

文章编号:0253-9985(2011)06-0897-06

# 小断块边底水油藏层系组合模式

唐建东,金 勇

(中国石化 江苏油田分公司 开发处,江苏 扬州 225009)

**摘要:**复杂小断块边底水油藏大多具有含油带窄、纵向油层多、地层倾角大等特点。受油藏构造形态、储层、隔夹层发育状况的影响,边水与底水的驱动作用复杂,对开发效果影响较大,开发模式难以确定。从隔夹层遮挡能力量化入手,建立相应的数学模型与数值模型;通过油藏数值模拟手段,研究不同隔夹层条件、不同含油带宽度条件下的油藏开发模式。对于隔夹层纵向封挡作用较强、含油带较宽的油藏,逐层开发或细分层系开发,能有效提高油藏采收率。对含油带较窄的油藏要尽量避免越层开采;进行逐层或分层开发,采收率水平将优于其他开发模式。但由于逐层开采会降低采油速度,分层开发会增加投入,因此在含油带较窄的情况下,合层开采更为经济。窄条状油藏,油井距边水越近采收率水平越低,油井要尽可能远离边水。

**关键词:**隔夹层;开发模式;油藏工程;数值模拟;复杂小断块

**中图分类号:**TE349 **文献标识码:**A

## Development mode optimization for small fault-block reservoirs with edge and bottom water

Tang Jiandong and Jin Yong

(Development Department, SINOPEC Jiangsu Oilfield Company, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** Small complex fault-block reservoirs with edge and bottom water usually feature in narrow oil-bearing belts, multiple oil layers and large stratigraphic dip and so on. Controlled by structural shape, reservoirs and interbed barrier, the driving mechanisms of edge and bottom water are complicated and have big influences on development effect, making it difficult to determine development mode. We established mathematic and numerical models based on quantification of sealing capacity of interbed barriers. Using numerical simulation, we defined development modes under different conditions of interbed barriers and oil-bearing belt width. For oil reservoirs with strong vertical sealing capacity of interbed barriers and wide oil-bearing belts, layer-by-layer or layer-subdivision production can improve oil recovery. While for oil reservoirs with narrow oil-bearing belts, cross-layer production should be avoided. Oil recovery of layer-by-layer or layer-subdivision production is higher than that of other development modes. However, layer-by-layer production may reduce production rate and separate layer production may increase investment, so commingled production would be more profitable when the oil-bearing belts are narrow. In narrow oil reservoirs, the nearer the producer is to edge water, the lower oil recovery is, so producers should be placed from edge water as far as possible.

**Key words:** interbed barrier, development mode, reservoir engineering, numerical simulation, small complex fault-block

江苏油田在地质构造上位于苏北盆地,属苏北—南黄海盆地西部的陆上部分,为典型断陷盆

地格局<sup>[1-3]</sup>,区内断层非常发育,构造破碎,以小、微型断块为主。江苏复杂小断块油田中有一

收稿日期:2011-06-15;修订日期:2011-12-07。

第一作者简介:唐建东(1965—),男,教授级高级工程师,油气田开发。

基金项目:中国石化重点科技项目《复杂断块低渗透油藏改善开发效果研究》(P0828)。

部分中、高渗油藏具有储量规模小,平面上含油带窄、呈条带状分布,纵向上油层多、沿断层呈叠瓦状分布,地层倾角大等特点。与大型整装油藏相比,这类油藏受构造形态影响较大。由于含油带窄,地层倾角大,油井距边水距离较近,边水与底水的驱动作用交互在一起,其开发效果的好坏会受到边底水以及隔夹层的双重影响<sup>[4-5]</sup>,对内部夹层发育的厚油层而言,这种影响尤为明显。近年来,针对小断块油藏的地质特点,在井网、井距优化、生产压差优化等方面开展了相应的研究<sup>[6]</sup>,取得了较好效果,但一直未能对隔夹层遮挡能力、含油带宽度等对开发效果的影响进行量化研究。本文紧紧围绕复杂小断块边底水油藏的两个关键特征,从含油带宽度与隔夹层遮挡能力入手,比较合采、分层开发、越层开采等开发方式对采收率的影响,最终形成比较符合江苏复杂小断块边底水油藏特点的开发模式<sup>[7-9]</sup>。

## 1 隔夹层遮挡能力的量化描述

隔夹层是指油气田开发过程中对流体运动具有阻挡作用的不渗透或者低渗透岩层,是正确划分开发层系,进行各种分层工艺措施时必须考虑的一个重要因素。隔夹层的研究标准有 4 类:一是按照岩性划分;二是按照物性划分;三是按照测井曲线划分;四是按照低渗透层厚度划分<sup>[10]</sup>。但这些研究都只能对隔夹层的作用进行定性分析,为了进一步研究隔夹层对油藏开发的影响,需利用油藏工程方法,对隔夹层的隔挡能力进行量化描述。具体研究方法是构造两个厚油层夹一隔夹层的中、高渗边水复杂断块油藏典型模型,建立相应的数学模型。通过数值模拟研究<sup>[11-12]</sup>,研究不同遮挡能力下,隔夹层对油藏采收率的影响。为了表征隔夹层的遮挡能力,抽象出层间传导率校正系数的概念,作为厚油层的数学表征。

$$c = 1 - \frac{2}{\frac{h_1}{h_3} \frac{K_3}{K_1} + \frac{h_2}{h_3} \frac{K_3}{K_2} + 2} \quad (1)$$

式中: $c$  为层间传导率校正系数,小数; $h_1, h_2, h_3$  为上部油层、下部油层和中间层夹层有效厚度, m;  $K_1, K_2, K_3$  为上部油层、下部油层和中间层夹层垂向渗透率,  $\mu\text{m}^2$ 。

层间传导率校正系数( $c$ )是一个反映油层与

夹层之间厚度和垂向渗透率关系的物理量,值越小,表明夹层的渗透能力越小,夹层的稳定性越好。由式(1)可知,在上、下油层参数已知的条件下,对于任意层间传导率校正系数,都可求出其对应夹层的垂向渗透率,反之结论依然成立。因此,在研究隔夹层遮挡作用对开发效果影响时,可转换为研究层间传导率校正系数对开发效果的影响。

## 2 隔夹层对开发模式的影响

边底水与隔夹层对中、高渗透小断块边底水油藏开发效果影响较大。以江苏油田 Y25 断块的物性参数为基础,建立含隔夹层的中、高渗透边底水的断块油藏典型模型,单斜构造,地层倾角  $12^\circ$ , 主控断层倾角  $60^\circ$ 。纵向上自上而下为油层、隔夹层、油层、隔夹层、底水依次分布,上部油层含油带宽度 500 m,统一油水界面,油井位于构造高部位沿断层分布,天然能量开发。上、中部油层及下部水层平均水平渗透率分别为  $135 \times 10^{-3}$ ,  $200 \times 10^{-3}$ ,  $400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,垂向渗透率取水平渗透率的一半,有效厚度均为 15 m,由 3 个厚度为 5 m 的连续韵律小层构成,隔夹层厚度 5 m,地层原油粘度 2.09 mPa·s,油水粘度比 4。

对比不同层间传导率校正系数(分别为 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50)情况下,合层开采、越层开采、逐层上返开采 3 种开采方式下的开采效果,研究隔夹层对基本开发模式的影响规律<sup>[13-15]</sup>。每种开采方式对应有 5 组方案。层间传导率校正系数与对应的两隔夹层渗透率取值见表 1。

① 合层开采:上、下部含油层一次性全部射开,得到合层开采的最终采收率(含水率达 98% 时的采收率)。

表 1 层间传导率校正系数对应的隔夹层渗透率  
Table 1 Permeability of interbed barriers corresponding to correction coefficient of interlayer conductivity

| 层间传导率<br>校正系数 | 中间隔夹层垂向<br>渗透率/( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ) | 下部隔夹层垂向<br>渗透率/( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ) |
|---------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0             | 0                                          | 0                                          |
| 0.05          | 1.4                                        | 2.3                                        |
| 0.10          | 3.0                                        | 5.0                                        |
| 0.20          | 6.7                                        | 11.0                                       |
| 0.50          | 27.0                                       | 44.0                                       |

表2 不同开采方式下油藏最终采收率

Table 2 Oil recovery factor at different development modes

| 层间传导率校正系数 | 油藏最终采收率 |         |         |                |                |
|-----------|---------|---------|---------|----------------|----------------|
|           | 合层开采    | 正韵律越层开采 | 反韵律越层开采 | 逐层上返开采<br>第一阶段 | 逐层上返开采<br>第二阶段 |
| 0         | 0.454   | 0.227   | 0.271   | 0.271          | 0.495          |
| 0.05      | 0.351   | 0.287   | 0.298   | 0.355          | 0.395          |
| 0.10      | 0.341   | 0.350   | 0.295   | 0.364          | 0.392          |
| 0.20      | 0.332   | 0.340   | 0.293   | 0.352          | 0.375          |
| 0.50      | 0.313   | 0.271   | 0.296   | 0.314          | 0.334          |

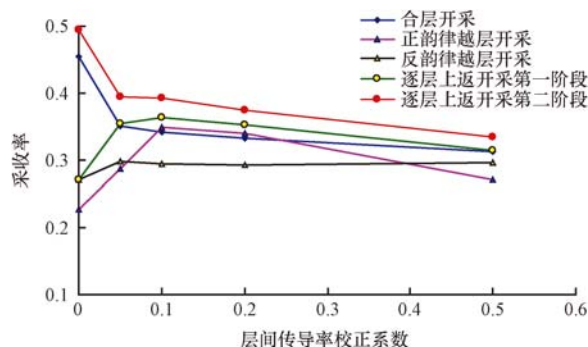


图1 不同层间传导率校正系数对应的油藏采收率

Fig 1 Oil recovery factor corresponding to different correction coefficients of interlayer conductivity

② 越层开采:保持储层的储量基数、平均渗透率不变。分别建立正韵律与反韵律的油藏模型,模拟仅射开上部油层,得到越层开采的采收率。

③ 逐层上返开采:生产井所钻遇油层,自下而上逐次打开生产。即当下部油层生产并含水率都达到98%时,关闭下部油层,射开上部油层生产,从而得到逐层上返开采时的油藏采收率。

## 2.1 合层模式开采

油藏最终采收率随着层间传导率校正系数的增大而减小,当 $c < 0.05$ 时,最终采收率下降速度较快;当 $c > 0.05$ 后,减速变缓。表明在此开发模式下,隔夹层的存在对油藏采收率起到了积极的作用,阻挡了底水的锥进。且层间窜流能力超过一定界限时,底水的入侵不利于提高采收率。(表2;图1)。

## 2.2 越层模式开采

随着层间传导率校正系数的增大,油藏最终采收率呈现出先增大后减小的变化趋势。正韵律油藏<sup>[16]</sup>的采收率峰值出现在 $c = 0.10$ 处,反韵律油藏的峰值出现在 $c = 0.05$ 处。表明隔夹层适当

的传导能力有利于下部储层参加生产。

当 $0.05 < c < 0.40$ 时,正韵律地层的最终采收率要明显大于反韵律油藏的最终采收率;表明正韵律油藏比反韵律油藏更适合采用越层方式开采。

当 $c > 0.40$ 后,随着隔夹层导流能力的不断增大,正韵律地层底水锥进的影响开始逐渐显现,油藏最终采收率下降较快;而反韵律地层由于上粗下细的特点,底水驱动的增强,利于下部物性较差油层的动用,采收率反而略有提高,此时,反韵律油藏比正韵律油藏更适合采用越层方式开采。

## 2.3 逐层上返模式开采

第一阶段采收率的变化趋势类似越层开采时的情况。随着层间传导率校正系数的增大,油藏阶段采收率呈现出先增大后减小的变化趋势,并在 $c = 0.10$ 处达到最大值。且任意一点的采收率都明显大于层间传导率校正系数等于0时的采收率。可见,由于隔夹层具有传导能力,开采隔夹层下部油层时,上部油层的部分储量通过隔夹层被动用。

第二阶段采收率的变化趋势类似合层开采时的情况。油藏最终采收率随着层间传导率校正系数的增大而减小。且当 $c < 0.05$ 时,油藏最终采收率下降较快。这表明当层间传导能力较小时,呈现层状油层的开发特征,两个油层逐次射孔动用,动用充分,采收率高。但随着层间窜流能力的增强,底水活跃程度增加,油藏最终采收率呈下降趋势。

## 2.4 3种开采模式效果对比

在本次研究范围内( $c \leq 0.50$ 时),合层开采、越层开采、逐层上返开采3种开采方式中,逐层上返开采最终采收率最大。

当 $c < 0.10$ 时,合层开采与逐层上返开采要明显好于越层开采。

当 $0.10 < c < 0.25$ 时,3种不同开采方式下的

油藏最终采收率结果相近,越层开采和逐层上返开采好于合层开采。

当  $c > 0.25$  时,越层开采方式下油藏最终采收率明显小于其他两种开采方式。合层开采和逐层上返开采好于越层开采。

### 2.5 敏感因素分析

通过上述开发规律的研究可以看出,隔夹层及底水都会对油藏最终采收率产生影响,但影响时机以及影响程度又与层间传导率校正系数的大小密切相关。

① 当  $c < 0.10$  时,底水锥进为主要敏感影响因素。对于合层开采和逐层上返开采,随着层间导流能力的增大,油藏最终采收率快速下降,但越层开采的情况刚好相反。

② 当  $0.10 < c < 0.25$  时,底水锥进和边水突进为主要敏感影响因素,二者的平衡状态,在一定程度上影响了油藏最终采收率。

③ 当  $c > 0.25$  时,底水锥进成为主要控制因素,因而在一定程度上抑制了油藏最终采收率的提高。

## 3 含油带宽度对开发模式的影响

对于小断块中、高渗边底水油藏,边水与底水

对开发效果的影响主要表现在含油带宽度对开发模式的影响上。含油带宽度的影响,可通过改变油井与边水之间的距离,对比分析不同层间传导率校正系数情况下不同开采方式的油藏采收率,从而分析油井与边水之间的距离远近对油藏最终采收率的影响来获得。

在上述研究模型的基础上,油井与边水距离 ( $L$ ) 分别取 100, 250, 500 m, 研究不同隔夹层条件、不同开发模式下,油井与边水之间的距离远近对油藏最终采收率的影响。

### 3.1 不同含油带宽度对开发效果的影响

在同一种开发模式下,改变油井距边水距离,油藏采收率与层间传导率校正系数变化关系图的基本形态相同,均符合前文研究成果图 2 所示规律,但在采收率变化幅度上存在差异。总体趋势上,采收率随油井距边水距离的增加而增大,但增幅在逐步减小,当  $L$  大于 250 m 时,增幅不明显(表 3)。

#### 3.1.1 合层模式开采

采收率对油井距边水距离敏感性较差,3 种距离下采收率较为接近。这是因为合层开采时,上、下油层同时打开,边水与底水呈一定角度平行推进,受含油带宽度影响不大。

表 3 不同油井距边水距离对应的油藏采收率

Table 3 Oil recovery factor corresponding to different distances from well to edge water

| 方案 | 油井距边水距离/m | 层间传导率校正系数 | 油藏最终采收率 |         |        |
|----|-----------|-----------|---------|---------|--------|
|    |           |           | 合层开采    | 正韵律越层开采 | 逐层上返开采 |
| 1  | 100       | 0         | 0.396   | 0.195   | 0.441  |
| 2  | 100       | 0.05      | 0.371   | 0.291   | 0.360  |
| 3  | 100       | 0.10      | 0.355   | 0.280   | 0.351  |
| 4  | 100       | 0.20      | 0.331   | 0.277   | 0.328  |
| 5  | 100       | 0.50      | 0.285   | 0.206   | 0.308  |
| 6  | 250       | 0         | 0.438   | 0.214   | 0.481  |
| 7  | 250       | 0.05      | 0.380   | 0.302   | 0.396  |
| 8  | 250       | 0.10      | 0.355   | 0.348   | 0.392  |
| 9  | 250       | 0.20      | 0.337   | 0.340   | 0.380  |
| 10 | 250       | 0.50      | 0.309   | 0.258   | 0.332  |
| 11 | 500       | 0         | 0.454   | 0.227   | 0.495  |
| 12 | 500       | 0.05      | 0.351   | 0.287   | 0.395  |
| 13 | 500       | 0.10      | 0.341   | 0.350   | 0.392  |
| 14 | 500       | 0.20      | 0.332   | 0.340   | 0.375  |
| 15 | 500       | 0.50      | 0.313   | 0.271   | 0.334  |

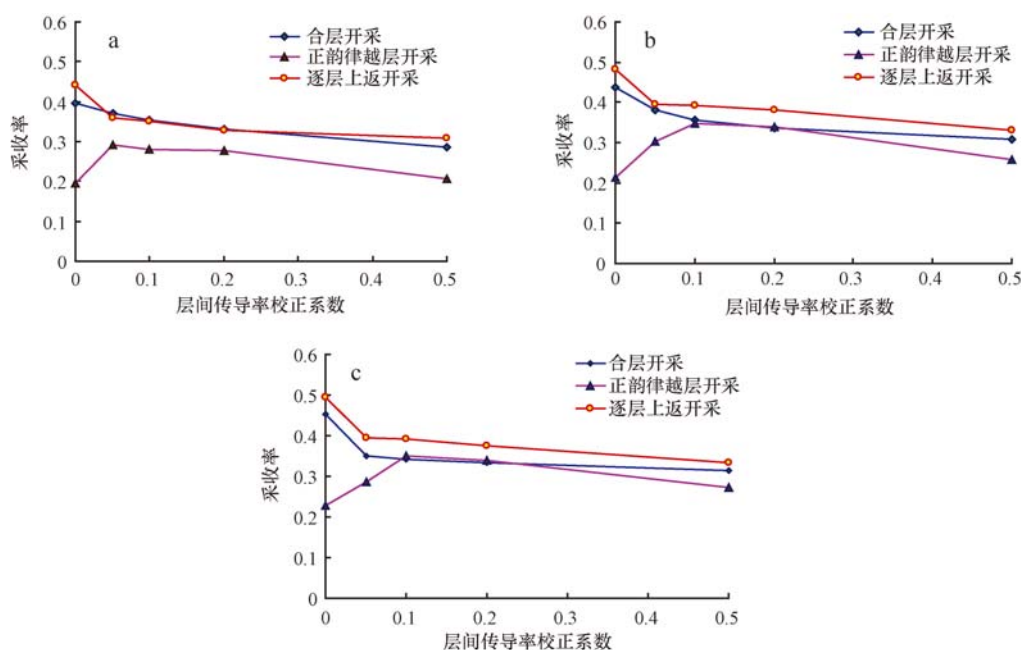


图2 不同含油带条件对应的油藏采收率

Fig 2 Oil recovery factor under different condition of oil-bearing belts

a.  $L = 100$  m; b.  $L = 250$  m; c.  $L = 500$  m

### 3.1.2 越层模式开采

①层间传导率校正系数较小时,采收率受油井距边水距离的影响较小。这是因为采用越层开采时,只射开了上部油层,因隔层封挡作用较强,隔层下部油层不能动用,因而含油带宽度对采收率影响不大。②采收率随层间传导率校正系数的增加,呈现先增后减的趋势,且采收率存在一个极大值;油井距边水的距离越小,采收率极值出现越早,且采收率的绝对值越小, $L = 250$  m时的采收率将明显大于 $L = 100$  m时的采收率。表明当隔夹层具备一定导流能力时,采收率对油井距边水距离的敏感性增加。含油带越宽,下部油层通过底水的驱动作用越过夹层,且参与生产的越多,采收率也随之得到提高。

### 3.1.3 逐层上返模式开采

逐层上返模式开采的采收率对油井距边水距离的敏感性介于合层开采与越层开采之间,当油井距边水距离大于250 m时,采收率不再受油井距边水距离变化的影响。

## 3.2 3种开采方式开发效果对比(图2)

①当 $L = 100$  m时,合层开采与逐层上返开采

方式下的油藏最终采收率差异不大,变化情况也非常相似。但越层开采方式下的油藏最终采收率就比前两者低很多。这表明当油井离边水较近时,越层开采受到边水影响的程度要明显大于其他两种开采方式。

②当 $L = 250$  m时,合层开采与逐层上返开采方式下的油藏最终采收率变化情况虽然相似,但逐层上返开采方式最终采收率已明显大于前者。同时也可以看出,此时越层开采与其他两种开采方式下的油藏最终采收率之间的差距明显缩小,但是受层间窜流能力影响很大。

③当 $L = 500$  m时,合层开采与逐层上返开采方式下的油藏最终采收率变化情况虽然相似,但逐层上返开采方式最终采收率仍然明显大于前者。同时也可以看出,此时越层开采与其他两种开采方式下的油藏最终采收率之间的差距进一步缩小。

## 4 结论

1) 对于隔夹层纵向封挡作用较强、含油带较宽的油藏,要充分利用隔夹层的遮挡作用,积极实施逐层开发或细分层系开发,有效提高油藏采收率。对于隔夹层遮挡作用较强,对含油带较窄的油藏要尽量避免越层开采。

2) 在多数情况下,逐层开发采收率会优于其他两种开发模式。但由于逐层开采会降低采油速度,分层开发会增加投入,因此在含油带较窄、采收率水平相差不大的条件下,合层开采更为经济有效。

3) 在油藏含油带很窄的情况下,油井距边水的距离越近采收率水平越低,在此种情况下油井要尽可能远离边水。

### 参 考 文 献

- [1] 陈安定. 苏北盆地构造特征及箕状断陷形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 140-150.  
Chen Anding. Tectonic features of the Subei Basin and the forming mechanism of its dustpan-shaped fault depression[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 140-150.
- [2] 慕德梁, 孟卫工, 李成, 等. 断陷盆地陡坡带构造样式与油气聚集——以渤海湾盆地辽河坳陷西部凹陷陡坡带为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 635-642.  
Mu Deliang, Meng Weigong, Li Cheng, et al. Structural style and hydrocarbon accumulation in the steep slope zone of faulted basin—an example from the western sag of the Liaohe Depression, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 635-642.
- [3] 吴冲龙, 林忠民, 毛小平, 等. “油气成藏模式”的概念、研究现状和发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 673-683.  
Wu Chonglong, Lin Zhongmin, Mao Xiaoping, et al. Concept, research status and trend of “hydrocarbon pooling patterns”[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 673-683.
- [4] 唐建东, 利用特殊结构井提高小断块边底水油藏采收率[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 89-91.  
Tang Jiandong. Enhancing oil recovery of edge and bottom water reservoirs in the small fault blocks by using special wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 89-91.
- [5] 游秀玲, 张玲, 罗云秀. 原油采收率影响因素探讨及油藏综合分类[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 314-318.  
You Xiuling, Zhang Ling, Luo Yunxiu. Factors influencing oil recovery efficiency and comprehensive classification of oil reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(3): 314-318.
- [6] 金勇, 唐建东, 赵娟, 等. 边底水油藏合理生产压差优化方法及其应用[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 68-72.  
Jin Yong, Tang Jiandong, Zhao Juan, et al. Determining method for reasonable drawdown pressure of oil reservoir with edge and bottom water[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(1): 68-72.
- [7] 王国付, 许坚, 王端平, 等. 中国石化不同类型断块油藏水驱采收率分析[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 96-98.  
Wang Guangfu, Xu Jian, Wang Duanping, et al. The water displacement recovery in different kinds of fault block sandstone reservoirs, Sinopec[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 96-98.
- [8] 金勇, 刘红. 小断块边底水油藏开发实践与认识[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(6): 53-55.  
Jin Yong, Liu Hong. Development practice and understanding in small fault block reservoir with edge and bottom water[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(6): 53-55.
- [9] 余守德. 复杂断块砂岩油藏开发模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 13-15.  
Yu Shoude. The development models of complicated fault-block sandstone[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 13-15.
- [10] 张吉, 张烈辉, 胡书勇, 等. 陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别[J]. 测井技术, 2003, 27(3): 221-224.  
Zhang Ji, Zhang Liehui, Hu Shuyong, et al. The genesis and characteristics and identification of intercalations in non-marine reservoir with clastic rock[J]. Well Logging Technology, 2003, 27(3): 221-224.
- [11] 杜庆军, 陈月明, 侯键, 等. 胜坨油田厚油层内夹层分布对剩余油的控制作用[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(4): 111-114.  
Du Qingjun, Chen Yueming, Hou Jian, et al. Control of interlayer on the distribution of remaining oil in thick reservoirs of Shengtuo oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(4): 111-114.
- [12] 吕晓光, 张永庆, 陈兵, 等. 深度开发油田确定性与随机建模结合的相控建模[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 60-64.  
Lu Xiaoguang, Hang Yongqing, Chen Bing, et al. Facies-controlled modeling for mature developed oilfield by integrating determinacy and stochastic methods[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 60-64.
- [13] 刘红. 厚油层内夹层分布模式及其对采收率的影响[J]. 江汉石油学院学报, 2002, 24(1): 44-45.  
Liu Hong. Distribution patterns of interbeds within thick oil reservoir and their influence on recovery efficiency[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002, 24(1): 44-45.
- [14] 梁珀, 王橧, 杨斌, 等. HD 油田隔夹层测井识别研究[J]. 新疆石油地质, 2008, 26(4): 418-421.  
Liang Po, Wang Xiaotong, Yang Bin, et al. HD oilfield longging intercalations recognition [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 26(4): 418-421.
- [15] 李琳, 任作伟, 林承焰, 等. 曙二区缓坡浊积岩储层隔夹层研究[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 1996, 11(3): 8-11.  
Li Ling, Ren Zhuowei, Lin Chengyan, et al. Research of intercalated beds within the gentle slope turbidite reservoir in Shuer District[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1996, 11(3): 8-11.
- [16] 王起琮. 旋回层序地层的控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 648-656.  
Wang Qicong. Controlling factors of cyclic sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 648-656.

(编辑 高岩)