

深水浊积朵叶储层构型模式研究

林 煜^{1,2}, 吴胜和¹, 王 星³, 赵晓明⁴, 凌 云¹, 路 瑶¹, 张佳佳¹

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249;

2. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司, 河北 涿州 072050;

3. 中海油研究总院, 北京 100027; 4. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500)

摘要:深水沉积是世界油气增储上产的重要领域之一。目前,国外学者针对深水沉积的构型模式开展了大量研究,但研究对象多为浊积水道,而对于浊积朵叶的关注则甚少。为此,以西非尼日尔三角洲盆地某深水区块地下储层和中国甘南西秦岭地区某深水露头作为原型,采用地震相分析、地震沿层切片、露头观察描述等多种手段相结合的方法,分级次开展了浊积朵叶的构型模式研究。研究表明,浊积朵叶的构型单元可划分为 7 级,其中 3~5 构型单元分别为:单一朵叶、复合朵叶和朵叶体系。朵叶体系由多个复合朵叶叠置而成。复合朵叶内部发育树枝状的下切水道,底部发育块体搬运沉积,其常常对下伏地层有明显侵蚀。单一朵叶由受平行、亚平行界面约束的多期板状砂岩垂向加积而成,依据其内部沉积特征的差异,可进一步分为近朵叶端、中朵叶端和远朵叶端 3 部分。通过研究不仅可以深化浊积朵叶的地质理论,而且可以有效降低此类油气田的勘探开发风险,具有重要的实际意义。

关键词:浊积朵叶;构型模式;原型;发育样式;充填样式

中图分类号:TE122.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-1926(2014)08-1197-08

引用格式:Lin Yu, Wu Shenghe, Wang Xing, *et al.* Research on reservoir architecture models of deep-water turbidite lobes[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1197-1204. [林煜, 吴胜和, 王星, 等. 深水浊积朵叶储层构型模式研究[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1197-1204.]

0 引言

近十年来,在巴西、墨西哥湾、西非以及中国南海等世界主要深水区,针对浊积朵叶的油气勘探均取得了重要进展^[1-2]。但与陆上沉积相比,深水浊积朵叶的沉积环境与沉积过程更为复杂,使得其开发面临着巨大的风险。

储层构型(导致储层内部渗流屏障和渗流差异)是导致油气在开发过程中大量滞留地下的重要原因之一^[3-5]。目前,相关学者^[6-16]针对深水储层的构型模式开展了一定的研究,但研究对象多为浊积水道,而对于浊积朵叶的关注则极少(研究仅局限于浊积朵叶的识别和分布预测)。为此,本文以西非尼日尔三角洲盆地某深水区块高频地震信息和中国甘南西

秦岭地区某海底扇露头为原型,在沉积背景类比和原型品质分析的基础上,采用地震相分析、地震沿层切片、露头观察描述等多种手段相结合的方法,分级次开展了浊积朵叶的构型模式研究。本文的研究对于降低此类油气田的开发风险具有重要的实际意义,同时也可深化储层构型学的相关理论。

1 原型选取

所谓的原型是指为特定层次成因单元的地下储层模拟而选择的分辨率足够的能够用于成因单元描述和测量的信息,其强调了成因单元的层次性和相应原型的可分辨性,即不同层次的构型单元可用不同分辨率的信息来作为原型。本文研究,选取西非尼日尔三角洲盆地某区块高频地震信息(原型 I)和

收稿日期:2013-08-07;修回日期:2014-04-11.

基金项目:国家科技重大专项(编号:2011ZX05030-005;2011ZX05009-003);国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:40902035)联合资助。

作者简介:林煜(1985-),男,陕西延长安,博士后,主要从事精细油藏描述及开发地质学研究. E-mail:lin66yu@163.com.

中国甘南西秦岭地区某海底扇露头(原型Ⅱ)作为原型,开展浊积朵叶构型模式研究。

1.1 原型地质概况

原型Ⅰ位于尼日尔三角洲盆地(为典型的被动大陆边缘盆地)南缘的下陆坡深水区,距尼日利亚 Harcourt 港 200km,现今水深为 1 300~1 700m。区域构造上位于拉张构造和挤压构造的转换带上,为一受断层切割的简单背斜构造。目的层段属中新统一上新统 Agbada 组,发育典型的深水浊积朵叶沉积。沉积物源为北部尼日尔水系,沉积过程中水体表现为整体水退背景(图 1)^[17-20]。

原型Ⅱ位于中国西秦岭地区(西秦岭地区从晚二叠世快速裂陷,开始发育斜坡、坡脚沉积环境)213

国道临夏至尕海沿线,距甘肃省甘南藏族自治州合作市约 20km。区域构造上为伸展引张型断陷盆地。露头地层属三叠系古浪堤组,发育深水朵叶沉积。朵叶沉积主要由厚层块状砂岩和泥岩薄层组成,沉积过程中表现为整体水退^[21-22](图 1)。

原型Ⅰ与原型Ⅱ的类比表明,二者具有相似的沉积环境。从盆地背景上看,尽管原型Ⅱ为伸展引张型断陷盆地,但构造特点类似于被动大陆边缘的拉伸盆地;从沉积类型来看,二者都属深水浊积朵叶沉积,且均在整体水退的环境下形成。此外,原型Ⅰ(探井取心)与原型Ⅱ还具有相似的岩石相序列。这种原型之间的可类比性,是开展储层构型模式研究的基础。

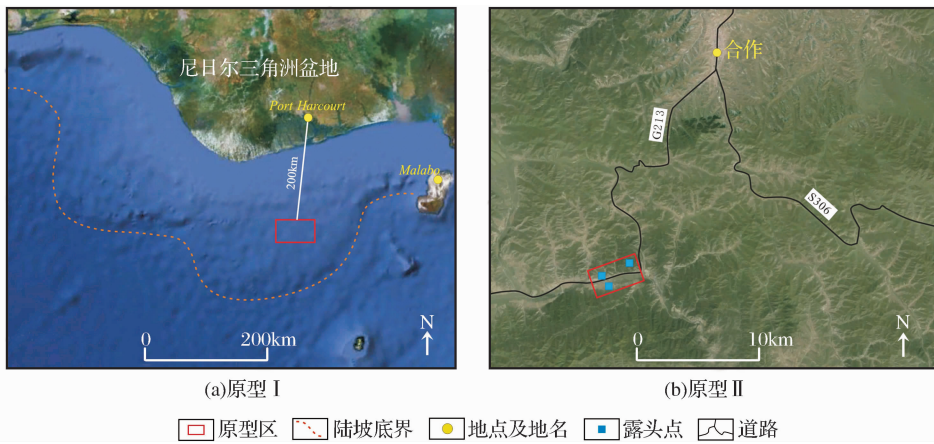


图 1 原型地理位置

Fig. 1 Geographic position of prototypes

1.2 原型品质分析

不同的原型具有不同的品质特征,可用于不同级次的构型单元研究。分析表明:①原型Ⅰ(高频地震信息)的处理面元为 $12.5\text{m} \times 12.5\text{m}$,采样间隔 3ms,优势频宽 5~90Hz,主频约为 70Hz(图 2)。按地层速度 1 900m/s 计算,垂向分辨率在 6m 左右,主要用于复合朵叶的分布模式研究。②原型Ⅱ(野外露头)的出露条件相对完整,但受朵叶沉积规模所限,主要用于单一朵叶内部的充填样式研究。本文研究综合多种信息作为原型,可有效提高构型模式研究的精度和可信度。

2 构型级次划分

与陆上河流沉积相比,深水浊积朵叶的构型级次划分方案以及不同级次朵叶单元的定义还未形成一套统一的标准。目前,比较有代表性的划分方案是 Mutti 等^[8]的 5 级划分方案以及 Lamb 等^[9]的 6

级划分方案。这 2 套划分方案虽然在一定程度上考虑了砂体的成因,但对于各级次成因砂体的结构变化及接触关系考虑的还远远不够,并且划分的顺序并不一致。为此,笔者参照 Mail^[3]提出的河流相构型单元分级系统,在充分考虑浊积朵叶形成时的沉积方式、沉积规律以及接触关系的基础上,提出了浊

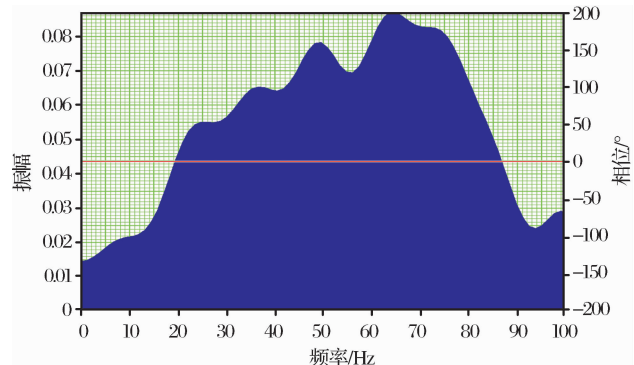


图 2 原型Ⅰ地震资料频谱特征

Fig. 2 Seismic spectrum characteristics of prototype I

积朵叶体系的7级构型单元划分方案。其中7级为海底扇复合体、6级为单一海底扇、5级为单一海底扇内部朵叶体系、4级为复合朵叶、3级为单一朵叶、2级为单一朵叶内部的某一沉积单元(如鲍马序列)、1级为沉积单元内部的某一韵律段(表1)。受原型品质限制,本文主要针对朵叶体系、复合朵叶和单一朵叶3个层次开展构型模式研究。

3 浊积朵叶构型模式

3.1 朵叶体系类型

朵叶体系是由发育位置相对集中的多个复合朵叶在平面上进一步拼接而成,其顶部常披覆稳定的半远洋泥岩。朵叶体系通常形成于三级层序内部的低位体系域中。在低位体系域早期,相对海平面快速下降,大量重力流沉积物通过下切谷和峡谷水道被搬运至下陆坡和深海平原,所形成的朵叶体系进积特征十分明显;在低位体系域中期,海平面下降速度趋缓,沉积物供给量逐渐减少,朵叶体系的进积作用开始减弱,加积作用有所增强;而在低位体系域晚

期,海平面由下降变为缓慢上升,朵叶体系逐渐废弃,沉积物以半远洋泥岩为主^[23-25]。

受盆地类型、构造运动以及沉积物供应条件等地质因素的影响,朵叶体系的分布样式差异较大^[6]。依据影响其发育的主要地质因素,可将朵叶体系分为I、II 2类。其中,I类朵叶体系发育在被动大陆边缘盆地,受沉积物供给量影响,其规模差异明显。当沉积物供应充足时,所发育的朵叶体系规模较大,可达上百公里,如 Bengal 扇、Indus 扇、Amazon 扇等;当沉积物供应不足时,所发育的扇体规模较小^[26-29]。II类朵叶体系发育在可容纳空间相对狭小的前陆盆地、断陷盆地或限定性陆坡微盆地(盐或泥底辟构造活动、重力逆冲构造活动等形成的盆地)。这类朵叶体系的规模往往较小,一般为数公里,如 Navy 扇、Crati 扇等^[30]。

原型 I 位于典型的被动大陆边缘盆地,所发育的朵叶体系为 I 类。该朵叶体系在 seismic 剖面上表现为强振幅丘状反射,内部包含 2 个复合朵叶。复合朵叶之间在剖面上相互叠置,在平面上相互拼接(图 3)。

表 1 浊积朵叶构型级次划分方案的对比

Table 1 Comparison of hierarchical division scheme of turbidite lobes

Mutti 等 ^[8]	Lamb 等 ^[9]	本文划分方案
1 盆地充填,扇复合体	6 一套完整地层	7 海底扇复合体
2 单一扇体	5 由数个四级构型单元组成,相互之间可区分	6 单一海底扇
3 扇体发育的某一阶段	4 包括多个沉积环境和流动类型的沉积产物	5 朵叶体系
4 朵叶—朵叶边缘微地貌	3 同一成因机制下的产物	4 复合朵叶
5 岩石相、层理微地貌	2 单一沉积单元	3 单一朵叶
	1 单一沉积单元进一步细分	2 单一朵叶内部的某一沉积单元(如鲍马序列)
		1 沉积单元内部的某一韵律段

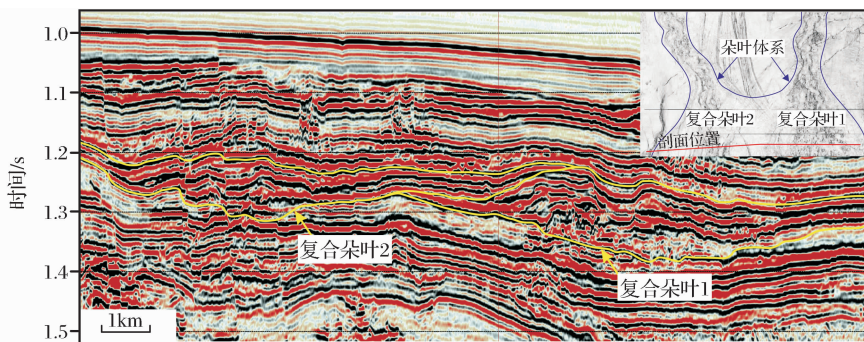


图 3 朵叶体系空间展布特征

Fig. 3 Spatial distribution characteristics of lobe systems

3.2 复合朵叶发育样式

复合朵叶是由一系列物源相同、水动力条件相似的单一朵叶,在纵向上以补偿叠置的方式组合而

成的集合体,其形成与朵叶体自身沉积所造成的地形起伏渐变平滑作用密切相关。复合朵叶平面形态多样,一般呈扇形。

复合朵叶内部存在大量树枝状的低弯度供给水道。供给水道常下切其下伏的早期复合朵叶沉积，流体类型以高密度浊流为主。供给水道由底部到顶部依次被滞留砂砾岩、块状中—粗砂岩、块状中—细砂岩以及泥质细粒沉积所充填。空间上，顺物源方向，距离物源区越近，供给水道下切能力越强、规模越大；距离物源区越远，供给水道下切能力越弱、分流能力越强、规模越小(图 4)。切物源方向，复合朵叶不同部位水道化程度差异较大，其中复合朵叶主体水道化现象严重，其地震反射呈亚平行、杂乱状；复合朵叶边缘水道化现象差，其地震反射呈平行、亚平行状(图 5)。

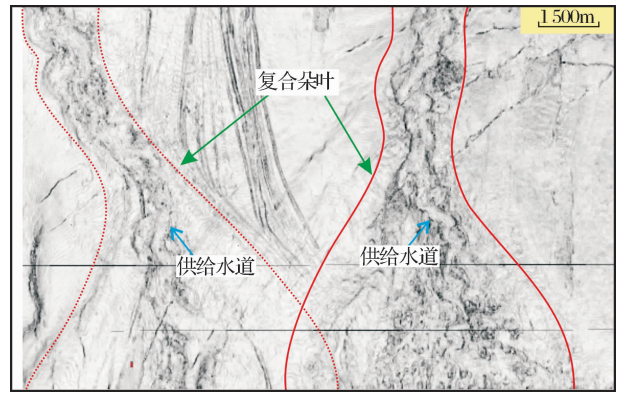


图 4 复合朵叶内部供给水道的平面分布特征
Fig. 4 Planar characteristics of feeding channels within lobe complexes

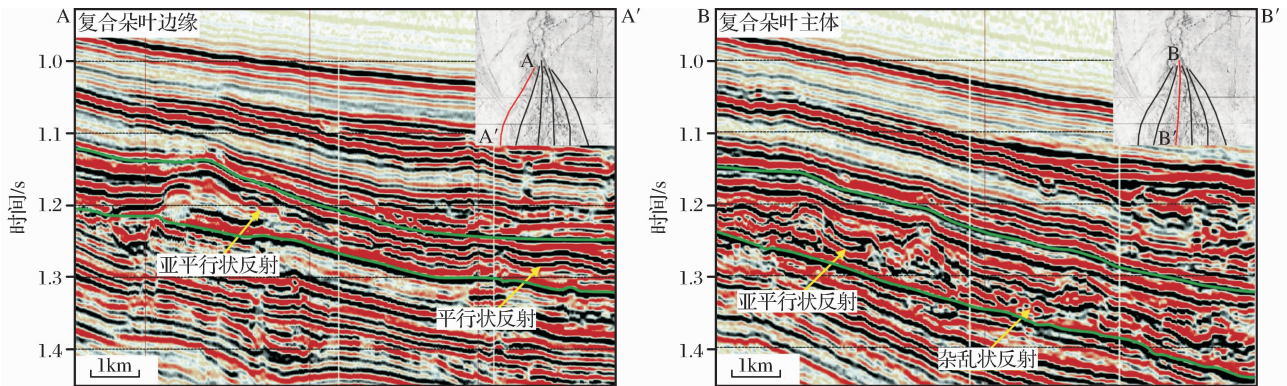


图 5 复合朵叶边缘与主体的地震反射差异
Fig. 5 Seismic reflection differences on the margin and axis of lobe complexes

复合朵叶底部发育大量块体搬运沉积。块体搬运沉积(Mass transport deposits, 缩写为 MTDs) 通常是指深水沉积环境中，除浊积岩之外的各种重力诱使的沉积体，其主要由滑动、滑塌、碎屑流等重力流沉积物所组成^[31-33]。块体搬运复合体的体积变化很大，厚度介于数米至数百米之间，面积介于数百平方米到数千平方公里之间。块状搬运沉积直接位于层序界面之上，对下伏地层侵蚀明显。块体搬运沉

积的顶界面常常被后期沉积的朵叶复合体所改造，因此表现为不规则状。块体搬运沉积在地震剖面上表现为低振幅、半透明、杂乱、丘状地震反射结构，其与朵叶沉积、深海披覆泥组成的沉积旋回往往重复出现^[34-35](图 6)。一般认为，在三级层序发育早期，海平面位置相对较低，构造事件和气体水合物溶解事件所导致的陆坡失稳是形成块体搬运沉积的主要原因^[36-38]。

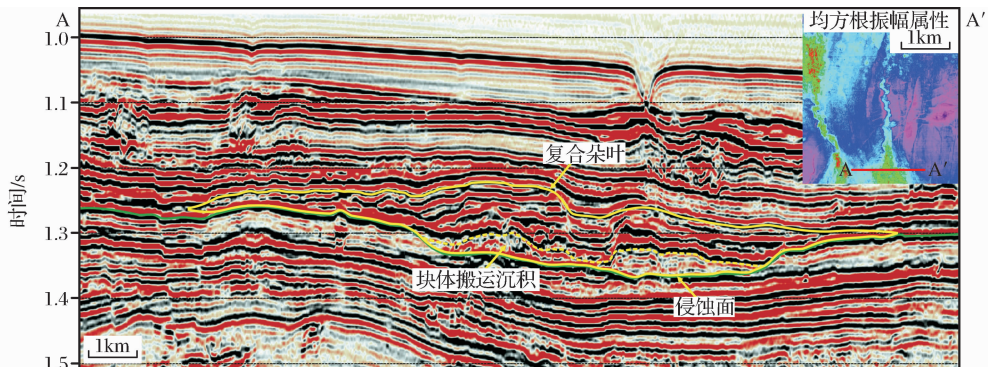


图 6 复合朵叶底部块体搬运沉积的地震反射特征

Fig. 6 Seismic reflection characteristics of massive transport deposits (MTDs) at the bottom of lobe complexes

3.3 单一朵叶内部充填样式

单一朵叶是指发育在坡度较缓的非限制区域、具有丘状外形的、由受平行或亚平行界面约束的晚期板状砂岩垂向加积而成的成因单元,其厚度常小于15m。单一朵叶体在平面上多呈朵叶状、舌状,剖面上多呈透镜状,砂体横向分布稳定(图7)。

依据沉积特征的差异,单一朵叶体可分为近朵叶端、中朵叶端和远朵叶端3部分。通过对原型II的实地观察描述可知,近朵叶端水道化现象严重,见小型侵蚀面,属于水道一朵叶过渡区,岩性主要为块

状中、粗砂岩,砂体厚度大,多介于0.6~2m之间,砂体内部含泥岩碎屑,朵叶底部见块体搬运沉积,其砂、泥、砾混杂堆积,砾石以泥砾为主(图8);中朵叶端局部见水道化现象,砂体内部罕见冲刷面,岩性以块状中砂岩为主,夹粉砂岩、泥岩薄层,砂体内见漂砾(图9);远朵叶端几乎无水道化现象,限定性重力流完全转化为非限定性重力流,岩性以薄层砂泥互层为主,单砂体厚度多小于0.3m^[23](图10)。

综合上述认识,最终建立了单一朵叶近朵叶端、中朵叶端、远朵叶端的储层构型模式(图11)。

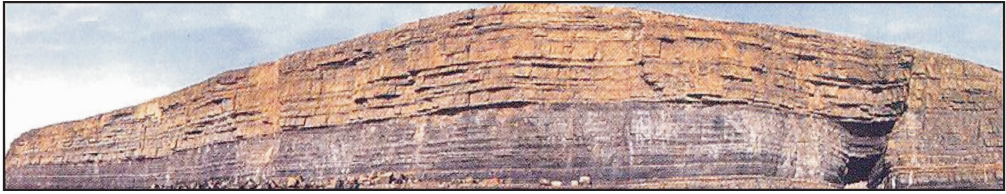


图7 爱尔兰西部 Clare 盆地石炭系 Ross 组单一朵叶剖面特征(据 Sullivan 等^[39],2000)
Fig.7 Profile characteristics of lobes in the Carboniferous Ross Formation of the Clare Basin, western Ireland(Sullivan *et al*^[39],2000)

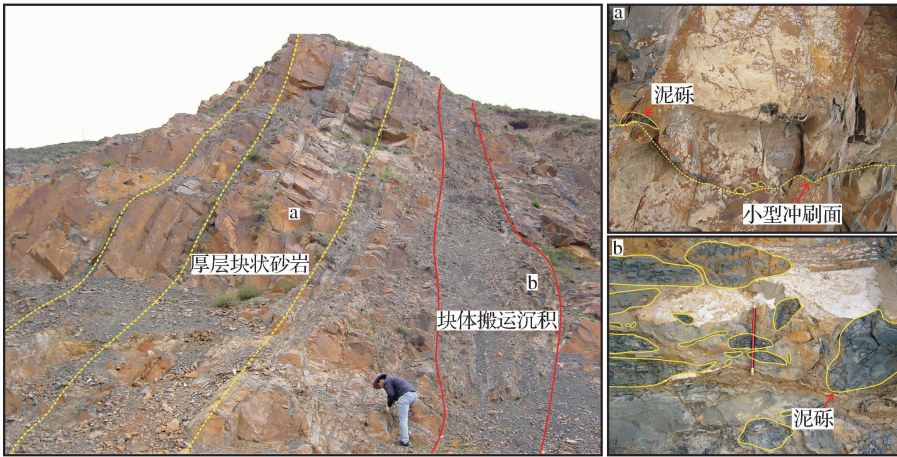


图8 中国西秦岭地区单一朵叶体近朵叶端沉积特征
Fig.8 Sedimentary characteristics of the proximal part of lobes in West Qingling Mts of China

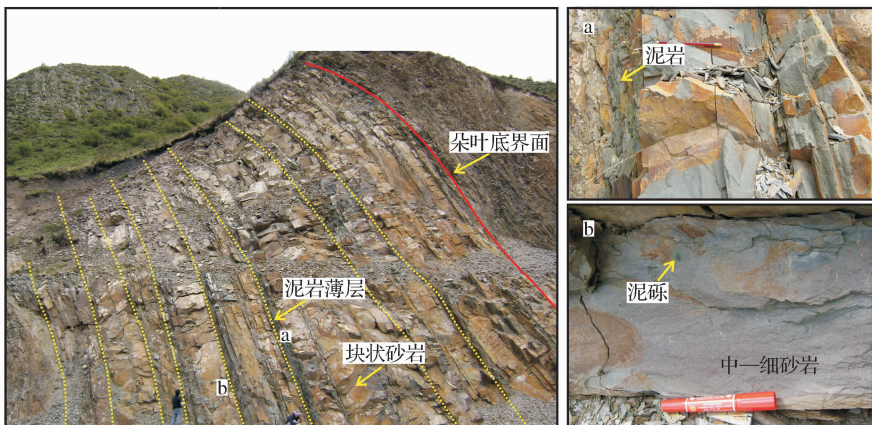


图9 中国西秦岭地区单一朵叶体中朵叶端沉积特征
Fig.9 Sedimentary characteristics of the middle part of lobes in West Qingling Mts of China

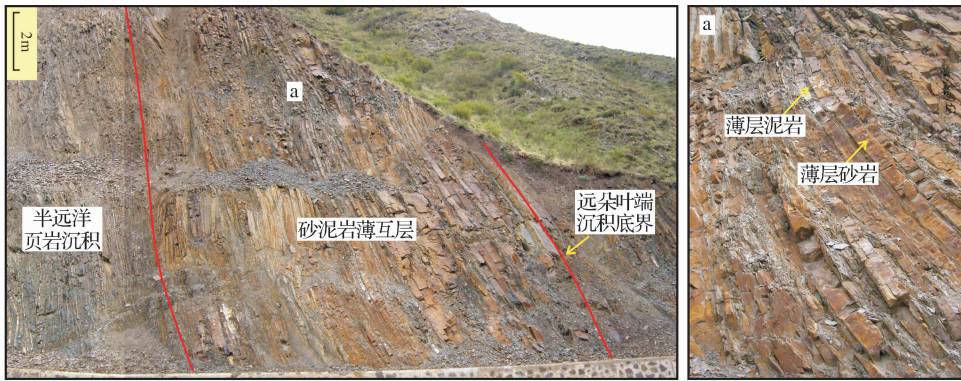


图 10 中国西秦岭地区单一朵叶体中朵叶端沉积特征

Fig. 10 Sedimentary characteristics of the distal part of lobes in West Qinling Mts of China

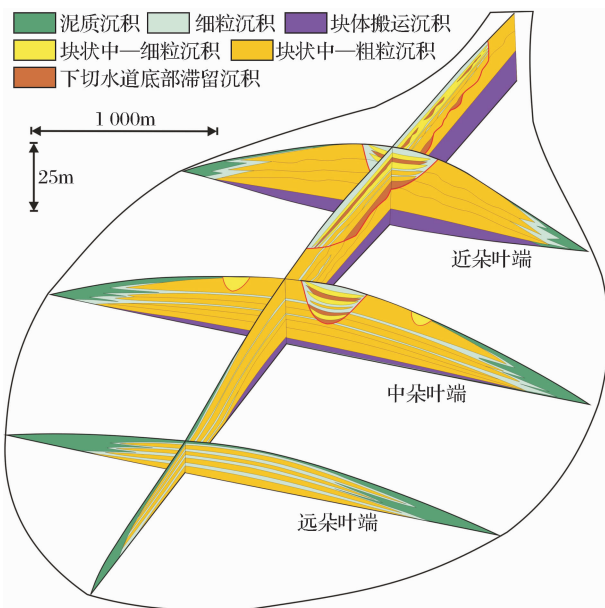


图 11 单一朵叶体储层构型模式

Fig. 11 Reservoir architecture models of turbidite lobes

4 结论

(1) 确定了深水浊积朵叶的 7 级构型单元划分方案, 从大到小依次为海底扇复合体、单一海底扇、海底扇内部朵叶体系、复合朵叶、单一朵叶、单一朵叶内部某沉积单元(如鲍马序列)和沉积单元内部某韵律段, 并对 3~5 级朵叶构型单元进行了更加明确的定义。

(2) 朵叶体系由多个复合朵叶叠置组成。依据影响其发育的主要地质因素, 可将朵叶体系分为 I、II 2 类。其中, I 类朵叶体系发育在被动大陆边缘盆地, 受沉积物供给量影响, 其规模差异明显, 最大可达上百公里; II 类朵叶体系发育在可容纳空间相对狭小的前陆盆地、断陷盆地或限定性陆坡微盆地, 这类朵叶体系的规模往往较小, 一般为数公里。

(3) 复合朵叶内部发育树枝状的下切水道, 底部发育块体搬运沉积。块体搬运沉积直接位于层序界面之上, 对下伏地层侵蚀明显。

(4) 单一朵叶由受平行、亚平行界面约束的多期板状砂岩垂向加积而成, 可进一步分为近朵叶端、中朵叶端和远朵叶端 3 部分。其中, 近朵叶端水道化现象严重, 岩性主要为块状中、粗砂岩, 砂体厚度大; 中朵叶端局部见水道化现象, 岩性以块状中砂岩为主, 夹粉砂岩、泥岩薄层; 远朵叶端几乎无水道化现象, 岩性以砂泥互层为主。

参考文献 (References):

- [1] Qu Hui, Zheng Min, Li Jianzhong, *et al.* Advances of deep-water hydrocarbon explorations in global passive continental margin and their implication[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2): 193-200. [瞿辉, 郑民, 李建忠, 等. 国外被动陆缘深水油气勘探进展及启示[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(2): 193-200.]
- [2] Wang Zhen, Chen Chuanying, Zhao Lin. Present situation and challenge of exploration and production for deep water oil and gas in the whole world[J]. *Sino-global Energy*, 2010, 15(1): 46-48. [王震, 陈船英, 赵林. 全球深水油气资源勘探开发现状及面临的挑战[J]. *中外能源*, 2010, 15(1): 46-48.]
- [3] Maill A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth Science Reviews*, 1985, 22(2): 261-308.
- [4] Zhou Xinmao, Gao Xingjun, Tian Changbin, *et al.* Quantitative description of internal architecture in point bar of meandering river[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(3): 421-426. [周新茂, 高兴军, 田昌炳, 等. 曲流河点坝内部构型要素的定量描述及应用[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(3): 421-426.]
- [5] Lin Yu, Wu Shenghe, Yue Dali, *et al.* Fine anatomizing reservoir architecture of fan-delta front: A case study on Dujiatai reservoir in Shu 2-6-6 block, Liaohe Oilfield[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(2): 335-344. [林煜, 吴胜和, 岳大力, 等. 扇三角洲前缘储层构型精细解剖——以辽河油田曙 2-6-6 区

- 块杜家台油层为例[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 335-344.]
- [6] Posamentier H W, Kolla V. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, 73: 367-388.
- [7] Wynn R B, Cronin B T, Peakall J. Sinuous deep-water channels: Genesis, geometry and architecture[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24: 341-387.
- [8] Mutti E, Normark W R. Comparing Examples of Modern and Ancient Turbidite Systems: Problems and Concepts[M]. London: Graham and Trotman, 1987: 1-38.
- [9] Lamb M A, Anderson K S, Graham S A. Stratigraphic Architecture of a Sand-Rich, Deep-sea Depositional System: The Stevens Sandstone, San Joaquin Basin, California[M]. Oklahoma: AAPG Pacific Section, 2003: 13.
- [10] Richard L. Integrated three-dimensional modeling approach of stacked turbidite channels[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(11): 1603-1618.
- [11] Kolla V, Bourges Ph, Urruty J M, *et al.* Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implications for reservoir architecture[J]. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(8): 1373-1405.
- [12] Menno J D R, Stephen M H. Seismic facies and reservoir characteristics of a deep-marine channel belt in the Molasse foreland basin, Puchkirchen Formation, Austria[J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(5): 735-752.
- [13] Clark J D, Pickering K T. Submarine Channels: Processes and Architecture[M]. London: Vallis Press, 1996: 231.
- [14] Peakall J, McCaffrey W D, Kneller B C. A process model for the evolution, morphology and architecture of sinuous submarine channels[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 434-448.
- [15] Menard H W. Deep-sea channels topography and sedimentation[J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 39(2): 236-255.
- [16] Lin Yu, Wu Shenghe, Wang Xing, *et al.* Research on architecture model of deep-water turbidite channel system: A case study on X area of deep-water in Niger delta basin, West Africa[J]. *Geological Review*, 2013, 59(3): 510-520. [林煜, 吴胜和, 王星, 等. 深水浊积水道体系构型模式研究——以西非尼日尔三角洲盆地某深水研究区为例[J]. 地质论评, 2013, 59(3): 510-520.]
- [17] Wang Ying, Lv Ming. Reservoir characteristic sediment in Nigeria deep-water area[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(2): 228-236. [王颖, 吕明. 深水沉积储层特征——以尼日利亚 OML130 区块为例[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(2): 228-236.]
- [18] Zhao Yanjun, Bao Zhidong, Wang Xing, *et al.* Control factors of a submarine fan in Niger Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2012, 27(2): 6-12. [赵艳军, 鲍志东, 王星, 等. 尼日尔盆地某深水海底扇发育的控制因素[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2012, 27(2): 6-12.]
- [19] Deng Rongjing, Deng Yunhua, Yu Shui, *et al.* Hydrocarbon geology and reservoir formation characteristics of Niger delta basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(6): 755-762. [邓荣敬, 邓运华, 于水, 等. 尼日尔三角洲盆地油气地质与成藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(6): 755-762.]
- [20] Liu Jianping, Pan Xiaohua, Ma Jun, *et al.* Petroleum geology and resources in West Africa: An overview[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(3): 378-384. [刘剑平, 潘稼华, 马君, 等. 西部非洲地区油气地质特征及资源概述[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 378-384.]
- [21] Fang Guoqing, Zhang Xiaobao, Li Yuci. Rift-faultings of hercynian-Indosinan epoch of Western Qingling orogenic belt and its relationship with Palaeotethys[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 13(3): 76-81. [方国庆, 张晓宝, 李育慈. 西秦岭海西—印支期裂陷活动及其与古特提斯的关系[J]. 沉积学报, 1994, 13(3): 76-81.]
- [22] Zhang Xiaobao, Fang Guoqing, He Haiqing. Features and model of sedimentary environments of Upper Triassic seafloor fans in West Qingling Mts[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1996, 31(2): 154-162. [张晓宝, 方国庆, 何海清. 西秦岭上三叠统海底扇沉积环境特征与模式[J]. 地质科学, 1996, 31(2): 154-162.]
- [23] Li Lei, Wang Yingmin, Zhang Lianmei, *et al.* Sedimentary sequence and evolution of submarine channel-lobe in Baiyun deepwater area, northern South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(4): 71-76. [李磊, 王英民, 张莲美, 等. 南海北部白云深水区水道与朵叶沉积序列及演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 71-76.]
- [24] Li Lei, Li Bin, Wang Yingmin. Sedimentary architecture of submarine lobe and its implications on petroleum prospecting[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2012, 31(4): 37-43. [李磊, 李彬, 王英民. 深水朵叶沉积构型及其油气勘探意义[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2012, 31(4): 37-43.]
- [25] Ma Liwu, Yu Shui, Tao Weixiang, *et al.* Analysis of deepwater sedimentary characteristics, southern Africa [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(4): 499-502. [马立武, 于水, 陶维祥, 等. 非洲南部某深水区沉积特征分析[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(4): 499-502.]
- [26] Curray J R, Emmel F J. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(10): 1191-1223.
- [27] Naini B R, Kolla V. Acoustic character and thickness of sediments of the Indus Fan and the continental margin of western India[J]. *Marine Geology*, 1982, 47(3/4): 181-195.
- [28] Damuth J E, Kumar N. Amazon Cone: morphology, sediments, age and growth pattern[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1975, 86(6): 873-878.
- [29] Pirmez C, Imran J. Reconstruction of turbidite currents in Amazon Channel[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6-8): 823-849.
- [30] Normark W R, Piper D J W, Hess G R. Distributary channels, sandy lobes, and meso-topography of Navy submarine fan, California Borderland, with applications to ancient fan sediments[J]. *Sedimentology*, 1979, 26(6): 749-774.

- [31] Sawyer D E, Flemings P B, Shipp R C, *et al.* Seismic geomorphology, lithology, and evolution of the late Pleistocene Mars-Ursa turbidite region, Mississippi canyon area, northern gulf of Mexico[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(2): 215-234.
- [32] Garziglia S. Mass-transport deposits on the Rosetta province (NW Nile deep-sea turbidite system, Egyptian margin): Characteristics, distribution and potential causal processes[J]. *Marine Geology*, 2008, 250(3/4): 180-198.
- [33] Wang Dawei, Wu Shiguo, Dong Dongdong, *et al.* Seismic characteristics of Quaternary mass transport deposits in Qiongdongnan Basin[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2009, 29(3): 69-74. [王大伟, 吴时国, 董冬冬, 等. 琼东南盆地第四纪块体搬运体系的地震特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(3): 69-74.]
- [34] Li Lei, Wang Yingmin, Zhang Lianmei, *et al.* Identification and evolution of mass transport complexes and its significance for oil and gas exploration[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(1): 76-82. [李磊, 王英民, 张莲美, 等. 块体搬运复合体的识别、演化及其油气勘探意义[J]. *沉积学报*, 2010, 28(1): 76-82.]
- [35] Li Lei, Li Bin, Wang Yingmin, *et al.* Seismic geomorphology and sedimentary architectures of mass transport deposits: Cases from Pearl River Mouth Basin and Niger delta basin[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2013, 44(6): 2410-2416. [李磊, 李彬, 王英民, 等. 块体搬运沉积体系地震地貌及沉积构型: 以珠江口盆地和尼日尔三角洲盆地为例[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2013, 44(6): 2410-2416.]
- [36] Dam G, Sonderholm M. Low stand slope channels of the Itilli succession (Maastrichtian lower Paleocene), Nuussuaq, west Greenland[J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 94(1/2): 49-71.
- [37] Cronin B, Owen D, Hartley A, *et al.* Slumps, debris flows and sandy deep-water channel systems: Implications for the application of sequence stratigraphy to deepwater clastic sediments[J]. *Journal of the Geological Society*, 1998, 155(3): 429-432.
- [38] Martinez J F, Cartwright J, Hall B. 3D seismic interpretation of slump complexes: Examples from the continental margin of Israel[J]. *Basin Research*, 2005, 17(1): 83-108.
- [39] Sullivan M, Jensen G, Goulding F, *et al.* Architectural analysis of deep-water outcrops: Implications for exploration and development of the Diana Sub-basin, western Gulf of Mexico [C]//Weimer P, Slatt R M, Coleman J L, *et al* (Eds.). 20th annual Bob F. Perkins research conference. USA (Houston): Society for Sedimentary Geology, Gulf Coast Section, 2000: 1010-1031.

Research on Reservoir Architecture Models of Deep-water Turbidite Lobes

LIN Yu^{1,2}, WU Sheng-he¹, WANG Xing³, ZHAO Xiao-ming⁴, LING Yun¹, LU Yao¹, ZHANG Jia-jia¹

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. BGP Inc., China National Petroleum Corporation, Zhuozhou 072750, China;

3. Research Institute, China National Offshore Oil Corp., Beijing 100027, China;

4. College of Resource & Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Deep-water sediments are the main field which increases oil & gas reserve and production around the world. Although extensive researches on architecture models of deep-water sediments have been carried out, most of them focus on turbidite channels rather than turbidite lobes. In this study, taking the subsurface reservoirs of deep-water area in the Niger Delta Basin and the outcrops of submarine fan in West Qinling Mountains of Gannan area as prototypes, architecture models of turbidite lobes is constructed from different hierarchies. These researches are based on outcrop observations and descriptions, seismic facies analyses, seismic horizon slices and so on. The results show that architecture units of turbidite lobes can be divided into seven hierarchies. Lobes, lobe complexes and lobe systems are architecture units from 3rd hierarchy to 5th hierarchy. Generally, a lobe system contains several overlying lobe complexes. Incised channel deposits showing treelike shape and mass transport deposits (MTDs) erode strongly underlying strata are widely developed at lobe complexes. A lobe consists of multi-period tabular sandstones confined by sub-parallel or parallel interfaces and can be divided into three parts according to internal sedimentary differences. These parts are the proximal, the middle and the distal parts. This study brings deep understandings to the geological theory of turbidite lobes and it also reduces the risk on exploration and development about this type of reservoir. Thus, it has significant theory and practice meanings.

Key words: Turbidite lobes; Architecture models; Prototypes; Development patterns; Filling patterns