

裂缝性稠油油藏水平井产能预测模型及分析

高英¹, 朱维耀¹, 覃生高^{2,3}, 岳明¹, 张雪龄⁴, 梁守成⁵

1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083
2. 北京交通大学中国产业安全研究中心博士后科研工作站, 北京 100044
3. 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029
4. 郑州轻工业学院能源与动力工程学院, 郑州 450002
5. 中海油研究总院, 北京 100028

摘要 基于分形理论, 用裂缝宽度分维和迂曲分维表征裂缝线密度和裂缝性储层等效渗透率。将储层水平井井筒周围流体流动状态划分为内外两个区域: 内部渗流区为垂直于水平井段的平面径向流和水平井两端的球面向心流, 外部渗流区为平面椭圆渗流区。基于质量和动量守恒方程, 建立二区耦合稳态渗流数学模型, 推导出裂缝性稠油油藏水平井产能公式。计算结果表明, 缝宽分维越大, 裂缝线密度越大, 基质-裂缝等效渗透率越大; 迂曲分维越大, 等效渗透率越低; 水平井长度的增加, 会提高裂缝性稠油储层水平井的产能; 幂律指数大于0.75时, 对产能的影响逐渐增大, 且随着幂律指数的增大, 产能逐渐增大; 启动压力越大, 水平井产能越低, 且随着启动压力梯度的增加, 产能降低的幅度也在增加。

关键词 裂缝性稠油油藏; 幂律流体; 水平井; 产能; 分形

中图分类号 TE345

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.11.005

Productivity prediction model and analysis of horizontal well in fractured heavy oil reservoir

GAO Ying¹, ZHU Weiyao¹, QIN Shenggao^{2,3}, YUE Ming¹, ZHANG Xueling⁴, LIANG Shoucheng⁵

1. School of Civil & Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China
2. Postdoctoral Program of China Center for Industrial Security Research, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China
3. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100029, China
4. School of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China
5. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China

Abstract Based on the dual fractal dimension in the fractal theory, the linear density of fractures and the equivalent permeability are characterized by the fractal dimensions of the fracture width and the tortuosity. The seepage field around the horizontal well bore is divided into two regions: the inner seepage region and the outer elliptical nonlinear seepage region. A mathematical model for the two-region coupling steady flow is established based on the conservation law of mass and the motion equation, and the productivity equation is obtained. It is shown that the larger the fractal dimension of the fracture width, the greater the linear density of the fractures, and the larger the equivalent permeability. The greater the tortuosity fractal dimension, the lower the equivalent permeability. Increasing the horizontal well length can have a great impact on the productivity improvement. As the power-law

收稿日期:2015-04-21;修回日期:2015-05-04

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05051)

作者简介:高英,博士研究生,研究方向为渗流力学,电子邮箱:gggy630@163.com;朱维耀(通信作者),教授,研究方向为渗流力学、油气田开发,电子邮箱:weiyao@sina.com.cn

引用格式:高英,朱维耀,覃生高,等.裂缝性稠油油藏水平井产能预测模型及分析[J].科技导报,2015,33(11):34-38.

exponent increases, the influence on the productivity of the horizontal well grows, when the power-law exponent n is greater than 0.75. The increase of the threshold pressure gradient leads to a larger decrease rate of the productivity.

Keywords fractured heavy oil reservoir; power-law fluids; horizontal well; productivity; fractal

稠油地质储量占世界石油总储量的50%以上,随着常规油气藏的不断衰竭,稠油在能源结构中越来越重要。裂缝性稠油油藏储量丰富,逐渐成为油气田开发研究的一个重要发展方向。水平井可以提高油藏的动用程度,增加油井产能,是近年来国内外开发裂缝性稠油油藏的首选措施^[1-5]。裂缝性稠油油藏中含有丰富的裂缝,除基质外裂缝也是油藏流体储存、流动通道。由于同时存在有两种输运性质完全不同的介质,其流动特征比较复杂,开采难度大。此外,已有研究表明,很大一部分稠油具有幂律流体特征,从而在渗流过程中呈现非牛顿流体状态^[6-7]。因此,裂缝分布预测、定量表征,裂缝性油藏渗流机制及模型建立成为有效开发裂缝性稠油油藏的关键问题。然而,国内外对于非牛顿幂律流体裂缝性稠油油藏水平井产能的研究并不多^[8-11],均没有考虑裂缝分布对稠油油藏水平井产能的影响。本文采用分形理论描述裂缝性储层裂缝的分布规律,利用等效连续介质模型描述基质-裂缝系统,表征出裂缝线密度和有效渗透率。根据稠油在水平井周围流动状态不同,将储层划分为两个区域。基于质量和动量守恒方程,考虑稠油流动的非牛顿幂律流体特性,建立裂缝性稠油油藏水平井开发二区耦合稳态渗流数学模型,推导出裂缝性稠油油藏水平井产能公式,并对水平井长度、缝宽分形维数、幂律指数等因素对产能的影响进行分析。

1 裂缝性稠油油藏渗透率表征方法

对于裂缝性油藏来说,由于天然裂缝介质满足分形特性的自相似性、标度不变性和分维3个条件,可以采用分形理论描述其分布规律^[12-14]。为了研究渗流速度,取地层厚度 h ,半径为 r 的圆柱型径向渗流区(图1)。

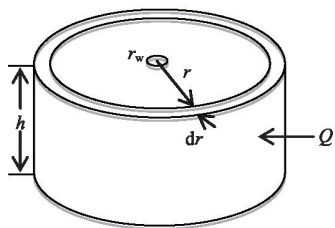


图1 分形介质中通过圆柱状区域的径向流示意
Fig. 1 Schematic diagram of radial flow in fractal porous media

设通过单位横截面 A^0 的裂缝总数为 M_c ,裂缝的最大宽度和最小宽度分别为 λ_a 和 λ_l ,宽度 $\Lambda > \lambda$ 的裂缝数量遵从标度关系:

$$M_c(\Lambda \geq \lambda) = (\lambda_a/\lambda)^D - dM_c = D\lambda_a^D \lambda^{-(D+1)} d\lambda \quad (1)$$

式中, D 为裂缝宽度分形维数,对于二维和三维空间,分别为 $1 \leq D \leq 2$ 和 $2 \leq D \leq 3$; $-dM_c > 0$ 为单位截面 A^0 中所通过的宽度在 λ 与 $\lambda + d\lambda$ 之间裂缝折合数。

考虑实际地层中裂缝的弯曲特性,有效长度 r_c 应遵循分形的基本公式:

$$r_c = r^\delta \lambda^{1-\delta} dr_c = \delta r^{\delta-1} \lambda^{1-\delta} dr \quad (2)$$

式中, δ 为迂曲分维,无量纲; r 为裂缝外观长度,m。

据裂缝密度的定义,裂缝的密度 D_f 为

$$D_f = -\frac{1}{2\pi r} \int_{\lambda_l}^{\lambda_a} \frac{2\pi r_w h}{A^0} dM_c = \frac{r_w h}{\bar{r} A^0} (\bar{\lambda}^{-D} - 1) \quad (3)$$

式中, D_f 为裂缝密度; η^0 为单位深度; $\bar{\lambda} = \lambda_l/\lambda_a$ 。

裂缝的孔隙度为区域内的裂缝体积 V_f 与总体积 V_b 之比,即

$$\phi_f = \frac{V_f}{V_b} = -\frac{\int_{\lambda_l}^{\lambda_a} \lambda \frac{2\pi r h}{(\eta^0)^2} \delta \left(\frac{r}{\lambda}\right)^{\delta-1} dM_c}{2\pi r h dr} = \frac{D\delta \lambda_a^{2-\delta} (1 - \bar{\lambda}^{2-\delta-D})}{\eta^0 (2-\delta-D)} r^{\delta-1} \quad (4)$$

式中, ϕ_f 为裂缝的孔隙度。

由流量定义可得到通过单位横截面流量为单条裂缝流量 $Q_i(\lambda)$ 与裂缝条数的乘积,即

$$V = \frac{1}{A^0} \int_{\lambda_l}^{\lambda_a} Q_i(\lambda) dM_c = -\frac{D\lambda_a^{2+\delta} [1 - (\lambda_l/\lambda_a)^{2-D+\delta}]}{12\eta^0 \delta (2+\delta-D)} \frac{1}{r^{\delta-1}} \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dr} \quad (5)$$

式中, μ 为流体黏度; V 为单位横截面的流量。

根据达西公式

$$Q = \frac{2\pi k_a h}{\mu} \frac{dp}{dr} \quad (6)$$

对比式(5)和式(6)可以得到裂缝的有效渗透率 K_f 为

$$K_f = \frac{\pi D \lambda_a^3}{12 \eta^0} \frac{1 - \bar{\lambda}^{2+\delta-D}}{\delta(2+\delta-D)} \frac{(\delta-1) \lambda_a^{\delta-1} \ln(r_c/r_w)}{r_c^{\delta-1} - r_w^{\delta-1}} \quad (7)$$

则裂缝性油藏基质-裂缝的等效渗透率 K_c 为

$$K_c = K_m \frac{\phi_m}{\phi_f + \phi_m} + K_f \frac{\phi_f}{\phi_f + \phi_m} \quad (8)$$

式中, K_c 为裂缝性油藏等效渗透率; K_m 为基质渗透率。

2 裂缝性稠油油藏水平井渗流数学模型

2.1 模型假设

假设裂缝性圆形油藏厚度为 h 、半径为 r_c ,中心一口水平井,水平井段长为 L ,且水平井位于油层中部,地层流体不可压缩,忽略重力和毛管力的影响。稳定渗流过程中,据渗流场特征,水平井渗流可以划分为两个渗流区域,I区是内部渗流场,稳定渗流时水平井附近,流体渗流由垂直于水平井段的平面径向流和水平井两端的球面向心流所组成,II区为外部渗流场,这部分流体渗流是以水平井的两个端点为焦点

的平面椭圆渗流区,如图2所示。

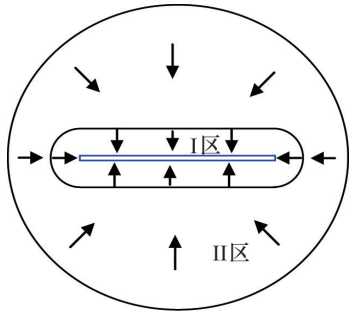


图2 水平井不同流动区域划分示意

Fig. 2 Schematic diagram of flow field around horizontal well

2.2 裂缝性稠油油藏水平井渗流数学模型

2.2.1 幂律性稠油油藏流体运动方程

大量研究表明,普通稠油在多孔介质中流动表现为拟塑性渗流特征,不再符合达西定律,在开采过程中存在启动压力梯度^[6]。由广义达西定律和流体的本构关系,幂律性稠油在多孔介质中的运动方程^[9]可表达为

$$\begin{cases} v=0 & \nabla p \leq G \\ v = -\frac{K}{\mu_a} \frac{dp}{dr} (1-G) & \nabla p > G \end{cases} \quad (9)$$

其中

$$\mu_a = \mu_c v^{n-1}, \quad \mu_c = \frac{K'}{12} \left(9 + \frac{3}{n}\right)^n \cdot (1.5 \times 10^5 K \phi)^{\frac{1-n}{2}}$$

式中, v 为渗流速度; dp/dr 为压力梯度; G 为启动压力梯度; μ_a 为视黏度; μ_c 为幂律流体有效黏度; K 为渗透率; ϕ 为孔隙度; K' 为稠度系数; n 为幂律指数, $0 < n < 1$ 。

2.2.2 水平井流量方程

1) I区流量方程。

在垂直平面内,垂直于水平井段的平面径向流可以等效为供给半径为 $h/2\pi$ 、井径为 r_w 、厚度为 L 的普通直井的平面径向流,而水平井两端的球面向心流的渗流半径为 $h/2\pi$ 。

(1) 平面径向流流量方程。引入裂缝性油藏等效渗透率 K_c ,则由式(9)可得I区平面径向流的运动方程为

$$v = \frac{Q_{11}}{2\pi r L} = -\left[\frac{K_c}{\mu_c} \left(\frac{dp}{dr} - G\right)\right]^{1/n} \quad (10)$$

边界条件: $r=r_w, p=p_w; r=h/2\pi, p=p_1$ 。

对式(10)分离变量求解,可得I区平面径向流的流量 Q_{11} 为

$$Q_{11}^n = \frac{p_1 - p_w - G_1}{R_{11}} \quad (11)$$

其中

$$R_{11} = \frac{\mu_c}{K_c} \left(\frac{1}{2\pi L}\right)^n \left(\frac{1}{1-n}\right) \left[\left(\frac{h}{2\pi}\right)^{1-2n} - r_w^{1-2n}\right], \quad G_1 = G\left(\frac{h}{2\pi} - r_w\right)$$

式中, p_1 为I区和II区交界处的压力。

(2) 球面向心流流量方程。由式(9)可得I区球面向心流的运动方程为

$$v = \frac{Q_{12}}{4\pi r^2} = -\left[\frac{K_c}{\mu_c} \left(\frac{dp}{dr} - G\right)\right]^{1/n} \quad (12)$$

可得球面向心流的流量 Q_{12} 为

$$Q_{12}^n = \frac{p_1 - p_w - G_1}{R_{12}} \quad (13)$$

其中, $R_{12} = \frac{\mu_c}{K_c} \left(\frac{1}{4\pi}\right)^n \left(\frac{1}{1-2n}\right) \left[\left(\frac{h}{2\pi}\right)^{1-2n} - r_w^{1-2n}\right]$ 。

2) II区产能模型。II区水平井在水平面内的流动为椭圆流动,等势线为椭圆。据低渗透储层水平井渗流理论,该区域流体渗流形态可近似为平面径向流,相当于厚度为 h 、半径为 $(a+b)/2$ 、生产半径为 $L/4$ 的圆环形泄流区域。则II区平面径向流的运动方程为

$$v = \frac{Q_2}{2\pi r L} = -\left[\frac{K_c}{\mu_c} \left(\frac{dp}{dr} - G\right)\right]^{1/n} \quad (14)$$

边界条件: $r=L/4, p=p_1; r=(a+b)/2, p=p_c$ 。

对式(14)分离变量求解,可得II区平面径向流的流量 Q_2 为

$$Q_2^n = \frac{p_c - p_1 - G_2}{R_2} \quad (15)$$

其中, $R_2 = \frac{\mu_c}{K_c} \left(\frac{1}{2\pi h}\right)^n \cdot \frac{1}{1-n} \left[\left(\frac{a+b}{2}\right)^{1-n} - (L/4)^{1-n}\right], G_2 = G\left[\frac{a+b}{2} - \frac{L}{4}\right]$ 。

2.3 水平井产能的求解

据渗流场I、II两个区域之间交界面压力和流量相等的原则可得

$$Q_{11} + Q_{12} = Q_2 = Q \quad (16)$$

联立式(11)~式(16),可得

$$\left(\frac{p_c - p_1 - G_2}{R_2}\right)^{1/n} - \left(\frac{p_1 - p_w - G_1}{R_{11}}\right)^{1/n} - \left(\frac{p_1 - p_w - G_1}{R_{12}}\right)^{1/n} = 0 \quad (17)$$

即可转化为求解方程 $f(p_1)=0$ 。采用牛顿迭代的方法求出 p_1 ,代入式(15)中可得到裂缝性稠油水平井开采产量。

3 裂缝性稠油油藏水平井产能模型的验证及影响因素分析

3.1 实例分析

以某裂缝性稠油油藏裸眼水平井为例,地层压力为17.86 MPa,井底压力为6 MPa,井筒半径为0.1 m,油层厚度为15.3 m,最大裂缝宽度为1 mm,最小裂缝宽度为1 μm ,裂缝密度为4.07条/m,基质渗透率为 $110.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,裂缝渗透率 $628.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,基质孔隙度为27.1%,原油体积系数为1.0417,原油密度为0.9726 g/cm^3 ,幂律指数为0.9,稠度系数为20 $\text{mPa}\cdot\text{s}^n$,水平段长度为600 m。

据最大、最小裂缝宽度,采用本文分形模型模拟出裂缝

密度为4.067条/m, 裂缝渗透率为 $639.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 水平井产量为20.13 t/d, 比较符合实际。

3.2 影响因素分析

图3为缝宽分形维数与裂缝密度的关系曲线。从图3可以看出, 裂缝密度越大, 缝宽分形维数越大, 分形维数从介于1.1~1.9, 裂缝密度从0.05条/m变化到10.8条/m。

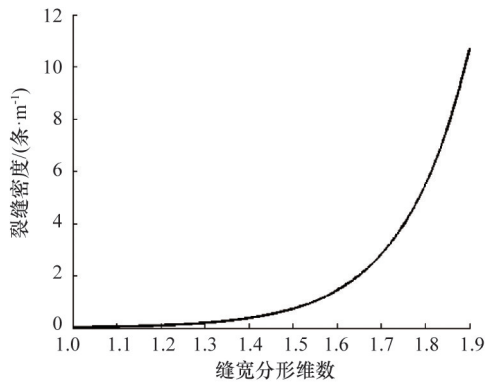


图3 缝宽分形维数与裂缝密度的关系

Fig. 3 Relationship between fractal dimension of fracture width and linear density of fractures

图4表示不同迂曲分维下等效渗透率随着缝宽分形维数增加的变化曲线, 可以看出, 裂缝的缝宽分形维数和迂曲分维对裂缝性储层等效渗透率有着很大影响, 相同迂曲分维下, 缝宽分形维数越大, 等效渗透率就越大。由缝宽分形维数与裂缝密度关系可知, 缝宽分形维数越大, 相当于裂缝密度越大, 裂缝条数也越多, 裂缝性储层等效渗透率也就越大。而迂曲分维的增加, 相当于延长了流体流动的距离, 等效渗透率减小。

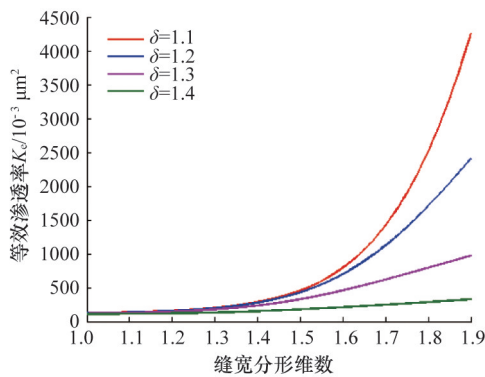


图4 迂曲分维不同时等效渗透率与缝宽分形维数的关系

Fig. 4 Relationship between fractal dimension of fracture width and equivalent permeability under different tortuosity fractal dimensions

图5表示分形维数和裂缝密度相同时, 不同生产压差下, 水平井水平段长度与产能的关系, 可以看出, 生产压差越大, 水平井产能越大。水平井水平段长度越长, 水平井产能越大。

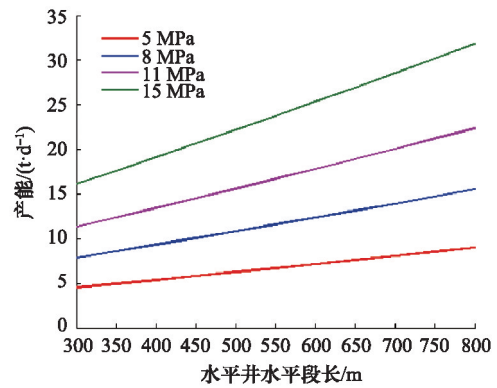


图5 不同生产压差下水平井段长与产能的关系

Fig. 5 Relationship between horizontal well length and productivity under different drawdown pressure

图6为分形维数和裂缝线密度相同时, 不同启动压力条件下, 稠油幂律指数与产能的关系曲线, 可以看出, 幂律指数和启动压力梯度对水平井产能有很大的影响。当稠油藏幂律指数小于0.75时, 水平井产能很小, 接近于零, 幂律指数的变化对水平井产能的影响也较小; 当幂律指数大于0.75时, 幂律指数越大, 水平井产能越大, 且增加的幅度越大; 幂律指数为1时, 流体为牛顿流体, 产能最大。启动压力越大, 水平井产能越低, 且随着启动压力梯度的增加, 产能降低的幅度也在增加。

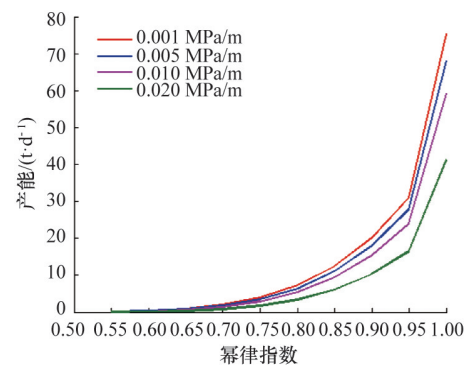


图6 不同启动压力条件下幂律指数与产能的关系曲线

Fig. 6 Relationship between power-law exponent and productivity for different start-up pressure gradients

4 结论

1) 针对裂缝性储层裂缝分布具有分形的特点, 采用分形理论, 用分形维数来表征裂缝性稠油油藏等效渗透率和裂缝密度。计算表明, 分形维数对裂缝密度和等效渗透率的影响很大。裂缝密度越大, 缝宽分形维数也越大; 相同迂曲分维下, 裂缝分形维数越大, 等效渗透率就越大; 而迂曲分维的增加, 相当于延长了流体流动的距离, 等效渗透率减小。

2) 采用等效连续介质模型描述裂缝性储层, 将储层水平井井筒周围流体流动状态划分为内外两个区域: 内部渗流区

为垂直于水平井段的平面径向流和水平井两端的球面向心流,外部渗流区为平面椭圆渗流区。基于幂律流体运动方程,建立裂缝性稠油油藏水平井二区耦合产能公式。计算表明,水平井长度的增加,会有效地增加油井泄油面积,提高裂缝性稠油储层水平井的产能。启动压力越大,水平井产能越低,且随着启动压力梯度的增加,产能降低的幅度也在增加。流体的非牛顿特性对裂缝性稠油油藏水平井开采效果影响明显。水平井产能随着幂律指数的增加而增加。幂律指数小于0.75时,对水平井产能影响较小。幂律指数大于0.75时,对产能的影响逐渐增大。

参考文献(References)

- [1] 林毅,王铭宝,雷平.水平井在草古1潜山裂缝性稠油油藏开发中的应用[J].特种油气藏,2000,7(4):24-26.
Lin Yi, Wang Mingbao, Lei Ping. Application of horizontal well in developing Caogu 1 buried-hill fractured heavy oil reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2000, 7(4): 24-26.
- [2] 陈民锋,赵晶,张贤松,等.低渗透稠油油藏水平井极限动用范围[J].中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(2):103-108.
Chen Minfeng, Zhao Jing, Zhang Xiansong, et al. Limit drainage radius of horizontal wells in low-permeability heavy oil reservoirs[J]. Journal of China University of Petroleum: Nature Science Edition, 2014, 38(2): 103-108.
- [3] Tankersley T H, Waite M W. Reservoir modeling for horizontal well exploitation of a Giant heavy oil field[C]. SPE International Thermal Operations and Heavy Oil Symposium and International Horizontal Well Technology Conference, Calgary, Alberta, Canada, November 4-7, 2002.
- [4] Mohammadpoor M, Torabi F. An extensive review on the effective sequence of heavy oil recovery[C]. SPE Heavy Oil Conference Canada, Calgary, Alberta, Canada, June 12-14, 2012.
- [5] 牟宝珍,唐帅.双水平井SAGD开发稠油油藏界限标准[J].科技导报,2014,32(11):71-76.
Mou Baozhen, Tang Shuai. Threshold standards in heavy oil reservoir exploitation using steam assisted gravity drainage with dual-horizontal wells[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(11): 71-76.
- [6] 郑舰.王庄油田特超稠油油藏渗流机理与开发技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
Zheng Jian. Study on seepage mechanism and development of technology for super heavy oil in Wangzhuang Oilfield[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [7] 张凯,李阳,王琳娜,等.稠油流变特性实验研究[J].油气地质与采收率,2007,14(5):91-94.
Zhang Kai, Li Yang, Wang Linna, et al. Experimental study on rheological characteristics of heavy oil[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(5): 91-94.
- [8] 帅媛媛,王晓冬,孙挺,等.非牛顿幂律流体水平井产能分析方法[J].岩性油气藏,2007,19(3):123-125.
Shuai Yuanyuan, Wang Xiaodong, Sun Ting, et al. Productivity analysis of horizontal well with non-Newtonian power law fluid[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 123-125.
- [9] Vongvuthipornchai S, Raghavan R. Well test analysis of data dominated by storage and skin: Non-newtonian power-law fluids[J]. SPE Formation Evaluation, 1987, 2(4): 618-628.
- [10] 王毅忠,袁士义,宋新民,等.大港油田枣35块火成岩裂缝性稠油油藏采油机理数值模拟研究[J].石油勘探与开发,2004,31(4):105-107.
Wang Yizhong, Yuan Shiyi, Song Xinmin, et al. Recovery mechanism simulation for the fractured igneous heavy oil reservoir of the Block Zao 35, Dagang Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4): 105-107.
- [11] 郭玲玲,刘慧卿,王庆,等.裂缝性稠油油藏蒸汽驱复合三区试井模型研究[J].油气井测试,2009,18(6):14-17,21.
Guo Lingling, Liu Huiqing, Wang Qing, et al. Research on composite three-region well test model for steam driving in heavy oil fissured reservoirs[J]. Well Testing, 2009, 18(6): 14-17, 21.
- [12] 冯阵东,戴俊生,邓航,等.利用分形几何定量评价克拉2气田裂缝[J].石油与天然气地质,2011,32(54):928-933.
Feng Zhendong, Dai Junsheng, Deng Hang, et al. Quantitative evaluation of fractures with fractal geometry in Kela-2 gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 928-933.
- [13] 孟庆峰,侯贵廷,潘文庆,等.岩层厚度对碳酸盐岩构造裂缝面密度和分形分布的影响[J].高校地质学报,2011,17(3):462-468.
Meng Qingfeng, Hou Guiting, Pan Wenqing, et al. Layer thickness controls on surface density and fractal dimension of structural fractures in Carbonate Strata[J]. Geological Journal of China Universities, 2011, 17(3): 462-468.
- [14] 张雪龄,朱维耀,薛成国,等.基于分形理论的裂缝稠油油藏蒸汽驱温度分布计算[J].科技导报,2014,32(16):49-53.
Zhang Xueling, Zhu Weiyao, Xue Chengguo, et al. Heating distribution calculation of steam flooding in fractured heavy oil reservoir based on fractal theory[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(16): 49-53.

(责任编辑 刘志远)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。