

三角洲前缘水下分流河道单砂体叠置机理 及对剩余油的控制

——以扶余油田 J19 区块泉头组四段为例

封从军^{1,2}, 鲍志东³, 代春明⁴, 张兆谦⁵

- (1. 西北大学 地质学系 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 中国石油 东方地球物理公司, 河北 涿州 072751;
3. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 4. 中国石油 吉林油田分公司 扶余采油厂, 吉林 松原 710054;
5. 中国石油 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:以松辽盆地扶余油田 J19 区块泉头组四段为例, 在沉积微相研究的基础上, 综合应用岩心、测井、生产动态等资料, 对三角洲前缘复合水下分流河道内部的单砂体进行定量识别。研究表明, 研究区单砂体叠置类型主要包括分离式、叠加式、切叠式、替代式 4 种垂向叠置样式和间湾接触、堤岸接触、对接式、侧切式、替代式 5 种平面接触样式, 并总结了相应的识别标志。研究区单砂体宽度介于 200~800m, 单砂体厚度介于 4~8m。分离式的叠置砂体顶部剩余油富集; 叠加式、切叠式、替代式(垂向)叠置类型的砂体厚度不同、注水方向不同, 对剩余油分布范围有较大影响。间湾接触、堤岸接触、对接式的砂体横向不连通, 在两个单砂体之间易形成侧翼剩余油富集; 侧切式和替代式的砂体, 横向连通性好, 剩余油不易富集。

关键词:水下分流河道; 三角洲前缘; 单砂体; 泉头组; 剩余油; 扶余油田

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Superimposition patterns of underwater distributary channel sands in deltaic front and its control on remaining oil distribution: a case study from K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

Feng Congjun^{1,2}, Bao Zhidong³, Dai Chunming⁴, Zhang Zhaoqian⁵

- (1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China; 2. Bureau of Geophysical Prospecting, CNPC, Zhuozhou, Hebei 072751, China; 3. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Fuyu Oil Production Plant, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 710054, China; 5. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Taking the fourth member of the Quantou Formation in J19 block of Fuyu oilfield as an example, single sandbodies identification was performed within composite underwater distributary channels in delta front by integrating various data including cores, logging and production performance on the basis of sedimentary micro-facies. The results show that there are four main vertical superimposition patterns of single sandbodies, including separated type, overlap-type, overlay type and substitution type, and five lateral contact patterns, including interdistributary contact, embankment contact, butt-joint, side shear and substitution type. The corresponding identification marks are also summarized. The width of single sandbody is in the range from 200 – 800m and their thickness range from 4 – 8m. The tops of the separated type sandbodies are rich in remaining oil. In overlap-type, overlay type and substitutional type sandbodies are different in thickness and water injection direction, thus strongly influencing remaining oil distribution. Sandbodies of interdistributary contact, embankment contact and butt-joint kinds are not interconnected laterally, thus remaining oil possibly occurring in the flanks of the sandbodies. In contrast, sandbodies of side shear and substitutional type are well connected laterally, unfavorable for enrichment of remaining oil.

Key words: underwater distributary channel, delta front, single sandbody, Quantou Formation, remaining oil, Fuyu oilfield

收稿日期: 2014-07-11; 修订日期: 2014-10-20。

第一作者简介: 封从军(1981—), 男, 博士、讲师, 储层地质综合研究。E-mail: fengcj@nwu.deu.cn。

基金项目: 西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项(BJ14267); 陕西省教育厅科研计划项目(14JK1754)。

我国东部大多数老油田,经过多年的注水开发,已进入高含水开发阶段^[1],剩余油分布情况十分复杂,呈高度分散状态。常规的基于小层精度的储层研究已经难以满足油田生产需要,研究重心以由小层为基本单元深入至以复合河道砂体内部单砂体为基本单元。单砂体是指自身垂向上和平面上都连续,但与上、下砂体间有泥岩或不渗透夹层分隔的砂体^[2-5]。不同的单砂体在粒度、分选、杂基含量等方面存在较大差异,从而导致储层物性方面有较大差异;而且单砂体之间经常存在较薄的泥岩、泥质粉砂岩或泥质细砂岩隔夹层,导致单砂体之间不连通,从而使复合河道砂体含油不均匀^[6-17],使得储层非均质性愈加严重,增加了老油田剩余油挖潜工作的难度。

1 研究区概况

扶余油田泉头组四段(泉四段)沉积时期盆地持续拗陷,来自西南方向的永康水系和南部的怀德-长春水系为主要物源,多条河流向湖盆注入,形成了大面积的浅水三角洲砂体^[18],以乾安三角洲和扶余三角洲为典型代表。泉四段拗陷期沉积的地层厚度介于70~100 m,具有统一的沉降中心。研究区泉四段主要为浅水三角洲前缘沉积,通过岩心观察描述共识别出5种沉积微相类型,包括:水下分流河道、水下分流间湾、水下天然堤、河口坝和远砂坝。在湖平面升降的不同阶段,水下分流河道砂体频繁摆动、分叉改道,形成了大面积的连片状、条带状、不规则状的复合砂体。

2 水下分流河道单砂体划分

2.1 单砂体叠置样式及识别标志

在湖平面升降的不同阶段,由于可容纳空间与沉积物补给通量比值(A/S)的变化,导致水下分流河道单砂体的保存程度和堆积样式有较大的变化。通过对研究区密井网区深入解剖,沿垂利物源和顺物源方向的连井剖面对单砂体的叠置样式进行统计,总结了研究区单砂体4种垂向、5种平面叠置样式及其识别标志。

2.1.1 垂向叠置样式及识别标志

在湖平面升降的不同阶段,不同时期沉积的单砂体垂向叠置切割,形成了不同的叠置样式。总结发现研究区泉四段水下分流河道单砂体的垂向叠置样式主要包括分离式、叠加式、切叠式和替代式4种类型(图1),每一种叠置样式都有各自典型的测井响应标志(图2)。

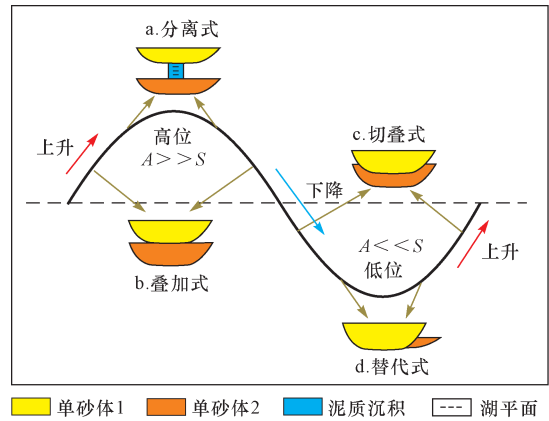


图1 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体垂向叠置样式
Fig. 1 Vertical superimposition patterns of single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

序号	a	b		c		d
名称	分离式	叠加式		切叠式		替代式
		侧向叠加	垂向叠加	侧向切叠	垂向切叠	
叠置样式						
测井相标志						

图2 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体垂向叠置测井识别标志

Fig. 2 Logging markers of vertically superimposed single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

1) 分离式

分离式是指垂向上两期单砂体之间主要被泥岩等细粒沉积物分隔,两期单砂体本身没有接触。该类型的叠置砂体主要在湖平面上升的晚期和下降的早期常见,此时可容纳空间远大于沉积物补给通量,水下分流河道单砂体多为分离式。该类砂体的测井识别标志在2.5 m电阻率曲线上显示为两个明显分离的箱型特征,单砂体分离处曲线回返明显(图2a)。总结发现,在研究区泉四段,该类型单砂体间的细粒沉积物岩性主要为泥岩、泥砾岩(图3)。

2) 叠加式

叠加式是指两期单砂体垂向上接触,但是后期形成的单砂体对早期形成的单砂体没有明显的侵蚀、冲刷等作用。该类型的叠置砂体主要在湖平面上升的中、晚期和下降的早、中期常见,此时可容纳空间大于沉积物补给通量,水下分流河道单砂体间多为叠加式接触。根据两期单砂体叠置位置的不同,又可分为侧向叠加和垂向叠加两种类型。侧向叠加式砂体在两期砂体叠置处,2.5 m电阻率曲线上显示为两个阶梯状的箱型特征,而在两期单砂体没有叠置处,2.5 m电阻率曲线上显示为一个单独的箱型特征;垂向叠加式砂体在两期砂体叠置处,2.5 m电阻率曲线上显示为两

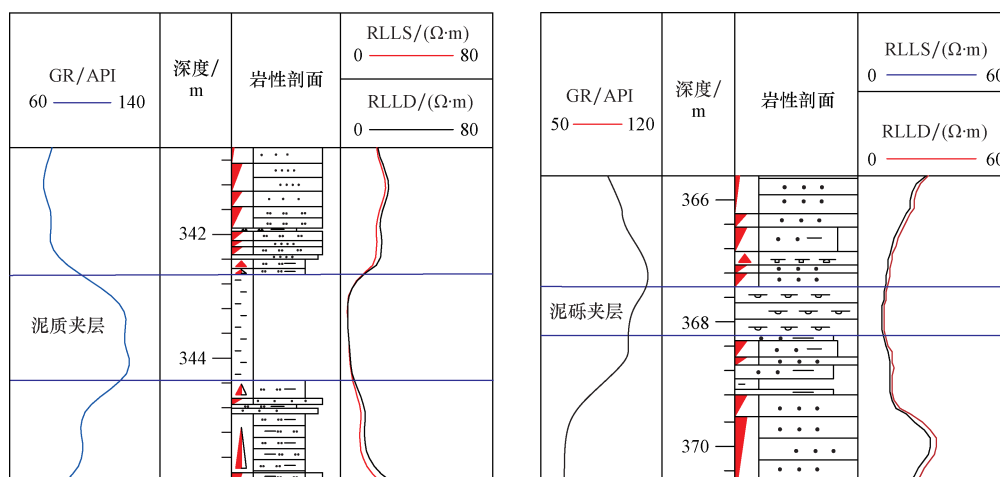


图3 扶余油田 J19 区块泉头组四段细粒沉积物类型及测井响应特征

Fig. 3 Logging models and sediment types of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

个阶梯状的箱型特征,向河道边部,第二期单砂体 2.5 m 电阻率曲线箱型的底部高程明显上升,第一期单砂体 2.5 m 电阻率曲线箱型的顶部高程一致(图 2b)。

3) 切叠式

切叠式是指垂向上后期形成的单砂体对早期形成的单砂体有明显的侵蚀、冲刷等作用。该类型的叠置砂体主要在湖平面上升的早、中期和下降的中、晚期常见,此时可容纳空间小于沉积物补给通量,水下分流河道单砂体间多为切叠式接触。根据两期单砂体切叠方式的不同,又可分为侧向切叠和垂向切叠 2 种类型。侧向切叠式砂体在两期砂体切叠处,2.5 m 电阻率曲线上显示为两个阶梯状的箱型特征,而在两期单砂体没有切叠处,2.5 m 电阻率曲线上各自显示为一个单独的箱型特征,但是第一期沉积砂体的箱型曲线高程有明显的差异;垂向切叠式砂体在两期砂体切叠处,2.5 m 电阻率曲线上显示为两个阶梯状的箱型特征,向河道边部第二期单砂体 2.5 m 电阻率曲线箱型的底部和第一期单砂体 2.5 m 电阻率曲线箱型的顶部高程明显上升(图 2c)。

阶梯状曲线回返(图 4)代表了多期单砂体的叠置,是叠加式和切叠式砂体共有的特征,因此,难以仅用该标志对这两类砂体进行区分,需要多井的组合标志进行综合判别。

4) 替代式

替代式是指垂向上后期形成的单砂体把早期形成的单砂体全部侵蚀、冲刷掉,第一期砂体在垂向上没有被保留下来。该类型的切叠砂体主要在湖平面上升的早期和下降的晚期常见,此时可容纳空间远小于沉积物补给通量,水下分流河道单砂体间多为替代式接触。在两期砂体切叠处,替代式砂体 2.5 m 电阻率曲线上显示为一个单独的箱型特征,而在两期单砂体没有切叠处,向河道的一边,2.5 m 电阻率曲线上也显示为一

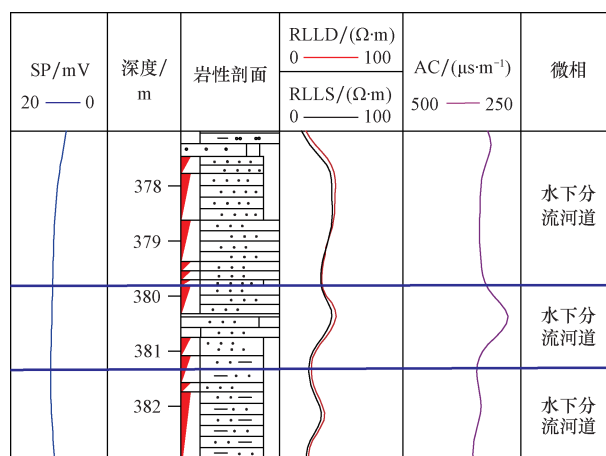


图4 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体

垂向叠置标志 - 阶梯状测井曲线

Fig. 4 Step-type logging responses for vertically superimposed single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

个单独的箱型特征,但是这两个箱型曲线的高程有明显的差异(图 2d)。因此,高程差异是侧向叠加、侧向切叠和替代式单砂体叠置样式的共同特征(图 5),难以仅用该标志对这两类砂体进行区分,需要多井的组合标志进行综合判别。

2.1.2 平面叠置样式及识别标志

单砂体间的平面接触反映的是某一时期沉积的不同单砂体平面上的位置关系,此时湖平面变化不大,该时期沉积的单砂体的接触关系主要受水动力条件、水下分流河道摆动程度、古气候等因素的影响,在平面上形成不同的叠置样式。总结发现研究区泉四段水下分流河道单砂体的平面接触样式主要包括间湾接触、堤岸接触、对接式、侧切式和替代式 5 种类型(图 6),每一种接触样式都有各自典型的测井相标志(图 7)。

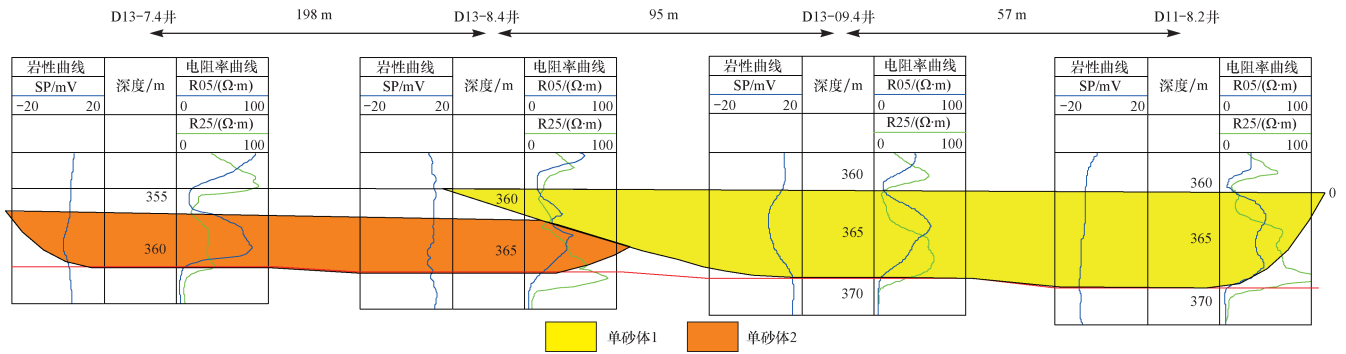


图 5 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体垂向叠置标志 - 高程差异

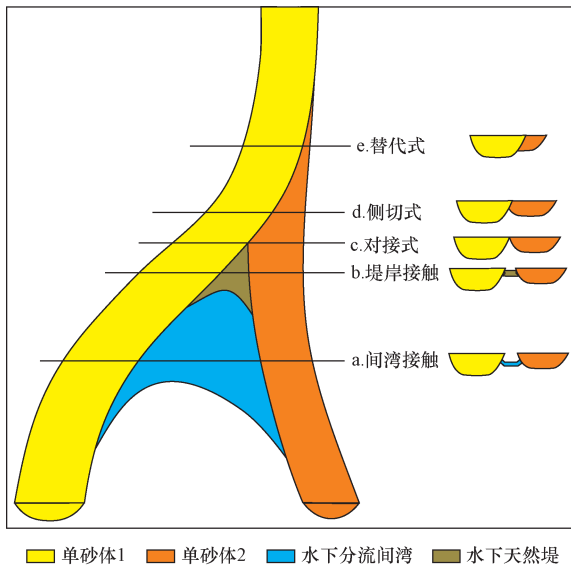
Fig. 5 Elevation discrepancy for identifying vertically superimposed single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

图 6 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体平面接触样式

Fig. 6 Lateral contact styles of single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

序号	a	b	c	d	e
名称	间湾接触	堤岸接触	对接式	侧切式	替代式
叠置样式					
测井相标志					

图 7 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体平面接触测井识别标志

Fig. 7 Logging markers of lateral contacts of single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

1) 间湾接触

间湾接触是指两个单砂体彼此不接触,单砂体之间为水下分流间湾沉积。由于水下分流间湾主要为泥岩,所以两个单砂体之间不连通,各自形成独立的渗流体系。在砂体处 2.5 m 电阻率曲线上显示为一个单独的箱型特征,而在水下分流间湾处 2.5 m 电阻率曲线

为平直的曲线形态(图 7a)。

研究区泉四段该种类型的接触砂体主要分布在三角洲前缘水下分流河道末端,水下分流河道分叉后继续向前延伸,彼此间主要为间湾接触。在湖平面上升的晚期及湖平面下降的早期,由于 A 远大于 S ,此时单砂体间主要为间湾接触(图 8a)。

2) 堤岸接触

堤岸接触是指两个单砂体彼此不接触,单砂体之间为水下天然堤沉积。由于水下天然堤主要为粉砂岩或泥质粉砂岩,所以两个单砂体之间为弱连通或不连通。在砂体处 2.5 m 电阻率曲线上显示为一个单独的箱型特征,而在水下天然堤处 2.5 m 电阻率曲线为锯齿状的曲线形态(图 7b)。

研究区该种类型的接触砂体主要分布在三角洲前缘复合水下分流河道砂体的内部,不同的水下分流河道砂体平面复合后,易形成水下天然堤接触(图 8b)。

3) 对接式

对接式是指两个单砂体彼此对接,单砂体之间的切叠关系不明显。由于两个单砂体之间接触部分较少,所以为弱连通或不连通。在砂体处,2.5 m 电阻率曲线上显示为单独的箱型特征,但是不同的单砂体,显示的箱型电阻的厚度可能不同(图 7c)。

研究区泉四段该种类型的接触砂体相对较少,且难以判断,该类型砂体通过砂体剖面的“厚-薄-厚”进行识别(图 8c)。

4) 侧切式是指后期形成的砂体对早期形成的砂体有明显的冲刷、切割作用。由于两个单砂体之间接触部分较多,所以连通性较好,可以形成油气渗流的通道。在砂体处,2.5 m 电阻率曲线上显示为单独的箱型特征,但是不同的单砂体,显示的箱型电阻的厚度可能不同(图 7d)。

研究区泉四段该种类型的接触砂体相对较多,由于三角洲前缘水下分流河道的侧向摆动或改道等原因,不同时期形成的单砂体或同一时期形成的不同单砂体之间,都有可能发生冲刷、切割作用。该类型叠置

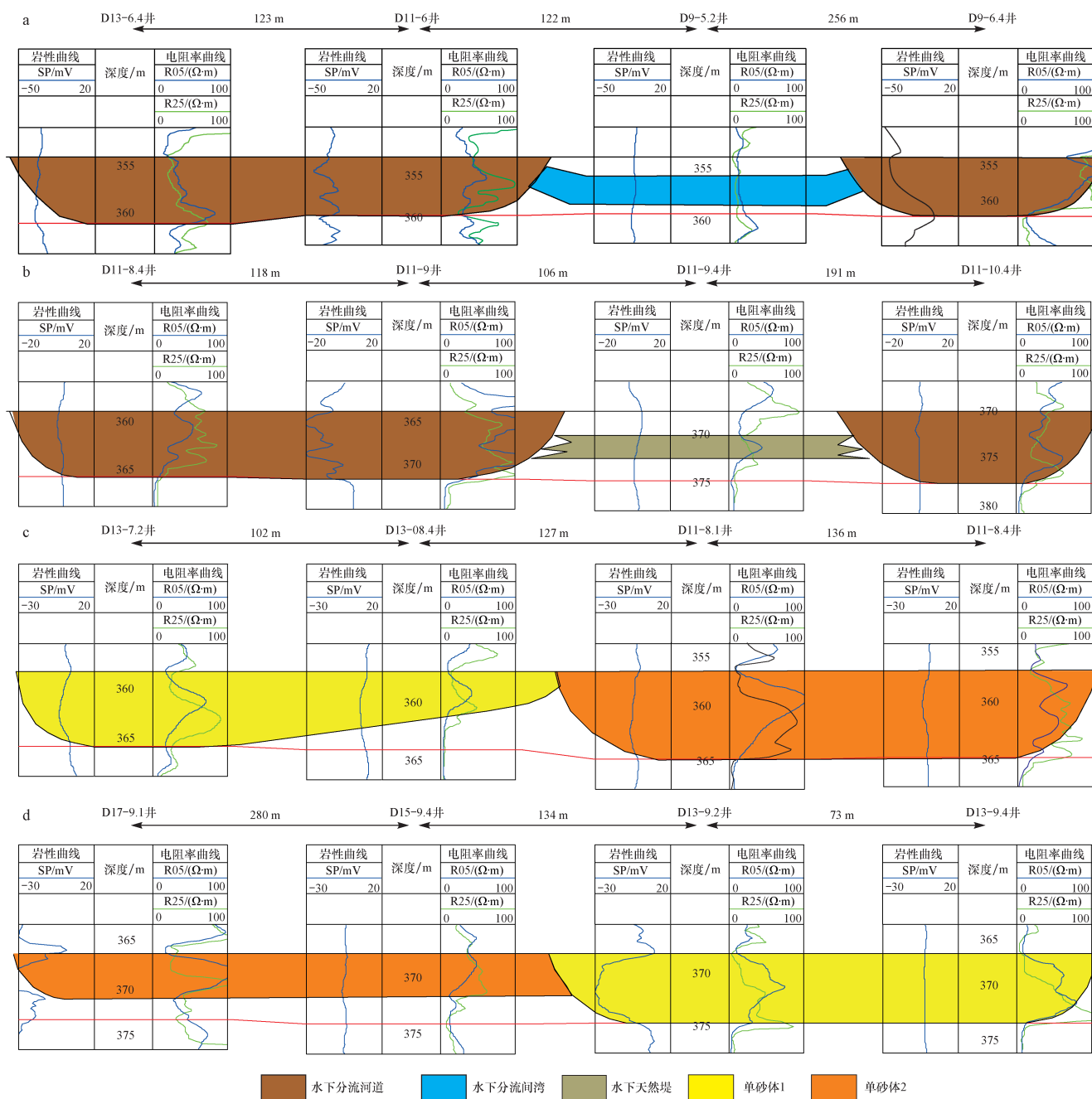


图8 扶余油田 J19 区块泉头组四段单砂体平面接触样式

Fig. 8 Lateral contact types for single sand bodies of K_1q^4 in J19 Block, Fuyu Oilfield

a. 间湾接触; b. 堤岸接触; c. 厚-薄-厚; d. 侧向叠加

砂体最典型的识别标志是“厚-薄-厚”的砂体特征(图8c)。

5) 替代式

替代式是指后期形成的单砂体完全把早期形成的单砂体冲刷、侵蚀掉,在两个单砂体重叠的地方没有留下早期形成的单砂体的痕迹。虽然在局部后期的单砂体完全替代了早期的单砂体,但是在其它部位这两个单砂体之间有接触的部分,所以这两个单砂体间的连通性较好。在砂体处,2.5 m 电阻率曲线上显示为单独的箱型特征(图7e)。

研究区泉四段该种类型的接触砂体相对较多,由于三角洲前缘水下分流河道的侧向摆动或改道等原因,不同时期形成的单砂体或同一时期形成的不同单砂体之间,发生强烈的冲刷、切割作用,使得早期形成的单砂体较少一部分能保留下来。该类型叠置砂体最典型的识别标志是“侧向叠加”或“厚度差异”的砂体特征(图8d)。

2.2 单砂体定量预测公式

对古代三角洲砂体露头和现代三角洲研究成果调

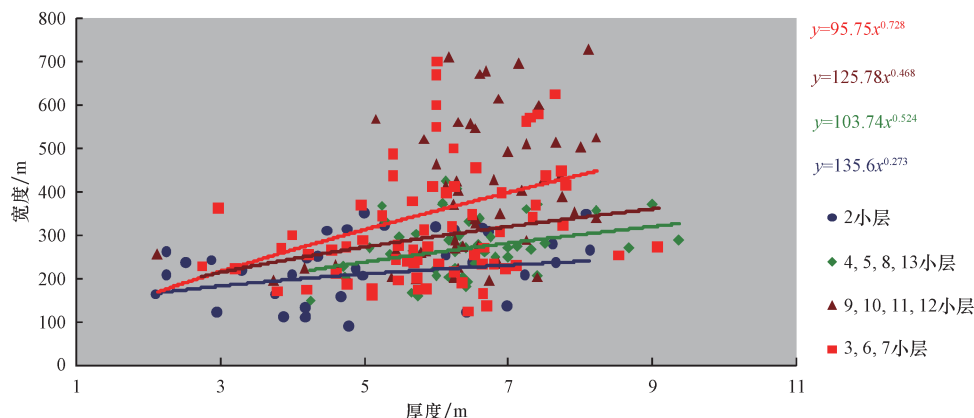


图9 扶余油田 J19 区块泉头组四段三角洲前缘单砂体宽/厚比

Fig. 9 Width to thickness ratio of the single sandbodies of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

研究表明,水下分流河道的宽度和深度存在一定的定量关系,因此利用研究区密井网资料建立单砂体宽度与厚度之间的定量预测公式(图9),初步预测单砂体的规模,同时指导稀疏井区单砂体的刻画工作。通过拟合发现,随着湖平面的不断升高,单砂体的宽度和厚度都有减小的趋势。

砂体的几何形态及规模受控于沉积环境。不同的成因砂体一般都具有各自的几何形态及规模:席状砂在平面上呈等轴状,长宽比近于1:1;透镜状砂体长宽比等于或小于3:1;水下分流河道砂体多呈条带状,长宽比大于3:1。不同几何形态的砂体的宽厚比是不同的;相似几何形态的砂体在湖平面升降的不同阶段,宽厚比也是不同的。因此,在单砂体定量表征的过程中,必须充分考虑单砂体规模的影响。

2.3 沉积模式的指导作用

单砂体的定量表征,其本身带有较强的井间预测性,为了能够准确的预测地下地质体的形态,要求研究人员应对储层地质理论有深刻的理解,并具有深厚的地质“功底”,能够掌握地下地质体的形成机理、分布规律及沉积模式。不同沉积环境的储层,沉积模式是不一样的,如曲流河的边滩模式,辫状河的心滩模式等;同样都是三角洲沉积环境的储层,由于河流作用、湖水(海水)作用的强弱不同,可以形成鸟嘴状破坏性三角洲、朵状建设性三角洲、鸟足状建设性三角洲等不同的沉积模式,而在不同的沉积模式指导下,单砂体定量表征的结果是不同的。

沉积模式在单砂体定量表征的过程中有着地质导向的作用。因此,研究区泉四段单砂体定量表征,是在对研究区泉四段浅水三角洲沉积微相分析的基础上开展的。针对松辽盆地湖盆浅水三角洲的沉积特征^[17],借鉴国内外该类型储层的研究方法和成果^[18-22],结合同类型三角洲的现代沉积考察结果,认为研究区泉四

段砂体多为分叉树枝状,采用该模式指导单砂体的定量表征工作。

2.4 研究区单砂体划分结果

依据单砂体表征的技术流程,对研究区泉四段的单砂体进行定量表征,在复合河道砂体较发育的2~13小层共切连井剖面175条,划分出单砂体49个。统计结果表明:三角洲前缘水下分流河道单砂体宽度介于200~800 m的占91.3%,单砂体厚度介于4~8 m的占89.63%,单砂体宽厚比介于30~120之间的占90.5%。

研究区第7小层西南部发育大面积的连片状的水下分流河道砂体,在平面上可分为5个单砂体,其中第二和第三个单砂体有明显的侧向切叠作用。受西南物源影响,单砂体主要呈西南-东北方向条带状展布,水下分流河道单砂体宽度不大,砂体前端分叉明显(图10)。统计结果表明:第7小层单砂体最宽1036.8 m,最窄148.7 m;单砂体最厚7.7 m,最薄2.5 m,单砂体平均宽厚比为83.4。

3 单砂体叠置方式对剩余油分布的影响

研究区泉四段单砂体叠置样式主要包括分离式、叠加式、切叠式、替代式(垂向)、间湾接触、堤岸接触、对接式、侧切式、替代式(横向)9种类型,受湖平面升降、水下分流河道自身摆动、古气候等因素的影响,单砂体的叠置样式及其复杂,多期砂体的互相切叠,改变了砂体间的连通性及注采关系,增加了剩余油研究的难度。

对于分离式的叠置砂体,由于多期砂体之间有泥质沉积,所以砂体间纵向不连通,在合采合注的采油方式下,底部砂体见效快,油气采出程度高,顶部砂体见效差,剩余油易富集(图11a)。单砂体间的相互切叠,导致切叠砂体间存在高程差异,在水驱过程中形成剩

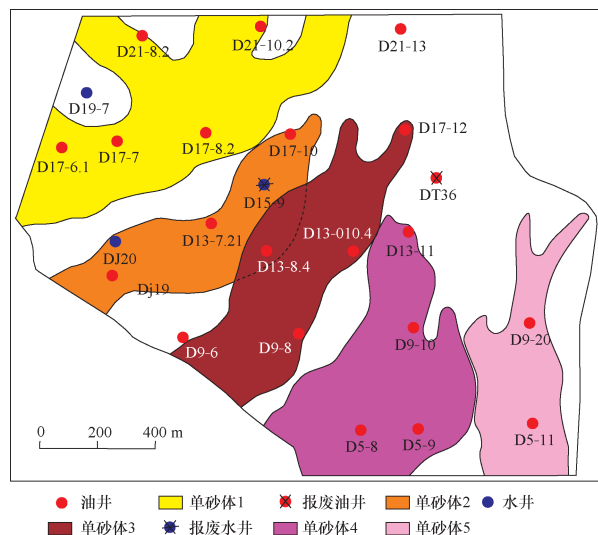


图10 扶余油田J19区块泉头组四段第7小层单砂体

Fig. 10 Single sandbody distribution of the 7th layer of K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield

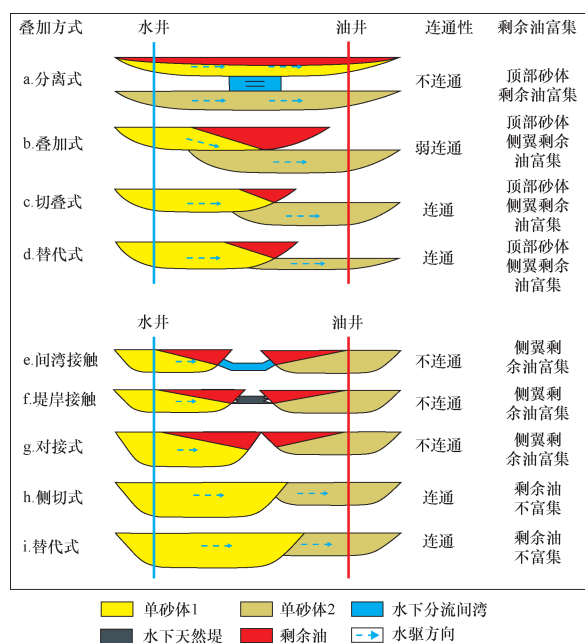


图11 单砂体对剩余油分布的控制机理

Fig. 11 Control mechanism of single sandbodies on remaining oil distribution

余油富集区(图11b—d);叠加式、切叠式、替代式(垂向)叠置类型的砂体,砂体的厚度与注水方向不同,对剩余油分布范围有较大影响。

间湾接触(图11e)、堤岸接触(图11f)、对接式(图11g)接触样式的砂体横向不连通,在两个单砂体之间易形成侧翼剩余油富集;侧切式(图11h)和替代式(图11i)接触样式的砂体,横向连通性好,剩余油不易富集。

4 结论

1) 通过对研究区密井网区的深入解剖,总结了分

离式、叠加式、切叠式、替代式4种单砂体垂向叠置样式和间湾接触、堤岸接触、对接式、侧切式、替代式5种单砂体平面接触样式及其识别标志。

2) 在单砂体识别的基础上,利用研究区密井网资料建立单砂体宽度与厚度之间的定量预测公式,并在浅水三角洲沉积模式的指导下,在泉四段2—13小层共划分出49个单砂体。统计结果表明:三角洲前缘水下分流河道单砂体宽度介于200~800m,单砂体厚度介于4~8m。

3) 分离式的叠置砂体,底部砂体见效快,水淹严重,顶部砂体见效差,剩余油易富集;叠加式、切叠式、替代式(垂向)叠置类型的砂体,砂体的厚度不同、注水方向不同,对剩余油分布范围有较大影响;间湾接触、堤岸接触、对接式的砂体横向不连通,在两个单砂体之间易形成侧翼剩余油富集;侧切式和替代式的砂体,横向连通性好,剩余油不易富集。

参 考 文 献

- [1] 李阳,王端平,刘建民. 陆相水驱油藏剩余油富集区研究[J]. 石油勘探与开发,2005,32(3):91-95.
Li Yang, Wang Duanping, Liu Jianmin. Remaining oil enrichment areas in continental waterflooding reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 91-95.
- [2] 张庆国,鲍志东,宋新民,等. 扶余油田扶余层储集层单砂体划分及成因分析[J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):157-163.
Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Song Xinmin, et al. Hierarchical division and origin of single sand bodies in Fuyu oil layer, Fuyu Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 157-163.
- [3] 马世忠,吕桂友,闫百泉,等. 河道单砂体“建筑结构控三维非均质模式”研究[J]. 地学前缘,2008,15(1):57-64.
Ma Shizhong, Lv Guiyou, Yan Baiquan, et al. Research on three-dimensional heterogeneous model of channel sandbody controlled by architecture[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 057-064.
- [4] 陈清华,曾明,章凤奇等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J]. 油气地质与采收率,2004,11(3):13-15.
Chen Qinghua, Zeng Ming, Zhang Fengqi, et al. Identification of single channel in fluvial reservoir and its significance to the oilfield development[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 13-15.
- [5] 李军,宋新民,薛陪华,等. 扶余油田杨大城子组曲流河相油藏单砂体层次细分及成因[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):119-125.
Li Jun, Song Xinmin, Xue Peihua, et al. Hierarchical subdivision and origin of single sandbody in the reservoirs of meandering river facies in the yangdachengzi Formation of Fuyu oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 119-125.
- [6] 田景春,张兴良,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):736-742.
Tian Jingchun, Zhang Xingliang, Wang Feng, et al. Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Geqiao region, the Ordos

- Basin[J]. Oli & Gas Geology, 2013, 34(6): 736-742.
- [7] 于兴河. 油气储层表征与随机建模的发展历程及展望[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 1-14.
- Yu Xinghe. A review of development course and prospect of petroleum reservoir characterization and stochastic modeling[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 001-015.
- [8] 金振奎, 时晓章, 何苗. 单河道砂体的识别方法[J]. 新疆石油地质, 2010, 3(6): 572-575.
- Jin Zhenkui, Shi Xiaozhang, He Miao. Identification methods for single-channel sand body[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 3(6): 572-575.
- [9] 周银邦, 吴胜和, 岳大力, 等. 复合分流河道砂体内部单河道划分—以萨北油田北二西区萨Ⅱ1+2b小层为例[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(2): 4-8.
- Zhou Yinbang, Wu Shenghe, Yue Dali, et al. Identification of single channel in compound distributary sand body—case of SⅡ1+2b layer of west Ⅱ region, 3rd block of Daqing Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(2): 4-8.
- [10] 封从军, 鲍志东, 单启铜, 等. 三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分—以扶余油田中区南部泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 77-83.
- Feng Congjun, Bao Zhidong, Shan Qitong, et al. Single sand body identification in compound distributary channel of delta plain: a case study from the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu Oilfield[J]. Oli & Gas Geology, 2012, 33(1): 77-83.
- [11] 于兴河. 油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 1-14.
- Yu Xinghe. Existing problems and sedimentogenesis-based methods of reservoir characterization during the middle and later periods of oil-field development[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 001-014.
- [12] 封从军, 单启铜, 时维成, 等. 扶余油田泉四段储层非均质性及对剩余油分布的控制[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2013, 37(1): 1-7.
- Feng Congjun, Shan Qitong, Shi Weicheng, et al. Reservoirs heterogeneity and its control on remaining oil distribution of K1q4 Fuyu Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum, 2013, 37(1): 1-7.
- [13] 韩洁, 王敬瑶, 李军, 等. 扶余油田扶余组曲流河储层单砂体构型刻画及剩余油控制因素[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 308-314.
- Han Jie, Wang Jingyao, Li Jun, et al. Research of architecture of monosand body in meandering reservoir and control factors of remaining oil on Fuyu Formation, Fuyu Oilfield[J]. Geoscience, 2011, 25(2): 308-314.
- [14] 姜洪福, 张世广. 复杂断块油田高分辨率层序地层学及砂体几何学特征—以海塔盆地贝尔凹陷呼和诺仁油田贝301区块南屯组二段为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2014, 44(5): 1419-1431.
- Jiang Hongfu, Zhang Shiguang. High-resolution sequence stratigraphy and sandbody geometry characteristics of complicated fault oilfield: Take second segment of Nantun Group in Bei 301 region of Huhenuoren Oilfield of Beier depression in Haila Basin for example[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014, 44(5): 1419-1431.
- [15] 王一博, 马世忠, 石金华, 等. 复杂河流相地层单砂体级沉积时间单元对比方法[J]. 地质科技情报, 2012, 31(1): 47-50.
- Wang Yibo, Ma Shizhong, Shi Jinhua, et al. Correlation means of sedimentary time unit to single sandbody in complex fluvial facies stratum[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(1): 47-50.
- [16] 单敬福, 王峰, 孙海雷, 等. 基于地震波阻抗反演的小层砂体预测技术—在大庆油田州57水平井区块的应用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 212-218.
- Shan Jinfu, Wang Feng, Sui Hailei, et al. Prediction of sublayer sandstones based on wave impedance inversion in the wellblock of the horizontal well Zhou-57[J]. Oli & Gas Geology, 2010, 31(2): 212-218.
- [17] 吴键, 李凡华. 三维地质建模与地震反演结合预测含油单砂体[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(5): 623-627.
- Wu Jian, Li Fanhua. Prediction of oil-bearing single sandbody by 3D geological modeling combined with seismic inversion[J]. Exploration and Development, 2009, 36(5): 623-627.
- [18] 胡学智, 鲍志东, 那末红等. 松辽盆地南部扶余油田泉头组四段沉积相研究[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 334-341.
- Hu Xuezhi, Bao Zhidong, Na Weihong, et al. Sedimentary facies of the fourth member of the Quantou Formation in Fuyu Oilfield, the South Songliao Basin[J]. Oli & Gas Geology, 2008, 29(3): 334-341.
- [19] 王彦辉, 姜岩, 张秀丽, 等. 三维地震解释技术及其在储层描述中的应用——以松辽盆地杏树岗油田X56区块为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 407-412.
- Wang Yanhui, Jiang Yan, Zhang Xiuli, et al. 3D seismic interpretation technology and its application in reservoir description—an case from X56 block of Xingshugang oilfield, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 407-412.
- [20] 肖开华, 冯动军, 李秀鹏. 川西新场须四段致密砂岩储层微观孔隙与可动流体变化特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 77-82.
- Xiao Kaihua, Feng Dongjun, Li Xiupeng. Micro pore and throat characteristics and moveable fluid variation of tight sandstone in 4th member of Xujiahe Formation, Xinchang Gas Field, western Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 77-82.
- [21] 侯健, 罗福全, 李振泉, 等. 岩心微观与油藏宏观剩余油临界描述尺度研究[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(6): 95-98.
- Hou Jian, Luo Fuquan, Li Zhenquan, et al. The critical description scale study on core microscopic and reservoir macroscopic remaining oil[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 95-98.
- [22] 艾宁, 唐永, 杨文龙, 等. 基于模糊神经网络的致密砂岩储层反演——以长岭断陷1号气田登娄库组为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 413-420.
- Ai Ning, Tang Yong, Yang Wenlong, et al. Fuzzy neural network-based tight sandstone reservoir inversion—a case study from the Denglouku Formation in Changling 1 gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 413-420.