

# 大庆油田扶杨油层压后水性识别新方法

郭权

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:32599353@qq.com

引用:郭权. 大庆油田扶杨油层压后水性识别新方法[J]. 油气井测试, 2021, 30(5):55-60.

Cite: GUO Quan. A new method for water identification of Fuyang oil reservoir after formation in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(5):55-60.

**摘要** 大庆油田长垣扶杨油层试油压裂后,无法准确判别水性,不能对储层进行正确的认识和评价。通过计算扶杨油层储层出口端的含水率 $f_w$ 以及油水相对渗透率比值 $K_{ro}/K_{rw}$ 随试油试采时间的变化关系,判定储层是否产水,建立了大庆油田扶杨油层压裂后水性综合判别方法,并给出划分地层产出液性质的量化指标。利用试油试采生产数据,计算松辽盆地中央坳陷区扶杨油层 $K_{ro}/K_{rw}$ 及 $f_w$ 变化关系,判别其中9口井10层的地层出水规律,与试油试采结果符合率达90%。该方法可及时准确判断扶杨油层试油压裂后地层产水性质,对缩短试油排液求产周期,提高油田整体效益,具有一定现实意义。

**关键词** 扶杨油层;压裂;试油;相对渗透率;出口端含水率;水性判别;量化指标

**中图分类号**:TE133      **文献标识码**:B      **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.05.010

## A new method for water identification of Fuyang oil reservoir after formation in Daqing Oilfield

GUO Quan

Well Testing Branch, PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** After well test and fracturing of Fuyang reservoir in Changyuan, Daqing Oilfield, it is impossible to accurately distinguish the water property and correctly understand and evaluate the reservoir. By calculating the relationship between water cut ( $f_w$ ) and oil-water relative permeability ratio ( $K_{ro}/K_{rw}$ ) at the outlet of Fuyang reservoir with well test and production test time, it is determined whether the reservoir produces water. Therefore, the comprehensive discrimination method of water property after fracturing in Fuyang reservoir of Daqing Oilfield is established, and the quantitative index for dividing the properties of formation produced fluid is given. Using the production data of well test and production test, the variation relationship of  $K_{ro}/K_{rw}$  and  $f_w$  in Fuyang reservoir in the central depression of Songliao basin is calculated. The formation water production law of 10 reservoirs in 9 wells is distinguished by the modified method, and the coincidence rate with the results of well test and production test is 90%. This method can timely and accurately judge the formation water production properties after oil test and fracturing in Fuyang reservoir and has certain practical significance for shortening the production cycle of oil test and drainage and improving the overall benefit of the oilfield.

**Keywords:** Fuyang reservoir; fracturing; well test; relative permeability; moisture content at outlet end; water property discrimination; quantitative index

扶杨油层属于低孔低渗储层,自然产能低,大部分井需要进行压裂改造才能获得较高产量,压裂改造后返排能力差<sup>[1-2]</sup>。在试油期间,大多数井压裂液返排率仅在50%左右,压裂后返排液水样化验分析与区域标准水性相近<sup>[3]</sup>,测井、录井解释结果为不产水层<sup>[4]</sup>,压裂改造前试油基本不产水,但压裂改造后80%以上的井试油排液求产期间却一直有水产出。用以往常规的离子浓度方法、D函数方法、碘离子浓度等方法也很难判断地层是否产水<sup>[5-7]</sup>。若按照目

前的方法来判断,得有80%以上的层定为地层产水,这与测井、录井解释结果出现了很大的矛盾<sup>[8]</sup>。为解决这一矛盾,现场选择部分井靠延长排液时间、增大返排率来进一步认识水性<sup>[9]</sup>。通过近几年短期验证的10口井资料来看,在压裂后返排率达到100%以上时,储层产液量和水性仍然不变<sup>[10]</sup>;通过长期试采验证的11口井来看,有9口井试采期间始终产水,有2口井试采后期不产水<sup>[11]</sup>。从上述资料分析,仅从返排率达到100%以上再定地层产水,不完全科学合理。

因此,大庆油田扶杨油层压后判断地层是否产水,一直是令人困扰的难题<sup>[12]</sup>。

前苏联、美国、加拿大等国家研究了油田地层水的性质及分布规律,研究了油田水中的有机物特征,一般采用地层水中酚、苯、甲苯,以及脂肪酸的含量方法来识别地层水性<sup>[13-14]</sup>。近年来,国外学者和石油公司对地层水的研究多集中在地层水与油气成藏规律、压裂液对油藏低伤害等领域<sup>[15]</sup>。针对类似大庆探区这种低渗透薄互储层的压裂后水性判别问题,没有见到相关的研究。

国内在水性判别方面的研究成果主要是应用离子浓度方法、D函数方法等九十年代研究的方法,较大的化验室也有酚、苯、甲苯、脂肪酸含量测定方法,这些方法也不能满足低渗透油层试油后水性判别的需要。2001年,莫修文等<sup>[16]</sup>在两水模型的基础上,提出了新的地层出水理论模型——三水模型,把两水模型中的束缚水又分为不可动的黏土束缚水和在一定条件下可动部分,甚至全部参与流动的微孔隙水。但是,储层微孔隙水在什么条件下能够产出不得而知<sup>[17]</sup>,没有相关微孔隙水在压裂改造前后流动状态变化与储层产水关系问题方面的研究,而对其产出机理及产出特征更是没有深入的探讨<sup>[18]</sup>。

## 1 相对渗透率曲线

油水相对渗透率曲线形状能反映岩心中束缚水饱和度状态。图1是典型的高渗透率油层( $K = 1.314 \mu\text{m}^2$ )、低渗透率油层( $K = 20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )的相对渗透率曲线<sup>[19]</sup>。

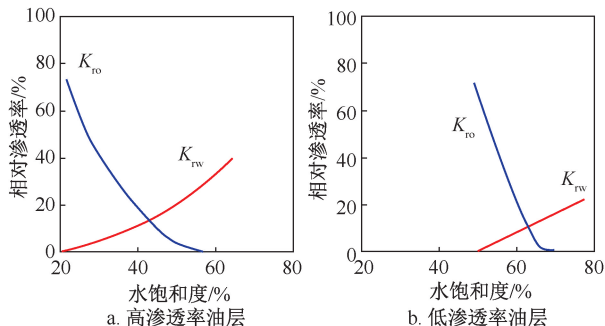


图1 高、低渗透率岩心相对渗透率曲线

Fig. 1 Relative permeability curve of cores with high and low permeability

由图1可见,对于高渗透率岩心的两相共渗区的范围大,束缚水饱和度低;低渗透率岩心的两相共渗区的范围小,束缚水饱和度高。

对于低渗透层,产量计算公式如下,即

$$Q_o = \frac{2\pi rhKK_{ro}}{B_o\mu_o} \frac{dp}{dr} \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{2\pi rhKK_{rw}}{B_w\mu_w} \frac{dp}{dr} \quad (2)$$

式中: $Q_o$ 为产油量, $\text{m}^3$ ; $Q_w$ 为产水量, $\text{m}^3$ ; $K_{ro}$ 、 $K_{rw}$ 分别为油相和水相相对渗透率, $\mu\text{m}^2$ ; $\mu_o$ 、 $\mu_w$ 分别为油、水黏度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ; $B_o$ 、 $B_w$ 分别为油、水体积系数,无量纲; $r$ 为油井半径, $\text{m}$ ; $h$ 为油层有效厚度, $\text{m}$ ; $K$ 为渗透率, $\mu\text{m}^2$ 。

因此,可以得到油、水相对渗透率,即

$$K_{ro} = \frac{Q_o B_o \mu_o}{2\pi rhK (dp/dr)} \quad (3)$$

$$K_{rw} = \frac{Q_w B_w \mu_w}{2\pi rhK (dp/dr)} \quad (4)$$

图2为相对渗透率比值与含水饱和度的关系曲线(其他油层亦适用)。可以看出,随着油、水相对渗透率比值的下降,含水饱和度是增加的。

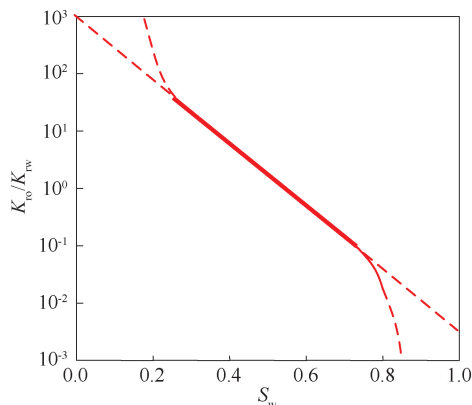


图2 相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线  
Fig. 2 Relationship between relative permeability ratio and water saturation

## 2 地层出口端含水率

通过(1)~(4)式,可以得到油水两相相对渗透率比值,其关系式为

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = \frac{\mu_o B_o}{\mu_w B_w (Q_w/Q_o)} \quad (5)$$

储层出口端含水率与地面生产含水率(分流率)有下列关系,即

$$f_{ws} = 1 / \left[ 1 + \frac{B_w}{B_o} \left( \frac{1}{f_w} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

式中: $f_{ws}$ 为地面生产含水率,%; $f_w$ 为储层出口端(地下)含水率,%。

利用试油期间的产油量、产水量,可以得到油水相对渗透率比值和储层出口端含水率与时间的

变化关系<sup>[20]</sup>。

### 3 扶杨油层试油试采曲线分析

根据试油试采产油、产水数据,利用(5)式、(6)式,可计算扶杨油层储层出口端含水率 $f_w$ ,以及 $K_{ro}/K_{rw}$ 随试油试采时间的变化情况。

#### 3.1 A 井试油试采曲线分析

A 井是松辽盆地中央坳陷区大庆油田长垣杏树岗构造上的一口预探井。对扶扬油层 76、78、79 和 81~84、87 及 88 号层,井段 1 525.0~1 634.0 m,厚度 17.2 m,采用限流压裂和普通压裂工艺施工。经压裂后抽汲求产,日产油 5.55 t,试油结论为工业油层。表 1 为 A 井压裂排液求产数据。通过日产油和日产水量计算储层出口端含水率 $f_w$ ,以及 $K_{ro}/K_{rw}$ (表中 $t$ 为累计时间)。

表 1 A 井压裂排液求产数据

Table 1 Fracturing drainage production data of Well A

$t/h$	$Q_o/(m^3 \cdot d^{-1})$	$Q_w/(m^3 \cdot d^{-1})$	$Q_w/Q_o$	$B_o$	$B_w$	$f_w/\%$	$K_{ro}/K_{rw}$
13.0	7.01	4.67	0.67	1.12	1.00	37.72	10.80
17.3	6.08	2.67	0.44	1.12	1.00	28.53	16.39
22.0	6.51	2.77	0.43	1.12	1.00	27.89	16.91
28.0	6.40	1.60	0.25	1.12	1.00	18.52	28.79
34.0	6.56	1.52	0.23	1.12	1.00	17.40	31.06
40.0	6.48	1.44	0.22	1.12	1.00	16.81	32.39
46.0	6.64	1.28	0.19	1.12	1.00	14.91	37.33
52.0	6.72	1.12	0.17	1.12	1.00	13.16	43.18
58.0	6.56	1.20	0.18	1.12	1.00	14.26	39.34
64.0	6.48	1.28	0.20	1.12	1.00	15.22	36.43
70.0	6.56	1.20	0.18	1.12	1.00	14.26	39.34
76.0	6.40	1.12	0.18	1.12	1.00	13.73	41.12
82.0	6.48	1.20	0.19	1.12	1.00	14.41	38.86
88.0	6.48	1.20	0.19	1.12	1.00	14.41	38.86
94.0	6.40	1.12	0.18	1.12	1.00	13.73	41.13
100.0	6.40	1.12	0.18	1.12	1.00	13.73	41.13
106.0	6.06	1.18	0.19	1.12	1.00	15.04	36.96
112.0	7.07	1.22	0.17	1.12	1.00	13.56	41.71
118.0	6.48	1.12	0.17	1.12	1.00	13.58	41.64
124.0	6.40	1.12	0.18	1.12	1.00	13.73	41.13
130.0	6.48	1.12	0.17	1.12	1.00	13.58	41.64
136.0	6.48	1.04	0.16	1.12	1.00	12.73	44.84
142.0	6.40	1.04	0.16	1.12	1.00	12.87	44.29
148.0	6.40	1.04	0.16	1.12	1.00	12.87	44.29
154.0	6.40	1.04	0.16	1.12	1.00	12.87	44.29

图 3 所示为试油期间 A 井 $K_{ro}/K_{rw}$ 和储层出口端含水率 $f_w$ 与时间的关系曲线。可以看出,试油期间相对渗透率比值 $K_{ro}/K_{rw}$ 逐渐增加,说明含水饱和度逐渐减小,油相流动能力增大,水量逐渐减小;同时,储层出口端含水率 $f_w$ 也逐渐减小,后期平均含

水率为 14.3%,说明地层产出液主要为油。A 井试油结论为中产工业油层,与判断结果一致。

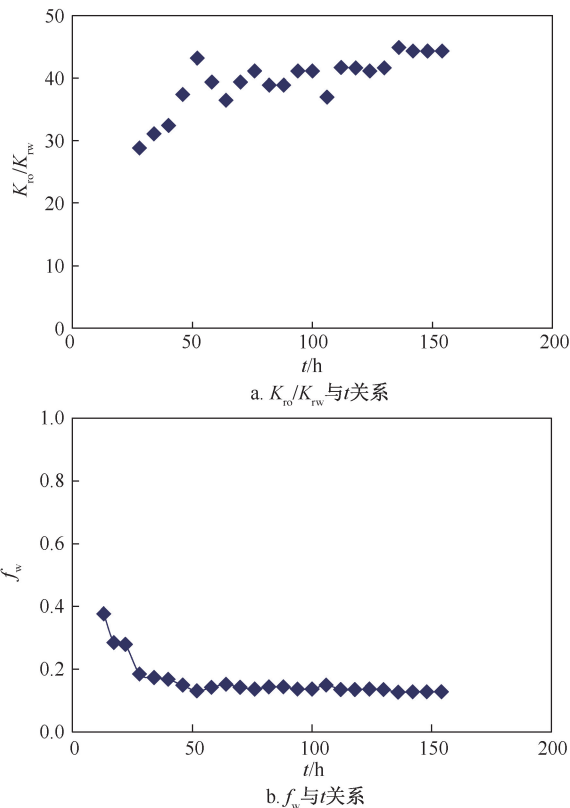
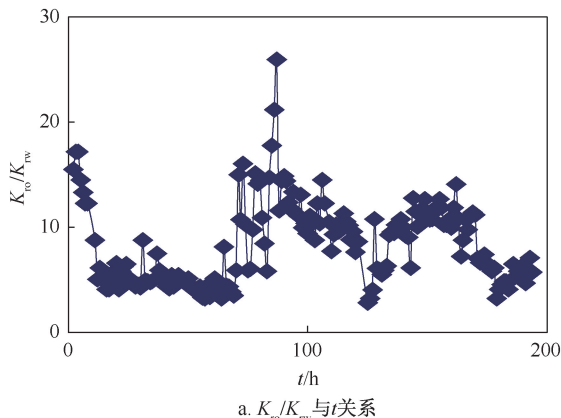


图 3 试油期间 A 井油水相对渗透率比值和含水率与时间关系曲线

Fig. 3 Relationship curve between oil-water relative permeability ratio, water cut and time of Well A during oil test

图 4 所示为试采期间 A 井 $K_{ro}/K_{rw}$ 和储层出口端含水率 $f_w$ 与时间的关系曲线。可以看出,试采期间相对渗透率比值 $K_{ro}/K_{rw}$ 逐渐减少,说明含水饱和度逐渐增加;同时,储层出口端的含水率 $f_w$ 也逐渐减小,后期平均含水率为 55%,说明地层产出液为油和水。A 井试采结论为油水同层,与判断结果一致。



a.  $K_{ro}/K_{rw}$ 与 $t$ 关系

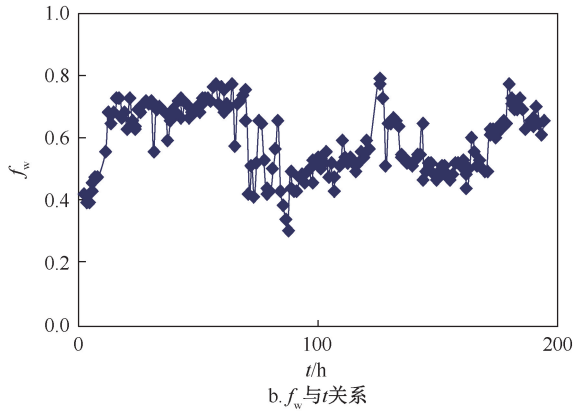


图4 试采期间A井油水相对渗透率比值和含水率与时间关系曲线

Fig. 4 Relationship curve between oil-water relative permeability ratio, water cut and time of Well A during the pre-production

本井试油试采结论不一致。分析认为, A井试油试采层位是扶扬油层76、78、79和81~84、87及88号层。由测井、录井资料可知, 该井扶扬油层71、72、85和93、94号层解释均为水层, 经过长期试采, 井筒远处地层可能连通, 由外来地层水供给。

### 3.2 B井试油试采曲线分析

B井是松辽盆地中央坳陷区大庆油田长垣葡萄构造的一口预探井。对扶扬油层8、10、12和14号层, 井段1 513.0~1 427.6 m, 厚度18.2 m进行压裂改造。压后抽汲排液求产, 日产油7.016 t, 试油结论为工业油层。图5和图6为试油期间B井 $K_{ro}/K_{rw}$ 和储层出口端含水率 $f_w$ 与时间的关系曲线。可以看出, 试油期间相对渗透率比值 $K_{ro}/K_{rw}$ 逐渐增加, 说明含水饱和度逐渐减小, 油相流动能力增大, 水量逐渐减小; 同时, 储层出口端含水率 $f_w$ 也逐渐减小。后期平均含水率为16%, 说明地层产出液主要为油。B井试油结论为工业油层, 与判断结果相符。继续跟踪B井长期试采数据, 通过试采期间 $K_{ro}/K_{rw}$ 和储层出口端含水率 $f_w$ 与时间的关系曲线可以看出, 试采期间相对渗透率比值 $K_{ro}/K_{rw}$ 逐渐增加, 说明含水饱和度逐渐减小, 油相流动能力增大, 水量逐渐减小; 同时, 储层出口端含水率 $f_w$ 也逐渐减小, 后期平均含水率为9%, 说明地层产出液主要为油。B井试采结论为纯油层, 与判断结果一致。

利用试油试采生产数据, 计算了 $K_{ro}/K_{rw}$ 和 $f_w$ 变化关系, 判别了扶扬油层9口井10层的地层出水规律。而试油试采结果与判断结果相符的有9层, 符合率90%, 见表2。

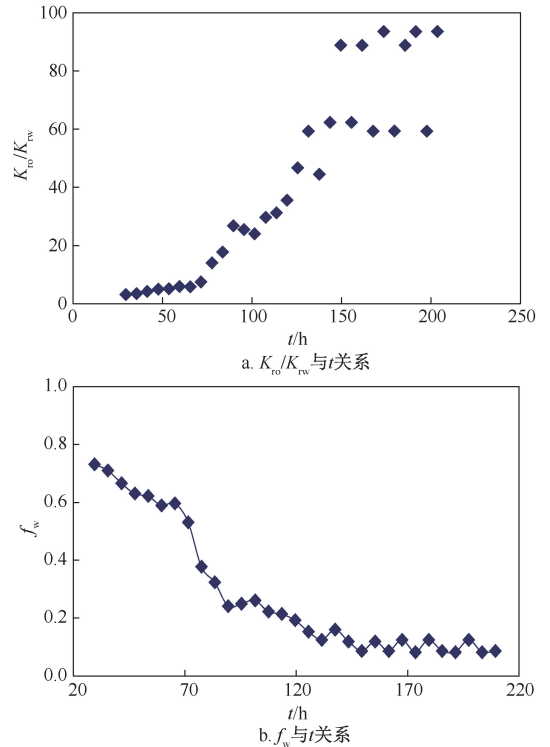


图5 试油期间B井油水相对渗透率比值和含水率与时间关系曲线

Fig. 5 Relationship curve between oil-water relative permeability ratio, water cut and time of Well B during oil test

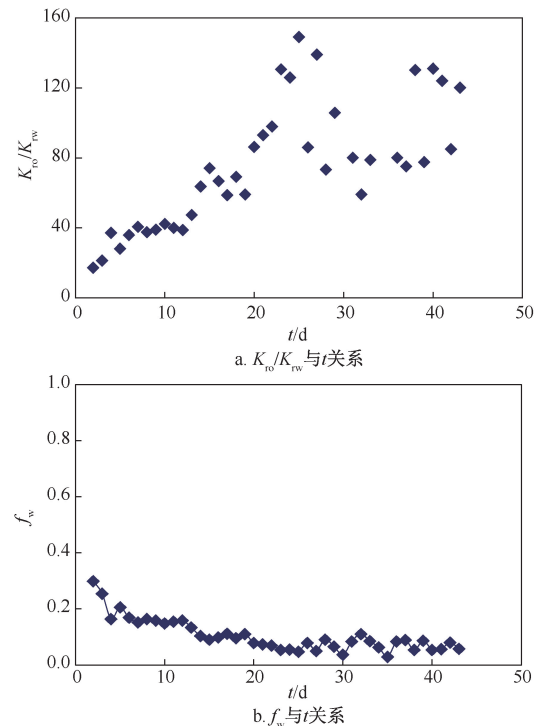


图6 试采期间B井油水相对渗透率比值和含水率与时间关系曲线

Fig. 6 Relationship curve between oil-water relative permeability ratio, water cut and time of Well B during the pre-production

表2 扶杨油层试油试采期间出水规律汇总表

Table 2 Summary of water production law during well test and production test of Fuyang reservoir

井号	层位	试油			是否相符	试采			是否相符
		$f_w/\%$	判断结果	结论		$f_w/\%$	判断结果	结论	
D	F	87.0	油水同层	低产油水层	是	92.0	油水同层	油水同层	是
C	F	89.0	油水同层	低产油水层	是	75.0	油水同层	油水同层	是
E	F	4.3	油层	中产工业油层	是	2.0	油层	纯油层	是
F	F	3.5	油层	中产工业油层	是	2.0	油层	纯油层	是
G	F	37.0	油层	低产油层	是	7.0	油层	纯油层	是
H	F	17.6	油层	工业油层	是	13.0	油层	纯油层	是
B	F	16.0	油层	工业油层	是	9.0	油层	纯油层	是
I	F	15.0	油层	工业油层	是	28.0	油层	纯油层	是
A	F	14.3	油层	中产工业油层	是	55.0	油水同层	油水同层	是
P	F	13.0	油层	含水工业油层	否	13.0	油层	油水同层	否

## 4 结论

(1)建立了大庆油田扶杨油层压裂后水性综合判别方法,并给出了量化指标:① $K_{ro}/K_{rw}$  随时间逐渐增大,说明 $S_w$  逐渐减小,油层中没有外来地层水;同时,储层出口端含水率 $f_w$  也逐渐减小,后期储层出口端平均含水率 $f_w < 50\%$ ,说明地层产出液主要为油,可判定为油层。② $K_{ro}/K_{rw}$  随时间逐渐减小,说明 $S_w$  逐渐增加,油层中有外来地层水;同时,储层出口端含水率 $f_w$  也逐渐增大,后期储层出口端平均含水率 $f_w > 50\%$ ,说明地层产出液为油和水,可判定为油水同层。

(2)依据此判别方法,可及时准确地判断扶杨油层试油压裂后地层是否产水,对缩短试油排液求产周期,提高油田整体效益,具有重要的意义。

致谢:感谢大庆油田程晓刚、刘刚两位老总指导。

### 参考文献

- [1] 张鹏,焦煦,崔振锚,等. 可溶解滑套分层压裂技术[J]. 油气井测试,2020,29(6):45-49.  
ZHANG Peng, JIAO Xu, CUI Zhenmao, et al. Separate layer fracturing technology with dissolvable sliding sleeve [J]. Well Testing, 2020,29(6):45-49.
- [2] 韩红旭,贾建鹏,白建文,等. 苏里格气田快速排液技术[J]. 油气井测试,2020,29(1):35-42.  
HAN Hongxu, JIA Jianpeng, BAI Jianwen, et al. Rapid drainage technology in Sulige gas field [J]. Well Testing, 2020,29(1):35-42.
- [3] 刘义坤,王发现,王凤祥,等. 压裂后储层产水的判别方法[J]. 大庆石油学院学报,2000,24(1):79-81.  
LIU Yikun, WANG Faxian, WANG Fengxiang, et al. A method for determining produced water of reservoir after fracturing [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2000,24(1):79-81.
- [4] 郭松梅,王庆杰. 油水同层解释标准及储层参数研究

[J]. 大庆石油地质与开发,2006,25(S1):27-28.

GUO Songmei, WANG Qingjie. Study on interpretation criteria for oil-water bearing zones and reservoir parameters [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006,25(S1):27-28.

- [5] 黄福堂,谭伟,冯子辉. 松辽盆地北部地层水的物理化学性质和特征[J]. 大庆石油地质与开发,1997,16(3):22-25.

HUANG Futang, TAN Wei, FENG Zihui. Physicochemical properties and characteristics of the formation water in the northern part of Songliao basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1997,16(3):22-25.

- [6] 黄福堂,蒋宗乐,刘金发. 压裂返排过程中地层水与压裂液的判别方法研究[J]. 石油勘探与开发,1994,21(3):70-74.

HUANG Futang, JIANG Zongle, LIU Jinfa. A study of the techniques of identifications of fracturing fluids and formation fluids in the back flow in a fracturing job [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994,21(3):70-74.

- [7] 李晶华,姜士洪,王彦芳. 新民、新庙地区扶余油层地层水判别方法[J]. 油气井测试,1997,6(1):51-53.

LI Jinghua, JIANG Shihong, WANG Yanfang. Formation water recognizing method for Xinmin & Xinmiao region in Fuyu reservoir [J]. Well Testing, 1997,6(1):51-53.

- [8] 姜林,宋岩,查明,等. 准噶尔盆地莫索湾地区地层水研究[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):72-77.

JIANG Lin, SONG Yan, ZHA Ming, et al. Study on formation water in Mosuowan area of the Jungger basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008,29(1):72-77.

- [9] 赵文革,黄薇,林景晔,等. 大庆长垣西侧扶杨油层油水同层形成及识别[J]. 石油实验地质,2006,28(5):472-475.

ZHAO Wenge, HUANG Wei, LIN Jingye, et al. Formation and identification of the oil water intervals in Fuyu-Yangdachengzi pay zone in the west of Daqing placanticline [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006,28(5):472-475.

- [10] 李明,罗凯声. 地层水资料在油气勘探中的应用[J]. 新疆地质,2004,22(3):304-307.  
LI Ming, LUO Kaisheng. Application of formation water information in oil & gas exploration [J]. Xinjiang Geology, 2004,22(3):304-307.
- [11] 牛丽娟,张松革,夏明铮. 压裂后产水层的压裂前预测[J]. 油气井测试,2007,16(2):27-31.  
NIU Lijuan, ZHANG SongGe, XIA Mingzheng. A forecast at Pre-fracture for producing water layer at postfrac [J]. Well Testing, 2007,16(2):27-31.
- [12] 方明. 地层压裂后出水的判断方法及原因分析[J]. 油气井测试,2015,24(5):36-38.  
FANG Ming. Judging method of water production at postfrac and reason analysis [J]. Well Testing, 2015,24(5):36-38.
- [13] 陈传平,梅博文,曹亚澄. 地层水中无机化合物氮同位素测定方法初步研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(4):433-434.  
CHEN Chuanping, MEI Bowen, CAO Yacheng. Preliminary study on the determination method of Nitrogen isotope of inorganic compounds in formation water [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2005, 27(4):433-434.
- [14] 潘文蕾,梁舒,刘光祥,等. 地层水中微量有机质分析及应用——以川东、川东北区油气保存条件研究为例[J]. 石油实验地质,2003,25(S1):590-594.  
PAN Wenlei, LIANG Shu, LIU Guangxiang, et al. Analysis and its application of trace organic matter in formation water——Exemplified by study of preservation condition of oil-gas in east-northeast Sichuan basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003,25(S1):590-594.
- [15] 蒋国斌,才庆,杨景海,等. 基于大规模多段压裂水平井返排数据的压裂效果评价方法[J]. 油气井测试,2019,28(2):14-19.  
JIANG Guobin, CAI Qing, YANG Jinghai, et al. Fracturing effect evaluation method based on flowback data of horizontal well with large-scale multi-stage fracturing [J]. Well Testing, 2019,28(2):14-19.
- [16] 莫修文,贺铎华,李舟波,等. 三水导电模型及其在低阻储层解释中的应用[J]. 长春科技大学学报(地球科学版),2001,31(1):92-95.  
MO Xiuwen, HE Duohua, LI Zhoubo, et al. The application of three-water conduction model in the interpretation of low-resistivity reservoir [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Earth Science Edition), 2001,31(1):92-95.
- [17] 李颖,王经明,蔡东红. 蚌埠隆起北翼陷落柱的发育规律及其导水性判别——以刘桥一矿为例[J]. 煤田地质与勘探,2005,33(S1):211-214.  
LI Ying, WANG Jingming, CAI Donghong. The distribution and water conductivity distinguish of Karst collapse columns at north limb of Bengbu uplift: A case study in No.1 Liuqiao coal mine [J]. Coal Geology & Exploration, 2005,33(S1):211-214.
- [18] 夏丹,杨庆杰,吴海波,等. 大庆长垣扶杨油层试油产能预测方法[J]. 大庆石油地质与开发,2010,29(4):119-124.  
XIA Dan, YANG Qingjie, WU Haibo, et al. Forecast method of producing test productivity of Fuyang oil layers in Daqing placanticline [J]. Petroleum Geology and Development in Daqing, 2010,29(4):119-124.
- [19] 周德志. 束缚水饱和度与临界水饱和度及之间关系的研究[J]. 油气地质与采收率,2006,13(6):81-83.  
ZHOU Dezhi. Study of the relation between immobile water saturation and critical water saturation [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006,13(6):81-83.
- [20] 朱光亚,刘先贵,高树生,等. 低渗透气藏气水两相渗流模型及其产能分析[J]. 天然气工业,2009,29(9):67-70.  
ZHU Guangya, LIU Xiangui, GAO Shusheng, et al. A gas-water two-phase flow model for low permeability gas reservoirs and deliverability analysis thereof [J]. Natural Gas Industry, 2009,29(9):67-70.

编辑 王军

第一作者简介:郭权,男,1978年出生,高级工程师,2002年毕业于大庆石油学院石油工程专业,现主要从事试油资料验收及试井解释工作。电话:0459-5684899; Email:32599353@qq.com。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区乘南十八街大庆油田有限责任公司试油试采分公司地质大队,邮政编码:163412。