

# 致密气藏试井异常资料产能计算新方法

张慧宇

中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司勘探开发研究院 吉林松原 138000

通讯作者:Email: yuying.85@163.com

项目支持:国家重大科技专项“松辽盆地南部深层致密气有效开发技术”(2016ZX05047005-006)

引用:张慧宇.致密气藏试井异常资料产能计算新方法[J].油气井测试,2019,28(2):1-5.

Cite: ZHANG Huiyu. A new method of productivity calculation for wells with abnormal testing data in tight gas reservoir [J]. Well Testing, 2019,28(2):1-5.

**摘要** YT致密气藏部分气井在利用二项式方程和指数式方程计算无阻流量时,出现渗流指数大于1、二项式产能方程曲线斜率下倾并为负值的情况,导致两种方法无法计算无阻流量。在致密气藏产量稳定、流动压力稳定的前提下,利用流动进入拟稳态时的产能方程中压差和产量关系公式,推导出计算无阻流量和产能方程的“稳定点”法。选用资料齐全的4口井进行无阻流量计算,并与常规“一点法”计算结果对比,相对误差2.94%。应用该方法求取YT地区渗流指数大于1、资料不齐全的9口井的产能方程,结果与生产动态相符,为致密气田合理配产提供了一种新方法。

**关键词** 致密气藏; 产能试井; 拟稳态; 产能方程; 无阻流量; 一点法

**中图分类号**:TE353 **文献标识码**:A **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.001

## A new method of productivity calculation for wells with abnormal testing data in tight gas reservoir

ZHANG Huiyu

Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138000, China

**Abstract:** The binomial equation and exponential equation fail to calculate the open flow capacity of some gas wells in the YT tight gas reservoir, due to the situations that the flow index is greater than 1 and the curve slope of the binomial productivity equation declines and is negative. Under the premise of the stable production and flowing pressure of tight gas reservoir, the “stable point” method was derived to determine the equation for open flow capacity and productivity according to the pressure difference-production relation formula in the productivity equation in case of pseudo-steady state flow. Four wells with complete data were selected to calculate the open flow capacity, and the results were compared with that of the conventional “single point” method, suggesting a relative error of 2.94%. This method was used to obtain the productivity equation for 9 wells with a flow index greater than 1 and incomplete data in the YT area, and the results are in agreement with the production performance. This proposed method provides a new option for reasonable production allocation in tight gas fields.

**Keywords:** tight gas reservoir; productivity test; pseudo-steady state; productivity equation; open flow capacity; “single point” method

致密气藏具有致密、低渗等特征,水关系复杂、产能规律复杂,难以准确合理配产<sup>[1-2]</sup>。由于受地层等诸多内、外因素的影响,气井稳定试井过程中所采集的产量和压力数据往往存在不同程度的偏差,导致产能曲线呈现异常形态,无法求出气井无阻流量等参数。引起试井资料异常的主要因素有储集层污染、变表皮系数、层间干扰和井底积液等。除此之外,在对YT致密气藏进行研究时发现,部分

气井在测试过程中出现操作不当、设备故障及冰堵等原因被迫关井的现象,造成产量数据缺失或无法进行等时间间隔取点等情况。而在后期产能计算无阻流量时,使测试结果不能反映储层性质对产能方程和无阻流量的影响,一些气井在应用指数式方法计算时,出现渗流指数 $n \geq 1$ 情况,而渗流指数 $n$ 是反映气体流动状态的,其值应满足 $0.5 \leq n \leq 1$ <sup>[3-4]</sup>,说明测试资料出现异常,导致指数式方法计算无阻

流量不合理;同样的问题表现在二项式产能方程中,则出现二项式系数  $B \leq 0$  的情况,在产能曲线中表现为回归的直线下倾。利用二项式方法无法计算无阻流量<sup>[5-6]</sup>,给之后产能评价工作带来了困难。采用“一点法”计算时,发现在本区计算结果与实际偏差大,准确率低。

针对试井资料异常现象,夏显佰等应用SWT2000试井软件,对试井资料的异常现象进行分析判别,选择适应的校正模型,有效消除了试井曲线失真现象,顺利求得气井产能参数<sup>[7]</sup>。该方法必须准确的判断出引起异常现象的原因,才能选择相应的校正模型,得到可靠的产能参数。但在施工中,有时很难确定引起一口井资料异常的真正原因。郑威等<sup>[8]</sup>通过建立凝析气井二项式产能方程和指数式产能方程的关系,确定凝析气井异常产能测试资料分析的判断标准。徐燕东等<sup>[9]</sup>考虑高产时气体高速脉冲流动的碳酸盐岩高压高产气井产能方程,进行约束优化算法对其求解。研究发现,这些方法均具有其局限性,不适用于YT致密气藏。为此,有必要找到一种可以简便、快速准确计算致密气藏无阻流量的方法。通过研究<sup>[10]</sup>,当产量和流动压力都稳定时,利用流动进入拟稳态时的产能方程中压差和产量关系公式,并进行推导,提出了产能试井的“稳定点法”,即利用修正等时试井资料的稳定流压和稳定产量数据求出无阻流量的方法。

## 1 稳定点计算方法

对具有边界限制的致密气藏,当压力变化波及到边界以后,或者地层压力变化进入拟稳态以后,压力与产量关系表达式<sup>[11]</sup>为

$$p_R^2 - p_{wf}^2 = \frac{36.846 \times 10^3 \bar{\mu}_g \bar{Z} \bar{T} p_{sc} q_g}{Kh T_{sc}} \left( \ln \frac{0.472 r_e}{r_w} + S_a \right) \quad (1)$$

其中

$$S_a = S + D q_g$$

式中:  $p_R$  为地层压力, MPa;  $p_{wf}$  为井底流动压力, MPa;  $\bar{\mu}_g$  为气层平均状态下的参考黏度, mPa·s;  $\bar{Z}$  为地层条件下平均气体偏差系数;  $\bar{T}$  为地层条件下气体平均温度, K;  $p_{sc}$  为气体标准状态下压力(值取 0.1013), MPa;  $T_{sc}$  为气体标准状态下温度(值取 293.16), K;  $q_g$  为气井产量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;  $K$  为地层有效渗透率, mD;  $h$  为地层有效厚度, m;  $r_e$  为井供给半径, m;  $r_w$  为井折算半径, m;  $S_a$  为表皮系数;  $S$  为真表皮系数;  $D$  为达西流系数,  $(10^4 \text{ m}^3/\text{d})^{-1}$ 。

把(1)式化简为二项式产能方程,即

$$p_R^2 - p_{wf}^2 = A q_g + B q_g^2 \quad (2)$$

将(2)式等号两边同时乘以  $Kh$ , 即

$$Kh(p_R^2 - p_{wf}^2) = A(Kh) q_g + B(Kh) q_g^2 \quad (3)$$

则有

$$A(Kh) = 29.22 \bar{\mu}_g \bar{Z} \bar{T} \left( \lg \frac{0.472 r_e}{r_w} + \frac{S}{2.302} \right) \quad (4)$$

$$B(Kh) = 12.69 \bar{\mu}_g \bar{Z} \bar{T} D \quad (5)$$

$$Kh = \frac{A(Kh) q_g + B(Kh) q_g^2}{p_R^2 - p_{wf}^2} \quad (6)$$

$$\frac{A(Kh)}{Kh} = \frac{29.22 \bar{\mu}_g \bar{Z} \bar{T} \left( \lg \frac{0.472 r_e}{r_w} + \frac{S}{2.302} \right)}{Kh} = A \quad (7)$$

$$\frac{B(Kh)}{Kh} = \frac{12.69 \bar{\mu}_g \bar{Z} \bar{T} D}{Kh} = B \quad (8)$$

式(8)中非达西流系数  $D$  值未知,其它参数都是已知参数。所以,  $D$  值的必须先确定<sup>[12-15]</sup>。  $D$  值是形成的于井底附近的湍流,是组成拟表皮的主要部分,产生湍流的原因复杂,用理论方法很难估算,只有通过测试得到<sup>[16]</sup>。通过对研究区致密性气藏数口井的测试与推算,确定非达西流系数  $D$  值为  $0.0498 \times (10^4 \text{ m}^3/\text{d})^{-1}$ 。

将压力恢复试井解释成果中的  $S$ 、 $r_e$  和  $D$  值代入(4)式、(5)式,把  $A(Kh)$ 、 $B(Kh)$ 、 $p_R$ 、 $p_{wf}$ 、 $q_g$  代入(6)式,求出  $Kh$ 。将  $Kh$  代入(7)式、(8)式,求出  $A$ 、 $B$  值,确定了该井产能方程,从而求出无阻流量<sup>[17]</sup>,即

$$Q_{AOF} = \frac{\sqrt{A^2 + 4B(p_R^2 - 0.1012)} - A}{2B} \quad (9)$$

## 2 稳定点法适用性

YT致密气藏位于松辽盆地南部西部断陷带北部,目地层营二段火山岩主要为火山碎屑岩,储层物性较好,碎屑岩储层岩性以砂砾岩、粉细砂岩为主。孔隙度一般为 5%~9%,平均 7%,渗透率最大 1 mD,平均 0.05 mD,测井解释孔隙度为 5%~12%,平均孔隙度为 8%,为典型的致密气藏储层,气藏类型为源储一体岩性气藏<sup>[18-20]</sup>。

利用本区有合格测试资料的 LA 井和 LB 井、LC 井、LD 井等 4 口井为例,对比常规方法<sup>[21]</sup>和新方法计算的误差值,证明该方法的准确性。

2.1 测试简况

LA 井测试层位为火山岩 HS 组,该井于 2009 年 8 月 9 日至 10 日采用 102 枪 127 王弹对 148、151~153 号层射孔,射孔厚度 10.0 m/2 层。2009 年 8 月 17 日双封分层压裂,10 月 16 日至 22 日测气,最高日产气  $5.16\times10^4\text{ m}^3$ ,试气结论为工业气层。2010 年 4 月 21 日-6 月 15 日进行了修正等时试井、压力恢复试井及梯度测试。

2.2 试井解释

对 LA 井进行常规的压力恢复试井的解释和产能方程的计算,与稳定点新方法计算的无阻流量值进行对比。

2.2.1 压力恢复试井解释

通过模型诊断和图形分析,本次试井解释选择“内边界条件为变井筒储存,表皮效应+无限导流性垂直裂缝模型+无限大边界”模型。解释出  $p_R=35.53\text{ MPa}$ ,  $S=-5.89$ ,  $r_e=119\text{ m}$ 。从图 1 分析得到,不稳定试井双对数曲线压力和压力导数类似平行攀升,表现为斜率 1/2 的线性流特征。

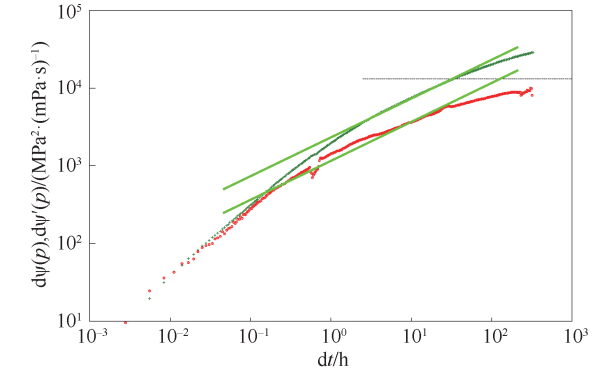


图 1 LA 井双对数分析图  
Fig.1 Log-log plot of Well LA

2.2.2 产能试井

4 月 23 日-5 月 4 日采用 3 mm、4 mm、6 mm 和 7 mm 油嘴进行修正等时试井测试,延续井开 4 mm 油嘴,延续生产 23 d,产量为  $2.1432\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,流动压力为 16.81 MPa。图 2、图 3 分别给出了 LA 修正等时试井指数式曲线和试井二项式曲线。

该井的指数式产能方程为

$$Q = 0.107104 (p_i^2 - p_{wf}^2)^{0.769358}$$

无阻流量  $Q_{AOF} = 2.60452\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

经确定该井的二项式产能方程为

$$p_i^2 - p_{wf}^2 = 0.045Q + 3.49 \times 10^{-6}Q^2$$

无阻流量  $Q_{AOF} = 2.74858 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

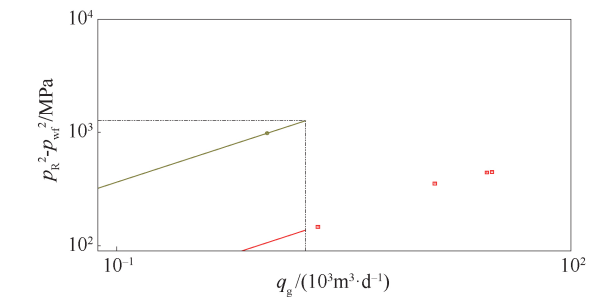


图 2 LA 井指数式分析图  
Fig.2 Exponential curve of Well LA

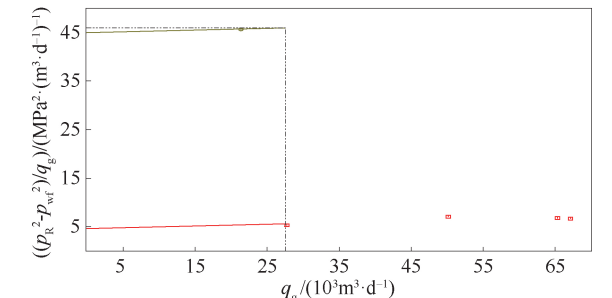


图 3 LA 井二项式分析图  
Fig.3 Binomial curve of Well LA

2.3 稳定点法计算气井产能

LA 井试井解释相关参数如下: $\mu_g=0.0289\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $Z=1.0213$ ,  $T=387.86\text{ K}$ ,  $S=-5.89$ ,  $p_R=35.53\text{ MPa}$ ,  $p_{wf}=16.81\text{ MPa}$ ,  $q_g=2.1432\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。将各数据代入稳定点公式(4)~(8)式,可得: $A(Kh)=115.81$ ,  $B(Kh)=7.27$ ,  $Kh=0.2874\text{ mD}\cdot\text{m}$ ,  $A=402.93$ ,  $B=25.31$ 。确定产能方程后,该井应用稳定点法求出的无阻流量  $Q_{AOF}=2.6814\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,与常规二项式法计算无阻流量  $Q_{AOF}=2.74858\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  相比,相对误差为 2.56%,验证了此方法的可行性。

2.4 与其他井结果对比

利用 LA 井和 LB 井、LC 井、LD 井等 4 口资料齐全井,对比稳定点新方法计算的无阻流量值与常规二项式所得的平均相对误差为 2.94%(表 1),与常规“一点法”所计算的无阻流量平均相对误差为 38.6%对比,误差小,准确率更高,验证了此方法在 YT 地区计算无阻流量的准确性。

表 1 常规方法与稳定点法计算结果对比  
Table 1 Calculation results by conventional method and stable point method

井号	无阻流量/( $10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )				
	二项式法	“一点法”(二项式)	相对误差/%	稳定点计算法	相对误差/%
LA	2.75	2.43	11.640	2.75	0.04
LB	5.22	7.20	37.930	4.83	8.12
LC	8.07	1.36	83.150	7.88	2.42
LD	0.60	0.73	21.670	0.59	1.18
平均相对误差	-	-	38.600	-	2.94

常规“一点法”适用于中、高渗稳定产能测试,在致密气藏中应用误差大,无法采用。而“稳定法”更适用于致密气藏,在产能试井中应用较为准确。

### 3 实例应用

以本地区一口开发井 L1 井为例,测试层位为火山岩 HS 组,该井于 2014 年 9 月 3 日至 4 日采用 102 枪 127 王弹对 153~155 号层射孔,射孔厚度 8.0 m/2 层。2014 年 9 月 12 日双封分层压裂,11 月 1 日至 7 日测气,最高日产气  $2.13\times10^4\text{ m}^3$ ,试气结论为工业气层。2015 年 4 月 10 日~6 月 16 日进行了修正等时试井、压力恢复试井及梯度测试。通过模型诊断和图形分析,本次试井解释模型选择:“内边界条件为变井筒储存、表皮效应+无限导流性垂直裂缝模型+无限大边界”模型。在试井产能计算过程中,可以看出不稳定试井双对数曲线压力和压力导数斜率下倾的线性流特征(图 4、图 5),指数式渗流指数  $n$  大于 1 的情况,利用指数式和二项式方法都无法计算无阻流量。

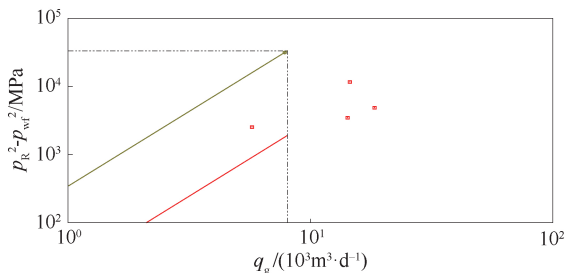


图 4 L1 井指数式分析图( $n>1$ )  
Fig.4 Exponential curve of Well L1( $n>1$ )

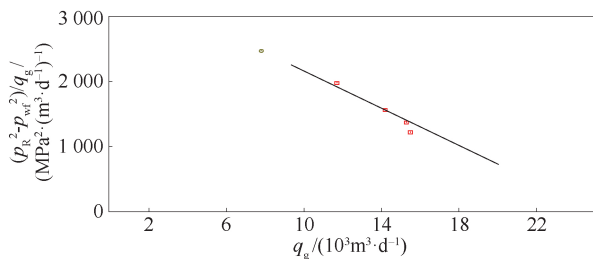


图 5 L1 井二项式分析图(斜率大于 1)  
Fig.5 Binomial curve of Well L1 (slope>1)

采用稳定点新方法,将各参数  $\mu_g = 0.021\text{ 1 mPa}\cdot\text{s}$ ,  $Z = 0.896\text{ 5}$ ,  $T = 364.66\text{ K}$ ,  $S = 1.17$ ,  $p_R = 17.4\text{ MPa}$ ,  $p_{wf} = 4.71\text{ MPa}$ ,  $q_g = 0.781\text{ 5}\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$  代入稳定点法公式(4)~(8)式,得到: $A(Kh) = 622.97$ ,  $B(Kh) = 4.38$ ,  $Kh = 1.745\text{ mD}\cdot\text{m}$ ,  $A = 357$ ,  $B = 2.51$ 。确定产能方程后,得到无阻流量  $Q_{AOF} = 0.843\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

该地区目前还有 8 口不同井型试采井,因测试

资料不全或不准确数据无法得到无阻流量,给产能评价造成困难,采用“稳定点法”根据每口井提供的已知稳定油压和稳定产量值分别代入稳定点法中的公式,即可得到每口井的无阻流量值(表 2),并有效的应用到实际工作当中,为后期气井合理配产,提供了有利依据。

表 2 测试资料出现异常井稳定点法计算无阻流量  
Table 2 Calculation of open flow capacity for wells with abnormal test data by stable point method

井号	油压/ MPa	日产量/( $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )			无阻流量/ ( $10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )
		油	气	水	
L2	4.2	0.4	$5.16\times10^4$	7.31	5.56
L3	6.72	少量	$7.43\times10^4$	4.51	8.19
	4.54	—	$2.30\times10^4$	3.00	3.10
L4	2.30	—	$2.50\times10^4$	4.00	2.70
	3.00	—	$2.20\times10^4$	2.50	2.70
L5	8.20	—	$6.20\times10^4$	3.00	8.90
L6	6.35	0.1	$5.80\times10^4$	0.50	6.70
L7	11.00	—	$15.00\times10^4$	—	22.45
L8	5.00	—	$5.20\times10^4$	—	20.79
L9	7.00	—	$4.20\times10^4$	—	19.57

### 4 结论

(1) 针对致密气藏气井测试中出现不合格资料问题,利用公式推导出“稳定点”新方法,选用资料齐全的 4 口井进行无阻流量计算对比,相对误差 2.94%,与“常规一点法”计算结果比较,误差小,准确率更高,验证了稳定点法的准确性。

(2) 利用新方法计算出不同井型数口气井的无阻流量值;在实践中取得良好应用,节约单井测试费用,有明显经济效益,在其它气田具有推广性。

致谢:感谢吉林油田分公司勘探开发研究院天然气开发所高级工程师张英魁在试井解释方法给予的大力指导和帮助;感谢勘探开发研究院各位领导大力支持。

#### 参考文献

- [1] 赵钊,李治平,赖枫鹏,等. 致密气压裂水平生产异常井的产能测试影响因素分析[J]. 油气井测试, 2016, 25 (1): 28-29.  
ZHAO Zhao, LI Zhiping, LAI Fengpeng, et al. Influence factor analysis of abnormal production on testing stage for tight gas of fractured horizontal well [J]. Well Testing, 2016, 25 (1): 28-29.
- [2] 赵钊. 致密气压裂水平井产能测试及合理测试参数研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2015.  
ZHAO Zhao. Study of well-test and the reasonable test parameters for tight gas of fractured horizontal wells [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [3] 罗沛,樊宏伟. 气井产能试井新方法[J]. 油气井测试, 2007, 16(4): 8-12.

- LUO Pei, FAN Hongwei. A new method for productivity testing of gas well [J]. Well Testing, 2007,16(4):8-12.
- [4] 廖代勇, 边芳霞, 林平. 气井产能分析的发展研究[J]. 天然气工业, 2006,26(2):100-101.
- LIAO Daiyong, BIAN Fangxia, LIN Ping. Deliverability analytical approach of gas well [J]. Natural Gas Industry, 2006,26(2):100-101.
- [5] 高创波, 单永乐, 吴胜利, 等. 涩北气田产能试井二项式方程曲线倒转校正方法[J]. 油气井测试, 2014,23(6):12-14.
- GAO Chuangbo, SHAN Yongle, WU Shengli, et al. Inverted correction method with productivity test binomial equation curve in Sebei Gas Field [J]. Well Testing, 2014,23(6):12-14.
- [6] 郝玉鸿, 陈调胜. 对气井二项式系数 B 的新认识[J]. 天然气工业, 2002,22(6):84-86.
- HAO Yuhong, CHEN Tiaosheng. New understanding of the binomial coefficient "B" of gas well [J]. Natural Gas Industry, 2002,22(6):84-86.
- [7] 夏显佰, 王维君, 胡广军, 等. 气井系统试井异常资料处理中校正模型的应用[J]. 新疆石油地质, 2003,24(4):344-346.
- XIA Xianbai, WANG Weijun, HU Guangjun, et al. Application of correction model in abnormal well test data processing in gas well system [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003,24(4):344-346.
- [8] 郑威, 刘曰武, 吴利华, 等. 凝析气井异常产能试井资料分析新方法[J]. 油气井测试, 2008,17(3):1-4.
- ZHENG Wei, LIU Yuewu, WU Lihua, et al. A new analysis method for the abnormal productivity test data in condensate gas well [J]. Well Testing, 2008,17(3):1-4.
- [9] 徐燕东, 谷海霞. 碳酸盐岩高压高产气井异常产能资料解释方法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2017,39(5):137-142.
- XU Yandong, GU Haixia. Explanation of abnormal productivity data regarding carbonate high-pressure, high-productivity gas well [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2017,39(5):137-142.
- [10] 庄惠农. 气藏动态描述和试井[M]. 北京:石油工业出版社, 2004:62-69.
- [11] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 北京:石油工业出版社, 2008:21-23.
- [12] 庞伟. 酸性气藏深井产能试井方法[J]. 油气井测试, 2018,27(2):67-72.
- PANG Wei. Deliverability test method for deep sour gas wells [J]. Well Testing, 2018,27(2):67-72.
- [13] 常宝华, 强小龙, 杨亚涛, 等. 低渗透气藏压裂水平井试井曲线特征及影响因素[J]. 油气井测试, 2018,28(2):1-6.
- CHANG Baohua, QIANG Xiaolong, YANG Yatao, et al. Well testing curves of fractured horizontal wells in low-permeability gas reservoirs: characteristics and influencing factors [J]. Well Testing, 2018,28(2):1-6.
- [14] 李晓平, 李允. 气井产能分析新方法[J]. 天然气工业, 2004,24(2):76-78.
- LI Xiaoping, LI Yun. A new way to analyze productivity of gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2004,24(2):76-78.
- [15] 梁涛, 常毓文, 郭晓飞. 巴肯致密油藏单井产能参数影响程度排序[J]. 石油勘探与开发, 2013,40(3):357-362.
- LIANG Tao, CHANG Yuwen, GUO Xiaofei. Influence factors of single well's productivity in the Bakken tight oil reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013,40(3):357-362.
- [16] 窦宏恩, 杨畅. 低渗透油藏流体渗流再认识[J]. 石油勘探与开发, 2012,39(5):633-640.
- DOU Hong'en, YANG Yang. Further understanding on fluid flow through multi-porous media in low permeability reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(5):633-640.
- [17] 宁正福, 韩树刚, 程林松. 低渗透油气藏压裂水平井产能计算方法[J]. 石油学报, 2002,23(2):68-71.
- NING Zhengfu, HAN Shugang, CHENG Linsong. Productivity calculation method of fractured horizontal wells in low permeability oil or gas field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002,23(2):68-71.
- [18] 李志学, 陈建, 张侃. 低渗透天然气项目经济评价方法及关键评价指标探讨[J]. 中国石油勘探, 2016,21(5):12-16.
- LI Zhixue, CHEN Jian, ZHANG Kan. Methods and key indicators of economic evaluation for low-permeability gas projects [J]. China Petroleum Exploration, 2016,21(5):12-16.
- [19] 胡文瑞. 中国低渗透油气的现状与未来[J]. 中国工程科学, 2009,11(8):29-37.
- HU Wenrui. China's current situation and future of low permeability oil and gas [J]. Engineering Sciences, 2009,11(8):29-37.
- [20] 姚约东, 葛家理. 低渗透油藏不稳定渗流规律的研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003,27(2):55-58,62.
- YAO Yuedong, Ge Jiali. Non-stead flow in low-permeability reservoir [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003,27(2):55-58,62.
- [21] 欧阳伟平. 致密气藏分段压裂水平井的不稳定压力与产量综合分析方法[J]. 油气井测试, 2018,27(2):14-21.
- Ouyang Weiping. Comprehensive analysis method for transient pressure and production of multistage fractured horizontal well in tight gas reservoirs [J]. Well Testing, 2018,27(2):14-21.

编辑 王 军

第一作者简介:张慧宇,女,1985年出生,工程师,2003年毕业于东北石油大学石油工程专业,现主要从事油气藏开发技术研究工作。电话:0438-6227311,13943838026;Email:yuying.85@163.com。通信地址:吉林省松原市锦江大街29号勘探开发研究院天然气所,邮政编码:138000。