

文章编号:1673-5005(2014)02-0010-07

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2014.02.002

永安镇油田永 3 断块沙二下河口坝储层结构 单元划分及其意义

陈清华¹, 周宇成^{1,2}, 孙 珂¹, 王 晶³, 王 玺⁴, 刘 岩¹, 孙克兵¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中石化江苏油田分公司, 江苏扬州 225200;
3. 承德石油高等专科学校石油工程系, 河北承德 067000; 4. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210093)

摘要:根据结构单元分析法,以永安镇油田永 3 断块沙二下亚段 6 砂层组 6¹ 小层为例,对河口坝增生体不同级别的沉积界面进行划分;在此基础上对河口坝增生体沉积演化特点、增生体的顶面构造特征以及增生体油(气)水分布规律进行研究。结果表明:永 3 断块沙二下 6 砂层组 6¹ 小层划分为 6 期增生体;永 3 断块 6¹ 小层可分 6 期演化,6 期增生体具有由西向东退积的特点;不同河口坝增生体的发育位置、范围及其顶面构造特征对增生体油(气)水分布具有重要的控制作用;大型三角洲河口坝增生体可作为独立的油气分布单元,其油气储量可以相当可观,以增生体为单元进行油(气)水分布规律研究非常必要。

关键词:结构单元;划分;增生体;顶面构造;油水分布

中图分类号:TE 122.2 **文献标志码:**A

Architectural elements division of debouch bar of Lower Es₂ submember in Yong 3 fault-block reservoir in Yong'an Zhen Oilfield and its significance

CHEN Qing-hua¹, ZHOU Yu-cheng^{1,2}, SUN Ke¹, WANG Jing³, WANG Xi⁴, LIU Yan¹, SUN Ke-bing¹

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. SINOPEC Corporation Jiangsu Oilfield Subcompany, Yangzhou 225200, China;
3. Department of Petroleum Engineering, Chengde Petroleum College, Chengde 067000, China;
4. School of Earth Sciences and Engineering in Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Based on architectural element analysis, the delta-front debouch bar in the first layer of Es₂⁶ of Yong 3 fault-block reservoir in Yong'an Zhen Oilfield was divided into depositional interfaces of various levels. The characteristics of the sedimentary evolution, the depositional architecture and the oil (gas) and water distribution were studied. The result indicates that the accretion sandbody of debouch bar can be divided into six stages. The evolution of the first layer of Es₂⁶ of Yong 3 fault-block reservoir in Yong'an Zhen Oilfield is summarized as six periods, which is characterized by west to east retrogradation. The location, the area and the top-surface structure of the accretion sandbody control the oil (gas) and water distribution. The accretion sandbody of large-scale delta debouch bar, which has substantial reserves of oil and gas, can be used as independent oil and gas distribution unit, and it is highly necessary to study the distribution of oil (gas) by taking the accretion sandbody as a unit.

Key words: architectural element; division; accretion sandbody; top-surface structure; oil and water distribution

结构单元分析法的思想源于人们对沉积岩层理构造的认识^[1]。通过沉积界面划分及其成因研究, Brookfield 对古代风成砂岩的内部结构及其成因获

得了新的认识^[2]。Allen^[3]在第一届国际河流沉积学会议上提出了“河流(沉积)结构”(fluvial architecture)的概念,并对河流相沉积的沉积界面划分与

收稿日期:2013-11-12

基金项目:国家油气重大专项(2009ZX05042-001);海外油气新项目快速评价方法研究(2008ZX05028-005-01)

作者简介:陈清华(1958-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事盆地构造与油气分布规律、结构单元分析等方面的研究。E-mail: chen-qhua@upc.edu.cn。

结构单元特征描述等方面做出了划时代的贡献。Miall^[4]系统提出了结构单元分析法(architectural element analysis)。在野外露头条件好或覆盖区取心多的条件下,人们可以很细致地开展一维与二维的沉积学研究^[5-7]。但三维的沉积学研究精度取决于对储层的划分精度,储层划分的越细,对沉积特征的研究程度才可能越高。结构单元分析法的初衷是通过储层进行细致的划分,从而更精细地反映储层沉积特征^[8]。结构单元的划分不但有助于深入研究储层沉积特征,而且有助于深入认识结构单元的构造特征,有助于深入认识储层的油(气)水分布特征。对于开发中后期油田进一步高效开发,其研究成果具有十分重要的理论意义和实际意义。因此,笔者以永安镇油田永 3 断块沙二下亚段 6 砂层组 6¹

小层为例,进行三角洲前缘河口坝储层的沉积界面和结构单元划分。通过结构单元划分与描述所取得对储层沉积演化、沉积结构类型方面的认识,对结构单元顶面构造特征以及对油水分布特征进行研究。

1 研究区概况

永安镇油田位于济阳拗陷东营凹陷东北部,北邻陈家庄凸起,东邻青坨子凸起,西邻民丰洼陷,南邻东营凹陷中央隆起带(图 1)。断层的切割及其强烈活动使永安镇油田呈现为与主断层平行的由高、中、低三大台阶组成的断阶带^[9]。永 3 断块位于永安镇油田三大台阶的低台阶,其主要含油层系为沙二下亚段 5 和 6 砂层组,为三角洲前缘河口坝沉积。

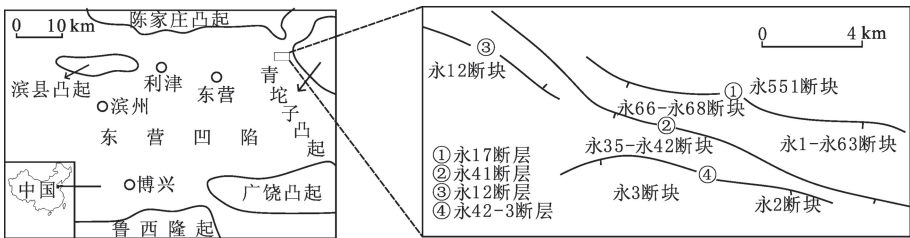


图 1 研究区位置图
Fig.1 Location of study area

2 沉积界面和结构单元划分

借鉴 Miall 关于河流相沉积的沉积界面 6 级划分方案^[10]。将研究区 6 砂层组的有关沉积界面划分为 6 级。通常,0 级界面对应沉积岩层理构造中的纹层界面,1 级界面对应层理构造中的层系界面,2 级界面对应层理构造中的层系组界面,3 级界面对应河口坝内部增生体的界面,4 级界面对应单一河口坝界面,5 级界面对应一个单层内两个或多个河口坝侧向上的复合体界面(与 Miall 划分的 5 级界面不同。由于研究区资料的限制,本文主要对河口坝复合体及其内部的 3~5 级沉积界面划分,此处将河口坝复合体界面定义为 5 级,相当于砂层组的顶底界面)。不少研究者在三角洲河口坝结构单元分析中采用了与之类似的沉积界面分级方案^[11-15]。

结构单元分析中的沉积界面划分与储层细分对比既有本质区别又有密切联系。两者之间的密切联系表现为:在一定范围内,砂层组、小层的界面与结构单元分析中某些特定级次的沉积单元界面具有一致性^[11-15]。在这种情况下,这些特定级次沉积界面的划分可以充分利用原有砂层组和小层的划分结果。

全区稳定分布的泥岩是划分砂层组的重要依据。如图 2 所示,研究区 5 砂层组和 6 砂层组之间的泥岩在剖面各井上的分布位置及其厚度情况见表 1。把这层泥岩的底面确定为 6 砂层组的顶面,为 5 级沉积界面,记为 5-①。6 砂层组和 7 砂层组之间泥岩在剖面各井上的分布位置及其厚度见图 2 与表 1。把这层泥岩的顶面确定为 6 砂层组的底面,为 5 级沉积界面,记为 5-②。

表 1 永 3 断块 Es₂⁶ 上、下及内部主要泥岩厚度

Table 1 Thickness of mudstones related to Es₂⁶ division of Yong 3 fault-block

泥岩段	泥岩厚度 δ/m				
	永 3-1	永 3-103	永 3-57	永 3-141	永 3-99
5、6 砂层组之间泥岩	9		7	9	
6 ¹ 、6 ² 小层之间泥岩	4	3	1.5	1	0.5
6、7 砂层组之间泥岩	9	8	8	8	4

基本上能够全区分布的泥岩是划分砂层组内部小层的重要依据。如图 2 所示,6 砂层组内部发育一层全区分布的泥岩,该泥岩在剖面各井上的发育位置及其厚度情况见表 1。该层泥岩顶、底界面对应 4 级沉积界面,分别记为 4-① 和 4-②,该层泥岩将 6 砂层组划分为 6¹ 和 6² 两个小层(与单一河口

坝顶底界面一致),具体划分见图 2。

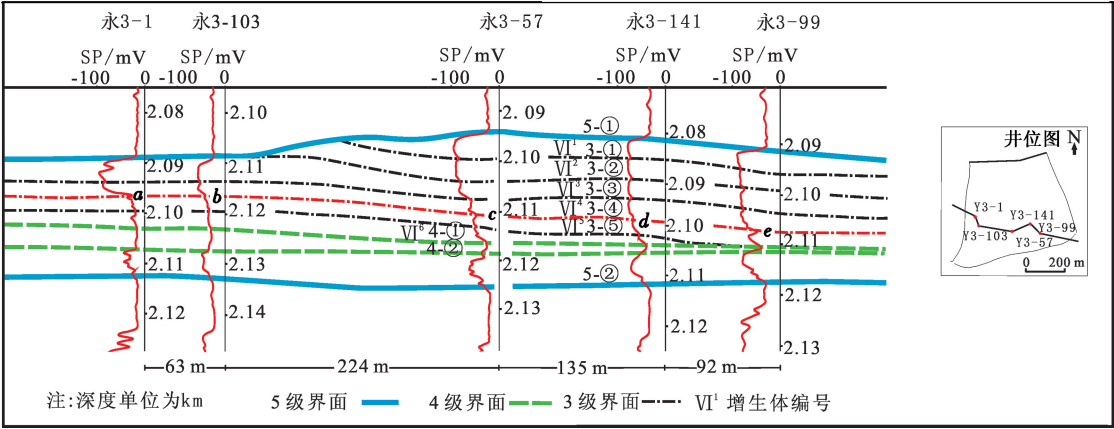


图 2 永 3 断块 Es_2^6 沉积界面与结构单元划分剖面

Fig. 2 Division section about bounding surfaces and architectural elements in Es_2^6 of Yong 3 fault-block

结构单元分析中的沉积界面划分与储层细分对比的本质区别在于对储层进行比小层更细地划分时所用的方法与所获得的划分结果等方面。为了能够达到对储层划分更细的目标,前人在沉积时间单元划分和韵律层划分等方面都做过诸多探索^[16-19]。但是,这些划分结果受以标志层为参照的“等高程”观念束缚^[20-21],并受“层状模式”约束下的在分布上具“全区性”的观念束缚^[22-23]。虽然在划分中也尽可能地考虑了如何解决划分结果的等时性问题,但其主要问题仍然是所划分的单元并非沉积成因单元,不具等时性。

与之完全不同,结构单元分析法所划分出的低级次的结构单元是沉积成因单元^[24],具等时性;剖面上的分布不受“等高程”观念束缚,其产状可以是倾斜的,而且不同结构单元的产状可以差别很大^[25];平面上的分布不受“全区性观念”的束缚,可以全区存在,也可以局部存在^[26]。

结构单元划分以沉积模式为指导^[8],以沉积界面为依据^[11-15],以沉积界面和结构单元的分布规律作控制^[8],如图 2 所示,以 a、b、c 三点为界,永 3-1、永 3-103 和永 3-57 井的 6^1 小层可以划分为特征截然不同的上下两部分。上部,砂岩自然电位负异常大,砂岩纯净、分选好、孔渗性好;下部,砂岩自然电位负异常值小,泥质含量高,孔渗性差。而且,以 d、e 点为界,永 3-141 井和永 3-99 井的 6^1 小层也可以划分为上下特征不同的两部分。根据上述各井目的层砂岩特征的这种差异性,连接 a、b、c、d、e 各点,得到研究区 6^1 小层内部非常重要的一个 3 级沉积界面,记为 3-④ (图 2,表 2)。

沉积间断面是低级次沉积界面识别的重要依

据^[27-28]。所谓沉积间断面是指在纵向沉积层序中一期连续稳定沉积结束到下一期连续稳定沉积开始之间形成的有别于上、下邻层的特征岩性或特征界面。这种沉积间断面规模可大可小,大到区域性不整合面,小到两期洪水事件沉积之间的沉积间断。沉积间断面可以三种形式出现,一是泥质夹层及过渡性岩性层,二是钙质夹层,三是物性夹层,可为叠加型沉积砂体测井相上的台阶型变化。

表 2 永 3 断块 Es_2^6 沉积界面划分

Table 2 Division of bounding surfaces in Es_2^6 of Yong 3 fault-block

界面分级与编号		永 3-1	永 3-103	永 3-57	永 3-141	永 3-99
5 级	5-①	2.089	2.109	2.094	2.082	2.091
3 级	3-①			2.100	2.086	2.096
	3-②			2.104	2.089	2.199
	3-③	2.094	2.113	2.108	2.094	2.104
	3-④	2.097	2.117	2.111	2.099	2.107
	3-⑤	2.100	2.119	2.114	2.103	
4 级	4-①	2.103	2.123	2.116	2.104	2.110
	4-②	2.107	2.127	2.118	2.106	2.111
5 级	5-②	2.113	2.133	2.126	2.112	2.117

注:图中数据表示沉积界面深度,单位为 km。

如图 2 所示,各井 6^1 小层均存在多个沉积间断面。以 3-④ 沉积界面为重要参照界面,以各井沉积间断面所反映出的分界点作控制,遵循同级次沉积界面产状接近,有关沉积界面所限定的结构单元的厚度及其变化趋势一致的原则,进一步确定出研究区 6^1 小层内部的其它各个 3 级沉积界面(记为 3-①、3-②、3-③ 与 3-⑤)。这样,5-①、4-① 和它们之间的 5 个 3 级沉积界面将 6^1 小层划分为 6 期增生体,记为 $VI^1 \sim VI^6$,见图 2。

3 结构单元划分意义

3.1 沉积学意义

层状结构只是储层最基本、最简单的一种结构形式,结构复杂才是多数储层的根本性特征,如人们所称的“迷宫式”结构、“七巧板式”结构^[29]。三角洲沉积具有典型的三层结构:顶积层、前积层和底积层。根据沉积体展布特点,可以把三角洲沉积划分进积式、加积式、退积式。

原有认识是:永安镇油田沙二下亚段至沙三上段为河控三角洲沉积,划分了9个砂层组,属于三期较大规模三角洲沉积的复合体。一期是沙二下7-9砂层组的三角洲沉积体,主要分布在永551断块、永66—永68断块、永1—永63断块;二期是沙二下4-6砂层组的三角洲沉积体,主要分布在永35—永42断块、永3断块、永2断块;三期是沙二下1-3砂层组的三角洲沉积体,主要分布在永12断块^[9]。该区物源来自于青坨子凸起(位于工区东部),三角洲整体由北东向南西进积。上述认识是以若干个砂层组为单位的认识,较粗略。

由图2可以看出,研究区6¹小层共发育6期增生体,具有由西向东退积的特点,这与以砂层组为研究单元的认识是完全不同的。本文所提出的认识以小层内的河口坝增生体为单位,更精细地刻画了沉积规律。通过结构单元划分深入细致地认识沉积规律,在这方面已有诸多成果^[8,30]。

3.2 油水分布意义

不同增生体在发育部位、分布范围及其顶面构造特征等方面均可以有很大不同。由VI¹增生体顶面构造图(图3(a))可知,VI¹增生体发育于研究区的东部,尖灭线位于永3-57井至永3-37井一线以东,断块内该增生体面积0.18 km²,其最高等深线为-2.040 km,最低等深线为-2.110 km,构造向南倾,构造幅度70 m;由VI²增生体顶面构造图(图3(b))可知,VI²增生体发育于研究区的东部和中部,尖灭线位于永3-100井至永3-103一线以东,断块内该增生体面积0.32 km²,其最高等深线-2.010 km,最低等深线为-2.120 km,构造向南倾,构造幅度110 m。

三角洲河口坝增生体的规模可以相当大,作为独立的油气分布单元,其油(气)储量可以相当可观。图4(a)和图4(b)分别是研究区VI¹与VI²增生体的小层平面图,VI¹增生体含油面积0.097 km²,平均有效厚度3.2 m,取单储系数16.8×10⁴ t/km²·

m,运用容积法算得石油地质储量为5.21×10⁴ t。VI²增生体油藏面积0.176 km²,平均有效厚度3.9 m,石油地质储量11.53×10⁴ t。其中,规模较大的增生体VI²的储量在10万t以上,这足以说明研究增生体油(气)水分布的必要性。目前,这方面的成果所见甚少,亟待加强。

从对油气分布控制的角度考虑,VI¹与VI²增生体顶面构造特征的最重要区别在于-2.070 km等深线分布位置的不同。VI¹增生体的-2.070 km等深线位于永3-72井以南,而VI²增生体的-2.070 km等深线位于永3-72井以北。这两条等深线在南北方向上的距离超过56 m(图3)。

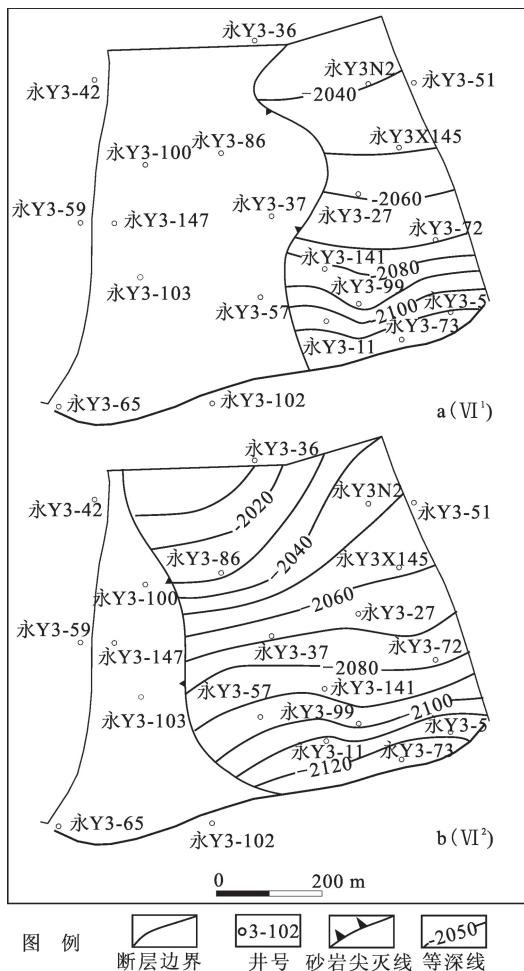


图3 VI¹-VI²增生体顶面构造图

Fig.3 Top structure map of VI¹ and VI² accreted bodies

结构单元的发育位置与分布范围决定着油(气)水分布的特点。研究区VI¹与VI²增生体含油范围在东西方向上有很大不同。VI¹增生体含油范围的西界分布在图4(a)中部的永3-36井—永3-141井一线,即图4(a)中VI¹的有效厚度零线;VI²增生体含油范围的西界分布在图4(b)西部的永3-

100 井附近,即图 4(b)中VI²的有效厚度零线。

发,其理论意义和实践意义都是非常大的。

图 4(c)是VI¹与VI²的叠加含油面积图,VI¹与VI²叠加含油面积的北界与东界为断层(闭合),西界为VI²的有效厚度零线,南界为由VI²油水边界线,VI¹的部分有效厚度零线和VI¹的油水界线共同组成。VI¹与VI²的叠合含油面积范围的南界为折线型边界(图 4(c)),无结构单元分析法作指导,这种折线型边界的成因是无法正确认识的。

4 结 论

(1)三角洲河口坝沉积可以划分为河口坝复合体、单一河口坝、河口坝增生体 3 个重要层次,以沉积模式为指导,以沉积间断面为依据,根据沉积界面及结构单元分布及其组合规律,可对河口坝内的增生体进行划分。永 3 断块沙二下 6 砂层组 6¹ 小层划分为 6 期增生体。

(2)通过结构单元划分,可以深入认识三角洲河口坝增生体所反映的沉积演化规律及其沉积结构类型。永 3 断块 6¹ 小层可分 6 期演化,6 期增生体具有由西向东退积的特点。

(3)不同河口坝增生体的发育位置、分布范围及其顶面构造特征对增生体油(气)水分布具有重要的控制作用;大型三角洲河口坝增生体的规模可以相当大,作为独立的油气分布单元,其油气储量可以相当可观,以增生体为单元进行油(气)水分布规律研究非常必要。

参考文献:

[1] MCKEE E D, WEIR G W. Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks[J]. Geological Society of America Bulletin, 1953,64(4):381-390.

[2] BROOKFIELD M E. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones[J]. Sedimentology, 1977,24(3):303-332.

[3] ALLEN J R L. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders [J]. Sedimentary Geology, 1983,33(4):237-293.

[4] MIAL L A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth-Science Reviews, 1985,22(4):261-308.

[5] 贾振远, 蔡忠贤. 储层构型研究方法简介[J]. 地质科技情报, 1992,12(4):63-68.

JIA Zhen-yuan, CAI Zhong-xian. Research methods of

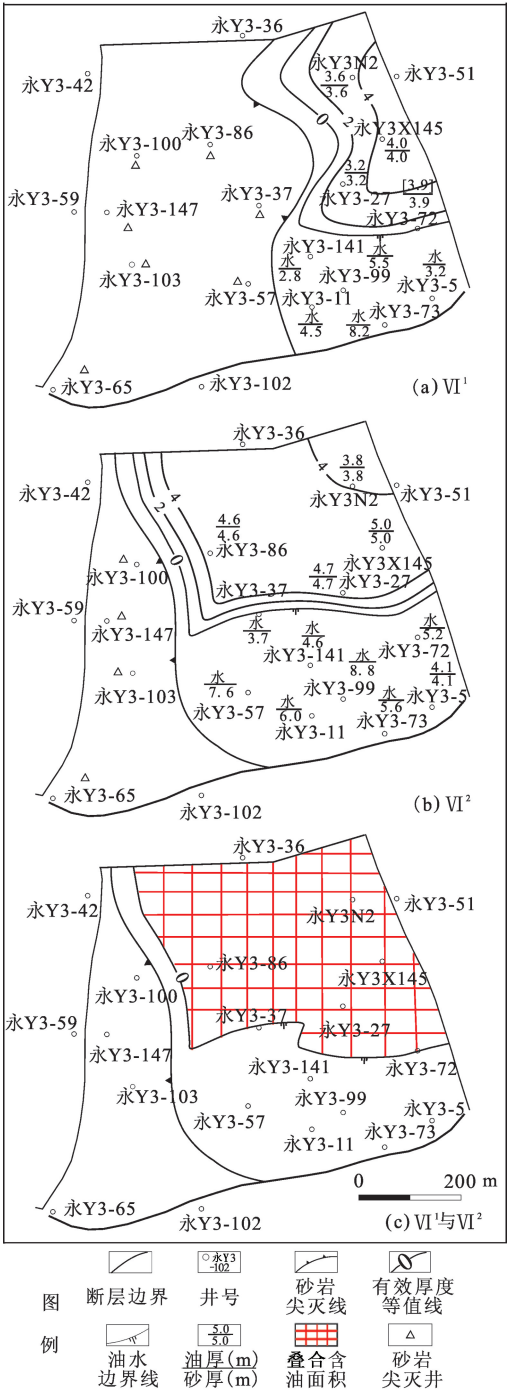


图 4 VI¹与VI²增生体小层平面图

Fig.4 Individual reservoir plan of VI¹, VI² accreted body

结构单元顶面构造同样也控制着油(气)水分布。研究区VI¹与VI²增生体油水界线受相同深度(-2.070 km)的构造等值线控制,由于VI¹与VI²的-2.070 km 构造等值线在南北方向有大于 56 m 的距离,使得VI¹与VI²的油水界线在南北向上也有大于 56 m 的距离。在油(气)田开发后期,充分认识油气分布的这种特征,对于油(气)田进一步高效开

- architecture[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1992, 12(4): 63-68.
- [6] 焦养泉, 李思田, 李祯, 等. 碎屑岩储层物性非均质性的层次结构[J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(2): 3-6.
- JIAO Yang-quan, LI Si-tian, LI Zhen, et al. Heterogeneity of porosity and permeability in clastic rock reservoirs[J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(2): 3-6.
- [7] 于兴河, 郑浚茂, 宋立衡, 等. 断陷盆地三角洲砂体的沉积作用与储层的层内非均质性特点[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1997, 22(1): 51-56.
- YU Xing-he, ZHENG Jun-mao, SONG Li-heng, et al. Features of depositional processes and permeability heterogeneities in deltaic sandbodies in faulted basins[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1997, 22(1): 51-56.
- [8] 陈清华, 王亚玲, 金大伟. 碳酸盐岩滩坝相储层精细划分对比的新方法: 以东营凹陷史南地区沙一段3砂组为例[J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(3): 1-4.
- CHEN Qing-hua, WANG Ya-lin, JING Da-wei. The new method of reservoir hierarchy division and correlation in carbonate bank-dam facies [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(3): 1-4.
- [9] 陈清华. 永安镇油田构造沉积特征与油气关系[J]. *岩相古地理*, 1998, 18(3): 14-20.
- CHEN Qing-hua. Structure and sedimentary features and their bearings on oil and gas accumulation in the Yong'an Zhen Oilfield, Shandong [J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1998, 18(3): 14-20.
- [10] MIAL L A D. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, Utah[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1994, 64(2b): 146-158.
- [11] 孙玉生, 司尚举. 马厂油田沙三下2储层建筑结构特征研究[J]. *断块油气田*, 1999, 6(2): 39-41.
- SUN Yu-sheng, SI Shang-ju. Research on characteristics of architecture for lower Es₃² of Machang oil field [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 1999, 6(2): 39-41.
- [12] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 河口坝砂体构型精细解剖[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(5): 42-46.
- HE Wen-xiang, WU Sheng-he, TANG Yi-jiang, et al. Detailed architecture analyses of debouch bar in Shengtuo Oilfield, Jiyang depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 42-46.
- [13] 辛治国. 河控三角洲河口坝构型分析[J]. *地质论评*, 2008, 54(4): 527-531.
- XIN Zhi-guo. Architecture analyses of debouch bar of fluvial dominated delta[J]. *Geological Review*, 2008, 54(4): 527-531.
- [14] 温立峰, 吴胜和, 王延忠, 等. 河控三角洲河口坝地下储层构型精细解剖方法[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2011, 42(4): 1072-1078.
- WEN Li-feng, WU Sheng-he, WANG Yan-zhong, et al. An accurate method for anatomizing architecture of sub-surface reservoir in mouth bar of fluvial dominated delta [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2011, 42(4): 1072-1078.
- [15] 李云海, 吴胜和, 李艳平, 等. 三角洲前缘河口坝储层构型界面层次表征[J]. *石油天然气学报*, 2007, 29(6): 49-52.
- LI Yun-hai, WU Sheng-he, LI Yan-ping, et al. Hierarchical boundary characterization of delta front mouth bar reservoir architecture [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2007, 29(6): 49-52.
- [16] 尹太举, 张昌民, 陈程, 等. 建立储层流动单元模型的新方法[J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(2): 170-175.
- YIN Tai-ju, ZHANG Chang-min, CHEN Cheng, et al. A new method for founding the model of flow unit reservoirs [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(2): 170-175.
- [17] 朱强, 毕彩芹. 陆相地层精细对比方法及应注意的问题[J]. *油气地质与采收率*, 2002, 9(3): 27-30.
- ZHU Qiang, BI Cai-qin. Methods of fine correlation and its matters needing attention in terrestrial formation [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2002, 9(3): 27-30.
- [18] 李春英. 渤海湾盆地东营凹陷胜坨油田储层精细研究及应用[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(4): 561-565.
- LI Chun-ying. Research on reservoir beds in Shengtuo Oilfield, Dongying sag of Bohai Bay Basin and its application [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(4): 561-565.
- [19] 辛治国, 肖建新, 冯伟光. 点坝侧积层精细划分方法[J]. *大庆石油地质与开发*, 2009, 28(6): 32-36.
- XIN Zhi-guo, XIAO Jian-xin, FENG Wei-guang. The method of fine division of lateral accretion bedding in point bars[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2009, 28(6): 32-36.
- [20] 裘亦楠, 张志松, 唐美芳, 等. 河流砂体储层的小层对比问题[J]. *石油勘探与开发*, 1987, 14(2): 46-52.
- QIU Yi-nan, ZHANG Zhi-song, TANG Mei-fang, et al. The detailed correlation of fluvial sandbody reservoirs [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1987, 14(2): 46-52.

- [21] 崔卫东. 新滩油田曲流河薄层砂体对比方法研究[J]. 西南石油大学学报:自然科学版, 2011, 33(4): 33-38.
- CUI Wei-dong. The comparison methods of thin sand-body of meandering facies in Xintan Oilfield [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2011, 33(4): 33-38.
- [22] 刘伟方, 于兴河, 孙勤华, 等. 井震联合分级控制小层对比方法[J]. 石油物探, 2006, 45(6): 597-601.
- LIU Wei-fang, YU Xing-he, SUN Qin-hua, et al. Sub-layer correlation by step control well-to-seismic integration[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(6): 597-601.
- [23] 郭秀蓉, 程守田, 刘星. 油藏描述中的小层划分与对比: 以垦西油田 K71 断块东营组为例[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 55-58.
- GUO Xiu-rong, CHENG Shou-tian, LIU Xing. Division and correlation of substrata in reservoir description: the substrata of Dongying formation in Kenxi Oilfield as an example [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(2): 55-58.
- [24] XU C, CRONIN T P, Mc GINNESS T E, et al. Middle Atokan sediment gravity flows in the Red Oak field, Arkoma Basin, Oklahoma: a sedimentary analysis using electrical borehole images and wireline logs[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(1): 1-29.
- [25] SALLER A H, NOAH J T, RUZUAR A P, et al. Linked lowstand delta to basin-floor fan deposition, offshore indonesia: an analog for deep-water reservoir systems[J]. AAPG bulletin, 2004, 88(1): 21-46.
- [26] RICHARDS M, BOWMAN M. Submarine fans and related depositional systems II: variability in reservoir architecture and wireline log character[J]. Marine and Petroleum Geology, 1998, 15(8): 821-839.
- [27] 渠芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层细分对比方法探讨[J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2008, 23(1): 17-21.
- QU Fang, CHEN Qing-hua, LIAN Cheng-bo. Discussion on the method for the subdivision and comparison of fluvial reservoir[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2008, 23(1): 17-21.
- [28] MACDONALD H A, PEAKALL J, WIGNALL P B, et al. Sedimentation in deep-sea lobe-elements: implications for the origin of thickening-upward sequences[J]. Journal of the Geological Society, 2011, 168(2): 319-332.
- [29] WEBER K J, van GEUNS L C. Frame work for constructing clastic reservoir simulation models[J]. Journal of Petroleum Technology, 1990, 42(10): 1248-1297.
- [30] HALFAR J, RIEGEL W, WALTHER H. Facies architecture and sedimentology of a meandering fluvial system: a palaeogene example from the Weisselster Basin, Germany[J]. Sedimentology, 1998, 45(1): 1-17.

(编辑 徐会永)