

# 直井产液剖面预测及分层控水效果计算方法

罗威<sup>1</sup>, 郭小哲<sup>1</sup>, 黄远杨<sup>2</sup>, 刘慧<sup>2</sup>, 郭斌<sup>1</sup>

1. 中国石油大学(北京)石油工程学院 北京 102249

2. 中国石油集团西部钻探工程公司试油公司 新疆克拉玛依 834000

通讯作者: Email: mbahgg@163.com

项目支持: 中国石油大学(北京)研究生教改项目“《油气藏经营管理》实践教学方案设计”(2462015YQ0215)

引用: 罗威, 郭小哲, 黄远杨, 等. 直井产液剖面预测及分层控水效果计算方法[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 1-6.

Cite: LUO Wei, GUO Xiaozhe, HUANG Yuanyang, et al. Prediction of production profile and evaluation method of stratified water control effect in vertical wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 1-6.

**摘要** 含水率高是油井低效生产的关键,也是制约油藏高效开发的最主要问题,其中产液剖面及控水效果的分析与计算一直困扰着现场生产。根据单井的分层合采数据及控水需求,采用小层厚度、渗透率加权的方法,确定小层配液系数;再与小层含水饱和度加权确定小层配水系数,引入小层配水修正系数,通过拟合得到与实际油井一致的含水率,实现产液剖面的预测;根据产液剖面预测结果,设计了控水增油和提液增油的分层控水效果量化方法。实例应用表明,产液剖面预测方法可保证各层产液误差、产水误差均在5%以内,合采误差均小于1%;在高产水层控液量较低的情况下,随控液量增大,增油减水效果明显,而当控液量达到临界值时,增油减水效果不再显著,反而趋于平缓。该综合方法的设计可节省大量的产液剖面测试成本,优化控水规模、预测增油效果,为油田提供科学的控水提液方案。

**关键词** 分层控水;产液剖面;分层合采;产量劈分;含水率;含水饱和度;配液系数;采收率

中图分类号: TE353 文献标识码: A DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.001

## Prediction of production profile and evaluation method of stratified water control effect in vertical wells

LUO Wei<sup>1</sup>, GUO Xiaozhe<sup>1</sup>, HUANG Yuanyang<sup>2</sup>, LIU Hui<sup>2</sup>, GUO Bin<sup>1</sup>

1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

2. Oil Testing Company of CNPC Western Drilling Engineering Company Limited, Karamay, Xinjiang 834000, China

**Abstract:** High water cut is an important reason for the inefficient production in oil wells, and it is also the most important problem that restricts the efficient development of reservoirs. In actual on-site production, the analysis and calculation of production profiles and water control effects have always been a problem. In order to solve these problems, this paper, according to the commingled producing data of multiple layers and water control demand in single well, the thickness and permeability weighted method are used to determine the liquid dispensing coefficient of small layers; It is then weighted with the water saturation to determine the water distribution coefficient. Finally, the correction coefficient of the water distribution is determined by the calibration of the actual production data, thereby realizing the prediction of the production profile; According to the prediction results, a quantitative method for stratified water control effect of increasing oil production with water and liquid control has been developed. The practical application shows that the method can ensure the error of fluid production and water production for each layer within 5%, and the commingled producing error is less than 1%. For high-production water layers, in the case of low liquid control, with the increase of the controlled liquid, the increase of oil production and water reduction are obvious, however when the controlled liquid volume reaches the critical value, the effect is no longer significant, but instead in the gentle. The integrated method can save a large amount of test cost for production profile, optimize the water control scale, predict increase effect of the oil production, and provide a scientific water control solution for the oil field.

**Keywords:** stratified water control; production profile; commingled production; production dividing; water cut; water saturation; fluid distribution coefficient; recovery ratio

非均质储层由于高含水、驱替不均等原因往往采用直井分层合采<sup>[1-3]</sup>技术进行开发。自适应控水

技术可以有效控制各小层产液量,达到分层合采的目的,但要起到后续控水增油<sup>[4-5]</sup>的效果,往往需要

根据当前直井产液剖面情况对各小层产液量进行调整,而对同区所有井进行产液剖面测量需要大量的成本,所以提出一种新的产液剖面预测<sup>[6]</sup>方法,并将其应用于自适应控水技术中,能够大大降低油田人力财力的消耗,也为调节液量、控水增油提供了参考依据。

针对分层合采过程中产液剖面预测及修正方法,很多学者做了大量研究。王金兴等<sup>[7]</sup>以高含水油藏为研究对象,通过实例对产液剖面进行修正,提出产液剖面准确性对油田控水增油的重要意义;崔传智等<sup>[8]</sup>结合各小层物性和水驱动用程度差异,建立了单井多层合采配注配产计算方法,通过对产液剖面分析以控制纵向上的均衡驱替效果;徐昊洋等<sup>[9]</sup>为了评价产液剖面,根据流体流动状态特性,定量定性分析解释了各段产液状况;郭正权<sup>[10]</sup>利用动态监测的手段分析研究产液剖面测井在青海油田生产井中的应用;杜四辈等<sup>[11]</sup>评价产液剖面测试技术在低渗油藏的适应性,并优化调整产液剖面,达到降低成本、提高产量的效果;朱巍<sup>[12]</sup>通过对产液剖面测井技术对产液剖面进行预测,并通过对其中参数的探究来说明其技术实施原理;姚华<sup>[13]</sup>根据特低产液井产量低、含水率变化范围大的特点,提出了一套解决产出剖面分层测试技术难题的方法。

本文针对非均质储层,设计了分层合采产液剖面预测方法以及不同提液方案下控水增油效果优选方法。基本思路是利用实际生产数据以及各小层渗透率、有效厚度、含水饱和度等数据计算配液系数和配水系数,并对系数进行误差修正,得到各小层日产液量、含水率等参数,以此对产液剖面进行预测;从控水增油和提液增油两个角度进行算法设计,引入经济指标评价增油控水效果,从而进行控水效果的量化评价。

## 1 产液剖面预测方法

产液剖面的预测可根据各小层物性差异对产液量和含水率进行合理劈分,从而得出各层产液量、含水率参数。常见的产液剖面预测方法中使用的劈分方法包括地层系数法(KH劈分)<sup>[14]</sup>或有效厚度法(H劈分)<sup>[15-16]</sup>,而这些传统的劈分方法没有考虑各小层的措施情况,也没有根据实际情况进行系数修正,很难反映实际生产情况。各小层压力分布对产液剖面也会造成影响,但压力分布与各小层渗透率有紧密关系。因此,本文主要从渗透率、有

效厚度及含水饱和度三个方面进行产液剖面的预测。技术思路是通过储层作业系数( $R_i$ )对小层配液系数( $C_{Li}$ )进行措施修正,通过流体系数( $A_i$ )确定小层配水系数( $C_{wi}$ ),并引入小层配水修正系数( $FW$ )对各层含水率进行误差修正,最终将单井的修正系数( $FW$ )推广到整个工区其它井中,从而得到全区并产液剖面的预测结果。

### 1.1 小层配液系数确定及修正

小层配液系数即各小层产液量占单井总产液量的权重。此处,利用小层数据资料(渗透率、有效厚度),采用厚度、渗透率加权的方法确定小层配液系数( $C_{Li}$ ),并结合措施论证资料对小层配液系数进行措施修正<sup>[17-18]</sup>,即

$$C_{Li} = \frac{R_i K_i h_i}{\sum_{i=1}^n R_i K_i h_i} \quad (1)$$

式中: $C_{Li}$ 为第*i*小层配液系数,小数; $K_i$ 为第*i*小层平均渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $h_i$ 为第*i*小层有效厚度,m; $R_i$ 为第*i*小层储层作业系数,常数(注:产层为干层取0,产层为水层取1.1,产层为油层取1;使用压裂、酸化措施取2,使用堵水措施取0,产层被不同程度污染,依据污染程度取0.1~0.9)。

通过各层配液系数权重对单井总产液量进行劈分,预测各小层日产液量为

$$Q_{Li} = C_{Li} \times Q_L \quad (2)$$

式中: $Q_{Li}$ 为第*i*小层日产液量, $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $Q_L$ 为单井日产液量, $\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 1.2 小层配水系数确定及修正

小层配水系数即各小层含水率占单井总含水率的权重。首先,考虑影响含水率的主要物性参数,引入流体系数,即

$$A_i = K_i h_i (1 - S_{oi}) \quad (3)$$

式中: $A_i$ 为第*i*小层流体系数, $10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ ;  $S_{oi}$ 为第*i*小层含油饱和度,小数。

为保证各小层含水率的合理性,利用最大流体系数取对数加权的方法确定小层配水系数,即

$$C_{wi} = \frac{n \ln[\max(A) + A_i]}{\sum_{i=1}^n \ln[\max(A) + A_i]} \quad (4)$$

式中: $C_{wi}$ 为第*i*小层配水系数,小数; $\max(A)$ 为最大地层流体系数, $10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ 。

通过小层配水系数对单井总含水率进行劈分,预测各小层理论含水率为

$$f_{wi}^* = C_{wi} \cdot f_w \quad (5)$$

式中: $f_{wi}^*$ 为第*i*小层理论含水率,小数; $f_w$ 为单井总含水率,小数。

由此计算得到的各小层理论含水率,应该满足各小层日产水量之和与单井日总产水量相同,即

$$\sum Q_{Li} f_{wi}^* = Q_L f_w \quad (6)$$

但该式往往不成立,此处引入小层配水修正系数 $FW$ ,通过迭代验证的方法,将得到的修正后含水率 $f_{wi}$ 代入到(6)式中能够使理论产水量和实际产水量误差在1%以内,从而达到对各小层理论含水率进行修正的目的,修正公式如下:

$$f_{wi} = f_{wi}^* - \sqrt{\frac{AVG(K_1 : K_n)}{K_i}} \times FW \quad (7)$$

式中: $AVG(K_1 : K_n)$ 为所有小层渗透率平均值, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $f_{wi}$ 为第*i*小层修正后含水率,小数; $n$ 为小层个数; $FW$ 为小层配水修正系数。

根据各小层含水率和产液量,可以预测各小层采油指数,即

$$J_{oi} = \frac{Q_{Li}(1 - f_{wi})}{\Delta p} \quad (8)$$

式中: $J_{oi}$ 为第*i*小层采油指数, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ ;  $\Delta p$ 为生产压差,MPa。

## 2 控水效果量化方法

根据预测的产液剖面,从控水增油和提液增油两个方面入手,设计了控水效果的量化方法,并引入经济因素对效果进行评价。

### 2.1 控水增油

为达到控水增油的目的,需要降低高产水层产水量,提高低渗层可动用程度。所以,在保证井底压力不变的前提下,考虑降低高产水层日产液量( $\Delta Q_{Li}$ ),将其回落的小层压降,附加在低渗层上,以提高低渗层的日产液量,最终达到控制高产水层控液、低渗层提液的目的。根据高产水层的减油量与低渗层的增油量,可得到年净增油量( $\Delta Q_o$ ),引入年控水收入( $R_{\text{控水}}$ )和弥补自然计算递减收入( $R_{\text{补}}$ ),以此对控水增油效果进行经济量化评价,最终计算总收入变化( $R_{\text{总}}$ ),并得到当前井底流压( $p_w$ )。

首先,确定高产水层控液量,折算成回落压差后计算各增油层增油量,即

$$\Delta Q_{oi} = \frac{\Delta Q_{Li} \times (1 - f_{wi})}{J_{oi}} \times \sum_{i=1}^{n-1} J_{oi} \quad (9)$$

式中: $\Delta Q_{oi}$ 为各增油层日增油量, $\text{m}^3/\text{d}$ 。

其次,引入经济评价指标,以年为单位,计算总收入变化情况。

年净增油量:

$$\Delta Q_o = N_d \times \sum_{i=1}^n \Delta Q_{oi} \quad (10)$$

年控水收入:

$$R_{\text{控水}} = \frac{\Delta Q_o \times B}{10000} \quad (11)$$

弥补自然递减收入:

$$R_{\text{补}} = \frac{Q_L f_w DBN_d}{10000} \quad (12)$$

总增收入:

$$R_{\text{总}} = R_{\text{控水}} + R_{\text{补}} \quad (13)$$

式中: $\Delta Q_o$ 为年净增油量, $\text{m}^3$ ;  $N_d$ 为年生产天数, $\text{d}$ ;  $R_{\text{控水}}$ 为年控水收入,万元;  $B$ 为单位控水收入,元/ $\text{m}^3$ ;  $R_{\text{补}}$ 为弥补自然递减收入,万元;  $D$ 为自然递减率,%;  $R_{\text{总}}$ 为总增收入,万元。

最后,在计算当前井底流压( $p_w$ )时,由于高产水层的压降假设用来增加低渗层的压差,因此当前井底流压仍为原井底流压。

### 2.2 提液增油

通过设置不同的提液梯度,在考虑不同提液方案下计算提液后总产液量( $Q_{Li}$ ),提液后年净增油量( $\Delta Q_o^*$ ),提液后井底流压( $p_w^*$ ),提液后年控水收入( $R_{\text{控水}}^*$ )和提液后总增收入( $R_{\text{总}}^*$ ),同样引入经济指标的方式进行提液控水增油效果的量化处理<sup>[19-20]</sup>。

提液后总产液量:

$$Q_{Li} = Q_L \times (1 + \beta) \quad (14)$$

提液后年净增油量:

$$\Delta Q_o^* = N_d \times \beta \times Q_L \times \left(1 - \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n f_{wi}\right) + \Delta Q_o \quad (15)$$

提液后井底流压:

$$p_w^* = p_w - \frac{\Delta Q_o^* - \Delta Q_o}{N_d \times \sum_{i=1}^{n-1} J_{oi}} \quad (16)$$

提液后年控水收入:

$$R_{\text{控水}}^* = \frac{\Delta Q_o^* \times B}{10000} \quad (17)$$

提液后总增收入:

$$R_{\text{总}}^* = R_{\text{控水}}^* + R_{\text{补}} \quad (18)$$

式中: $Q_{Li}$ 为提液后总产液量, $\text{m}^3$ ;  $\beta$ 为提液比例,%;  $\Delta Q_o^*$ 为提液后总产液量, $\text{m}^3$ ;  $p_w^*$ 为提液后井底流压,

MPa;  $R_{\text{控水}}^*$  为提液后年控水收入, 万元;  $R_{\text{总}}^*$  为提液后总增收入, 万元。

### 3 实例分析

通过产液剖面对比, 验证产液剖面的预测准确性, 并进行了原产液水平和不同提液程度的多种方式下的增油效果分析和评价, 同时给出了高产水层的控液界限, 为油井控水提供了参考。

#### 3.1 产液剖面对比

已知某区块存在一口层间非均质突出、高含水现象严重的三层合采井, 该区块油藏压力为 10.22 MPa, 该井三层合采含水率 86%, 日产液 14.8 m<sup>3</sup>, 井所射孔各小层基本参数见表 1。

表 1 各小层基本参数

Table 1 Basic parameters of each small layer

层号	渗透率 / (10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> )	有效厚度/m	含水饱和度/%
S61	35.51	2.50	39.70
S62	1.79	2.00	14.96
S63	0.89	3.00	19.35

根据前面产液剖面预测法, 预测各小层日产量、含水率, 其中修正系数  $FW$  根据迭代验证, 最终  $FW$  取值 1.9, 预测结果见表 2。

表 2 产液剖面预测结果

Table 2 Production profile prediction results

层号	配液系数	日产液 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	配水系数	含水率/%
S61	0.59	8.74	1.09	92.88
S62	0.21	3.17	0.96	77.86
S63	0.20	2.89	0.94	73.87
合采	—	14.80	—	85.95

为验证算法合理性, 根据该井实际产液剖面进行理论与实际对比, 分析结果见表 3。

表 3 产液剖面预测应用误差分析

Table 3 Error analysis of the application of liquid production profile prediction

层号	实际日产液 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	产液误差 / %	实际含水率 / %	产水误差 / %
S61	8.66	0.89	93.35	0.50
S62	3.31	4.19	78.11	0.33
S63	2.83	2.15	72.76	1.53
合采	14.80	0.00	86.00	0.06

由表 3 可知, 该井产液平均误差为 2.41%、含水率平均误差为 0.79%, 新方法的应用可保证各层产液误差、产水误差均在 5% 以内, 合采误差均小于 1%。

#### 3.2 控水增油效果分析

根据表 1、3 分析, S61 层为中高渗、高含水层,

S62 层为低渗、高含水层, S63 层为特低渗、高含水层。为延长低含水采油期, 保证日产油量相对稳定, 按照前面控水增油原则, 降低 S61 层日产量 1 m<sup>3</sup>、2 m<sup>3</sup>、3 m<sup>3</sup>、4 m<sup>3</sup>、5 m<sup>3</sup>、6 m<sup>3</sup>、7 m<sup>3</sup>、8 m<sup>3</sup>, 得到单井日净增油、日净增水、增油减水比趋势图, 如图 1 所示。

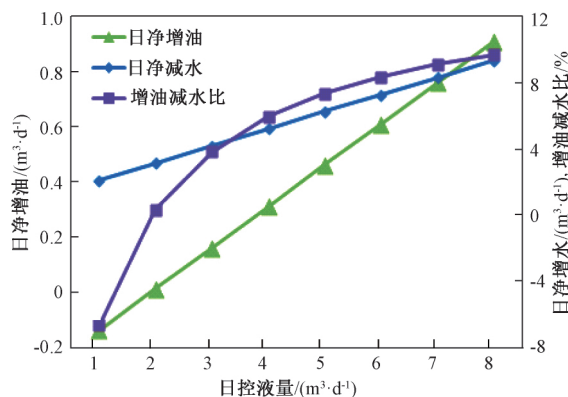


图 1 控水增油效果分析

Fig.1 Analysis of the effect of water control and increasing oil production

从图 1 控水增油效果趋势来看, 随 S61 层日产量降落幅度的增加, 单井净增油量和日净减水量呈不同程度的线性增加, 说明根据算法计算, 降低中高渗、高含水油层产液量, 可以起到控水增油的效果; 增油减水比 (即在不同控液量的情况下, 单井日增油量与日减水量之比) 呈类对数形式增加, 说明在高产水层控液量较低的情况下, 随控液量增大, 增油减水效果十分明显; 而当控液量达到临界值时, 增油减水效果不再显著, 反而趋于平缓。现取本例控液量临界值 (控液 5 m<sup>3</sup>/d), 并在此基础上进行提液增油效果分析 (表 4)。

表 4 控液量临界值量化结果

Table 4 Quantification results of liquid control threshold

层号	日控液量 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	降压 / MPa	日增油量 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	日净增油量 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )
S61	5.00	1.84	-0.24	
S62	-1.21	-4.10	0.94	0.46
S63	2.00	2.26	-0.23	

在此基础上设计提液增油方案, 设置提液比例 0、5%、10%、15%、20%、25%, 计算井底压力、年净增油量和总增收入, 结果如图 2 所示。

从图 2 提液增油效果趋势来看, 随提液幅度的增加, 控水提液后压力降落幅度较小, 当提液比例达到 25%, 井底压力降落 0.86 MPa, 但增油效果较为明显, 年净增油量达到 691.61 m<sup>3</sup>, 增幅 28.67%, 总增收入达 176.37 万元, 具有较高产值。

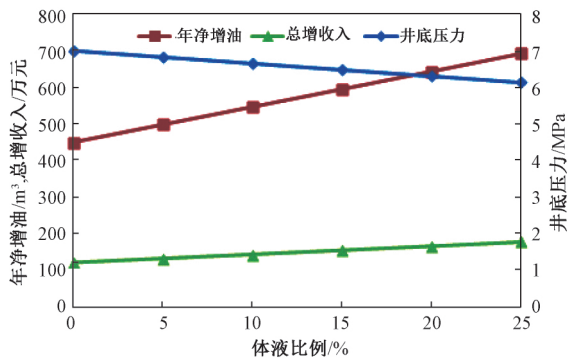


图2 提液增油效果分析

Fig.2 Analysis of the effect for increasing the liquid and oil production

## 4 结论

“产能剖面预测方法”和“控水效果量化方法”两种新方法,在理论研究和实际应用中都有较好的结果,方法适用性广、可靠性高、应用简单,能够有效预测分层合采井产液剖面,并从延长低含水采油期和提液增油两方面思考,能够为油田提供切实可行的控水提液方案,但在实际生产中,产液剖面除了与小层资料等有关外,各小层压力分布状况对产液剖面也有较大影响,本文的校正方法在实践中也存在一定的局限性,所以必须在仅有的资料下保证其适用性、可靠性和应用简单,需注意以下三方面内容:

(1)保证算法适用性广,不同区块小层物性差异明显,所以,针对不同区块,为确定小层配水修正系数  $FW$ ,需重新迭代验证。

(2)保证算法可靠性,需要提供详实、准确的分层合采井小层数据、生产动态资料、测压资料、措施论证资料,若利用误差较大的资料进行预测分析,结果会比实际偏差更大。

(3)保证算法应用简单,在预测产液剖面时,使用层内平均渗透率、厚度、含油饱和度加权的方式进行算法设计,忽略层内非均质对产液剖面的影响,造成理论与实际的偏差。

致谢:感谢中国石油大学(北京)研究生教改项目“《油气藏经营管理》实践教学方案设计”的支持。

### 参考文献

[1] 彭龙仕,乔兰,龚敏,等.煤层气井多层合采产能影响因素[J].煤炭学报,2014,39(10):2060-2067.  
PENG Longshi, QIAO Lan, GONG Min, et al. Factors affecting the production performance of coalbed methane wells with multiple-zone [J]. Journal of China Coal Society,

2014, 39(10):2060-2067.

[2] 杨学锋,刘义成,李进,等.两层组气藏分采、合采效果和开采方式优选[J].天然气工业,2012,32(1):57-60.  
YANG Xuefeng, LIU Yicheng, LI Jin, et al. Effect of separate layer recovery or multilayer commingled production and the optimal selection of development methods for two-layer gas reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(1):57-60.

[3] 李冰毅,李晓慧,汪洁.低孔低渗气藏多层合采开发模式下的产出特征研究[J].油气井测试,2017,26(2):20-22,32.  
LI Bingyi, LI Xiaohui, WANG Jie. Output characteristics research of commingling production model in low porosity and low permeability gas reservoir[J]. Well Testing, 2017, 26(2):20-22,32.

[4] 马勇,王华,刘玉伟,等.低渗油田中高含水期控水增油技术[J].能源化工,2017,38(4):37-41.  
MA Yong, WANG Hua, LIU Yuwei, et al. Water control and increasing production technology in medium high water cut stage in low permeability oilfield [J]. Energy Chemical Industry, 2017, 38(4):37-41.

[5] 李应美,王小静,陈彬.低渗砂岩油藏控水稳油技术及效果评价分析[J].中国石油和化工标准与质量,2017,37(8):107-108.  
LI Yingmei, WANG Xiaojing, CHEN Bin. Water control and oil stabilization technology in low permeability sandstone reservoir and its effect evaluation analysis [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2017, 37(8):107-108.

[6] 王庆,刘慧卿,殷方好.洛伦兹曲线在油藏产液、吸水剖面研究中的应用[J].特种油气藏,2010,17(1):71-74.  
WANG Qing, LIU Huiqing, YIN Fanghao. Application of Lorenz curve to the study of production profile and injection profile [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2010, 17(1):71-74.

[7] 王金兴,唐洛,曲天虹,等.产液剖面在特高含水生产井中的测井应用[J].石油地质与工程,2012,26(2):131-134.  
WANG Jinxing, TANG Luo, QU Tianhong, et al. The well logging application of liquid producing profile in the high water producing well [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012, 26(2):131-134.

[8] 崔传智,张继庆,杨勇,等.断块油藏典型井组特高含水期配产配注优化研究[J].科学技术与工程,2013,13(3):162-165.  
CUI Chuanzhi, ZHANG Jiqing, YANG Yong, et al. Optimization research on production and injection rate proration for typical well groups of fault block reservoir in extra high water cut stage [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(3):162-165.

[9] 徐昊洋,王燕声,牛润海,等.水平井连续油管输送存储式产液剖面测试技术应用[J].油气井测试,2014,23

- (3):46-48.  
 XU Haoyang, WANG Yansheng, NIU Runhai, et al. Application of memory fluid production profile testing technology conveyed by coiled tubing to horizontal well [J]. Well Testing, 2014, 23(3):46-48.
- [10] 郭正权.产液剖面测井在青海油田的应用及效果分析[J].石油天然气学报,2012,34(9):97-100.  
 GUO Zhengquan. Application of produced fluid profile logging in Qinghai oilfield and its effect analysis [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(9):97-100.
- [11] 杜四辈,刘强灸,雒文杰,等.低渗透油藏产液剖面测试技术评价及应用[J].石油化工应用,2018,37(1):87-90.  
 DU Sibe, LIU Qiangjiu, LUO Wenjie, et al. Evaluation and application of low permeability reservoir fluid producing profile test technology [J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(1):87-90.
- [12] 朱巍.产液剖面测井技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2014,34(3):67.  
 ZHU Wei. Research on the technique of producing liquid profile logging [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014, 34(3):67.
- [13] 姚华.特低产液井产出剖面分层测试技术的探讨[J].内蒙古石油化工,2014,40(2):95-97.  
 YAO Hua. Discussion on the separate-layer production profile test technology of ultra-low production liquid well [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40(2):95-97.
- [14] 崔国峰,张红玲,王建国,等.多层油藏产量劈分新方法及应用[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2014,16(1):81-84.  
 CUI Guofeng, ZHANG Hongling, WANG Jianguo, et al. The application of a new production division method for multilayer reservoirs [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2014, 16(1):81-84.
- [15] 王乔,喻高明,李坤,等.薄互层砂岩油藏劈产理论及新方法研究[J].吐哈油气,2011,16(4):368-373.  
 WANG Qiao, YU Gaoming, LI Kun, et al. Production split principles of thin interbedded sandstone reservoirs and a new method study [J]. Tuha Oil & Gas, 2011, 16(4):368-373.
- [16] 杨欢,喻高明,鄢宇杰,等.产量劈分模式数值模拟研究[J].油气地球物理,2011,9(1):31-33.  
 YANG Huan, YU Gaoming, YAN Yujie, et al. Numerical simulation research on production split method [J]. Petroleum Geophysics, 2011, 9(1):31-33.
- [17] 张继成,王潇悦.考虑含水饱和度的产量劈分方法及应用[J].浙江大学学报(理学版),2015,42(5):626-630.  
 ZHANG Jicheng, WANG Xiaoyue. The method of oil production splitting based on water saturation and its application [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2015, 42(5):626-630.
- [18] 李坤,喻高明,王乔,等.一种新的产量劈分方法[J].油气地球物理,2011,9(4):19-22.  
 LI Kun, YU Gaoming, WANG Qiao, et al. A new production split method [J]. Petroleum Geophysics, 2011, 9(4):19-22.
- [19] 侯春华,陈武,赵小军,等.油田注水开发经济评价方法研究[J].西南石油大学学报(社会科学版),2014,16(2):1-6.  
 HOU Chunhua, CHEN Wu, ZHAO Xiaojun, et al. A study on economic evaluation method of oilfield water flooding development [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Social Sciences Edition), 2014, 16(2):1-6.
- [20] 彭国鑫.基于油田开发的技术经济评价[J].油气田地面工程,2010,29(6):77-78.  
 PENG Guoxin. Technical and economic evaluation based on oilfield development [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2010, 29(6):77-78.

编辑 王军

第一作者简介:罗威,男,1993年出生,中国石油大学(北京)在读硕士,研究方向为油气田开发工程。电话:15600273255;Email:569248035@qq.com。通信地址:北京市昌平区府学路18号中国石油大学(北京),邮政编码:102249。