

# 海上探井短时试井资料快速解释方法

石俊

新疆科技学院化学化工学院 新疆库尔勒 841000

通讯作者:Email:1243108362@qq.com

引用:石俊. 海上探井短时试井资料快速解释方法[J]. 油气井测试, 2022, 31(4): 74-78.

Cite: SHI Jun. A fast interpretation method for short term well test data of offshore exploration wells [J]. Well Testing, 2022, 31(4): 74-78.

**摘要** 为对海上探井短时试井资料进行快速合理解释,判断储层性质,以W探井为例,对快速解释方法进行了分析。作业现场进行短时产能试井分析时,暂不考虑产能修正问题,只给出储层定性结果;作业现场不稳定试井分析时,利用地质资料选择分析模型,并与双对数曲线解释结果进行对比,以加快解释速度、准确判断储层性质。依据该解释方法将W探井测试层定性为高产高渗无污染储层,采用“油藏模型+井储+表皮模型+三边不渗透外边界”模型进行试井解释,解释得出三个断层与W井的距离,与地质构造图结果符合度很高,验证了模型选择和解释结果的准确性。该方法满足海上快速获取解释结果的需要,具有一定的适用性。

**关键词** 短时试井; 产能试井; 不稳定试井; 快速评价; 断层判断; 解释模型; 海上油气田; 探井

**中图分类号**: TE353      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.04.013

## A fast interpretation method for short term well test data of offshore exploration wells

SHI Jun

*College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang University of Science & Technology, Korla, Xinjiang 841000, China*

**Abstract:** To quickly and reasonably interpret the short-term well test data of offshore exploration well and judge the reservoir property, this paper takes exploration well W as an example to analyze the fast interpretation method. When the short-term productivity test analysis is carried out in the operation site, the productivity correction problem is not considered temporarily, and only the qualitative results of the reservoir are given; When analyzing the unstable well test data in the operation site, the analysis model is selected by using the geological data and compared with the interpretation results of the double logarithmic curve, so as to speed up the interpretation speed and accurately judge the reservoir properties. According to the interpretation method, the test layer of exploration well W is identified as a high-yield, high permeability and pollution-free reservoir, and the well test interpretation is carried out by using the “reservoir model + well storage + skin model + trilateral impermeable outer boundary” model. The distance between three faults and well W is obtained by interpretation, which is highly consistent with the results of geological structure map and verifies the accuracy of model selection and interpretation results. This method meets the needs of obtaining interpretation results quickly at sea, and has certain applicability.

**Keywords:** short-time well test; productivity well test; unstable well test; quick evaluation; fault judgment; explanatory model; offshore oil and gas fields; exploratory well

海洋钻井平台作业日费高,作业条件复杂,使得各项工程施工时间较陆地而言大大缩短,试井亦是如此。为了控制日费成本,减小施工风险,海上试井大都是短时试井,也要求在短时间内对试井资料进行合理解释。

试井可分为产能试井与不稳定试井,产能试井的主要用途是根据试井资料获取产能分析曲线,进而得出产能方程,然后确定生产能力及合理的工作制度<sup>[1]</sup>;不稳定试井的主要用途是根据压力资料绘制压

力与压力导数曲线,然后分析储层类型,评价储层性质,计算储层污染程度等<sup>[2]</sup>。海上探井短时试井与常规试井的不同点在于两点:一是稳产时间极短,甚至不能达到稳产状态,产能试井资料并不详细;二是压力恢复时间很短,井底压力有时恢复不到地层压力,而且时间过短会导致解释结果完全错误<sup>[3]</sup>。这就使得短时试井解释与常规解释有所区别。

在产能评价方面,张利军等<sup>[4]</sup>、邓琪等<sup>[5]</sup>针对海上断块油田水平井,以及测试井出砂,试井曲线出现

径向复合特征,产能未达到稳定状态、测试初期产能曲线难以准确校正等问题进行了研究,提出利用产能校正系数来确定稳产产能的方法,取得了很好的效果,但是前者针对直井并未研究。罗宪波等<sup>[6]</sup>认为,海上测试时间太短,导致对产量的计算偏大,他给出了依照邻井稳产产能进行修正评价的经验方法,但是对于新区块,该方法无法使用。在不稳定试井评价方面,盛志超等<sup>[7]</sup>、任超群等<sup>[8]</sup>、张利军等<sup>[9]</sup>针对测试时间短的问题,提出可以利用反褶积算法结合多次关井压力恢复曲线来判断储层性质的方法,特别是对于判断断层边界、边底水距离、识别微小断层等获得较好的应用效果。魏聪等<sup>[10]</sup>将该方法应用于陆地常规试井,并得出反褶积方法适合于低渗透油气藏的结论。因此,在新区块探井短时试井产能解释方面,目前看来并没很好的处理办法;在不稳定试井解释方面则主要依靠反褶积算法来处理压力恢复曲线。针对海上试井资料解释条件不足与施工时间紧迫性问题,往往需要简化解释过程,以期达到及时且合理的结果,而这个解释过程撰写较少。

针对此情况,以南海 W 探井短时试井资料为例,分析短时试井资料在认识储层性质和地层情况中的作用。W 探井所在区块作为新开发区块,试井解释主要集中于产能评价和储层条件和性质认识方面。

## 1 产能试井分析

通过在地面油嘴管汇处调节油嘴大小来改变生产制度(产能),同时井底压力也发生变化。此时,一个生产压差下对应一个产能,可做出产能-压差关系曲线,进而来研究产能变化趋势,为油田开发方案的制定提供指导<sup>[11-12]</sup>。对于 W 井而言,测试数据见表 1。

表 1 W 井某测试层位产量测试数据

Table 1 Production test data of one test layer for Well W

测试层厚/ m	油嘴/ mm	井底流压/ MPa	关井压力/ MPa	产量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	生产压差/ MPa
15	4.76	18.127	18.44	60.9	0.313
	7.94	17.462		181.3	0.978
	11.11	16.869		327.1	1.571
	14.30	15.907		468.3	2.533

按照张利军等<sup>[4]</sup>的观点,此产量相比于后期稳产产量是偏大的,应该对其进行修正。但在李波等<sup>[13]</sup>的统计中,渤海某区块不同井的短期试井产能比值在 0.4~1.0 之间,即修正系数波动幅度很大。对于没有任何参考的新区快,更难对修正系数进行取值,为了尽快获得探井产量,在此不考虑产能修正问题。

将表 1 中产量与生产压差绘制成流入动态曲线,如图 1 所示。图中拟合出的关系式为生产压差与产量对应关系,直线的斜率为采油指数。可由此计算出米采油指数<sup>[14]</sup>,即

$$J_m = \frac{J}{h} = \frac{q_o}{(p_i - p_{wf})h} \quad (1)$$

式中: $J_m$  为米采油指数,  $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ ;  $J$  为采油指数,  $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ ;  $q_o$  为日产油量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $p_i$  为地层压力, MPa;  $p_{wf}$  为井底流压, MPa。

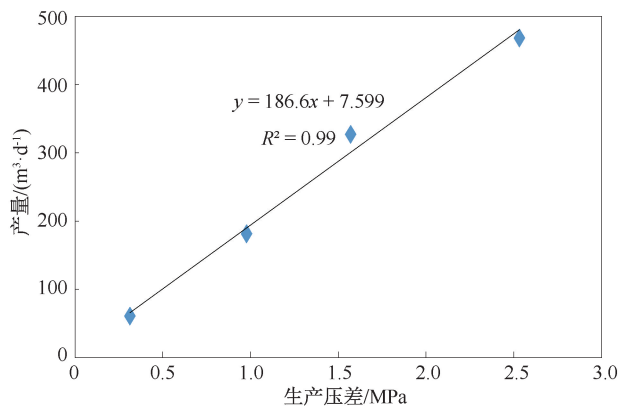


图 1 W 井产量与生产压差关系曲线

Fig. 1 Relationship curve of production rate and production pressure difference for Well W

将已知参数代入(1)式,得出米采油指数为  $12.446 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ ,从而判断该油层为高产油层,从单井产量上考虑,该油层具有开采价值。

图 1 的一个重要意义是可以根据单井控制可采储量与计划开采年限来制定开采计划,包括日产量与生产压差(即油嘴大小)。

假定本井控制可采储量为  $5.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,计划生产年限为  $N$  年( $N$  为 2~8),即可计算出日产油量。然后,根据图 1 中拟合得到的直线关系式,可以求出生产压差(图 2),进而选择油嘴大小。

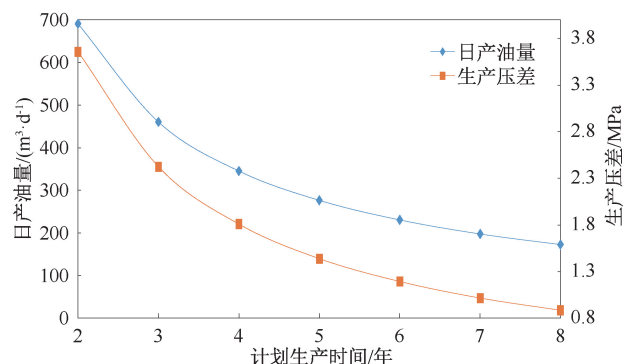


图 2 W 井不同计划生产时间下的产量与压差变化曲线

Fig. 2 Relationship curve of production rate and production pressure difference during different production time for Well W

由于油嘴尺寸已定为给定值,可以根据不同油嘴尺寸下的生产压差计算日产油量和可开发时间。例如在 11.11 mm 油嘴下的生产压差为 1.571 MPa,此时对应的日产油量为 300.9 m<sup>3</sup>/d,可开采时间为 4.55 a。

## 2 不稳定试井分析

不稳定试井是通过地面开关井控制井底压力波动,使得储层中压力重新分布,同时压力计测得井底压力的变化。由于压力重新分布与储层物性相关,因此测得的井底压力可反应储层物性与边界模型<sup>[15-16]</sup>。

### 2.1 压力测试资料的处理

W 井某测试层井底压力与地面产量结果如图 3 所示。在二开二关阶段,开井压降与关井压力恢复时间段比三开三关长很多,测试数据更加可靠,可分析性更强。因此,后续分析中以二关压力恢复为分析对象,三关压力恢复阶段可以用来辅助对比分析。图 3 中外推压力是指利用二关压力曲线进行试井解释后的反演地层压力,与一关地层压力恢复值能精确匹配。

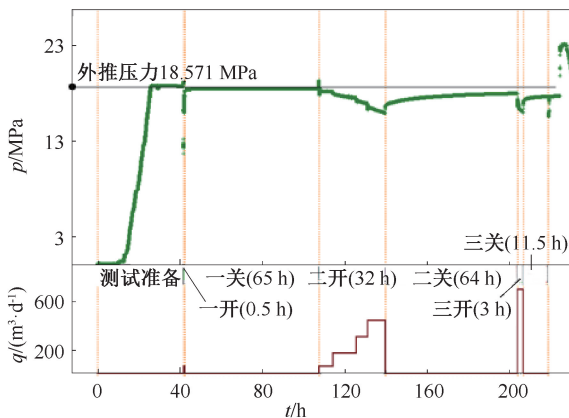


图 3 W 井实测压力检验图

Fig. 3 Checking figure of measured pressure for Well W

### 2.2 半对数压力曲线分析

在海上试井现场长时间定产量测试压降较少,一般都是较长时间关井来进行压力恢复,以此进行压力变化分析。如图 4 所示,测试井生产到  $t_p$  时刻后关井,压力逐渐恢复,井底压力随时间变化关系式为

$$\begin{aligned} p_{ws} &= p_i - \frac{2.12 \times 10^{-3} q \mu B}{Kh} \lg \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \\ &= p_i - m \lg \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $p_{ws}$  为井底压力,MPa; $p_i$  为地层压力,MPa; $q$  为平均产量,m<sup>3</sup>/d; $\mu$  为原油黏度,mPa·s; $B$  为原油体积系数; $K$  为地层渗透率,D; $h$  为测试层厚度,m; $t_p$  为开井时间,h; $\Delta t$  为关井时间,h。

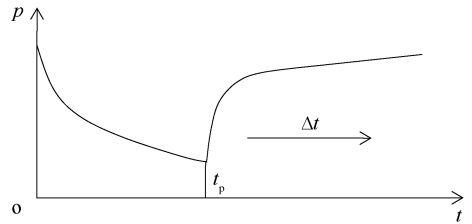


图 4 压力恢复趋势示意图

Fig. 4 Diagram of pressure build-up trend

井底压力与时间对数呈正比关系。做出其关系曲线(半对数曲线)之后(图 5),通过曲线的斜率即可计算储层渗透率。此渗透率是储层平均渗透率,与测井解释出的井筒附近储层渗透率有所差异。同时,也可以根据压降公式求取出表皮系数  $S$ <sup>[17]</sup>,即

$$\begin{aligned} S &= 1.151 \left[ \frac{p_{ws}(\Delta t = 1) - p_{ws}(\Delta t = 0)}{m} - \right. \\ &\quad \left. \lg \frac{K}{\phi \mu C_i r_w^2} - 0.9077 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $S$  为表皮系数; $m$  为直线段斜率; $\phi$  为孔隙度; $r_w$  为井径,m; $C_i$  为综合压缩系数,MPa<sup>-1</sup>。

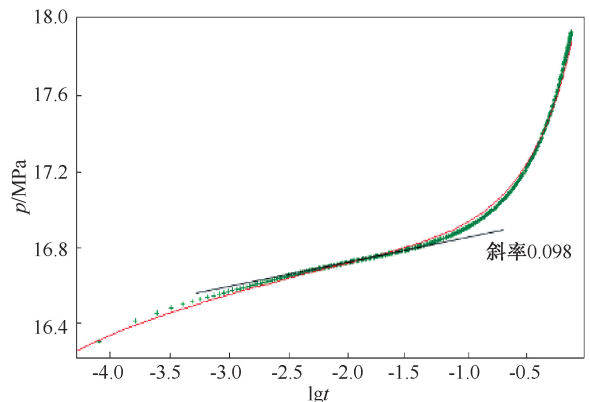


图 5 W 井压力半对数拟合曲线

Fig. 5 Pressure semi-log matching curve of Well W

由图 5 可见,中间段为径向流直线段,斜率为 0.098,即(2)式中的  $m$  为 0.098。同时, $q$  为 254.8 m<sup>3</sup>/d, $\mu$  为 0.841 3 mPa·s, $B$  为 1.18, $h$  为 15 m。可通过(2)式计算出渗透率  $K$  为 0.356 D。在得到渗透率的基础上,通过(3)式,可以计算出表皮系数为 -0.6。

需要说明的是, $\mu$  与  $B$  为现场实测值, $h$  为测井解释值, $q$  为总产量与总生产时间的比值。按照文

献[6]和文献[14]的结论,这里取的 $q$ 值必定偏大。实际渗透率应该为计算值的60%~80%。即便如此,该测试层也为高渗层。

### 2.3 双对数压力曲线分析

双对数压力曲线包括压力~时间双对数关系曲线和压力导数~时间双对数关系曲线。结合这两种曲线,可以综合判断储层是均质或者是双重介质油藏<sup>[18-19]</sup>。同时,也可以判断油藏外边界是直线断层,夹角断层,平行断层,三条断层,还是矩形封闭断层,或者是圆形封闭断层<sup>[20-21]</sup>,这对于油藏开发部署,以及钻井设计有十分重要的指导作用。

从压力对数曲线与压力导数对数曲线中可以看出(见图6),曲线上明显缺乏井筒储集阶段的反映。在压力导数对数曲线上,中期平稳,后期明显上翘,这说明存在不渗透边界或者断层。根据文献[2]可以得出W井周围断层数量。

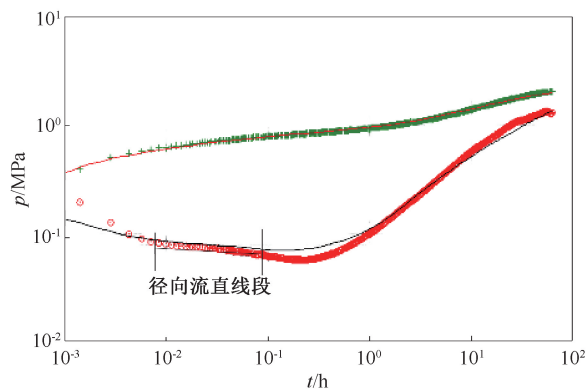


图6 W井压力及其导数双对数拟合曲线

Fig. 6 Matching curves of pressure and pressure derivative of Well W

从图6可以看出,压力导数对数曲线中存在一个常数值段,而且后期曲线的斜率在0.5~1.0之间。由此初步判断测试层中存在3条断层。这点与地质构造图显示结果一致,说明判定准确。因此,在Saphir试井分析软件中,采用“油藏模型+井筒储集+表皮模型+三边不渗透外边界”的解释模型进行分析,压力拟合分析结果如图5、图6所示。拟合曲线与原始计算数据吻合程度非常高,证明了该模型选择正确有效。

在选定模型基础上进行试井解释,得到以下解释结果:地层系数为 $5.36 \times 10^{-12} \text{m}^3$ ,渗透率为362 mD,表皮系数为-0.596,井筒储集常数为0.0188  $\text{m}^3/\text{MPa}$ ,外推地层压力为18.571 MPa,外边界距离分别为50 m、45 m和100 m。解释得出三个断层与W井的距离,与地质构造图结果符合度很

高,证明本次试井解释成功。

## 3 结论

(1)在短期试井产能评价中,不需精确解释结果,可暂不考虑产能修正问题,给储层定性即可。如W井定性为高产高渗无污染油层。

(2)在不稳定试井解释中,解释时间极其有限的情况下,可直接参考地质解释结果进行试井分析,能够加快试井资料解释过程,并能得到准确结论。

致谢:本文得到中石化海洋石油工程有限公司上海特殊作业分公司副总经理刘海涛与副经理尤力的大力支持,在此表示感谢。

### 参考文献

- [1] 李晓平. 试井分析方法[M]. 北京:石油工业出版社, 2009:10-12.
- [2] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 第5版. 北京:石油工业出版社, 2010:73-78.
- [3] 张利军,朱国金,程时清,等. 开关井时间对试井曲线影响研究[J]. 油气井测试, 2016, 25(1):37-38.  
ZHANG Lijun, ZHU Guojin, CHENG Shiqing, et al. Study of well switch time impacting well test curve [J]. Well Testing, 2016, 25(1):37-38.
- [4] 张利军,郑伟,王帅,等. 海上断块油田水平井初期产能的评价方法研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2019, 21(1):46-50.  
ZHANG Lijun, ZHENG Wei, WANG Shuai, et al. Study on evaluation method of initial production capacity of horizontal wells in offshore fault block oilfield [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2019, 21(1):46-50.
- [5] 邓琪,张宏友,汪全林,等. 渤海油田测试出砂井径向复合条件下初期产能评价[J]. 油气井测试, 2019, 28(5):74-78.  
DENG Qi, ZHANG Hongyou, WANG Quanlin, et al. Early productivity evaluation of the testing well with sand production under radial compound pattern in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(5):74-78.
- [6] 罗宪波,赵春明,刘英. 海上稠油油田投产初期产能评价研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(5):19-22.  
LUO Xianbo, ZHAO Chunming, LIU Ying. Study on productivity evaluation of offshore heavy oil field at the initial stage of production [J]. Fault Block Oil and Gas Fields, 2011, 18(5):19-22.
- [7] 盛志超,陈晶. 反褶积试井解释方法在东海油气田中的应用[J]. 海洋石油, 2014, 34(2):54-59.  
SHENG Zhichao, CHEN Jing. Application of deconvolution well test interpretation methods in East China Sea oil and

- gas fields [J]. *Offshore Oil*, 2014, 34(2): 54-59.
- [8] 任超群,李文红,李树松. 反褶积试井解释技术在南海西部油气田中的应用与实践[J]. *油气井测试*, 2017, 26(3): 22-24.  
REN Chaoqun, LI Wenhong, LI Shusong. Application and practice of deconvolution well test interpretation technology in oil and gas field of the western China Sea [J]. *Well Testing*, 2017, 26(3): 22-24.
- [9] 张利军,田冀,朱国金,等. 反褶积试井在海上短时试井中的应用[J]. *油气井测试*, 2015, 24(4): 21-23.  
ZHANG Lijun, TIAN Ji, ZHU Guojin, et al. Application of deconvolution well testing in short time well test on offshore well [J]. *Well Testing*, 2015, 24(4): 21-23.
- [10] 魏聪,陈宝新,刘敏,等. 基于反褶积技术的S气井不稳定试井解释[J]. *油气井测试*, 2018, 27(1): 73-78.  
WEI Cong, CHEN Baoxin, LIU Min, et al. Interpretation of pressure transient well testing data of S gas well based on deconvolution technique [J]. *Well Testing*, 2018, 27(1): 73-78.
- [11] 杨乾霞,王燕,雷涛. 英东油田油气水三相流产能试井测试方法研究[J]. *青海石油*, 2014, 32(2): 50-54.  
YANG Qianxia, WANG Yan, LEI Tao. Study on well test method of oil gas water three phase flow energy in Yingdong Oilfield [J]. *Qinghai Petroleum*, 2014, 32(2): 50-54.
- [12] 杨敏,李明,陈宝新,等. 异常高压水驱气藏产能评价及预测方法[J]. *油气井测试*, 2019, 28(5): 62-66.  
YANG Min, LI Ming, CHEN Baoxin, et al. Productivity evaluation and forecast method for waterflooding gas reservoir with abnormal high pressure [J]. *Well Testing*, 2019, 28(5): 62-66.
- [13] 李波,罗宪波,刘英,等. 海上稠油油田合理单井产能预测新方法[J]. *中国海上油气*, 2008, 20(4): 243-245.  
LI Bo, LUO Xianbo, LIU Ying, et al. A new method to predict reasonable deliverability of individual wells in offshore heavy oilfields [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2008, 20(4): 243-245.
- [14] 王丽荣,张秀丽,黄强强,等. 常规生产井米采油指数计算研究与应用[J]. *内蒙古石油化工*, 2013, 39(16): 32-33.  
WANG Lirong, ZHANG Xiuli, HUANG Qiangqiang, et al. Calculation and application of oil recovery index of conventional production wells [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2013, 39(16): 32-33.
- [15] 曹刚,王鹏,崔晓朵. 应用不稳定试井判断砂砾岩油藏井间连通性[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(28): 136-139.  
CAO Gang, WANG Peng, CUI Xiaoduo. Applying transient well test to judge the interwell connectivity relationships in glutenite reservoir [J]. *Science, Technology and Engineering*, 2015, 15(28): 136-139.
- [16] 孙艳波. JL气田HS组气藏产水气井压力恢复试井解释[J]. *油气井测试*, 2020, 29(2): 75-78.  
SUN Yanbo. Well test interpretation of pressure build-up for water-producing gas wells in HS group gas reservoir of JL gas field [J]. *Well Testing*, 2020, 29(2): 75-78.
- [17] 李玉勇,戴卫华,刘洪杰,等. 多层合试的表皮系数校正[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2016, 18(1): 37-39.  
LI Yuyong, DAI Weihua, LIU Hongjie, et al. Well test skin correction of multilayer joint test [J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition)*, 2016, 18(1): 37-39.
- [18] 刘振平. 高含硫气藏非均质试井解释模型研究[J]. *石油化工应用*, 2016, 35(12): 21-25.  
LIU Zhenping. Study on anisotropic analytical model of well testing of high sulfur gas reservoir [J]. *Petrochemical Industry Application*, 2016, 35(12): 21-25.
- [19] 郭建国,黄必金,王岩,等. 双孔均质介质径向复合油藏典型试井曲线分析[J]. *油气井测试*, 2001, 10(4): 18-20.  
GUO Jianguo, HUANG Bijin, WANG Yan, et al. Typical testing curve's analysis of radial compound reservoir with dual porosity medium [J]. *Well Testing*, 2001, 10(4): 18-20.
- [20] 李昊晟,王新海,王小迪. 断层对条带状非均质油藏试井曲线的影响[J]. *油气藏评价与开发*, 2015(5): 26-29.  
LI Haosheng, WANG Xinhai, WANG Xiaodi. The influence of faults on well test curves of banded heterogeneous reservoir [J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2015(5): 26-29.
- [21] 张小龙,李晓平,张旭,等. 直角断层板状双重介质油藏斜井试井模型研究[J]. *油气井测试*, 2012, 21(6): 1-4.  
ZHANG Xiaolong, LI Xiaoping, ZHANG Xu, et al. Research on inclined well test model for orthographic fault slabby double porosity reservoir [J]. *Well Testing*, 2012, 21(6): 1-4.

编辑 穆立婷

第一作者简介:石俊,男,1991年出生,硕士,助教,2016年毕业于中国石油大学(北京)油气井工程专业,现主要从事石油工程教学工作。电话:18521314294; Email: 1243108362@qq.com。通信地址:新疆库尔勒市经济技术开发区金河路360号新疆科技学院38号楼405,邮政编码:841000。