

东辛油田营13断块辫状河储层构型模式

刘卫^{1,2}, 路智勇¹, 牛栓文³

(1.中国石化胜利油田分公司东辛采油厂, 山东东营 257061; 2.中国石化胜利油田分公司博士后科研工作站, 山东东营 257002; 3.中国石化胜利油田分公司鲁明油气勘探开发公司, 山东东营 257000)

摘要:为明确辫状河沉积体系不同级别的建筑结构特征,更好地指导开发调整和剩余油挖潜,在河流相沉积界面分级体系的指导下,将东辛油田营13断块辫状河沉积分为6级储层构型界面,并确定3—6级储层构型界面的成因及分布特征。根据储层构型界面的级别不同,通过层序地层学分析、河道砂体叠置模式分析、储层构型要素分类及心滩坝内部解剖等多种方法,将研究区辫状河储层构型模式由大到小划分为辫状河复合砂体、河道砂体、河道砂体内部及心滩坝内部4种不同级别。营13断块东二段发育4期辫状河复合砂体,可以划分为深切大面积叠置型、浅切小面积叠置型、非下切交错叠置型、非下切层状叠置型以及孤立型共5类辫状河河道砂体储层构型模式。在辫状河河道砂体内部发育河道充填、顺流增生、砂质底形、砂席和溢岸细粒沉积共5种储层构型要素,而心滩坝由辫状河河道砂体内部最重要的顺流增生构型要素构成,其内部储层构型呈现明显的顺流加积特征。

关键词:辫状河 储层构型界面 储层构型模式 储层构型要素 心滩坝

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)04-0033-05

An architecture model of braided river reservoir in Ying-13 fault block of Dongxin oilfield

Liu Wei^{1,2}, Lu Zhiyong¹, Niu Shuanwen³

(1. Dongxin Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257061, China; 2. Postdoctoral Scientific Research Workstation of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257002, China; 3. Luming Oil and Gas Exploration and Development Company, Shengli Oilfield Company, Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

Abstract: To establish different levels of reservoir architectures of the braided river sedimentary system for adjustment and remaining oil exploration, based on the hierarchical level system of fluvial facies, the architecture interfaces of braided river reservoir in Ying-13 fault block can be classified into six hierarchies, and the causes and distribution characteristics of 3-6 hierarchy architecture interfaces were determined. According to different levels of architecture interfaces, based on sequence stratigraphy, analysis of spatial stacking pattern of channel sand-body, classification of architectural element, internal anatomy of mid-channel bar, etc., the architecture model of the braided river have been categorized into four different levels, from large to small in turn which are complex braided river sand-body, fluvial sand-body, internal sand-body and internal mid-beach bar. Four-different stages channel complex sand-bodies developed in Dong2 oil bed of Ying-13 fault block, which can be divided into five sand-body architecture models: deep cut and superimposition in a large area, shallow cut and superimposition in a small area, no cut and crossing superimposition, no cut and layering superimposition, and isolating sand-body architecture model. Five architectural elements for braided river reservoirs were identified, i.e. channel filling, downstream accretion, sandy bed form, sand sheet and overbank fines. Mid-channel bar, filled by downstream accretion sand, is the most important architectural element within sand-body, in which the architecture model shows downstream accretion characteristic.

Key words: braided river; architecture interface; architecture model; architectural element; mid-channel bar

收稿日期: 2015-05-11。

作者简介: 刘卫(1972—), 女, 山东文登人, 工程师, 博士, 从事开发地质研究。联系电话: 18865971218, E-mail: sd_liuwei2000@163.com。
基金项目: 山东省博士后创新项目“普通稠油油藏基于储层构型的优势渗流通道研究”(201303046)。

辫状河储层是碎屑岩沉积中重要的储层类型之一,自河流相沉积界面分级体系^[1]及储层构型要素分析法^[2]提出以来,中外学者对辫状河储层的地质模式及层次界面进行了广泛的研究^[3-5]。综合来看,目前辫状河储层构型研究仍局限于对其沉积模式的研究^[6-11]以及利用密井网条件对辫状河心滩坝沉积的构型解剖^[12-16],缺乏对辫状河储层沉积界面及储层构型模式的系统研究。为此,笔者针对东辛油田营13断块东营组二段(东二段)2—4砂层组辫状河沉积,以储层构型理论和层次分析方法为指导,利用层序地层学分析、河道砂体叠置模式分析、储层构型要素分类以及心滩坝内部解剖等多种方法,划分辫状河储层构型界面,确定储层构型界面的成因及分布特征。根据储层构型界面的级别不同,将辫状河储层构型模式由大至小划分为辫状河

复合砂体、河道砂体、河道砂体内部及心滩坝内部4种不同级别,以期对研究区下步的开发调整和剩余油挖潜提供借鉴。

1 储层构型界面划分

东辛油田营13断块位于东营凹陷中央隆起带东营穹隆背斜中央塌陷区,为断层夹持的地堑构造。其古近系东二段可划分为4个砂层组,其中2—4砂层组为辫状河沉积,具有砂包泥的结构特征。参照 Miall 提出的河流相沉积界面分级体系^[1],将营13断块东二段辫状河储层划分为6级储层构型界面(图1),对其辫状河沉积体系进行逐级解剖,进而研究不同级别储层构型模式。

一级储层构型界面为交错层系的界面,即由一

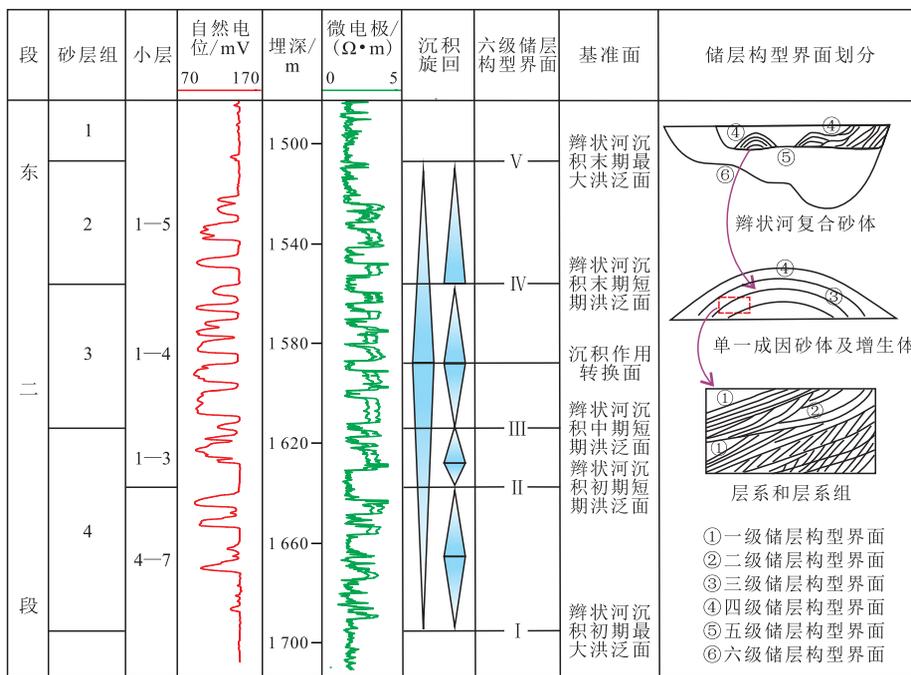


图1 东辛油田营13断块东二段辫状河储层构型界面划分及旋回特征

Fig.1 Architecture interface division and sedimentary cycle feature in Dong2 oil bed of Ying-13 fault block in Dongxin oilfield

系列相同纹层组成的界面。二级储层构型界面为层系组的界面,是砂体内部不同岩相之间的分界面。三级储层构型界面是大型沉积底形内部的横切侵蚀界面,为单一成因砂体内部增生体的界面,常见的三级储层构型界面为心滩坝内部的落淤层。四级储层构型界面相当于大型沉积底形的顶、底面,是由多个增生体叠合形成的单一成因砂体的界面。五级储层构型界面为多个单一成因砂体垂向叠加与侧向叠合形成的复合成因砂体的界面,是辫状河道充填复合砂体的大型砂体界面。六级储层构型界面为一组辫状河复合砂体的底面。

根据不同级别的辫状河储层构型界面,将东辛油田营13断块东二段2—4砂层组自下而上划分为第1—第4期共4期辫状河复合砂体,可进一步分为5类辫状河河道砂体储层构型模式,以及辫状河河道砂体内部储层构型模式和心滩坝内部储层构型模式。

2 辫状河储层构型模式

2.1 辫状河复合砂体储层构型模式

每1期辫状河沉积体系都要经历活跃—废弃—

再活跃的过程,直至最终废弃。不同期次河道复合砂体之间被泛滥平原越岸细粒沉积所分割,这些细粒沉积是辫状河沉积中分布最稳定、岩电特征最明显的等时沉积界面,对应于六级储层构型界面,通常是基准面转换期形成的主要洪泛面或沉积作用转换面。营13断块东二段发育5个六级储层构型界面,可以划分为1个中期基准面旋回和4个短期基准面旋回,分别对应于4期辫状河复合砂体。

营13断块东二段辫状河沉积底部为一套较厚的深色质纯泥岩,为沉积初期的最大洪泛面,对应于六级储层构型界面I,为东二段4砂层组7小层与东三段1砂层组1小层的分界;在东二段4砂层组4小层沉积末期,形成短期洪泛面,对应于六级储层构型界面II,其相对于储层构型界面I的水体变浅;在东二段4砂层组1小层沉积末期,再次形成短期洪泛面,对应于六级储层构型界面III,相对于储层构型界面II的水体继续变浅;在东二段3砂层组1—4小层沉积时期,中期基准面降至最低并转为上升,发育沉积转换面。东二段3砂层组1小层沉积末期的短期洪泛面对应于六级储层构型界面IV。在东二段2砂层组1小层沉积末期,中期基准面快速上升,在东二段2砂层组1小层顶部形成最大洪泛面,对应于六级储层构型界面V,至此4期辫状河复合砂体沉积结束。研究区六级储层构型界面I—V普遍分布,4期辫状河复合砂体之间被5个六级储层构型界面所分割;其中储层构型界面IV,III和II的平均厚度分别为8.3,5.3和2.8 m。

2.2 辫状河河道砂体储层构型模式

辫状河河道砂体的迁移、摆动,形成垂向上砂体相互叠置的多层式结构。由于辫状河的沉积特征十分复杂,地质、地理背景和气候特征不同均会导致其沉积模式的不同,也就形成了辫状河河道砂体储层构型模式的多样性。

根据营13断块东二段辫状河河道砂体垂向叠置类型的不同,可以划分为5类辫状河河道砂体储层构型模式,分别为深切大面积叠置型、浅切小面积叠置型、非下切交错叠置型、非下切层状叠置型以及孤立型辫状河河道砂体储层构型模式。其中,深切大面积叠置型是指后期河道砂体切割前期河道砂体,其切割深度达到前期河道砂体厚度的一半以上,叠合面积达到总面积的一半以上;浅切小面积叠置型是指后期河道砂体切割前期河道砂体,但切割深度小于前期河道砂体厚度的一半,叠合面积不及总面积的一半;非下切交错叠置型是指后期河道砂体非切割叠置于前期河道砂体之上,后期河道

位置较前期发生偏移,2期河道砂体呈交错方式叠置;非下切层状叠置型是指2期河道砂体非切割垂向叠置,河道位置不发生偏移,呈层状方式叠置;孤立型是指横向剖面上河道砂体不发生纵向叠置,主要呈孤立不对称的透镜状分布。

在营13断块东二段的4期辫状河复合砂体中发育不同的辫状河河道砂体储层构型模式(图2)。第1期辫状河复合砂体为六级储层构型界面I与II之间限定的砂体,处于中期基准面下降半旋回的早期,沉积物可容空间与沉积物补给通量的比值(A/S)较大,河道冲刷作用较弱,砂体以孤立型和非下切层状叠置型辫状河河道砂体储层构型模式为主。第2期辫状河复合砂体为六级储层构型界面II与III之间限定的砂体,处于中期基准面下降半旋回的中期,A/S值变小,河道的横向迁移及冲刷作用变强,砂体以非下切交错叠置型辫状河河道砂体储层构型模式为主。第3期辫状河复合砂体为六级储层构型界面III与IV之间限定的砂体,处于中期基准面下降半旋回的末期以及基准面上升半旋回的早期,A/S值较低,河道水动力强,下切冲刷作用强烈,砂体以深切大面积叠置型和浅切小面积叠置型辫状河河道砂体储层构型模式为主;在第3期辫状河复合砂体的沉积末期,中期基准面快速上升,A/S值变大,河道砂体叠置方式转变为以非下切层状叠置型辫状河河道砂体储层构型模式为主。第4期辫状河复合砂体为六级储层构型界面IV与V之间限定的砂

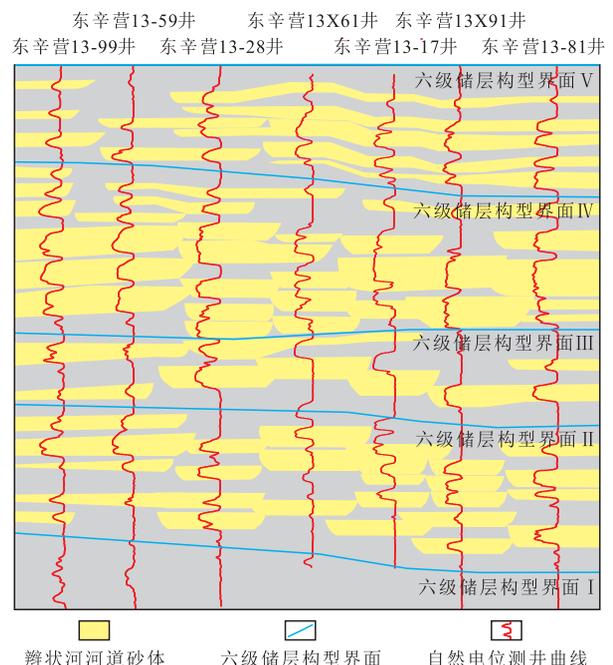


图2 营13断块东二段辫状河河道砂体储层构型模式

Fig.2 Sand-body architecture models for braided river reservoirs in Dong2 oil bed of Ying-13 fault block

体,处于基准面上升半旋回的末期, A/S 值较高,河道冲刷作用不明显,多期河道垂向叠置方式为非下切层状叠置型辫状河河道砂体储层构型模式。

辫状河河道的充填仍具有旋回性,充填沉积终结,其顶部会被泛滥平原越岸细粒沉积覆盖,对应于五级储层构型界面。研究区东二段辫状河储层内部发育17个五级储层构型界面,其中10个五级储层构型界面在研究区普遍分布;由于河道的冲刷、切割作用,有7个五级储层构型界面局部缺失,但仅局限于个别井点缺失。由于五级储层构型界面的厚度较大,对界面之间形成的辫状河成因砂体具有很好的遮挡作用。在研究区东二段辫状河沉积发育的不同时期,其五级储层构型界面的分布略有不同。辫状河沉积发育早期及末期,五级储层构型界面的厚度较大;发育中期,其厚度则较薄。

2.3 辫状河河道砂体内部储层构型模式

在不同水动力条件的连续作用下,辫状河河道砂体内部会形成不同的储层构型要素。依据 Miall 对河流沉积体系构型要素的分类^[1],营13断块东二段辫状河河道砂体内部发育河道充填、顺流增生、砂质底形、砂席和溢岸细粒沉积共5种类型的储层构型要素;按岩相分类方法,主要发育低幅冲刷充填砂岩相(S_s)、槽状交错层理砂岩相(St)、板状交错层理砂岩相(Sp)、低角度交错层理砂岩相(Si)、交错层理含砾砂岩相(Se)、平行层理细砂岩相(Sh)、块状层理粉砂岩相(Sm)、薄层状砂岩及泥岩相(Fi)和块状泥岩相(Fm)等岩相类型。

储层构型要素的发育特征可以反映河道砂体内部充填的旋回性,每个旋回具有不同的充填特征。在河道发育早期,一般不发育砂坝,以各种砂质底形为主;砂质底形为河流低流态沉积,厚度相对较薄,自然电位曲线呈光滑中幅指形,顶、底部一般为线性渐变。砂质底形构型要素的代表性岩相组合为 $S_s—Si—Sp$ 组合,砂质底形通常呈透镜状、席状、毯状和楔状分布,发育于河道充填的底部或砂坝顶部,也可以小砂坝形态分布。在河道发育中期,以发育各种类型的砂坝及河道充填为特征,局部发育少量纹层砂席。河道充填构型要素反映出较强的水动力条件,常侵蚀下伏地层,具下凹的侵蚀冲刷底界面;自然电位曲线表现为光滑中高幅钟形,呈典型的正韵律;岩相组合类型较多,具有代表性的岩相组合为 $Se—St—Sm$ 组合和 $S_s—Sm—St$ 组合。河道充填构型要素多呈指状、透镜状,侵蚀面呈上凹状分布,剖面上主要表现为低幅度的底凸顶平式,底部突变而顶部线性渐变,且规模和形态变

化较大。顺流增生主要构成各种类型的复杂心滩坝,如纵向砂坝、横向砂坝和斜列砂坝;其横向厚度变化大,常与河道充填构型要素共生;以厚层复合韵律为主,自然电位曲线呈光滑高幅箱形或箱形—钟形组合,顶、底部均突变,顶部偶见线性渐变。研究区顺流增生构型要素代表性的岩相组合为 $St—Sp—Sh$ 组合和 $Sm—St—Sm$ 组合。该构型要素的几何形态为底平顶凸型或底凸顶凸型,平面形态以椭圆和近菱形为主,内部和顶部分界面具有上凸的特征,且分界面的倾斜方向平行或亚平行于古水流方向。顺流增生构型要素在平面上与河道充填构型要素相伴生,顶部多与砂质底形构型要素相伴生。砂席是高流态平坦床砂的产物,多发育于河道充填的边部;平面上以薄层席状、毯状分布,纵向上与溢岸细粒沉积交互沉积,无明显的沉积韵律,自然电位曲线呈微齿化中低幅指形,岩相组合基本为 $Sh—Si$ 组合。在河道发育晚期,主要发育中—小型砂质底形。河道废弃时发育溢岸细粒沉积,在平面上呈薄—厚层毯状分布,内部通常夹有砂质底形沉积;主要为悬移质沉积,岩相类型以 Fm 为主,见少量 Fi ,自然电位曲线基本接近基线。

2.4 心滩坝内部储层构型模式

心滩坝是由辫状河河道砂体内部最重要的顺流增生构型要素构成的,是河流多次洪泛携带的碎屑物在心滩坝部位垂向加积所形成;由增生体和夹层组成,且夹层对应于三级储层构型界面。增生体主要发育于洪泛事件的高水位期,夹层发育于2次洪泛事件的水动力相对低能期;岩性上以细、粉砂岩和泥岩为主,成因上可以分为落淤层、坝间泥岩及串沟^[16]。营13断块东二段辫状河心滩坝沉积主要发育于中期基准面沉降末期和上升初期,其宽度为85~566 m,长度为263~1 086 m,宽厚比一般约为30。心滩坝中心部位的平均厚度为7.4 m,由多期垂积体叠置而成,垂积体的厚度一般为2~5 m,连续叠置的心滩坝中心厚度可达11 m左右。心滩坝内部夹层易被后期增生体冲刷而难以保存,形成2期增生体的纵向叠置。心滩坝内部储层构型呈现明显的顺流加积特征,第1期通常仅在心滩坝的中心部位发育,后期依次覆盖其上,最底部垂积体的分布面积最小。

3 结论

根据沉积界面的级别不同,可以将辫状河储层构型模式由大到小划分为辫状河复合砂体、河道砂

体、河道砂体内部及心滩坝内部4种不同级别。辫状河复合砂体储层构型模式的研究侧重于六级储层构型界面即短期基准面的研究,辫状河河道砂体储层构型模式的研究侧重于河道砂体叠置模式的研究,辫状河河道砂体内部储层构型模式的研究侧重于储层构型要素及四级储层构型界面分布规律的研究,心滩坝内部储层构型模式的研究侧重于三级储层构型界面即心滩坝内部夹层的研究。通过开展不同级别的储层构型模式研究,可以更好地掌握各级沉积界面及其限定的沉积体的分布规律;但是需要进一步结合动态资料对储层构型模式进行分析验证,尤其是对开发生产具有较大指导意义的辫状河河道砂体内部及心滩坝内部储层构型模式进行深入的研究。

参考文献:

- [1] Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. *Earth Science Review*, 1985, 22(4): 261-308.
- [2] Douglas W J, Pryor W A. Hierarchical levels of heterogeneity in a Mississippi river meander belt and application to reservoir systems [J]. *AAPG Bulletin*, 1988, 72(6): 682-697.
- [3] 伍涛, 王建国, 王德发. 辫状河砂体储层沉积学研究——以张家口地区露头砂体为例[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1): 27-33.
Wu Tao, Wang Jianguo, Wang Defa. Reservoir sedimentology of braided river sandbodies—a case study of the outcrop in Zhangjiakou region [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1): 27-33.
- [4] 于兴河, 马兴祥, 穆龙新, 等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 60-106.
Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. Geological model and hierarchical interface analysis for braided river reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 60-106.
- [5] 刘建民, 束青林, 张本华, 等. 孤岛油田河流相厚油层储层构型研究及应用[J]. *油气地质与采收率*, 2007, 14(6): 1-4.
Liu Jianmin, Shu Qinglin, Zhang Benhua, et al. Research and application of reservoir structure in thick oil layers of fluvial facies in Gudao oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(6): 1-4.
- [6] 廖保方, 张为民, 李列, 等. 辫状河现代沉积研究及相模式——中国永定河剖析[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1): 34-39, 50.
Liao Baofang, Zhang Weimin, Li Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and facies model—taking the Yongding River as an example [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1): 34-39, 50.
- [7] 刘波, 赵翰卿, 李广月, 等. 储层砂质辫状河的识别——以大庆喇嘛甸—萨尔图油田西部PI₂³为例[J]. *石油学报*, 2002, 23(2): 43-46.
Liu Bo, Zhao Hanqing, Li Guangyue, et al. Sand body identification of braided river reservoir—an example from the PI₂³ west of La-
- madian-Saertu oilfield, Daqing, China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(2): 43-46.
- [8] 何顺利, 兰朝利, 门成全. 苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式[J]. *石油学报*, 2005, 26(6): 26-29.
He Shunli, Lan Chaoli, Men Chengquan. New braided river model in Sulige gas field of Ordos basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(6): 26-29.
- [9] 束青林. 孤岛油田馆陶组河流相储层隔夹层成因研究[J]. *石油学报*, 2006, 27(3): 100-103.
Shu Qinglin. Interlayer characterization of fluvial reservoir in Guantao formation of Gudao oilfield [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(3): 100-103.
- [10] Lynds R M, Hajek E A. Conceptual model for predicting mudstone dimensions in sandy braided-river reservoirs [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(8): 1 273-1 288.
- [11] 尚鲁宁, 吕大炜, 李增学, 等. 琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲沉积特征及油气地质意义[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(5): 4-9.
Shang Luning, Lü Dawei, Li Zengxue, et al. Depositional characteristics and petroleum geology significance of braided delta system in Yacheng formation, Yanan sag, Qiongdongnan basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(5): 4-9.
- [12] Kjemperud A V, Schomacker E R, Cross T A. Architecture and stratigraphy of alluvial deposits, Morrison formation (upper Jurassic), Utah [J]. *AAPG Bulletin*, 2008, 92(8): 1 055-1 076.
- [13] 李东海, 姜在兴, 李继山. 济阳拗陷东部新近系馆陶组下段辫状河三角洲沉积研究[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2003, 27(3): 10-14.
Li Donghai, Jiang Zaixing, Li Jishan. Braided river delta sedimentary facies of lower Guantao formation of the Neogene in eastern Jiyang depression [J]. *Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science*, 2003, 27(3): 10-14.
- [14] 罗水亮, 曾琛, 韩学辉. 储层构型分析及聚合物驱后测井评价联合识别剩余油——以孤东油田七区西馆上段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(1): 92-94.
Luo Shuilang, Zeng Chen, Han Xuehui. Application of coupling reservoir architecture and logging evaluation after polymer flooding to identify remaining oil—case of upper Guantao member, west block 7 of Gudong oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(1): 92-94.
- [15] 刘钰铭, 侯加根, 王连敏, 等. 辫状河储层构型分析[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2009, 33(1): 7-10.
Liu Yuming, Hou Jiagen, Wang Lianmin, et al. Architecture analysis of braided river reservoir [J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2009, 33(1): 7-10.
- [16] 刘钰铭, 侯加根, 宋保全, 等. 辫状河厚砂层内部夹层表征——以大庆喇嘛甸油田为例[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 836-841.
Liu Yuming, Hou Jiagen, Song Baoquan, et al. Characterization of interlayers within braided-river thick sandstones: a case study on the Lamadian Oilfield in Daqing [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 836-841.