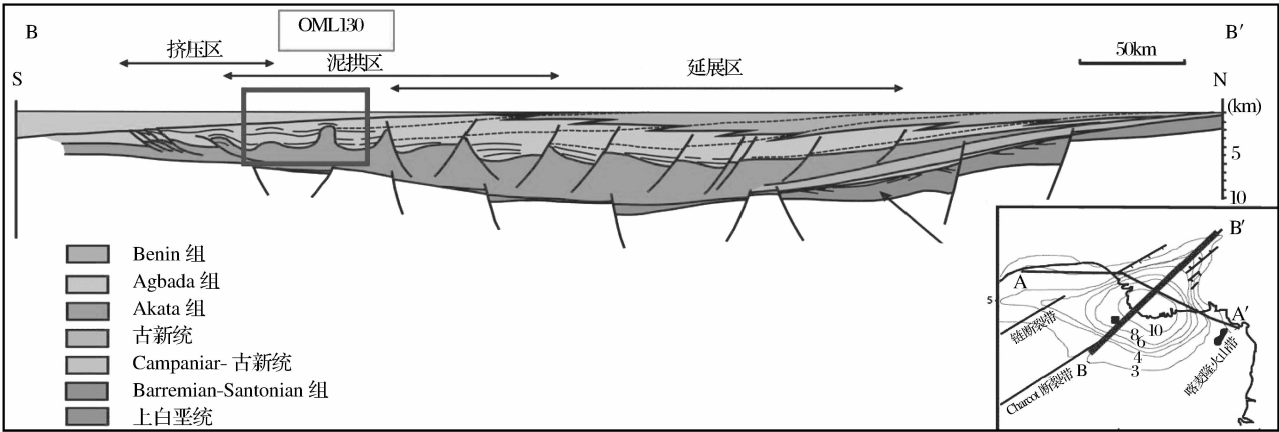


图 2 尼日尔三角洲盆地沉积特征示意

2 沉积模式的建立

研究区周边现代海底地形反映出尼日尔三角洲具有多期发育、形成多级水下阶地的特点(图 3)。三角洲的前积朵叶先向南推进,后转向西偏南方向推进,再向东南推进,现今又转为向西南推进。同时由于泥底辟和伴生逆冲断层的活动也可形成一些小凹陷和隆起。这些都为交替形成高弯与低弯水道提供了条件。因此研究区内深水重力流体系也是较为常见的现象。

OML130 区块的研究目的层段属于中中新统和上中新统,从下到上划分为 R1265、R1246、R1230、R1220、R1180 和 R1120 等几个油组,据 ^{18}O 、 ^{86}Sr 、 ^{87}Sr 的演化分析出的西非海平面变化曲线

图(图 4)可以看出,海平面在垂向上长周期的演化趋势为水体变浅的海退,期间有周期性的海平面升降振荡。在中新世晚期下降幅度最大,在海平面以下 60 m 左右,其中在中新世中期有一次大的海进,海平面上升幅度达到了海平面以上 100 m。也就是说,在没有大的构造背景变动的情况下,与现今 1 300~1 450 m 的水深相对比,推测当时的沉积环境依然为半深海—深海。

从钻井的情况看(图 4),以 E-1 井为例,目的层段下部为砂/泥岩薄互层,正韵律居多,具有席状朵叶的特点;中部砂层厚度增大,反韵律为主,具有前积朵叶、局部水道的特点;上部出现厚层砂岩,正韵律为主,具备较大型水道的特点。根据 Walther 相律,此时相带的平面展布应是从上游的水道向远端

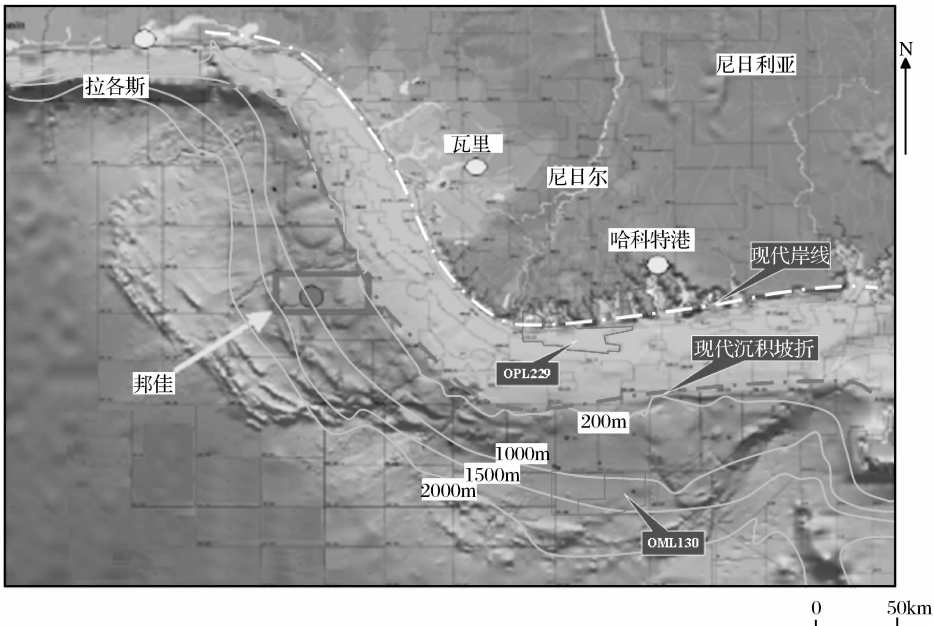


图 3 研究区周边现代海底地形

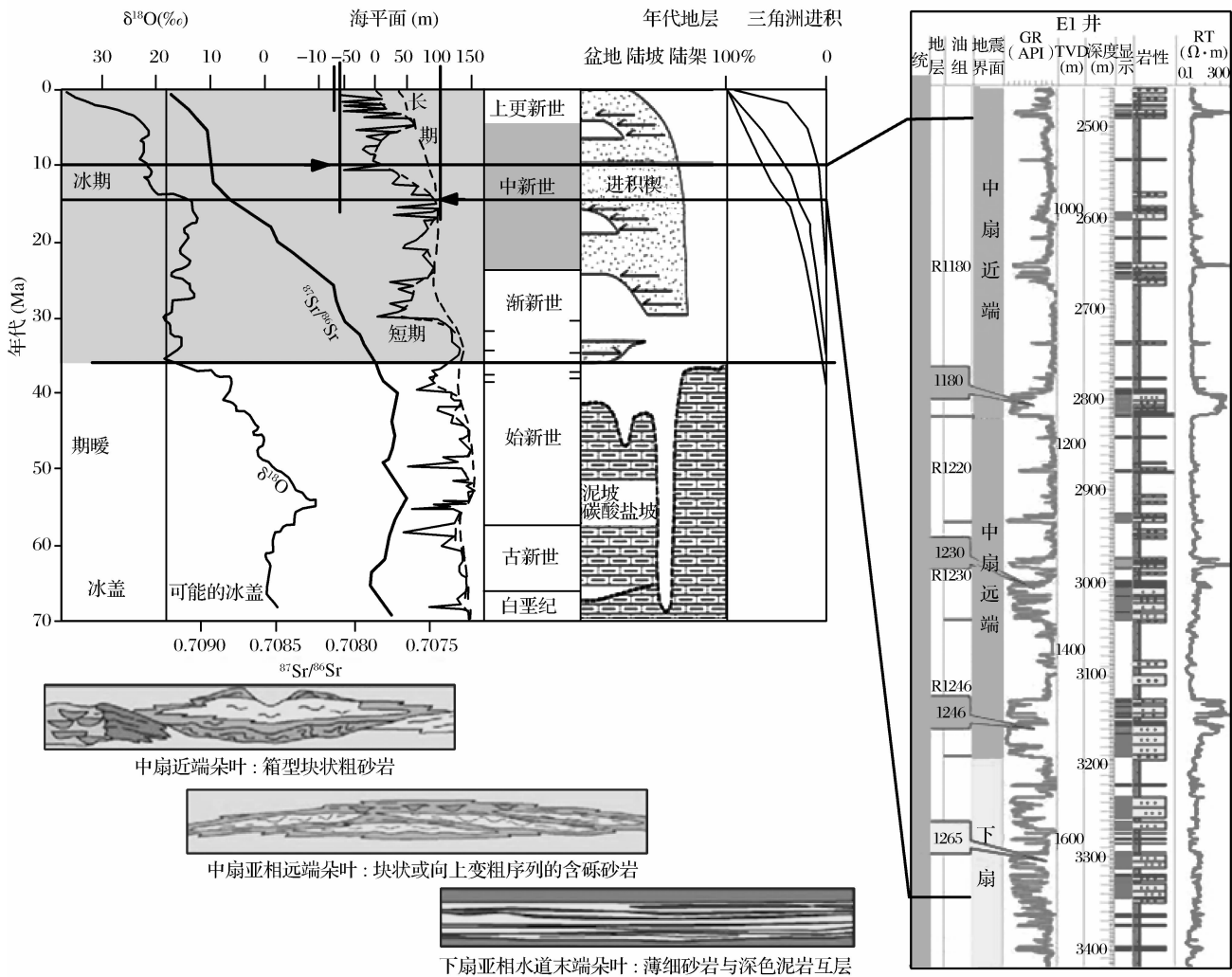


图 4 西非海平面变化曲线与钻井资料综合分析

朵叶变化。另从成因单元的类型和厚度变化看,下部和上部都具有向上颗粒变细、水深增大特点,反映盆底相对深水特征。

同时,从测井曲线、录井描述以及岩心照片观察综合分析发现,砂岩多为石英质、透明到半透明,主要是细一中粒,次圆一次棱角状、分选中等。泥岩浅一中灰色、质硬、次块状。从盆地中心向物源方向以及同一口井从下到上,砂岩粒度由细变粗,分选由

好变差,在靠近物源方向的位置往往出现分选较差的角砾或砾石沉积。以正粒序层理、准同生变形、枕状变形等各种变形层理以及块状砂岩中含有不规则泥砾等重力流沉积为主要特征,局部见具有牵引流特征的槽状交错层理^[12](图 5)。

均方根振幅切片方法是进行沿层平面研究的一种较好的手段。通过对各个油组沿层均方根振幅切片的提取(图 6),可以发现,研究区物源来自东北

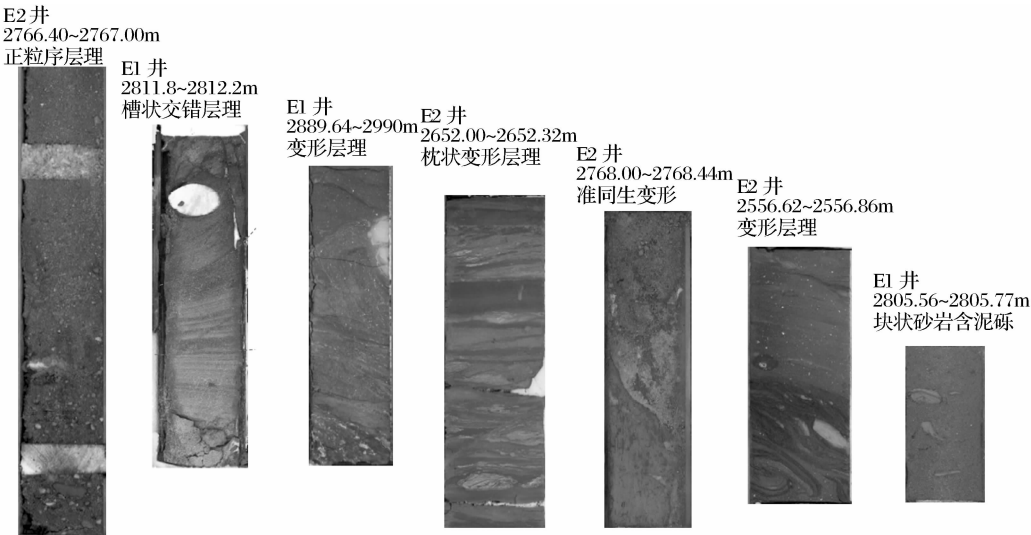


图 5 取心井岩心照片

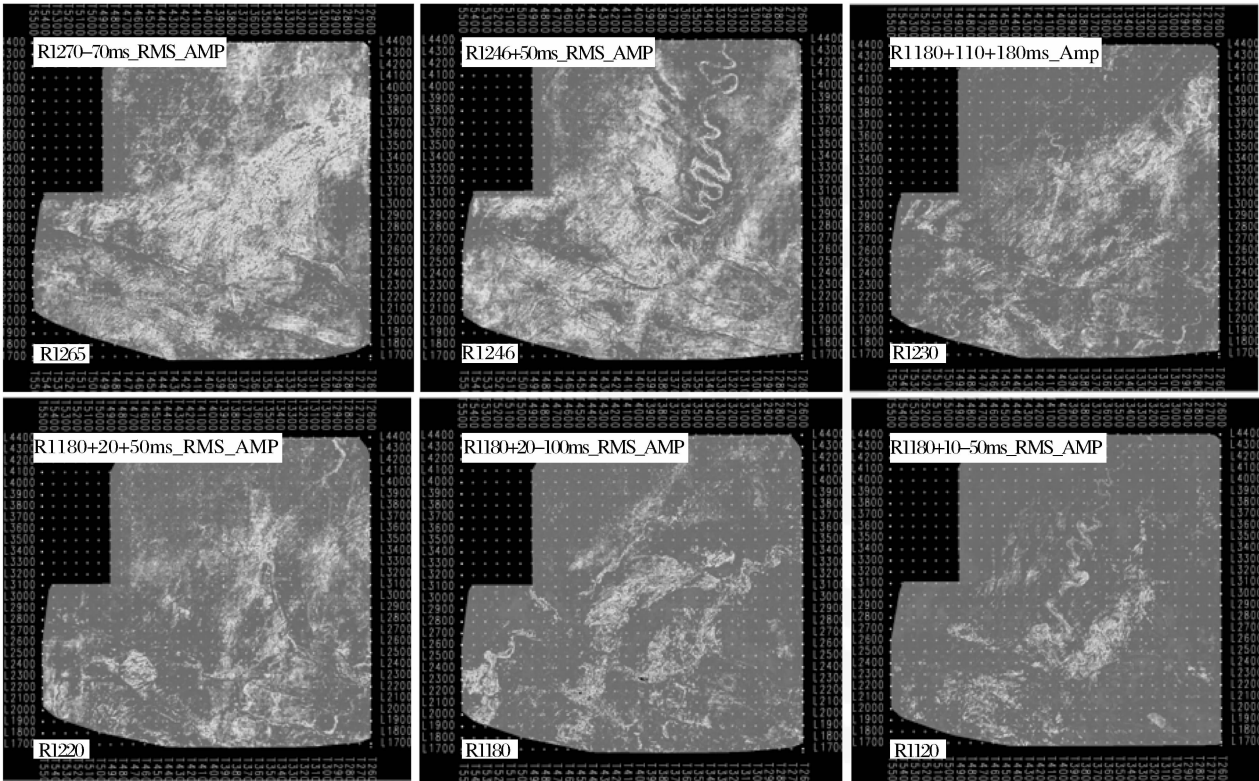


图 6 尼日利亚 OML130 区块沿层均方根振幅切片

方,沉积体呈扇状由东北向西南展开,垂向上油组从下到上,随着水体加深、可容空间的增大,水道侧向侵蚀、叠加减弱,可见较独立的高弯度水道。

通过以上分析可以总结出该区的沉积模式(图7)。来自北部尼日尔三角洲沉积物构成了本区的沉

积坡折。在海平面下降期偏砂质的低位沉积物可通过下切谷搬运至坡脚,形成常规的盆底扇、斜坡扇、低位三角洲和峡谷充填。其它时期可通过滑塌等原因形成滑塌体或峡谷,并在其下方形成水下扇体系。该水下扇虽然也可分为上扇、中扇、下扇3部分,分

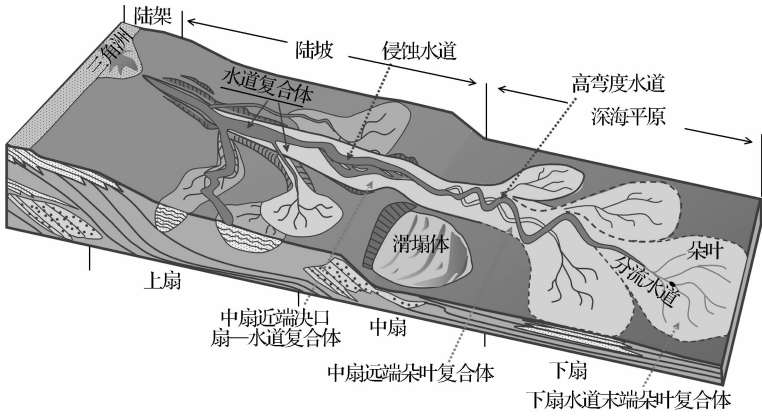


图7 尼日利亚 OML130 区块沉积模式

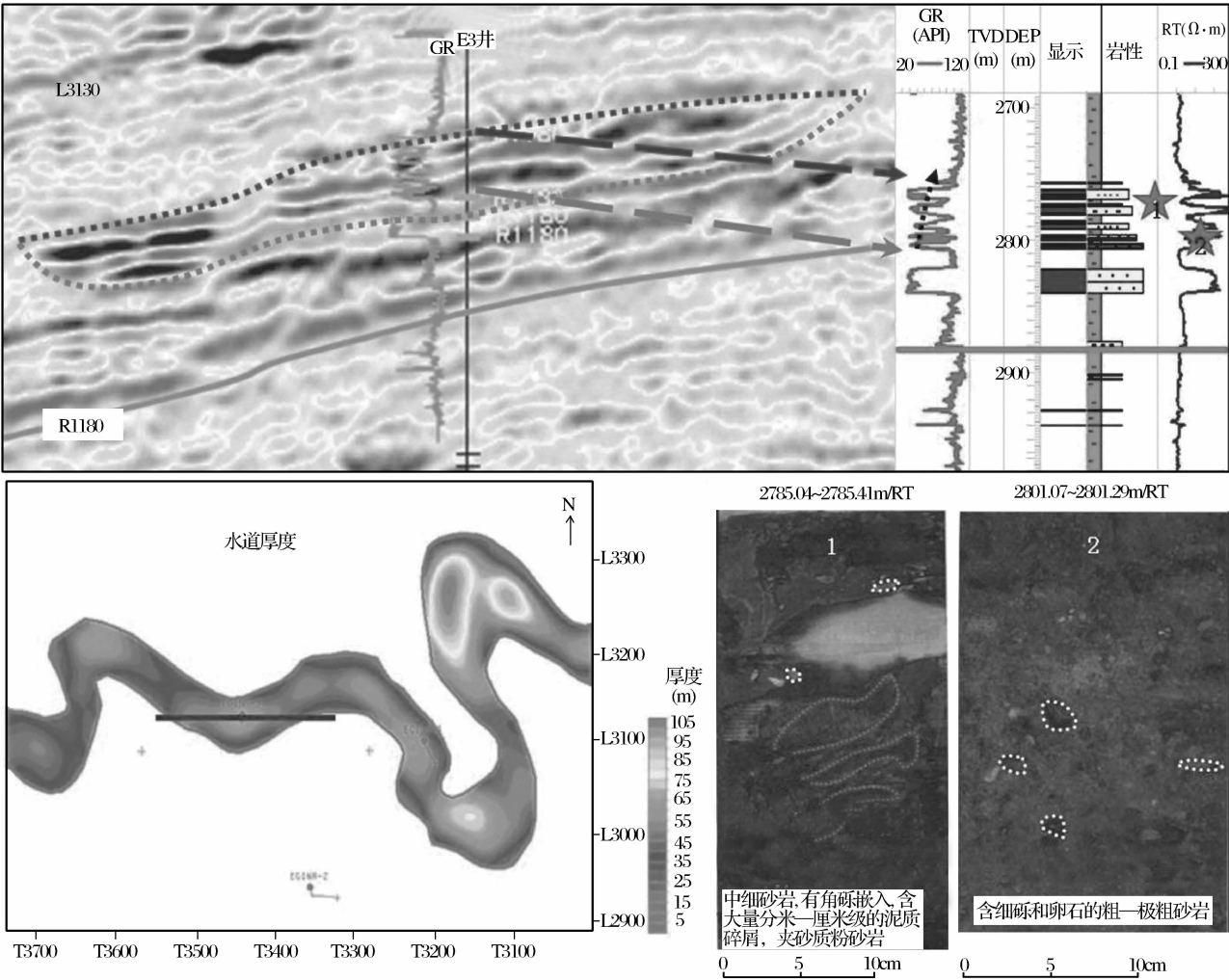


图8 中扇近端侵蚀水道特征

别与海底地形上的 2 个次级“台阶”相对应,但受阶梯状海底地形的影响,它并不完全呈扇形,而是呈拉长的形状,类似河控型三角洲。其中上扇区沉积物多以水道的形式限于峡谷内,且陡坡段水道较直,缓坡段可散开呈网状;中扇陡坡区发育顺直侵蚀水道,缓坡区发育高弯水道;下扇区以朵叶为主,水道较直呈分支状。

3 储层沉积特征

按照前面提出的海底扇沉积模式,研究区内发育的储集砂体沉积类型主要为海底扇中扇近端侵蚀水道—朵叶复合体、中扇远端高弯度水道—朵叶复合体和下扇水道末端朵叶。

3.1 中扇近端顺直水道微相

中扇近端侵蚀水道—朵叶复合体中,水道特征明显(图 8)。

在钻井资料上,岩性组合为向上变细的正旋回特征,底部往往为含粗粒的砾石和卵石的粗—极粗砂岩。向上粒度变细为中细砂岩,有角砾嵌入,含大量分米到厘米级的泥质碎屑。测井相为底部突变的钟型特征。地震相表现为低频强振幅,透镜状,具有明显的下切侵蚀特征,在地震剖面上易识别。

通过追踪解释发现,这些水道不但有曲流河的外形,而且有些也有其内部的结构特征。一般曲流河体系在弯曲主河道的发育过程中,由于河水惯性的作用常在河道的转弯处外侧发生冲刷,同时在内侧发生沉积,即形成点砂坝。久而久之,点砂坝不断侧向推进(侧积),河道弯度逐渐增大。在地震剖面上可见到具有一定下切、外形呈透镜状、内部具垂直水道轴向的斜层充填、一般为强振幅等河道充填的典型特征。这种特征会随地震剖面所切位置的不同而异,并可作为水道的识别标志,而本区的有些水道也具有这些特点(图 9)。该水道在地震剖面上具有下切的底界面、透镜状的外形、平面呈长条状。更有说服力的是,在水道弯曲的顶点附近(a、d 点),地震剖面可见由凹岸向凸岸的“前积下超”,如在 a 点表现为由北向南,d 点表现为由南向北下超;而在水道的“拐点”附近(b、c 点)则表现为近于水平的加积(c)和低角度的侧积(b)。由此看来,这些“浊积水道”具有与陆上“曲流河”很相似的牵引流的内部结构特征。

3.2 中扇近端朵叶微相

中扇近端朵叶体的形成主要是由于中扇水道天然堤不发育,常发生淤塞和侧向迁移,因此,多期水

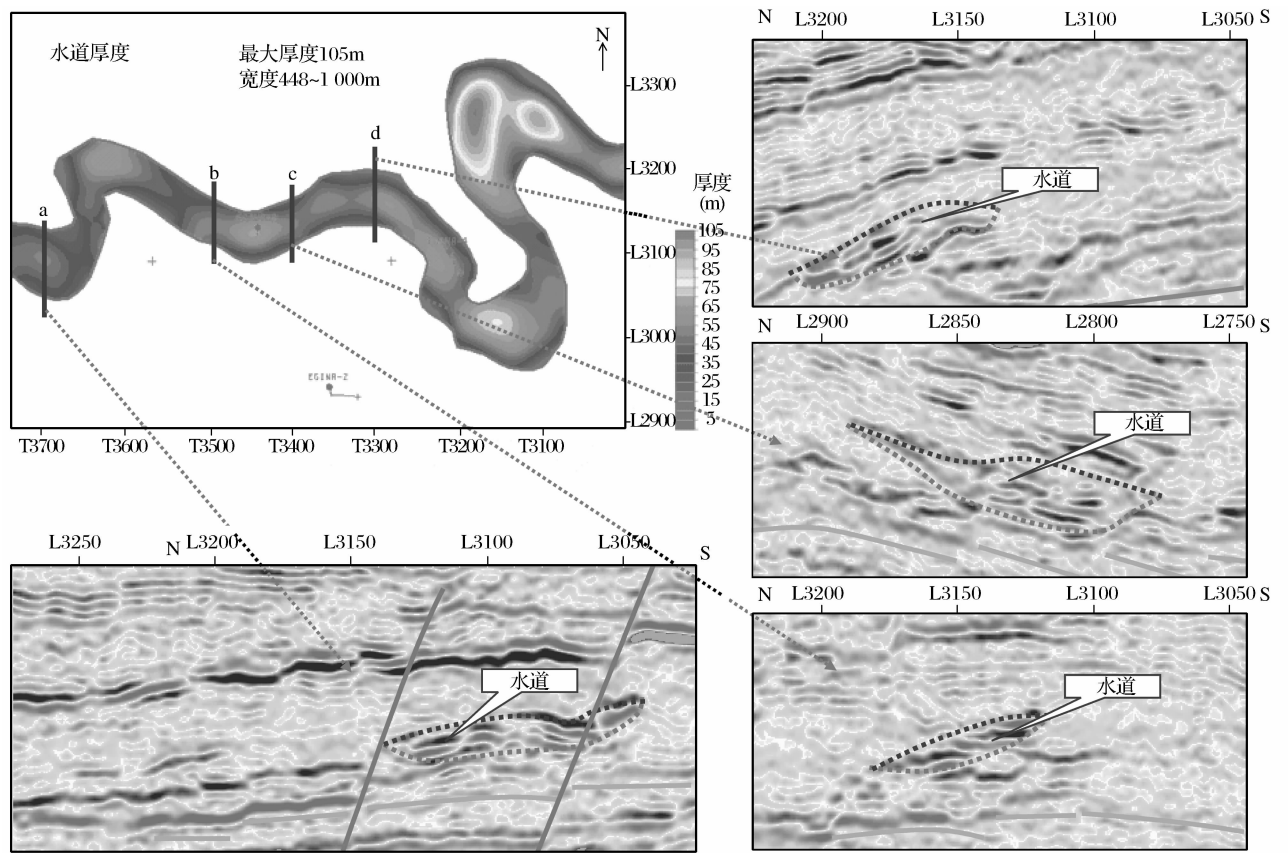


图 9 Egina 构造 R1180 水道的地震剖面特征

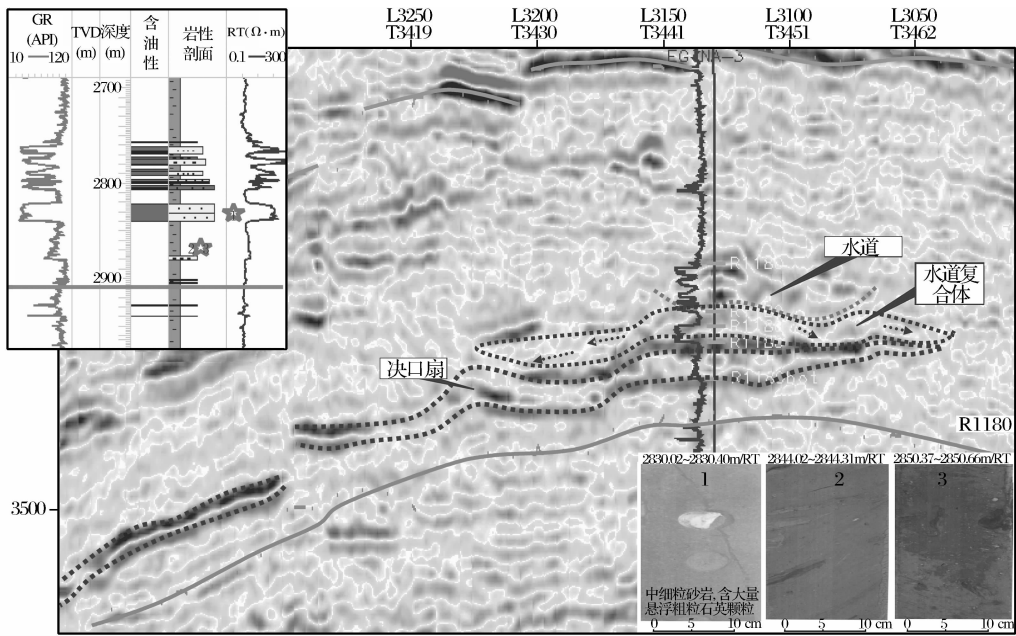


图 10 中扇近端朵叶体特征

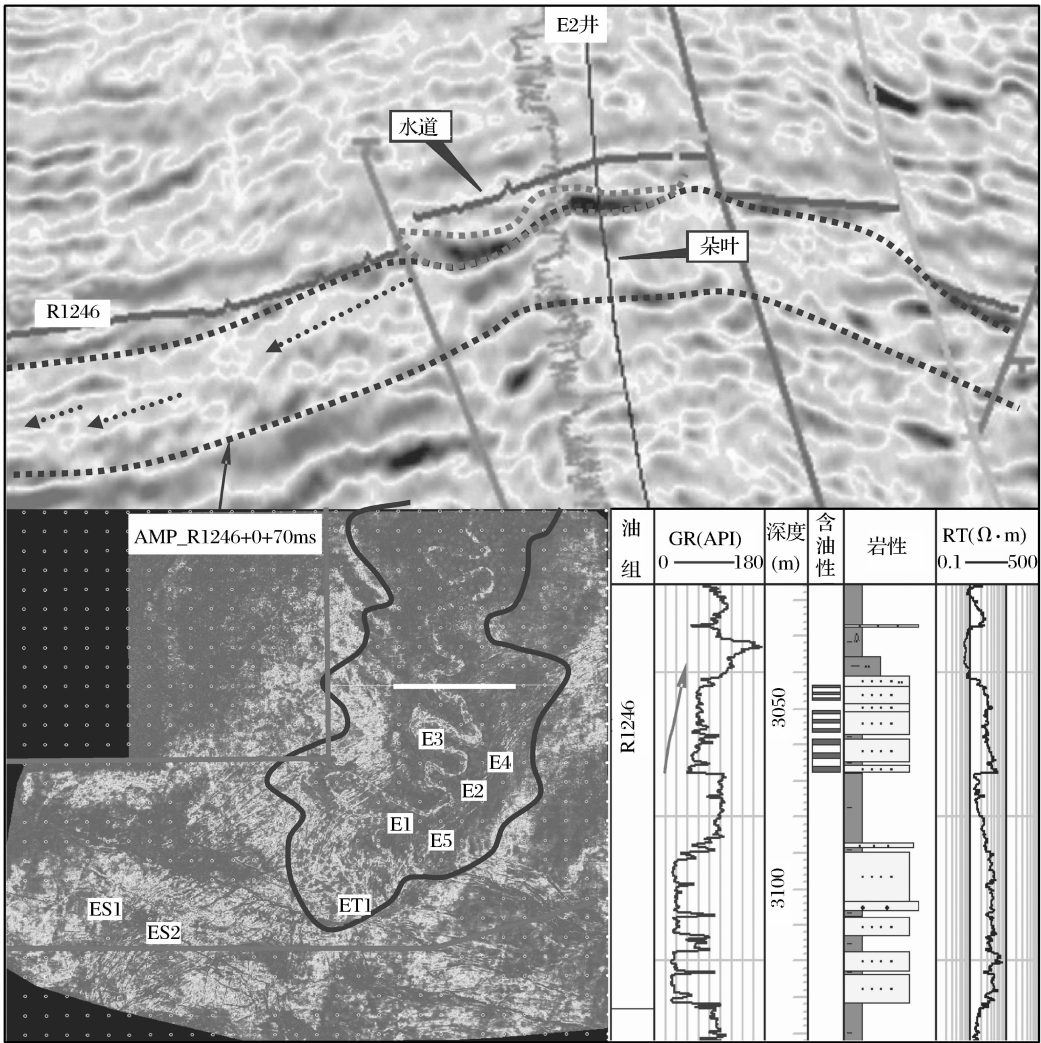


图 11 中扇亚相远端高弯度水道—朵叶复合体特征

道叠合,决口扇发育,而形成朵叶状沉积体(图 10)。

通过岩心资料和录井资料综合分析认为,决口扇为泥岩夹粉砂岩和中细粒砂岩,可见泥质碎屑,泥岩中见斜层理。地震相表现为强振幅,连续性好。

水道复合体伽玛曲线呈箱形,为分选较好的块状粗砂岩—中细砂岩,含较多冲刷面,细粒物质常被冲刷掉,因此,以块状砂岩和含砾砂岩为主,侧向连通性好。主体连续反射强振幅,边缘可见叠瓦状断续反射特征。

3.3 中扇亚相远端高弯度水道—朵叶复合体微相

中扇亚相远端高弯度水道—朵叶复合体的水道形态以及朵叶特征,与中扇近端侵蚀水道—朵叶复合体在岩性特征、电性组合和地震相方面存在明显不同(图 11)。

中扇亚相远端高弯度水道下切很浅的侵蚀性水

道,弱振幅、连续性较好,较扁平的透镜状,微弱下切,呈现高弯曲度,位于朵叶的上部;岩性为分选好的细砂,磨圆差,整体向上变细序列。

朵叶为中弱振幅,杂乱、差连续,不明显的低角度叠瓦反射;岩性为细砂和粗砂的相互叠置,分选好坏不一,细砂常含中—粗粒砂粒,磨圆差,整体为块状或向上变粗序列的含砾砂岩;朵叶在垂直水流方向为扁平透镜状,向边缘厚度逐渐变薄,低角度叠瓦侧积,平面呈朵叶状。

3.4 下扇亚相水道末端朵叶微相

下扇亚相的水道末端朵叶(图 12),相对于中扇远端朵叶,振幅变强、连续性变好,由低角度叠瓦变为平行—亚平行反射;岩性主要是薄的细砂岩与深色泥岩的互层,细砂岩分选好,多为泥质胶结;测井曲线为整体向上变粗的指状曲线。

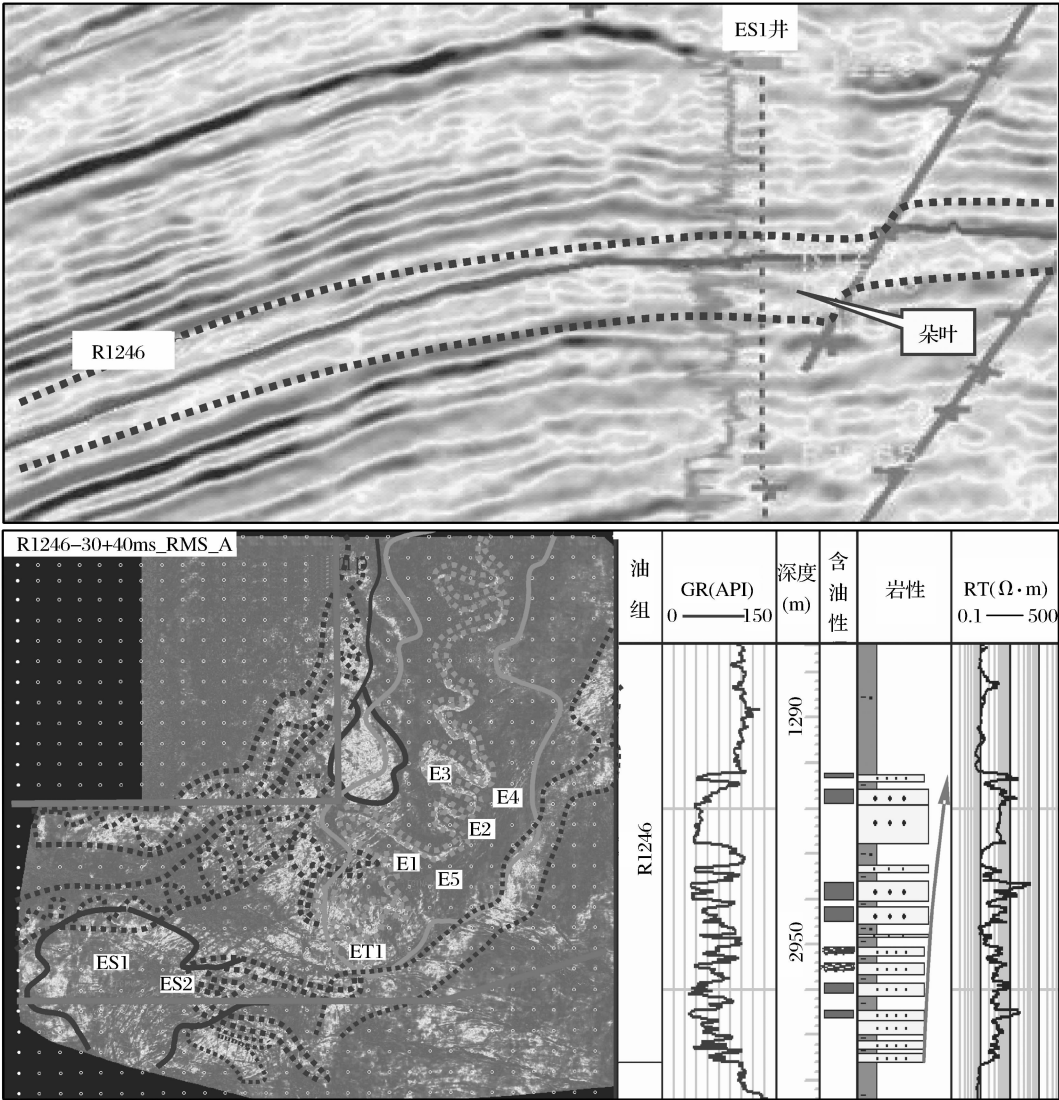


图 12 下扇亚相的水道末端朵叶微相特征

4 结论

(1) 通过对二维地震剖面的反射结构、三维地震的切片及属性,岩心沉积结构、构造、含有物,钻井岩性剖面,测井曲线反映的粒序变化及旋回特征等现象的综合分析,总结出研究区主要的沉积模式。海底扇可分上扇、中扇、下扇,其主要沉积和储层类型为水道、朵叶和水道叠加或水道—决口扇复合体。尼日利亚 OML130 区块主要发育,中扇近端侵蚀水道—朵叶复合体、中扇远端高弯度水道—朵叶复合体和下扇水道末端朵叶。

(2) 总的来看,上扇以水道和水道侧向或垂向叠加复合体为主,表现为厚层的砂/泥岩互层;中扇以水道、决口扇朵叶及复合体为主,表现为砂/泥岩互层;下扇以朵叶为主,表现为薄层的细砂—粉砂岩与泥岩的互层。但受研究区陡缓相间、阶梯状的古地形的控制或影响,研究区的海底扇常发育为拉长的扇形,其间可有顺直型与高弯型水道的交替发育。垂向上,各目的层段表现出自下而上由朵叶向水道的转化,体现了海底扇逐期向盆地前积推进的特点。

(3) 中扇近端朵叶的形成是水道多期叠合的产物。中扇的水道由于天然堤不发育,常发生淤塞和侧向迁移,细粒物质常被冲刷掉,因此,以块状砂岩和含砾砂岩为主,侧向连通性好。深水重力流体系不仅能形成扇状的朵叶和顺直的水道体系,而且其中粒度较小的浊流也可形成高弯度的水道体系。中扇亚相远端的水道多以细粒沉积为主,呈现高弯曲度。

参考文献:

- [1] 吴时国,袁圣强.世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J].天然气地球科学,2005,16(6):693-699.
- [2] 何家雄,夏斌,施小斌,等.世界深水油气勘探进展与南海深水

油气勘探前景[J].天然气地球科学,2006,17(6):747-752.

- [3] Weimer P, Slatt R. Petroleum Systems of Deepwater Settings [R]. Distinguished Instructor Short Course, Distinguished Instructor Series, No. 70, 2004.
- [4] Saller A H, Noah J T, Ruzuar A P, *et al.* Linked lowstand delta to basin-floor deposition, offshore Indonesia: An analog for deepwater reservoir systems [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88 (1): 21-46.
- [5] Kenyon N H, Amir A, Cramp A. Geometry of the younger sediment bodies of the Indus Fan [M]// Pickering K T, Hiscott R N, Kenyon N H, *et al.* Atlas of Deep Water Environments: Architectural Style in Turbidite Systems. London: Chapman and Hall, 1995: 89-63.
- [6] Mayall M, Stewart I. The architecture of turbidite slope channels [C]// Weimer P, Slatt R M, Coleman J L, *et al.* Global Deep-water Reservoirs: Gulf Coast Section. SEPM Foundation 20th Annual Bob E Perkins Research Conference, 2000: 578-586.
- [7] Morton C H. 2-D and 3-D seismic interpretation of Pliocene-Pleistocene submarine fans, Alaminos and Mississippi Fans, northern Gulf of Mexico [D]. Denver: University of Colorado, 2001: 1-139.
- [8] Caros P, Beaubouef R T, Friedmann S J. Equilibrium profile and base-level in submarine channels: examples from Late Pleistocene systems and implications for the architecture of deepwater reservoirs [C]// Weimer P, Slatt R M, Coleman J L, *et al.* Global Deep-water Reservoirs: Gulf Coast Section. SEPM Foundation 20th Annual Bob E Perkins Research Conference, 2000: 782-805.
- [9] 甘克文, 李国玉, 张亮成, 等. 世界含油气盆地图集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1982.
- [10] Adeleye D R. The geology and stratigraphy of the bida embayment [D]. Ibadan: University of Ibadan, 1972.
- [11] Allen J R L. The Nigeria continental marginal: Bottom sediments, Submarine morphology, and geological evolution [J]. Marine Geology, 1964, 1(4): 289-332.
- [12] 吕明, 王颖, 陈莹. 尼日利亚深水海底扇沉积模式成因探讨及勘探意义 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(4): 275-282

Reservoir Characteristics Sediment in Nigeria Deep-water Area

WANG Ying, LÜ Ming

(CNOOC Research Center, Beijing 100027, China)

Abstract: Niger Delta is a good place to research deep-water sediment. The deep-water depositional model is established based on the comprehensive analysis of the 2D seismic reflection configuration, the core structure and composition, well lithology sections, and well logs character. The submarine fan can be divided into upper-fan, middle-fan and lower fan. The main reservoirs are channel, lobe, and channel complexity. Characteristics and origin of the reservoirs are analyzed.

Key words: Deep water; Nigeria; Reservoir; Channel; Lobe; Depositional model.